

# 1. 製 鉄

## 1.1 製鉄理論と技術の展望

### 1.1.1 製鉄理論および研究の発展

第2次大戦後、世界の主要製鉄国は近代科学技術の粋をあつめて直接製鉄法の研究開発をこころみだが、いずれの国においても特殊条件下のわずかの例を除いて、ほとんどすべての直接製鉄法は現代の高炉製鉄技術に立ちうちできずにその影をひそめた。現代の高炉技術は、その生産性および経済性をいちじるしく高め、いつそう合理化されてきた。しかし高炉は約600年前に出現し、長い間に漸次大型化し、経験主義の度合いの高い技術で発展してきた。高炉の炉内反応は、製鉄理論に基づいて実施されているというよりは、経験主義的に確立された技術に沿って反応がすすめられている。実際の高炉の炉内反応は、高温であり、しかも固相、液相、気相の3相間の反応で、流体力学の問題やその他多くの物理的ならびに化学的の要因を含み、その機構は複雑である。従来の理論研究は経験主義的に確立された高炉反応の一面を説明する化学熱力学的の研究が多かつた。近年にいたり、高炉の急速な技術発展にともない、この技術発展の背景として科学的根拠を与えようとする多くの動力学的の研究ならびに各種の多面的な研究がすすめられ、実際の製鉄技術改善のための有力なバックグラウンドを形成する気運になつてきた。

高炉製鉄法に関しては、近年、製鉄理論のみならずあらゆる面から研究がすすめられ、数多くの成果が報告されている。日本鉄鋼協会誌の発表論文および講演大会の講演について、戦前の10年間と戦後の10年間の簡単な比較を展望してみよう。戦前としては昭和5年から14年まで

表 1.1 製鉄部門における日本鉄鋼協会誌の  
発表論文数と講演大会講演数

	昭和5~14年 の10年間 (A)			昭和30~39年 の10年間 (B)			(B) (A)
	論文	講演	計	論文	講演	計	
製 鉄 原 料	9	20	29	19	154	173	6.0
高 炉 製 鉄 法	2	4	6	33	139	172	28.7
直 接 製 鉄 法	0	0	0	5	19	24	—
電 気 製 鉄 法	2	5	7	1	10	11	1.6
建設・設備関係	8	13	21	8	41	49	2.3
学術・基礎研究	16	16	32	25	71	96	3.0
そ の 他	0	1	1	5	10	15	15.0
計	37	59	96	96	444	540	5.6

での10年間で、戦後は昭和30年から39年までの最近の10年間をとつて比較した。その間の製鉄部門に関する論文および講演の発表数の概要を表1.1.1に示した。これによれば高炉製鉄法に関する発表数は戦前の約29倍に達し、学術基礎研究は3倍になつている。全体としての発表数は5.6倍になつている。日本の製鉄部門の発展にともない、研究活動が急速に活発になつていることが示されている。

### 1.1.2 製鉄技術の展望

わが国の粗鋼生産高は、昭和34年にフランスを抜いて約1,663万tに達し、昭和36年にイギリスを追いこし約2,827万tになり、昭和38年度には西ドイツを超えて米ソについて世界第3位に躍進し約3,408万tの生産高になつた。主要国の鉄鉄生産高は表1.1.2に示した。これによれば昭和37年の鉄鉄生産高は米、ソ、中共、西ドイツ、日本の順で日本は第5位に位している。日本の昭和38年度の鉄鉄生産高は約2,123万tに達している。昭和37年の各国の高炉一基当りの平均出鉄量をみるとフランスは400t以下、西ドイツおよびイギリスは600t以下であるが、これにくらべてアメリカおよび日本のそれは遙かに大きく、1,200t以上になつている。設備的にみて日本は世界における最大級の高炉所有国である。

高炉操業成績は、装入原料の改善とともに、高温送風、調湿送風、酸素富化送風、燃料吹込み送風、高圧操業、操業の自動化傾向の促進などの各種の技術進歩により、生産性は急速に上昇し、コークス比は世界最低水準に達している。わが国高炉のコークス比の全国平均値をみると昭和32年に720(kg/t)であつたものが、調湿送風を開始した33年には約650(kg/t)に下がり、酸素富化送風を行なう35年には約620(kg/t)に達し、さらに燃料吹込み開始の36年より急速に低下し、38年には約500(kg/t)に達している。現在300(kg/t)台のコークス比の例もあり、世界的の記録を保持し、鉄鉄生産費の低下に大きな役割を果している。高炉内容積の1m<sup>3</sup>当りの1日の出鉄量は、この10年間に0.8から1.5に飛躍的に増大し、短期間の試験では2.0あるいはそれ以上の値を記録している。

このようにすばらしい世界的の成果を収めたのは、各種のそれぞれの技術発展が総合された結果である。つぎに簡単にそれぞれの部門別の技術発展を展望してみよう。

原料炭の輸入先は大きく変り、昭和34年には輸入原料炭391万tのうち80%がアメリカ炭で、10%がオーストラリア炭であつた。1964年には1,263万tのうちアメリカ炭が46%、オーストラリア炭38%、ソ連炭7%、その他9%、に変つている。鉄鋼業の石炭需要はきわめて大きいから製鉄用国内原料炭の消費増加をすすめるために、科学技術庁を中心に鉄鋼業では国内炭のコークス化

表 1.1.2 主要国の鉄鉄生産高

(単位: 1,000 m/t)

国別	年次	昭和27年	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	構成比(%)
日本		3,474	4,518	4,608	5,217	5,987	6,815	7,394	9,446	11,896	15,821	17,972	6.6
中国		1,929	2,234	3,114	3,872	4,826	5,936	13,690	20,500	25,300	27,000	29,000	10.6
インド		1,879	1,801	1,989	1,920	1,985	1,935	2,146	3,122	4,154	5,011	5,791	2.1
アメリカ		57,475	70,081	54,256	71,908	70,376	70,300	52,403	55,184	61,072	59,235	60,138	21.9
カナダ		2,433	2,732	2,006	2,917	3,237	3,373	2,777	3,847	3,882	4,475	4,804	1.8
イギリス		10,810	11,354	12,073	12,670	13,381	14,512	13,183	12,784	16,016	14,984	13,911	5.1
西ドイツ		12,877	11,654	12,512	16,482	17,577	18,358	16,659	18,393	}25,739	}25,430	}24,251	8.8
ザール		2,550	2,382	2,497	2,879	3,031	3,166	3,104	3,220				
フランス		9,772	8,666	8,841	10,960	11,480	11,615	11,971	12,472	14,144	14,566	13,952	5.1
イタリア		1,143	1,254	1,298	1,677	1,935	2,138	2,107	2,121	2,715	3,092	3,584	1.3
ベルギー		4,775	4,218	4,583	5,343	5,683	5,579	5,519	5,965	6,553	6,445	6,771	2.5
ルクセンブルグ		3,076	2,719	2,800	3,048	3,272	3,329	3,285	3,411	3,713	3,775	3,588	1.3
オランダ		539	591	610	668	662	701	917	1,140	1,346	1,456	1,573	0.6
オーストリア		1,173	1,321	1,354	1,506	1,737	1,960	1,818	1,837	2,232	2,263	2,118	0.8
チェコ		2,305	2,781	2,790	2,982	3,282	3,563	3,774	4,245	4,695	4,965	5,180	1.9
ポーランド		1,840	2,359	2,663	2,920	3,263	3,430	3,592	4,088	4,253	4,427	4,930	1.8
東独		660	1,078	1,318	1,517	1,574	1,663	1,775	1,899	1,996	2,029	2,075	0.8
ソ連		25,071	27,415	29,972	33,310	35,754	37,040	39,600	42,972	46,757	50,893	54,480	19.9
オーストラリア		1,555	1,867	1,865	1,817	2,109	2,256	2,304	2,544	2,928	3,210	3,487	1.3
南ア連邦		1,100	1,196	1,171	1,260	1,303	1,359	1,513	1,703	1,844	2,134	2,219	0.8
世界計		152,400	168,900	158,100	190,500	198,500	209,300	194,200	221,200	253,300	264,400	274,200	100.0
対前年比		102	111	93	120	104	105	93	114	114	104	104	

出所: 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼統計要覧

利用の研究開発をすすめる、ブリケット成型法や予熱処理法の研究開発がすすんでいる。

鉄鉱石の輸入先も大きく変わり、優良富鉄石を遠隔の地から大型鉄石専用船で輸送する割合が多くなった。昭和34年の輸入鉄鉱石500万tのうちマレーとフィリピンが52%、インドとゴアが25%、アメリカとカナダが20%、その他3%であった。昭和39年には3,128万tのうちペルーとチリーが30%、マレーとフィリピンが25%、インドとゴアが22%、アメリカとカナダが12%、その他が11%になっている。

鉄石の事前処理はますます強化され、サイジングは昭和34年頃よりサーキュレート方式により2段破碎・3段篩別あるいは3段破碎・4段篩別などによつて塊鉄サイズが10~40mm程度に整粒されている。またオアベディングによる均鉄技術も広く普及し、装入鉄石の成分変動が小さくなっている。サイジングの強化によつて粉鉄の発生量が多くなり、焼結機能力は増大し、焼結鉄の装入割合が増加している。1960年頃より自溶性焼結鉄の使用が普及し、出鉄量の増大とコークス比の低下に有効な作用を及ぼした。最近では高塩基度焼結鉄が使用され、塩基度の高いものはCaO/SiO<sub>2</sub>が1.8~2.4に達してい

る。ペレット製造工場で発生するペレットリターンは、焼結原料に使用して好成績を収めている。またセミペレット処理も普及し、焼結原料の微粉鉄を造粒機で小粒ペレットとし、そのまま焼結原料に混和して使用し成績をあげるようになった。焼結全原料の微粉部分を粗粒化する焼結原料のホアペレット処理もすすめられている。昭和35年以後には大型焼結機が多数完成し、焼結面積は100~180m<sup>2</sup>になった。これらの焼結機はほとんど完全な自動制御方式になっている。ペレタイジング法は世界的に普及しつつあり、堅型炉、回転炉、水平炉の3種がある。わが国では5社で堅型炉を採用している。半還元ペレットおよび自溶性ペレットについても研究がすすめられている。

高炉の1基当りの年間出鉄能力の推移をみると、昭和29年16万t、32年26万t、35年34万t、37年44万tへ、急速に飛躍的に上昇している。製鉄設備は高炉配置、炉型式、炉体各部の構造、各種付属設備などが急速に近代化合理化し、このような成果を収めている。

高炉操業成績はすでに述べたように生産性においてもコークス比においてもすばらしい世界的成果を収めている。高炉1基の生産性はきわめて大きなものとなり、

(単位: 1,000 m<sup>3</sup>/t)

表 1.2.1 最近10年間に於ける輸入鉄鉱石入荷の推移 (暦年)

地域別 年次	マレー		比 島		イ ン ド		ゴ ー		ア		カ ナ ダ		ア メ リ カ		ペ ル ー		チ リ ー		そ の 他		合 計	
	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)	入荷量	比率 (%)
昭和26年	716	23.2	900	29.1	153	5.0	195	6.3	87	2.8	817	26.4	—	—	—	—	—	—	221	7.2	3,089	100
27	821	17.2	1,182	24.8	419	8.8	251	5.3	496	10.4	1,426	29.9	—	—	—	—	—	—	173	3.6	4,768	100
28	864	20.1	1,205	2.81	455	10.6	252	5.9	909	21.1	464	10.8	—	—	—	—	—	—	141	3.3	4,290	100
29	1,121	22.4	1,480	29.6	758	15.1	497	9.9	557	11.1	422	8.4	—	—	—	—	—	—	142	2.8	5,005	100
30	1,632	29.9	1,616	29.6	959	17.6	382	7.0	497	9.1	220	4.0	—	—	—	—	—	—	153	2.8	5,459	100
31	2,322	29.6	1,574	20.1	1,293	16.5	864	11.0	280	3.6	1,005	12.8	190	2.4	—	—	—	—	300	3.8	7,840	100
32	2,872	30.6	1,451	15.5	1,535	16.4	1,291	13.8	331	3.5	1,085	11.6	392	4.2	—	—	—	—	411	4.4	9,381	100
33	2,387	31.5	1,152	15.2	1,599	21.1	792	10.4	552	7.3	547	7.2	168	2.2	—	—	—	—	373	4.9	7,585	100
34	3,750	36.1	1,295	12.5	1,877	18.1	1,404	13.5	677	6.5	539	5.2	103	1.0	—	—	—	—	674	6.4	10,389	100
35	5,354	36.0	1,202	8.1	1,897	12.8	2,542	17.1	1,084	7.3	825	5.6	633	4.3	—	—	—	—	1,075	7.2	14,861	100
36	6,640	31.8	1,229	5.9	1,708	8.2	3,153	15.1	1,115	5.3	946	4.5	2,386	11.4	—	—	—	—	1,535	7.3	20,889	100
37	6,464	29.2	1,472	6.7	2,092	9.5	2,412	10.9	1,574	7.1	864	3.9	2,495	11.3	—	—	—	—	1,744	7.9	22,128	100
38	6,700	25.8	1,417	5.4	2,803	10.8	2,998	11.5	1,886	7.3	1,821	7.0	2,915	11.2	—	—	—	—	2,117	8.2	25,975	100
39	6,399	20.5	1,290	4.1	2,839	9.1	3,959	12.6	1,875	6.0	1,812	5.8	3,678	11.8	—	—	—	—	3,704	11.8	31,276	100

出所: 日本鉄鋼連盟「鉄鋼統計要覧」(1963年) ただし、38年~39年度は富士製鉄、原料部の調査 (一部推定) による。

(単位: 1,000 m<sup>3</sup>/t)

表 1.2.2 最近10年間に於ける輸入原料炭地域別の推移 (暦年)

地域別 年次	中 国		ソ 連		台 湾		イ ン ド		カ ナ ダ		ア メ リ カ		オ ー トラ ー		そ の 他		合 計					
	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)	輸入量	比率 (%)				
昭和27年	7	0.3	40	1.7	—	—	480	20.5	—	—	1,814	77.5	—	—	—	—	—	—	—	—	2,431	100
28	146	4.9	127	4.3	—	—	278	9.4	—	—	2,400	81.3	—	—	—	—	—	—	—	—	2,951	100
29	47	1.9	41	1.6	—	—	83	8.3	—	—	2,338	93.2	—	—	—	—	—	—	—	—	2,509	100
30	127	6.2	67	3.3	18	0.9	—	—	—	—	1,831	89.2	10	0.5	—	—	—	—	—	—	2,053	100
31	479	16.1	68	2.3	24	0.8	—	—	—	—	2,382	80.2	18	0.6	—	—	—	—	—	—	2,971	100
32	329	7.7	157	3.7	28	0.7	—	—	—	—	3,544	83.4	191	4.5	—	—	—	—	—	—	4,249	100
33	128	4.0	297	9.2	30	0.9	—	—	5	0.2	2,534	79.1	210	6.6	—	—	—	—	—	—	3,204	100
34	—	—	291	7.4	42	1.1	—	—	75	1.9	3,111	79.6	381	9.8	—	—	—	—	—	—	3,907	100
35	—	—	439	7.1	62	1.0	—	—	421	6.8	4,307	69.8	883	14.3	—	—	—	—	—	—	6,170	100
36	—	—	766	8.9	55	0.6	—	—	502	5.8	5,292	61.6	1,962	22.8	—	—	—	—	—	—	8,593	100
37	153	1.6	952	9.9	31	0.3	—	—	463	4.8	5,442	56.5	2,598	27.0	—	—	—	—	—	—	9,639	100
38	89	0.9	933	9.4	44	0.4	—	—	583	5.8	5,324	53.5	3,012	30.2	—	—	—	—	—	—	9,983	100
39	140	1.1	910	7.2	40	0.3	—	—	870	6.9	5,820	46.1	4,850	38.4	—	—	—	—	—	—	12,630	100

出所: 日本鉄鋼連盟「鉄鋼統計要覧」(1963年) ただし、38年~39年度は富士製鉄原料部の調査 (一部推定) による。

1 基の高炉の炉況不良が製鉄所全体に大きな影響を及ぼすから、その安定操業化に対する要望が強くなっている。また銑鉄を利用する転炉製鋼法からの強い要望により、銑鉄品質の向上および安定化が従来以上に強くのぞまれている。このために世界的に高炉の計算機制御の研究がすすみ、わが国では早くもその一部が実用化される運びになつている。

電気製銑法では、明治以来のわが国の問題であつた砂鉄製錬法に関する難問題を解決し、砂鉄の電気製銑法を確立した。

特殊製銑法では、クルップレン法が飛躍的に技術を発展させ、生産費をいちじるしく低下させた。ウィーベルグ法は、近代式の 15,000 t/月 能力の設備が稼動し、砂鉄からきわめて優れた鋼をつくることに成功している。ロータリーキルンによる半還元海綿鉄の製造法は、電気銑炉の事前処理として、電気銑炉の所要電力をいちじるしく低下させている。

フェロアロイ製造技術もこの 10 年間に飛躍的に発展し、製品の品質が向上し、原単位はおどろくほど切下げられている。たとえば、低炭素フェロクロムの電力原

単位は、昭和 29 年度の 5,049 kWh から昭和 38 年度の 2,979 kWh へ約 40% の切下げであり、フェロタングステンのは 13,000 kWh から 6,000 kWh へ大幅に切下げられた。その他の製品についてもあらゆる原単位が大きく低下し、注目すべき成果をおさめている。

## 1.2 原料処理法

### 1.2.1 製銑原料事情の推移と展望

(1). 日本における原料事情の推移とその経済性への対策

#### 1) 原料事情の推移

日本の鉄鋼業も世界主要製鉄国のそれと同様にその立地を原料に求めてきた。北支大冶の鉄鉱石と筑豊炭田との原料立地事情を考慮して八幡製鉄所が建設されたこと、釜石鉱山を対象に釜石製鉄所が建設され、北海道炭と道内褐鉄鉱を主原料として室蘭に輪西製鉄所が建設されたことは明瞭にこれを物語っている。しかし、第 2 次大戦後、日本の鉄鋼業は国家一国防のための産業より平和産業の私企業として発足し、大きな変貌を遂げてから

表 1.2.3 輸入鉄鉱石長期契約表 (主要銘柄のみ)

(単位: m/t)

地 区	銘 柄	鉱 山 概 要			数 量 (万 t)	契 約 期 間	積 出 量 / 年 (万 t)
		位 置	鉱 種 量 (万 t)	積 出 港			
フィリピン	ララップ	ルソン島	磁鉄鉱 赤鉄鉱 1,750	ララップ	600	1956~61	90~100
マレー	ズングン	マレー テマング州	赤鉄鉱 400	ズングン	940	1960~64	約 313
	ロンピン	マレー パハング州	磁鉄を伴う 赤鉄鉱 2,200	ロンピン	400	1962~64	100~150
インド	インド (基本)	インド各地	赤鉄鉱 約 10 億	インド各港	600	1960/12 ~64/3	約 200
	ルールケラー	インド東岸カルカッタから 200 海哩	赤鉄鉱 1 億 7,000	ヴィザガバタム	200/年間	1964~ 10年間	200
	バイラディ ーラ	インド中部東岸 より	赤鉄鉱 6 億 8,000	ヴィザガバ タム	400/年間	1966~ 15年間	400
インド ゴ	ゴア・チョ ウグリー	インド・ゴア	赤鉄鉱 数千	マルマゴア	500	1966~ 5年間	105
アメリカ	イーグル	カリフォルニア 州	磁鉄鉱, 赤鉄鉱 約 2 億	ロング ビーチ	1,000	1962~ 10年間	100
ブラジル	ブラジル	ブラジル ミナス州	赤鉄鉱 約 6 億	ヴィトリア	5,000	1966~ 15年間	100~450
チ リ *	サンタフェ	チリー北部	赤鉄鉱, 磁鉄鉱 7,000	カルディラ 他 2 港	1,100	1961~ 10年間	約 100
アフリカ *	スワジール ランド	南ア連邦西部	赤鉄鉱 約 3,000	ロレンソマ ルケス	1,200	1964~ 10年間	約 120
濠 州	ウエスタン マイニング	西濠州	赤鉄鉱 約 600	ジェラルト ン	510	1966~73	50~70

原料の確保ないしはその経済性を追求することについて幾多の苦難の途を歩んできたことは承知の通りである。すなわち支那大陸に中共政権が出現、確立されたことによる原料輸入の杜絶とアメリカ、カナダ側への原料取得ソースの切替がそれである。戦前における日本の鉄鉱石類は砂鉄、硫酸滓を加えてもわずかに数百万トンにすぎず、北支、満州の強粘結炭に中支、海南島、フィリピンおよびマレー半島の鉄鉱石を主力としてその大半が賄われてきたのであつたが、日本の敗戦に加うるに中共政権の確立により、鉄鉱石の主力と強粘結炭のほとんど全部の入荷はこれを断念せざるを得なくなつた。したがつて鉄鉱石についてはフィリピン、マレー半島を主力とし、不足分をアメリカ、カナダ、インドおよびゴアに求め、粘結炭についてはその大部分をアメリカに依存することとなつた。その後日本鉄鋼業の順調な拡大再生産の発展に伴つてこれらの製鉄原料の量は年を追つて増加したが、なにかんづく輸入鉄鉱石について数量の増大と供給ソースの多数化、遠隔化が著しく、輸入炭についてもそのソースがアメリカのみに依存するに止まらず、カナダ、濠州、ソ連と供給ソースが多数化している。戦後におけるこれらの事情の推移は表 1.2.1~1.2.2 に示す通りである。

また、これらの輸入鉄鉱石を数量的にも價格的にも安定して確保するためには、製鉄原料という一般商品と異なつた特殊の性格を持つているため、スポット契約よりもむしろ、周到な調査と将来を見通した考え方を基として相手先と長期間大量を契約する、いわゆる長期契約をベースとしたものが多くならざるを得なかつた。表 1.2.3 にその主要な銘柄を示す。

昭和35年当時の池田内閣はいわゆる所得倍增計画を発表したが、この政策に示された具体的目標に基づいて鉄鋼業界はきわめて野心的な長期生産計画（「昭和45年度におけるわが国鉄鋼業の構図」昭和35年10月）を作成したが、これによると目標年次45年度には、高炉鉄生産高は3,350万t、粗鋼生産高は4,800万tと策定されているが、これに要する原料もきわめてぼう大で鉄鉱石として5,700万tのうち4,900万tの輸入鉄鉱石、原料炭として3,100万tのうち2,450万tの輸入炭の購入を必要としている。このようにぼう大な数量の輸入原料を数量的に確実に、價格的に安定して購入しかつ月別、各製鉄所別にその入荷がいささかの支障がなく、円滑に経済的な在庫を保有するよう入荷しなければならぬわけである。この原料ソースには採掘量が漸次上昇傾向をもつていものや逆に下降するものがありその見通しは非常に困難であるうえに、新規の鉄山の開発（たとえば濠州鉄山）の問題などがあり、したがつてこれら原料の安定的な確保には格段の努力が必要とされる。

## 2) 原料コスト引下げのための諸方策

a) 概説 日本の鉄鋼業の発展、なにかんづく高炉の拡張計画に伴う原料需要の伸びはわれわれの当初の予想をはるかに越えるものであつてその推移は表 1.2.4 の示す通りである。

これらの主原料のうち輸入鉄鉱石の依存度は昭和38年度において76%となり、前年度より約3%増となつていいる。

表 1.2.4 鉄鉄（高炉鉄生産高と主原料消費高）  
(単位：1,000 M/T)

年度(西暦)	高炉鉄	輸入鉄石	国内鉄石	輸入炭	国内炭
昭和25(1950)	1,981	1,425	1,565	1,028	2,272
30(1955)	5,039	4,753	3,028	2,326	3,548
35(1960)	12,052	12,994	4,223	6,116	5,737
37(1962)	17,478	21,236	4,810	7,809	5,208
38(1963)	20,697	24,610	3,626	7,600	6,102

出所：鉄鋼統計要覧(1963年)

ただし昭和38年は暦年にして通産省資料による。

輸入炭は昭和38年度においてその使用率は55.3%であつて、その供給ソースは依然としてアメリカ炭が主力で輸入炭中54.6%をしめ、また、輸入鉄石の供給ソースは漸次遠隔化の傾向をたどつており、その海上輸送距離は35年の3,000海哩から38年には5,000海哩に、さらに45年度には5,600海哩に達する見込みとなつている。元来「鉄鋼業は輸送業である。」といわれるように、このような原料輸送距離の延長は当然主原料のコストの上昇を意味するものであり、さらにまた、原料輸入量の増大はそれだけ外貨の流出となるから、国民経済にとってマイナスの要因となる。鉄鋼業は日本の経済の基礎産業であり、重要な輸出産業である。その製品を合理的な價格で供給し、わが国の経済の発展に寄与しなければならないし、世界の輸出市場で先進国との競争に打ち勝つていかなければならない。このような国家経済の要請をうけつて、鉄鋼業は生産コストの引下げをはからなければならなかつた。しかし上述のようにわが国のおかれてい原料取得の宿命的な条件から原料費の占めるウエイトは大きく、粗鋼t当り原料費の占めるウエイトは約65%であつて主要製鉄国中一番大きかつた。(1957年の主要製鉄企業の売上高からの推算：「日本経済分析」第5巻による。)また、製鋼原料の相当部分は價格の変動の常ならぬ鉄屑であつたから、鉄鉄コストの引下げが一層重要となり、昭和35年を境として鉄鉄の使用率が増大し、その面からも一層鉄鉄のコストの引下げが必要となつた。このように鉄鉄コストの引下げはそれ以降のすべての製品コストに影響するところが最も大きく、したがつて、鉄鉄コスト中最も大きいウエイトを占める原料費(昭和30年で約80%と見積られた。)の引下げが絶対的に必要とされたのである。日本鉄鋼業が戦後黙々として続けてきた努力目標の一つはこの問題の解決であつて、これへの対策が技術面では主原料の原単位の向上であり、なにかんづく、世界一高価であるといわれるコークスの使用原単位を低下させることであつたし、また経済性への対策としては製鉄主原料、なにかんづく輸入鉄石と輸入炭の價格を低位に安定化させることであつた。特に技術面の対策として顕著な成果を示しているものは、コークス比の低下であつて、昭和26年911kgから昭和30年711kg、昭和35年617kg、昭和38年度には平均524kg(年末には510kg、400kg台の高炉が9基もある。)となつており、今日世界で一番低い。これは鉄石品位の向上、米炭の品

位の優秀性、コークス製造技術の進歩など、各種の要因の総合的成果であるが、なかんずく(i)高炉装入原料の予備処理の強化—整粒の強化と、(ii)自溶性焼結鉱の配合の増加が最も大きい影響をおよぼしている。

次に最近燃料、特に重油を高炉羽口に吹込む技術はコークス比の低下とコストの低下に大きな役割を果たしている。わが国の鉄鋼業が実際にこの技術を高炉操業に実施したのは昭和36年であるが、39年8月現在では高炉稼働基数42基のうち、32基すなわち75%以上が燃料吹込みを実施している。この効果としては通常鉄鉄t当り1kgの重油を吹込んだ場合、約1.3~1.5kgのコークスが節約され、その吹込み可能量は現在のところ鉄鉄t当り70kg~100kgまでといわれている。したがって、高炉吹込みにおける重油のメリットを現在の価格をベースとする限り、吹込み可能の範囲内でコークス1に対し、1.85に達している。

(b) 経済性への対策 i) 長期契約と輸入原料ソースの転換：生産の増大とそのため原料確保とは一つの因果関係があるが、供給ソースの遠距離化は深刻な問題すなわち、必然的に入手価格が高くなるという問題を抱いていた。この問題を解決するためには鉱石品位の優秀なものを求め、かつ多量に購入することにより、F.O.B 価格を切下げるといふことに努力が傾けられた。こうした目的で輸入鉱石の需要が増大した昭和27年を期とし、八幡、富士、鋼管の大手3社の間で「海外製鉄原料委員会」が成立し、相ついで高炉7社がこれに参加した。かくて原料委員会は構成各社を中心として海外の原料購入にあつた共同討議の場となり、あるいは海外諸鉱山の開発にあつた共同研究と共同調査をなすことを目的として顕著な実績をあげてきている。その主なるものはインド・ゴアのチョーグリ鉱山、フィリピンのララップ鉱山、インドのルール・ケラーやバイラディラー鉱山(未入荷)、ブラジルのリオ・ドーセ鉱山などの開発がその代表的なものである。これらの鉱石は長期契約を締結することにより、当時購入されていたものよりはるかに低価格で長期にわたり安定した価格で確保し得たのであるが、最近西濠州を中心として発見されたぼう大な鉄鉱床の開発が論議されており、開発後は価格の値下りのみでなく鉱石供給ソースの大幅な転換も予想される。供給ソースの転換ということは鉄鉱石のみならず輸入炭についても同様である。すなわち、中国からの原料炭の輸入が杜絶してから鉄鋼業はやむを得ずアメリカ炭にその供給ソースを切換えざるを得なかつたがアメリカ炭の品位の圧倒的な優秀さ(灰分および粘結性)により、中国炭になかつた経済的な有利性を認識したものであつたが、山元価格の低廉さは別としても国内鉄道運賃+パナマ運河航送料+太平洋海上運賃がかかるという宿命的な不利が残つていた。米炭の使用は日本のコークス比を世界一に低く低下させた要因でもあるが、反面、その価格はどうしても高くなるからより近い距離にある供給ソースを求めため、業界は鋭意調査研究をなしてきたのであるが、その結果昭和33年頃より濠州に優良な原料炭ソースのあることがわかり、かつ濠州政府も積極的に輸出許可をすることに踏みきつたので34年頃から本格的な

出荷が始まり、38年度には約280万t入荷している。また37年12月には主なる積出港であるポート・ケンブラー港も大型専用船(35,000 D.W.T)型が就航可能となるよう改修された。また、カナダ炭も38年度には約58万tの入荷をみている。一方、ソ連炭は欧州各国にぼう大な量(約2,000万t以上)が輸出されているが、日本向けにもクズネツ炭が32年度以降、本格的に輸出されるようになり、38年度には約79万tも入荷している。これらの事情は従来割高なアメリカ炭に全面的に依存していた日本の鉄鋼業にとつてはきわめて重要なことであるが、今後の問題としてはどの程度までこれらの輸入炭に置き換え得るか(技術的にみても)という点である。現在これらの地域からの供給量は今後ますます増加する傾向にあるが、それだけに非常に関心を引く問題である。

ii) 専用船の就航 輸入鉱石と輸入炭のC&F価格に占める海上輸送費の比重は表1.2.5の通り非常に大きい。

表1.2.5 輸入鉱石と輸入炭 CIF 価格にしめる 運賃の比率 (単位：%)

	36年度	37年度	38年度
輸入 鉱石	41.5	39	37
輸入 炭	38	35	32

周知のように海上運賃はその性格上騰落の幅がきわめて大きくかつ不安定である。原料価格を安定化させるためにはこの海上運賃を安定化することが必要な前提条件となる。(たとえば専用船が就航していなかつたときにはゴア—日本間の運賃は最低昭和29年6ドル70セント、最高昭和31年18ドル20セント、アメリカ炭の運賃は昭和36年の1年間だけに最高11ドル台から最低7ドル25セントの騰落を示している。)昭和35年(1960年)を境として運賃安定化のための対策として本格的な鉱石専用船が就航をみるにいたつた。

そして現在においてはマレー鉱石については全積出量の60%、インドのゴア鉱石については同じく約50~60%、アメリカ・カナダおよび南米方面ではほぼ100%近く積み取つている。また、将来インドのルール・ケラー、バイラ・ディラの鉱山が出荷するときにはその積出港の改修計画も完成し全量専用船により積出されるであろう。石炭についてはアメリカ炭と濠州炭の相当量が積取られている。現在(昭和39年7月)就航している専用

表1.2.6 専用船の現状 (単位：D.W.T.)

		日本船(隻)	外船(隻)	計
就航中	鉱石専用船	1,247,000 (48)	538,000 (8)	1,785,000 (56)
	石炭専用船	141,000 (5)	377,000 (9)	518,000 (14)
建造予定 (申請済)	ペレット 専用船	111,880 (2)		
	石炭専用船	75,150 (2)		

表 1・2・7 輸入鉄鉱石価格にせめる運賃負担率の推移

	単 位	1955 03 年度	1957 32 年度	1960 35 年度	1961 36 年度	1962 37 年度	1963 38 年度
数 量	1,000 トン	6,125	9,343	14,992	21,005	21,800	23,780
平均単価	ドル/トン	14・94	21・25	14・23	14・31	14・64	14・64
平均運賃	ドル/トン	7・37	12・03	5・40	5・90	5・71	5・43
運賃負担率	%	49・3	56・9	37・9	41・5	39・0	37・0
トン/カイリ 平均運賃	セ ン ト	0・221	0・284	0・122	0・117	—	—

出所：(i) 1955年度～1961年度は大蔵省通関統計による。(一部推定を含む)

(ii) 1962年度～1963年度は富士製鉄原料部調査による。(鉄石 Fe 分は 62・2～62・6% ベースをとる)

表 1・2・8 各社の港湾状況および主なる揚荷設備 (昭和39年9月現在)

会社名	港 名	水 路		バ ー ス		制限吃水	昭和43年度計画	主なる揚荷設備 (アンローダー 能力×基数)
		幅 員	水 深	長 さ	水 深		水路および バース水深	
八 幡 製 鉄	八 幡	220m	9 m	150m	9 m	8・5m		
	戸 畑	400	13・6	200 200 250	11 11 13・25	10・5 11・0 13・0	15	1,000 t/hr×2
	堺	250	12	250	12	11・0	14	
富 士 製 鉄 (東海製鉄)	室 蘭	300	13	250	13	13・0	14	1,000 t/hr×2
	釜 石	90	9・3	180	9・3	9・3		
	広 畑	220	12	230	12	11・8	14	700 t/hr×2
	名 古 屋	200	10	500	12	10・5	14	
日 本 鋼 管	川 崎	200	13・5	293 447 320	9 9 11・8	9・0 9・0 11・8		1,000 t/hr×2
	鶴 見	178	10	130	9	8・8		
	福 山						14	
住友金属工業	和 歌 山	200	13・5	172 365	9・5 14・0	9・5 14・0	14・5	500 t/hr×2
	小 倉			246	9・3	9・3	10	
川 崎 製 鉄	千 葉	250	12	501 291	9・5 12・0	9・5 11・8	14	500 t/hr×2
	水 島						12	
中 山 製 鋼	大 阪	120	8・2	300	9・3	8・0	12	
尼 崎 製 鉄	尼 崎	140	11・0	360	11・0	9・5	12	
神 戸 製 鋼	灘 浜	220	13・0	236 334	9・5 13・0	8・5 12・0		
大 阪 製 鋼	大 阪	150	10	180	9・4	9・2	10・5	
日 新 製 鋼	呉	制限なし		190	13・0			



船の現状と建造確定しているものを示すと表1・2・6の通りとなる。

この対策は現在著しい成果をあげておりたとえば輸入鉄鉱石では、その輸送距離は昭和32年～38年にいたる間に4,200海哩から約5,500海哩と伸びているにもかかわらず、運賃の入手価格に占める比率は56.9%から逆に37%と低下している。(表1・2・7参照)

(iii) 輸入原料の受入れ設備の改善：上述したように専用船の就航が本格化するにつれて昭和35年頃を境として各製鉄会社の専用船受入れのための設備、すなわち航路、泊地、バースなどの港湾施設、揚荷設備および受入設備の整備、拡充が行なわれた。この事情は専用船の大型化、高速化および能率化が大きな要因をなしていることは論をまたない。

この現状を表1・2・8に示す。ここに見逃し得ないことは、この受入設備の整備は専用船の運航効率をさらに高めてその運賃を低位に安定化させることに寄与しているのと同時に、揚荷の能率が向上するから各製鉄所における早出料の収入が多くなり滞船料の支払いが減少して間接的に輸入原料の入手価格低下に役立っていることである。

### 3) 原料対策の成果

上述したような輸入原料に対する経済性への対策は技術的対策と相まって鉄鋼コストの低下に著しい成果をあげてきたことは明らかであるが、特に経済性への対策は輸入原料のコストの低下という点に著しい成果をあげてきたといえる。このことは以下の資料によっても明らかであろう。すなわち輸入鉄鉱石の全国平均価格は最近の約10年間にその品位は逐年向上したにもかかわらず、そのCIF価格は逐年低下の傾向をたどっている。

(表1・2・9)。

表1・2・9 輸入鉄鉱石のCIF価格の推移

年 度	30	31	32	33	34	35	36	37
Fe 品位 (%)	—	59.0	60.8	61.0	61.7	61.3	61.5	6.22
Fe 61% CIF 価格	18.04	21.38	23.16	15.84	14.80	14.82	14.51	14.30

注：(1) 単位 ドル/t

(2) 富士製鉄原料部資料による。

輸入原料炭の全国平均CIF価格は表1・2・10の通りで、その価格もまた、逐年低下の傾向をたどっている。

表1・2・10 輸入炭のCIF価格の推移

年 度	25	30	32	35	36	37	38
輸 入 炭 (強弱平均) CIF 価格	15.90	19.89	28.90	17.23	16.99	16.92	16.20

注：(1) 単位 ドル/t

(2) 昭和25～37年度は大蔵省通関統計による。

(3) 昭和38年度は通産省資料による。

さらに鉄鋼t当りの主要原料費(コークス費、鉄石費、焼結費、その他鉄源費)の推算を主要製鉄国のそれと比

較してみると表1・2・11の通りとなり、これによつても原料コストに関する限り日本の鉄鋼業はそのおかれていた原料条件の不利を克服して、それらの製鉄国と競争し得るだけのコストの低さであることがわかる。

表1・2・11 主要製鉄国の主要原料費の比較 (鉄鋼トン当り) (単位：ドル)

	1954(昭29)	1956(昭31)	1957～58(昭32～33)	1961(昭36)
日 本	39.94	51.70	44.80	38.80
西ドイツ	37.81	42.50	42.90	39.73
フランス	39.85	49.00	50.40	45.81
ベルギー	39.72	55.20	55.80	41.12
イギリス	35.45	41.90	43.50	40.17
アメリカ	36.25	35.80	37.20	38.73

(注：富士製鉄調査部原料部の資料による。)

### (2) 原料問題についての今後の展望

#### 1) 輸入鉄鉱石

前述したように鉄鉱石を量的に安定して確保してゆくことは今後とも問題はないものと思われる。価格の面では長期契約や輸送対策の成果により現在(昭和39年度)ではFe 1%当り平均CIF価格は塊鉱で約23セント、粉鉱で約21セントくらいであるが、近い将来において塊20～19セント、粉17～16セントくらいにまで低下させる可能性は十分あるものと思われる。質的な面では最近における焼結鉄の生産の増大とともに粉鉄の利用が促進されている。わが国の供給ソースであるインド、濠州、南米の鉄床はスベリオル湖型の鉄床でこの鉄山の特性は鉄石が粉化しやすく特にブルー・ダストといわれる微細粉鉄が大量に発生するのであるが、これはそのままでは焼結原料とすることはできない。したがってこれを山元でペレット化して活用することは資源の有効利用および生産費の低減という点で重要となつてきた。新しい原料としてペレットが最近注目されてきたのは山元におけるこのような事情にもよる。

#### 2) ペレット

従来日本の鉄鋼業は鉄石の整粒と自溶性焼結鉄の使用増が製鉄原料面における技術面の対策の頂点をなしているのであるが、最近高品位ペレット鉄の使用による生産性の向上がこれにつぐ原料対策として検討されている。わが国では昭和27年(1952年)より堅型炉により本格的なペレットの製造が開始された。海外では1912年スウェーデンで研究開発されて以後30年を経てアメリカで始めて本格的にとりあげられた。現在アメリカでは1960年の生産能力で1,500万tに達し1965年には4,700万t、1970年には8,700万tの生産が行なわれるものと予想されている。このようなアメリカにおけるペレット生産の発展の背景と考えられる事情には次の2点が考えられる。(イ) アメリカの鉄鋼業の発展の基礎となつてきたメサビ鉄床の枯渇化が予想され、これにかわる鉄源として同鉄床の貧鉄であるタコナイト鉄をペレット化することが要請されたこと。(ロ) 高炉の生産性の向上をはかるためペレットのような高品位に整粒された原料の需要が高まつたこと。



このような事情からアメリカにおけるペレットの使用は従来の焼結鉱をしのぐ発展をするものと予想されている。

しかしわが国の鉄鋼業の場合には海外の多数の鉱石供給源に依存しているから、多種類の粉鉱石のペレタイジングは實際上経済的にはあまり得策ではなく、現在の焼結能力を増強していけば十分であるとし、ペレットの購入についても経済的に引き合うならば購入してもよいという考え方であつた。しかしながら最近においては次のような事情からペレットの購入一使用の可能性が非常に強くなつてきている。すなわち(イ)(2)-1)に述べたような鉱山における資源的な事情、(ロ)処理技術の進歩、すなわち、アメリカのペレタイジングは磁性のタコナイトを微粉砕した後に磁選して得られる磁鉄鉱の粉鉱を主体としてきたが、最近の処理技術の進歩により赤鉄鉱や褐鉄鉱でも経済的にペレタイジングができるようになったこと、および(ハ)製鉄所の利益の面、すなわち高炉の生産性の向上やコークス比の低下が可能であり、この点のメリットは自溶性焼結鉱のそれと十分に匹敵すること、また山元製造のペレットを購入すれば焼結設備の拡充のための建設費は節約される。その他鉱石の破碎や構内の運搬の面でかなりのメリットが計算される。

なおペレット使用のメリットと使用上の問題点については本編の高炉操業の項目で述べられているから省略する。いずれにしてもペレットは今後の新しい原料として重要な地位を占めるであろうから、次の諸点について綿密周到な研究と試験を十分行ない、一刻も早く結論を出すよう関係者の一層の協力を期待する。(イ)ペレットと自溶性焼結鉱と整粒鉱石のメリット比較、(ロ)ペレットの性状に起因する高炉操業上の問題点、(ハ)ペレットの性状についての試験方法の研究および(ニ)ペレットの購入規格などである。

### 3) 原料炭

コークスの高炉操業におけるエネルギー源としての地位は製鉄技術の革命的な変化が起こらない限り変わらないであろう。したがつて今後当分の間コークスの原料である強粘結炭はアメリカ炭をベース・コールとし濠州、カナダおよびソ連からの輸入炭に依存することは変わらないであろう。しかし前述したように価格の高いアメリカ炭から価格の安い濠州炭へその使用割合のウェイトが移るようコークス製造技術者の一層の研究を期待するものである。そして供給ソースの転換、専用船の活用などの経済面の対策と併行して重油の吹込み、高圧操業など技術面の対策とともに高価なコークスの節約のための努力はさらに続けられる必要がある。

これに対し、国内炭の問題は複雑である。というのは国内炭は輸入弱粘結炭に比較してメリッ的に高価であるということは明らかであるが、それだからといつて経済性の面のみで輸入炭に切換えることはできない。日本の石炭業はその国民経済に占める地位よりみて石油による石炭の代替えというエネルギー革命の進展のうちに国家による保護政策をうけ、その被護のもとに合理化を推進してゆき、外国炭に比較して高炭価という弱点を克服しなければならないという至上命令を受けている。した

がつて鉄鋼業としても単なる経済性の面からのみ国内炭の高炭価問題に対処することができない。したがつて、日本の鉄鋼業としては石炭業の企業努力による価格の低下を期待する以外はないというに止まる。ただここに鉄鋼、石炭両産業界のみでなく、広く政府を含めて研究、開発しなければならない課題がある。これは弱粘結炭または非粘結炭を主原料とする高炉用コークス製造技術の開発である。昭和38年7月に科学技術庁の資源調査会がこの種の技術の開発、促進を勧告したことにより、ようやく実用化の規模での工業化試験が開始されようとしているもので実用化が期待できるもの、また経済的にも実現可能性が大きいものとして国家予算による補助金を支出しているものがある。それは次の2方法である。

(イ) 予熱炭装入法：石炭を予熱処理してコークス炉に装入する方法で一般炭（非粘結炭または微粘結炭）の水分を除去することにより、石炭中の粘結成分の密度を高め、また加熱の上昇による粒子間の融着促進効果を期待するものである。現在のところ配合炭の種類によりいろいろ問題点があるが、強粘結炭配合を40%以下に抑え、一般炭を10~20%混炭できるとの一応の見通しが得られている。この方法は石炭技術研究所が実施し、昭和39年9月~10月にわたり試験、研究する段階にある。

(ロ) 成型炭全量装入法：西ドイツで開発され、ザール地方の製鉄所において高炉用コークス製造に実用化されているもので、強粘結炭をルール地方に依存する場合、1,600円~1,800円高となる運賃負担の不利を解決しようとするものである。

その原理は成型による粘結成分の密度向上によるもので実績によると次のような配合割合で濃裂強度90程度の高炉用コークスが製造されているといわれる。

アーヘンの強粘結炭	15%
ザールの弱粘結炭	65%
ザールの非粘結炭	20%

日本では八幡製鉄所に昭和40年2月までに成型機を導入し、40年3~9月にわたり、試験を実施する予定になつている。これらの研究成果については大いなる期待をもつて見守るものであるが、わが国の一般炭がこれらの新しい技術の成果により原料炭に代替することができ、またそのコストがコークス原単位の悪化をカバーすることができたとしても、高炉生産性の低下、資本費の増加など経済性の面から実用化するまでにいろいろ解決しなければならない問題をもつものと思われる。

### (3) 結言

以上は、戦後日本鉄鋼業の発展に伴つて、製鉄原料を中心とするような問題があり、そしてそれがどのように解決されてきたかについて概説した。しかし日本の鉄鋼業の将来は決して楽観を許さないものがあると思う。けだし、日本の鉄鋼業はその生産設備の大部分は戦後完全に新しく建設されたものであり、欧米のそれのごとく戦前からの老朽設備を修繕したり、または、拡充したりしたものと趣きを異にしているからである。技術の進歩はまことに驚くべきものがあり、最新鋭の設備を緻密な計画により建設されたものは当然老朽設備のものとはその能率において大きな開きがあることは論をまたないこと

ろである。近時欧米の製鉄国はこのことに着目し、まったく新たな構想の下に新しい設備や新しい製鉄所を建設せんとする意欲が旺盛となり、すでに幾多の臨海製鉄所の建設が行なわれている。今後ますます世界の主要製鉄国間の市場競争は激しくなることは必然の傾向である。このために主要製鉄国の鉄鋼業が最も力を注いでいる目標は(イ)生産性の向上(ロ)経済性の追求である。このような目標に対する原料面の対策として次のような傾向をとりつつある。すなわち(イ)いずれも品位の優秀な鉱石を求めて海外依存度を高めつつあるが、新しい原料の使用に努力しておる。米国におけるタコナイト鉱床の活用(ペレット)および欧州主要国によるアフリカ西部鉄鉱山の開発(モリタニア、ギニア、ニンバ地区)がその顕著なものである。(ロ)輸入鉄鉱石の増大による輸送距離の遠隔化、またはその経済性の不利を克服するための専用船の就航、臨海製鉄所の建設などである。従来日本の輸入原料中、鉄鉱石だけは世界の水準に比して品質的にも経済的にも決して見劣りしないばかりでなく、むしろ一歩先んじていること、また幾多の対策によつて原料コストは十分国際的に競争力を持つていることは明らかであるが、今後数年後に欧米諸国にふたたび先を越されないとは何人がこれを保証し得ようか。

最後にふれておきたいことは技術の公開ないしは共同研究である。特に欧州諸国の技術の公開、協同研究はきわめて積極的であり、すでに多くの共同研究所が設立され、最も効率的な成果をあげているが、これに反して日本はほとんど多くは未公開ないしは社外秘扱いにされている。

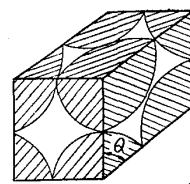
元来、日本は競争が美德の範疇に属し、いかなるものも競争の名の下に成長されてきたかの感がある。大鉱山を共同して開発してこそ価格も下り、外国との競争にも対抗し得るにもかかわらず、単独に開発をしたり、購入することのほうが得策であるような錯覚が多くあるように思われる。各社の自主性は大きい尊重しつつも共同開発、共同購入、共同研究のための体制をますます強固にしたいものである。しかしながら、日本では多くの創意工夫が競争意識の下に誕生してきた歴史的事実を考えると、競争心をまったく無意味なものとして否定する意志は毛頭ない。ただ、日本鉄鋼業界全体が広く海外製鉄業界の動向を注視し、よく大局的判断を誤らず、いたづらに国内相互の競争に精力を消耗することなく、協同することによつてそれが明白にプラスの結果が得られるならば、大同団結の精神を発揮し、ことにあたるべきだと強調したいのである。経済行為と技術活動において、協同によるほうがプラスであると判断されるのはいかなる場合か。それは具体的には非常に複雑であるが、「日本鉄鋼業のための合理性の追求」なる理念が貫徹されていけば、何人も必ずや具体的事象に関し、共通の一致点を見出すに違いないと確信するものである。鉄鋼業界の正しい発展は祖国日本の発展につながる道だと信じつつ、結びとしたい。

1.2.2 整粒および均鉱

(1) 整粒の意義と効果

高炉は、上昇する還元ガス、下降する装入物の向流系における、移動充填層の反応装置であるといえる。したがつて、高炉装入鉱石は、反応速度を高め得る状態でガス透過性を保持することが必要な条件となつてくる。

1958年 McKewan<sup>1)</sup>は、還元ガスによる鉄鉱石の単位時間当り還元量が、鉄鉱石の表面積に比例することを実証したが、鉄鉱石反応量の増大は、小粒整粒化の方向であることを示すものである。一方、装入物の有すべきガス透過性は装入物の全空隙率に左右され、最大空隙率は装入物全粒子を全く均一な粒径にするか、装入物を各サイズに分類しおのおのを完全に層別して装入するときを得られることを、たとえば、Hrubisšekの理論計算<sup>2)</sup>、Slichterの模型<sup>3)</sup>(図1.2.1参照)などにより容易に知



空隙率  $\epsilon$   

$$= 1 - \frac{\pi}{b \cdot (1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 - \cos \theta}}$$

③

図 1.2.1 Slichter の模型

ることができる。しかし、この最大空隙率を工業的規模において望むことは実際的でない。1957年 Joseph<sup>4),5)</sup>は、2種の異なるサイズの物質を混合すると空隙率が減少することおよび、充填層の通気抵抗が平均粒径の1.2乗に比例することを発表し、図1.2.2~1.2.3を示した。これらによると9.43mm以下を除去し、サイズ比

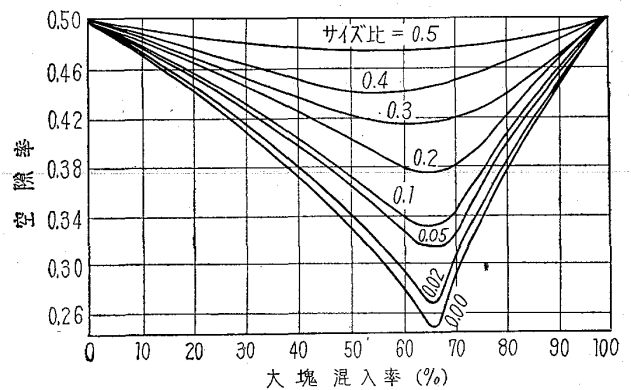


図 1.2.2 空隙率におよぼすサイズの影響

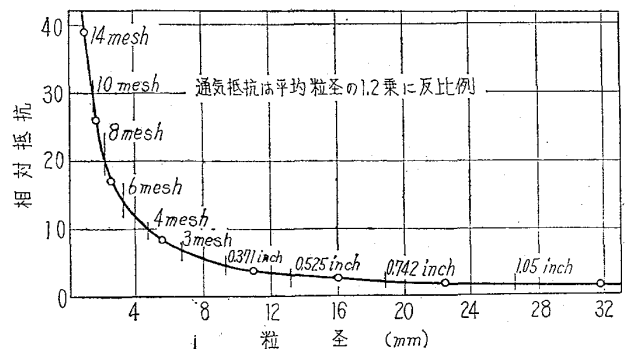


図 1.2.3 粒径と抵抗との関係

0.5 程度にするとガス透過性がいちじるしく改善されることを知り得て面白い。

高炉炉底部のガス圧力が、装入物の通気抵抗、送風量および送風温度と密接な関係を有していることは一般によく知られている。したがって、もし装入物のガス透過性が改善できたならば、送風量を増すか、送風温度を上昇させるか、いずれかの高炉操業手段が可能となってくる。

昭和28年7月、鉬石処理設備が富士広畑に完成<sup>9)</sup>して以来、各社共相次いで鉬石の整粒設備を増強したが、図1.2.4の国内高炉稼動概況に示されている、昭和29年から昭和36年までのコークス比低下、出銑比上昇は、主として、この鉬石の整粒効果に負うところが大きい。

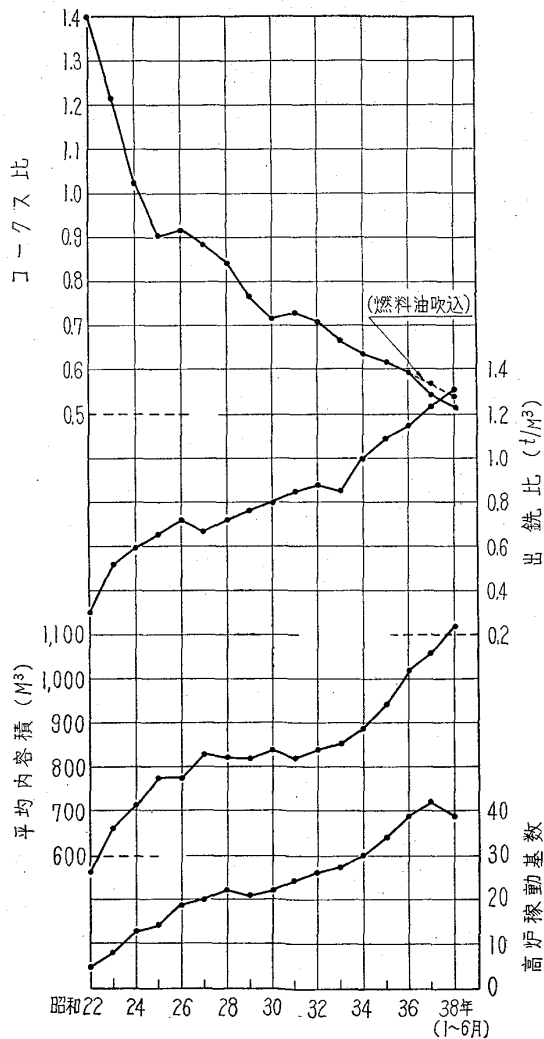


図 1.2.4 日本全社 高炉稼動概況

最初はずり大塊を押えることに意義を置いた整粒方法も整粒理論に沿って発展し、小粒部分の徹底的篩別と最大サイズの縮小化が本邦における整粒の歴史となっており、その効果として、以下のようなものが報告されている。

イ) 八幡東田第3高炉の整粒による増産試験<sup>7)</sup>

焼結鉬 50%, 10~25 mm 塊鉬 50% で増風し出銑比 1.98 を記録したが、出銑作業面における限界が生じた。

ロ) 住金小倉における整粒前後の操業比較<sup>8)</sup>

50%配合の塊鉬に関し、10~35 mm を50%より80%に上昇させた所、出銑量17.6%増、コークス比6.5%減。

ハ) 富士広畑における整粒鉬操業試験<sup>9)</sup>

10~20 mm 鉬石は10~40 mm 鉬石に比し、塊鉬30%配合で約30 kg/tのコークス比減、約8%の出銑増を記録した。

ニ) 中山製鋼における鉄鉬石の整粒<sup>10)</sup>

55%塊鉬使用時、10~35 mm をまで75%まで高めたところ、コークス比約20 kg/t減、ガス灰量約10 kg/t低下した。

ホ) 鋼管川崎第2高炉における整粒効果<sup>11)</sup>

58%塊鉬使用時、⊕ 40 mm 1%減は2 kg/tのコークス比減となり、その割合で出銑量が増加した。

ヘ) 川鉄千葉における整粒効果<sup>12)</sup>

40%塊鉬使用時、トップサイズを40 mm~35 mmにしたとき、コークス比は2~3 kg/t減少、出銑量は5%上昇した。

ト) 富士室蘭における整粒効果<sup>13)</sup>

35%塊鉬使用時、10~25 mm が1 kg/t-p増加するとコークス比は0.03 1kg/t低下し、出銑量は0.63 t/日増加した。

すなわち、装入物の平均粒径および粒度範囲(サイズ比)が異なれば、通気抵抗が変化し、高炉生産性に明確な変化を与えることがわかるが、通気抵抗指数を Ergun の式<sup>14)</sup>(第①式)で求め、これと出銑比との関係を、上記諸報告の内、サイズ比が明確になつている八幡東田、富士広畑、川鉄千葉の成績により検討、その結果を図1.2.5に示しているが、整粒の効果が明白にうかがえる。

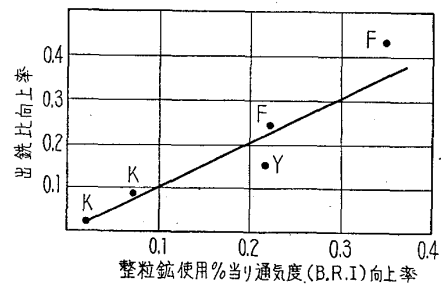


図 1.2.5 整粒効果

$$(B.P.)^2 - (T.P.)^2 = (B.R.I.) \times (W.R.)^2 \times (W.H.)^3 / (W.V.)^2 \dots \dots \textcircled{1}$$

- (B.P.) ; 送風圧力 (psia)
- (T.P.) ; 炉頂圧力 (psia)
- (B.R.I.) ; 装入物通気抵抗指数
- (W.R.) ; 送風量 (scfm)
- (W.H.) ; 炉内有効高さ (ft)
- (W.V.) ; 炉内有効内容積 (cuft)

(2) 整粒設備の変遷

1) 整粒設備のレイアウト

a) 2次破碎処理設備の設置 富士広畑の鉬石荷揚系統には、従来、トロンメルと碎鉬車による1段破碎処理設備が設置されていたが、昭和28年7月、2段破碎

処理方式に改造された (図1・2・6). また昭和32年5月には八幡洞岡17番岸壁処理設備 (図 1・2・7) が建設, その後, 昭和32年10月には八幡東田, 昭和33年3月には鋼管鶴見, 昭和34年7月には富士室蘭と, 相次いで原料処理設備が改造され, 2次破碎処理装置を有するようになった。

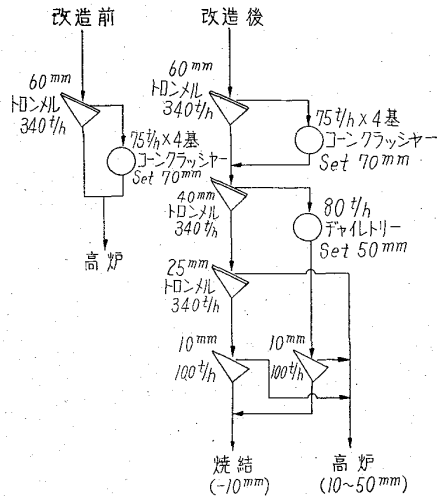


図 1・2・6 富士, 広畑旧処理設備系統図

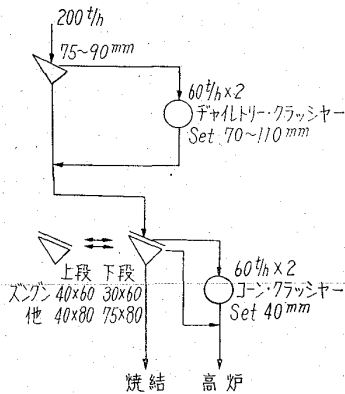


図 1・2・7 八幡, 洞岡17番岸壁処理設備系統図

この段階での特徴は, 最大粒度を確実に 50 mm 以下にそろえようとしていることと, 上昇する輸入鉄粉率に対処して荷揚鉄石中の粉鉄を積極的に除去する篩別装置を併置していることである。しかし, 2次破碎により生じた粉鉄は, 依然として高炉用塊鉄中に混在している状態であった。

i) サーキュレート処理方式の採用 2次破碎による整粒強化によつても, 50 mm 以上のオーバーサイズを 10~20%以下にすることは困難であり, また, 最大粒度を 40 mm, 30 mm と, さらに細かく規制する試みが出てくるとともに, 強化した破碎により発生する粉鉄も徹底して除去する必要度が高まり, ここに所定サイズ以上のものは再び破碎機に戻されるサーキュレート方式が採用されるにいたつた。

昭和31年12月, 中山は図 1・2・8 のような設備を採用し

たが, その後, 各社とも, 表1・2・12に示すように, サーキュレート方式への改造, 新設を相次いで完成させた。

この段階での特徴は, 整粒強化に伴い, 焼結用粉鉄が粗大化してきたことであるが, 表1・2・12の住金と歌山の設備は, これに対処して, 8~15 mm サイズを全量  $\ominus$  8 mm に破碎できるプラントとなつており (図1・2・9), 同様な考えの必要性は, 八幡戸畑をはじめ, 各社の主張するところとなつてきている。

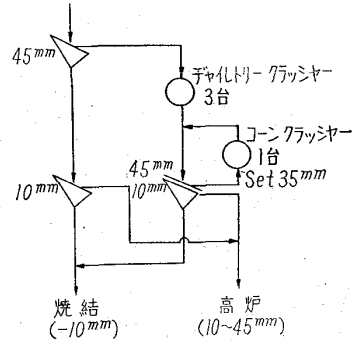


図 1・2・8 中山処理設備系統図

表1・2・12 各社原料処理設備設置状況 (サーキュレート方式)

工場名	建年	備月	処理方式	塊鉄サイズ mm	処理能力 t/hr
神鋼・灘浜	昭 34.	12	2段破碎・3段篩別	8~40	600
住金・小倉	昭 35.	13	〃・4	10~35	300
川鉄・千葉	昭 35.	42	〃・5	10~40	1,000
富士・広畑	昭 35.	112	〃・2	10~40	600
八幡・洞岡16番	昭 36.	22	〃・4	8~40	300
住金・和歌山	昭 36.	22	〃・4	15~40	600
八幡・戸畑	昭 37.	32	〃・5	10~25	500
日新・呉	昭 37.	32	〃・3	6~30	600
富士・室蘭	昭 38.	33	〃・4	9~35	400

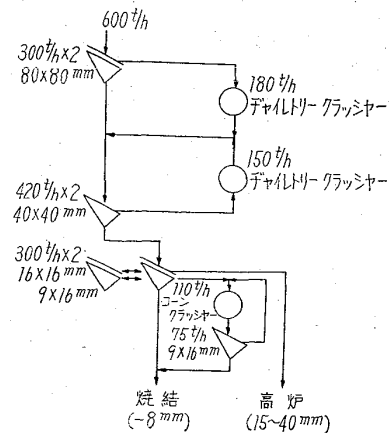


図 1・2・9 住金, 和歌山処理設備系統図

2) 破碎・篩別の装置

破碎に関してわれわれが使用している装置は、粗碎機としてチャイロトリクラッシャー、中碎機としてコーンクラッシャーが一般的であるが、破碎能率の点からチャイロトリクラッシャーを1次破碎機として使用することには検討の余地があるという八幡洞岡の報告<sup>15)</sup>もある。

また、鋼管鶴見の報告<sup>16)</sup>によると、破碎後の粒度は、銘柄および破碎前の粒度よりむしろ破碎機のセッティングによる影響の方が大きいことが調査されている。したがって、整粒強化は、セッティングの頻繁な調整を前提とせねばならず、ここに、近年採用された油圧による hidroセッティングシステムの意義が認められねばならない。 hidroコーンクラッシャーは、鉄片など破碎できぬもの

の混入に関して、これを自動的に排出する油圧回路を有しており、特筆に値する破碎装置とえるが、破碎後の粒度を球形に近づけてパッキング理論上の理想状態を望んだり、またできるだけ破碎による粉塵発生を抑制する見地よりすれば、今後に残された新機種の開発は、重要な問題となつてくる。

篩別に関しては、振動篩が通常用いられていて、タイロク型、リップフロー型、ローヘッド型とその機種は多く、諸条件の差異により適当に選択されているが、最近、エヤースプリングの採用により、機体の寿命延長が計られるようになった。

篩別能率上、もつとも問題なのは、粘性鉱石の処理である。神原達<sup>17)</sup>は図1-2-10により、鉱石の粘性が、特定の粘結成分と水分の相互関係により大きく左右されることを示したが、かような粘性鉱対策として、ルーズロッドデッキ型篩の開発、または篩工程を幾度も通すレイアウトの採用などが実施されているが、まだ抜本的解決をみるにいたつてはいない。

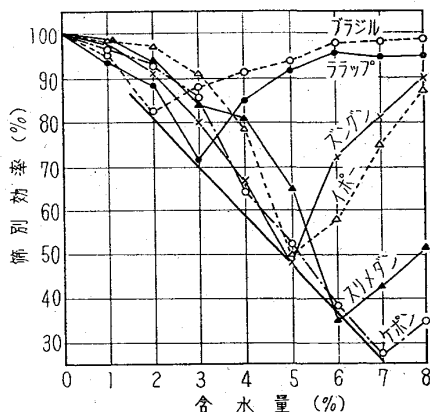
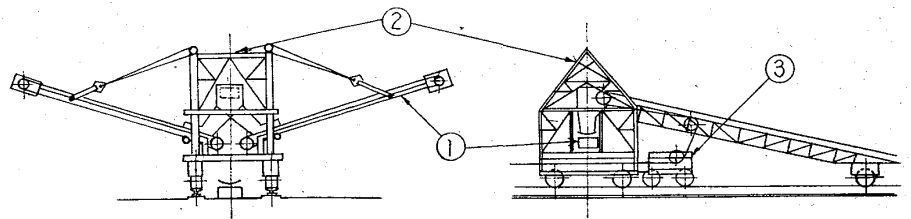


図1-2-10 鉄鉱石の篩別におよぼす含水量の影響

(a) スタッカー

- ① ウイングコンベヤー ② アームホイスト ③ トリッパ



(b) リクレーマー

- ① ハロー ② プローコンベア

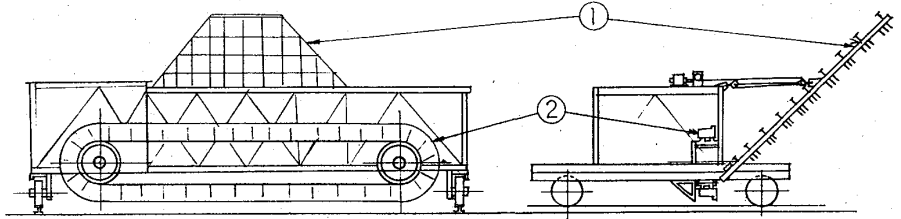


図 1-2-11 ベ ッ テ ン グ 設 備

(3) ベ ッ デ ィ ン グ 方 法 と 均 鉱 効 果

ベ ッ デ ィ ン グ 法 は 近 年 に 発 達 し た 技 術 で あり、元 来 は 石 炭 産 業、セ メ ン ト 産 業 に お い て、開 発、利 用 さ れ た 手 法 で あ っ た が、最 近、鉄 鋼 界 に お い て も、均 質 な 高 炉 装 入 原 料 を 得 る た め に 採 用 す る と ころ が 増 え、川 鉄 千 葉、富 士 広 畑、八 幡 戸 畑、鋼 管 扇 島 が 現 在、ベ ッ デ ィ ン グ 設 備 を 有 す る に いた つ て い る。

ベ ッ デ ィ ン グ 設 備 は、層 厚 制 御 に 必 要 な コ ン ス タ ン ト フ ィ ー デ ィ ン グ 機、鉱 石 を 直 線 に 沿 つ て 落 下 さ せ 層 状 に 堆 積 さ せ る ス タ ッ カ ー、お よ び プ リ ズ ム パ イ ル の 一 端 か ら 鉱 石 を 掻 き と る リ ク レ ー マ ー の 3 要 素 よ り 構 成 さ れ て お り、図 1-2-11 に は、米 国 Hewitt-Robins 社 製 の ス タ ッ カ ー お よ び リ ク レ ー マ ー を 示 し て い る。

ベ ッ デ ィ ン グ 方 法 と し て は、図 1-2-12 が 示 す よ う に 3 種 の 方 法 が 考 え ら れ る。フ ァ イ ン コ ン ト ロ ール 法 は、す べ て の 鉱 石 を 同 一 の 安 息 角 で 積 む こ と を 前 提 と し て い る が、湿 分 の 変 化、落 下 時 の 慣 性 効 果 な ど に よ り 実 際 に は 難 し く、ま た、リ ク レ ー ム す る と き は、鉱 石 の カ ス ケ ー デ ィ ン グ (流 れ) 防 止 の た め、安 息 角 以 下 で 切 り 出 す こ と が 必 要 と な り、端 部 の 安 息 角 は 大 き な 意 味 を 持 た な く な る エ キ ス ト ラ フ ァ イ ン 法 は、各 鉱 石 の 安 息 角 が 異 な つ て も 可 均 一 な 端 部 処 理 が 可 能 な 長 所 が あ る が、作 業 性 お よ び 貯 鉱 能 力 の 点 で 問 題 と な る。こ れ ら に 対 し、ス タ ン ダ ー ド 法 は、面 積 当 り 最 大 の 貯 鉱 量 を も つ と も 容 易 に 得 る こ と が 可 能 な が、端 部 に 関 し、こ れ を 再 ベ ッ デ ィ ン グ す る な ど、特 別 な 配 慮 が 必 要 と な る。し か し、高 さ の 低 い パ イ ル で は、端 部 効 果 を 無 視 す る こ と が 可 能 と 一 般 に は い わ れ て い る。

均 鉱 の 効 果 と し て は、つ ぎ の よ う な こ と が あ げ ら れ る。

ア) 少 量 多 種 銘柄 の 鉱 石 を、鉱 石 庫 の 制 限 な し に、計 画 的、か つ 同 時 に 使 用 で き、高 炉 装 入 時 (ま た は 焼

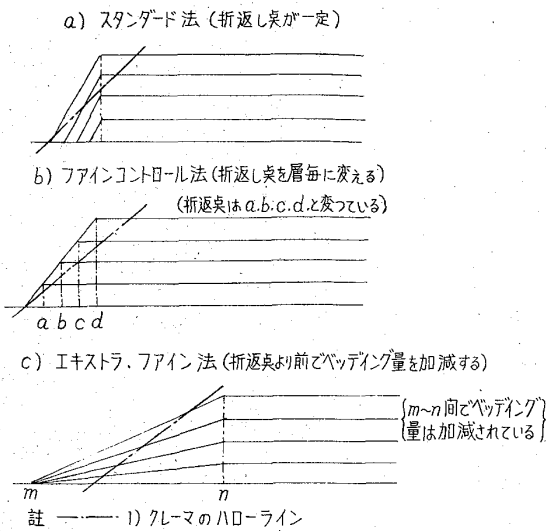


図1.2.12 ベッディング方法

結原料切り出し時)の銘柄変更回数を減らすことができる。

イ) 鉱石のベッディング処理により、装入鉱石の成分変動を小さくすることができる。

ウ) ベッディング処理により、鉱石銘柄が整理されるので、とくに塊鉱石に関しては、炉前秤量時間が短縮され、高炉への捲揚装入能力が増大する。

文 献

- 1) W. M. MCKEWAN: Trans. AIME, 212 (1958), p. 791
- 2) J. HRUBISEK: Kolloid Beihefte, 53 (1941), p. 385
- 3) C. S. SLICHTER: U. S. Geol. Survey, 19th ann. rept. 2 (1899), p. 301
- 4) T. L. JOSEPH: B. F. and Steel Plant, May. (1957)
- 5) T. L. JOSEPH: B. F. and Steel Plant, April (1957)
- 6) 若林敬一: 富士製鉄技報, 第4巻, 第1号 (昭和30年)
- 7) 鉄鋼共同研究会, 製鉄部会, 第16回資料
- 8) " , " , "
- 9) " , " , 第23回資料
- 10) " , " , "
- 11) " , " , "
- 12) " , " , "
- 13) " , " , "
- 14) S. ERGUN: Ind. Eng. Chem., 45, 477 (1953)
- 15) 鉄鋼共同研究会, 製鉄部会, 第14回資料
- 16) " , " , 第12回資料
- 17) 神原健二郎, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 309 ~312

1.2.3 粉鉱処理法

(1) 粉鉱処理に関する問題点

高炉能率の向上のために、鉱石の整粒を強化してきたことは前述の通りであるが、粉鉱発生量は、これに伴な

って増加してきた。その他、米国タコナイトにみられるような、選鉱による高品位粉鉱の発生、または、山元における粉鉱比率の増大など、これら一連の現象は、粉鉱処理技術に対する関心を、近時とみに増大させてきている。

粉鉱塊成法としては、古くから種々の方法が開発されているが、特殊な用途を除き通常、その量産適性により焼結法およびペレタイジング法が選択されている。前者は、高炉々前での篩下粉など、比較的粗い原料の処理に適し、後者は、山元または鉱石集荷地における磁選精鉱など、微細な粉鉱に対し適しているというのが定説となっている。

したがって、ほとんどの高炉が炉前に焼結設備を有しているが、本邦の場合、焼結法は、硫酸滓、砂鉄、スケールなどの国内資源を安価に使用できるというメリットも有している訳であり、本邦高炉における焼結鉱配合率は、図1.2.13のように、年々高まってきた。

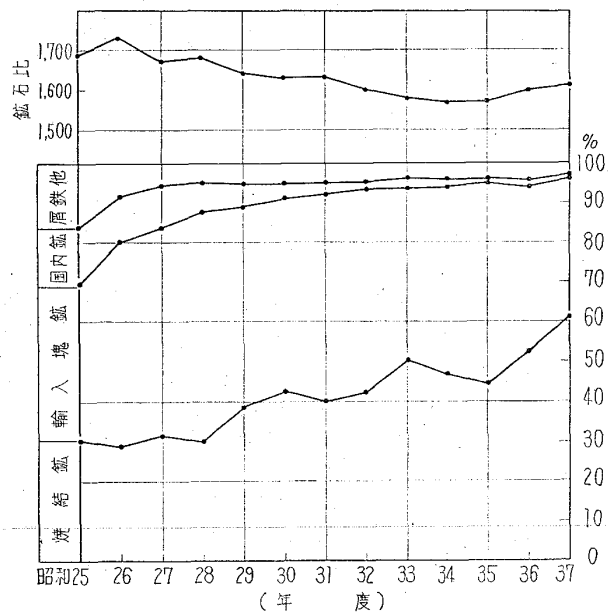


図1.2.13 日本全社 高炉主原料使用状況

この結果、焼結鉱性状が高炉操業におよぼす影響も重視され、多数の研究がなされたが、昭和30年頃には、石灰粉を原料中に配合した自溶性焼結鉱の基礎研究が始まり、昭和33~34年には、自溶性焼結鉱の多量装入試験を各社とも実施し、出鉄量増大、コークス比低下におよぼす顕著な効果を確認した。富士広畑<sup>1)</sup>、住金小倉<sup>2)</sup>、中山<sup>3)</sup>における成績などは、それをよく示しているが、この原因については、各社で良く研究されており、要約すると：—

ア) 難還元性の Fayalite ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) の生成抑制と、良還元性の Calcium-Ferite ( $n \cdot \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) の生成により、被還元性が増大すること。

イ) 石灰石の分解に要する高炉での熱量を節約すること。(高炉コークスより、安価な焼結用粉コークスで代替することになる。)

ウ) 高炉内で石灰石の分解が起こらぬため、鉱石の間接還元がさかんになり、ソリューションロスが減少

すること。  
 ようになる。

しかし、焼結鉍製造過程においては、塩基度と強度の管理がとくに必要となり、最近のような高塩基度焼結鉍 ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1.8\sim 2.4$ ) が登場するにおよんでは、高精度の切出装置、焼結用諸原料の粒度管理など、一層キメの細かい原料管理が必要となり、種々研究されている現状である。

また、ペレット製造プラントにおいては、発生するリターンの磨鉍費が、従来、コスト面で問題視されていたが、このペレットリターンを焼結原料にすると、焼結歩留が著しく向上して、焼結鉍およびペレットの製造原価に好影響を与えるようであり、昭和37年5月、D.L. 焼結機を併設した、川鉄千葉より興味ある報告<sup>4)</sup> が出されている。

## (2) 焼結原料の予備処理

### 1) 硫酸滓の脱銅処理

鉄鉍資源の大部分を海外に依存する本邦では、硫酸滓はきわめて重要な国内資源であるが、含有する Cu, Zn S などの不純物のため、高炉での使用には限度があつた。とくに鉄鋼成品の用途が拡大するにつれ、絞り性を阻害する Cu の排除は肝要な問題となつた。

昭和27年には、富士広畑は、工業化試験補助金を得て硫酸滓の脱銅設備を完成、再焙焼方式により平均45%の脱銅率を確保して、月間10,000 t の硫酸滓処理を行なつてきたが、昭和32年頃より、硫酸メーカーおよび山元での脱銅処理が徹底し、現在では、同和尼崎が、約11日間の操業周期で行なつている希硫酸浸漬法が、もつとも大規模な脱銅設備となつており、脱銅率も 50~60% と高く秀れている。

このため、富士広畑など、高炉々前での脱銅処理は、その目的が縮少し、昭和34年頃より自然休止の状態となつたが、このほか、住金小倉のバテントとなつている NaCl 法のように、焼結原料に 0.1~2% の NaCl を配合し、焼結反応過程で Cu を  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  として気化せしめるような方法もあり、今後とも、鉄鋼品質の向上を前提として、硫酸滓使用を考える限り、脱銅の研究は、必要不可欠となるであろう。

### 2) 微粉原料のセミペレット処理

貧鉍処理の際に発生する微粉磁鉄鉍や、流動焙焼に伴なう硫酸滓の微粒化により、微粉原料の予備処理が必要となつた。その一環として実施されたのがセミペレット処理法であり、昭和31年、富士広畑に最初の設備が稼働したが、その後、八幡、尼鉄にも設置されるようになった。

セミペレット処理は、焼結原料中の微粒硫酸滓および磁鉄鉍系微粉鉍を、造粒機により小粒ペレットとし、そのまま焼結原料中に混和し、焼結反応層の通気性を改善するものである。微粉鉍の造粒性は、水分、原料性状、粘結剤、造粒機の回転数と傾斜角、および処理量などによつて左右されるが、とくに水分の影響が支配的であり、適性水分以外では、いずれの要因を変化させても造粒不可能となるが、これは造粒機が、皿型、ドラム型のいかんにかかわらずいえることである。

セミペレット化による焼結性向上については、鶴野<sup>5)</sup> の試験鍋による報告のほか、実際操業における顕著な効果も確認されている<sup>6)</sup> が、輸送途上におけるセミペレットの破壊という現象も、八幡の報告<sup>7)</sup> にはあり、今後、セミペレットの強度保持を検討することが、急務となつている。

### 3) 焼結原料のホアペレット処理

微粉原料の擬似粒度を良好にする意味では、セミペレットと同様であるが、セミペレットが微粉原料のみ造粒するのに対し、ホアペレットは、焼結全原料の微粒部分を粗粒化しようとするものである。

大阪西島の 500 t/日 焼結機における2次ドラムミキサー、尼鉄の2次ボーリングドラム、大型焼結機については、富士広畑のボーリングドラム、八幡戸畑のリローリングドラム、鋼管川崎と水江、富士釜石のマルチブルコンペレタイザーと、造粒を目的とする2次混和機が登場し、焼結原料の通気度改善に大きく貢献してきている。

鶴野<sup>8)</sup> は、セミペレット、ホアペレット、セミペレット+ホアペレットの比較試験結果を図1.2.14に示したが、これによると、ホアペレットは、微粉原料15%まではセミペレットに優るが、それ以上になると効果が急

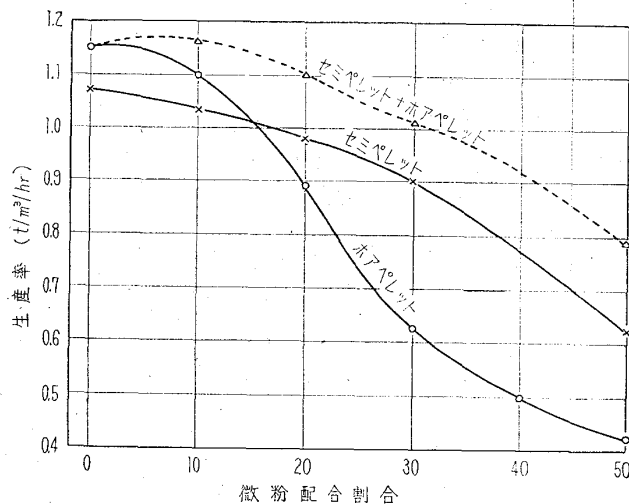


図1.2.14 富士広畑における、セミペレット、ホアペレットの効果

激に低下することを示している。したがつて現段階ではセミペレット、ホアペレット併用による、総合的微粒鉍処理がもつとも好ましいといふことができる。

## (3) 焼結設備の進歩

### 1) 焼結機に関する諸問題

昭和27年以前の焼結機は、バッチ式の A.I.B. または G.W. 機が主体をなし、連続式の D.L. 機は鋼管川崎、住金小倉、富士室蘭などに数基あるにすぎなかつた。昭和28年より八幡洞岡、富士室蘭、神鋼灘浜と、新型 D.L. 機が続々と出現し、昭和35年以降には、富士広畑 (113 m<sup>2</sup>)、富士室蘭 (118 m<sup>2</sup>)、八幡戸畑 (129 m<sup>2</sup>)、鋼管水江 (100 m<sup>2</sup>)、および東海 (180 m<sup>2</sup>) と、相ついで大型機が完成するにいたつている。戦後、D.L. 機が急速に発達したのは、設備改良により大量生産が維持できる



表 1・2・13 世界 における

国名	会 社 名	工 場 所 在 地	使用原料	選 鉱 法
ア メ リ カ 合 衆 国	Reserve Mining Co.	Silver Bay, Minn	磁 鉄 鉱	磁 力 選 鉱
	Cleveland-Cliffs	Republic, Mich	鏡 鉄 鉱	浮 遊
	" "	Ishpeming, Mich	"	"
	Erie Mining Co.	Hoyt Lakes, Minn	磁 鉄 鉱	磁 力
	Humboldt Mining Co.	Humboldt, Mich	鏡 鉄 鉱	浮 遊
	(Cleveland- Cliffs)			
	Bethlehem-Cracc	Grace Mine, Pa	磁 鉄 鉱	磁 力
	Bethlehem-Cornwall	Lebanon, Pa	"	磁 力, 浮 遊
	Cleveland-Cliffs	Republic, Mich	鏡 鉄 鉱	浮 遊
	Columbia-Geneba Steel	Lender, Wyoming	磁 鉄 鉱	磁 力
Reserve Mining Co.	Silver Bay, Minn	"	"	
Cleveland-Cliffs	Empire, Mich	"	"	
Bethlehem-Meramac	Missouri	"	磁 力, 浮 遊	
Hanna Mining Co.	Groveland, Mich	鏡 鉄 鉱	スパイラル	
カ ナ ダ	Bethlehem-Marmora	Marmora, Ont	磁 鉄 鉱	磁 力
	International-Nickel	Sudbury, Ont	黄 鉄 鉱	浮 遊, 磁 力
	Pickands-Mathers	Hilton, Ont	磁 鉄 鉱	磁 力
	International-Nicke	Sudbury, Ont	黄 鉄 鉱	浮 遊, 磁 力
	Carol Pellet Co.	Carol Lake, One	鏡 鉄 鉱	スパイラル
	Jones & Laughlin Steel	Adams, Kirkl	磁 鉄 鉱	磁 力
	Pickands Mathers Wabush	Point Noire, One	鏡 鉄 鉱	スパイラル
	Anaconda Iron Ore	Skibilake, Ont	磁 鉄 鉱	磁 力
M. A. Hanna	Moose, Manitoba	?		
ペルー	Marcona Mining Co.	San Juan	磁 鉄 鉱	?
ス エ ー デ ン	Luossavarra Kuruna Varra	Malmberget	磁 鉄 鉱	?
	" " "	"	"	?
	" " "	"	"	?
	川 崎 製 鉄	千 葉	粉 鉱, 硫 酸 滓	
	日 曹 製 鋼	八 戸	砂 鉄	
	矢 作 製 鉄	名 古 屋	粉 鉱, 硫 酸 滓	
	光 和 精 鉱	戸 畑	硫 酸 滓	

よくなつたことと、自動制御の採用が容易なシステムであることが最大の理由であるが、急速に大型化した段階で、パレット幅に関する問題と、排鉱部の構造的な問題点が、早急に検討を要する点として残されているようである。

また、主排風機に関しては、最近の機械製作技術の向上により、焼結面積 200 m<sup>2</sup> 程度までには対応できる機構と材質の水準と考えられるが、万一の故障を考慮してウインドボックスを2分割し、等容量の2台の主排風機を併置するプラントが出現しており、注目に値しよう。

#### 2) 焼結機の自動制御

昭和28年、八幡洞関に完成した 1,000 t/日 D.L. 機には、各種の自動制御が試みられ、以降に建設された焼結

機の範となつたが、とくに大型機の出現により、運転操作の集中管理、品質の安定、最大生産量の維持などを主目的として、配合原料水分制御、ホッパーレベル制御、パレット層厚制御、パレット速度制御など、各種の自動制御装置は、急速に開発が進められてきている。

配合原料水分の制御は、中性子の減速能が、水素に対するとき桁はずれに大きいことを利用して、添加水分量を制御するもので、焼結の安定操業上、相当の偉力を示した。

ホッパーレベル制御は、ロードセル方式、電極サウンジング方式、ラジオアイソトープ方式などがあるが、いずれを採用しても大差ないと思う。

パレット層厚制御は、静電式と接触式とがあるが、後

ペレット工場一覧表

ペレタイジング方式	生産量 (t/年)	稼動開始 年次	品 位		
			Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
水平炉 (マッキー方式)	5,000,000	1955	62.5		
回転炉 (アリスチャーマーズ方式)	1,000,000	"	63.08	8.55	0.47
水平炉 (マクドウエル方式)	660,000	"	64.0		
豎型炉 (サーフェス, コンバシジョン方式)	7,500,000	1958	62.0	9.03	0.38
回転炉 (アリスチャーマーズ方式)	800,000	1960	62.18	8.48	0.43
豎型炉 (サーフェス, コンバシジョン方式)	2,000,000	1961	66.60	2.80	0.70
"	330,000	1962	62.1		
回転炉 (アリスチャーマーズ方式)	1,000,000	"	63.08	8.55	0.47
水平炉 ( ? )	1,400,000	"	65.0		
水平炉 (マッキー方式)	4,000,000	1963	62.5		
回転炉 (アリスチャーマーズ方式)	1,200,000	"	64.0		
豎型炉 (サーフェス, コンバシジョン方式)	2,000,000	"	"		
水平炉 (ドラボー方式)	1,500,000	"	60.61	7.77	0.48
豎型炉 (サーフェス, コンバシジョン方式)	1,000,000	1953	63.71	4.14	0.85
水平炉 (ルルギー方式) (製鋼用)	300,000	1956	68.0		
豎型炉 (サーフェス, コンバシジョン方式)	800,000	1958	66.1	2.46	0.35
水平炉 (ドラボー方式) (製鋼用)	600,000	1963	68.0		
	5,500,000	"	64.95	4.65	0.40
回転炉 (アリスチャーマーズ方式)	1,000,000	1964	65.0		
水平炉 (ドラボー方式)	4,000,000	1965	66.0	2.25	
	1,500,000	?	(?)		
豎型炉 ( ? )	600,000	1963	63.0		
水平炉 (ルルギー方式)	1,000,000	1963	67.14	0.76	0.26
豎型炉 (LKAB方式) (製鋼用)	150,000	1955	68.50	0.70	0.40
" "	150,000	1961			
" "	6,000,000	1965			
豎型炉 (川 鉄 式)	1,250,000	1952	58.71	7.59	2.64
" (日 曹 式)	{ 35,000	1960			
" ( " )	{ 127,000	1962			
" (同和鉱業式)	{ 140,000	1963			
	120,000	"			

者の方が、装入面全般の変化を把握できて便利だとされている。

ペレット速度制御は、焼結終了点近傍、または全体の温度分布に基づいて制御を行ない、乱調防止対策としてフィードフォワード方式を加味したものもあるが、焼結進行状態を必ずしも正確に把握できぬ欠陥をもっている。蛍光X線などを用い、装入物の化学量を連続的に測定し、配合原料管理を十分に行なつて、外乱を少なくする制御方法も、すでに、検討段階にきている。

その他、今後考えるべき問題として、計算機制御がある。これは、計算機の学習能力、計算能力を利用して、与えられた鉱石配合に対する最適操業条件を選択し、品質の安定、最大生産量を維持することを目的としてい

る。しかし、明確な品質表示、検出端の精度、または制御化による利益の定量化など、難しい点もあつて、現在のところ、検討の域を出ていないが、今後の品質要求からして、鋭意、研究を進める必要があると考えている。

#### (4) ペレットについて

ペレットは、1911年スウェーデンで開発され、その後企業的には約30年間の空白があつたが、戦後、合衆国およびカナダで商業規模の生産に成功し、現在では、高炉生産性の向上にペレットは不可欠であるとする一致した意見に支えられて、ペレットの供給が需要に追付かぬ状態であり、北米地方のペレット生産高は、1964年には3,700万t/年が見込まれる段階まで、発展を続けてきている。

現在、ペレットを生産している国は、共産圏を除き、北米地方、南米、スウェーデン、および日本であり、表 1.2.13 に、その設備概要を示している。

ペレット原料粒度は、1956年のデータによると、0.06 mm 以下 75% が必要とされていたのに対し、1963年のデータでは、0.05 mm 以下 100% が必要となっており、ペレット製造技術の進歩の背景には、粒度分布改良が果たした役割も、とくに強調されるべきだといわねばならない。

造粒設備としては、ドラム型の歴史がもつとも古く、ディスク型、コーン型が、近年になつて開発された。原料の調整に関しては、焼結法より敏感だとされており、生ペレットの品質は成品ペレットの良否を左右するため、ペントナイトなどの結合剤の使用、または配合原料の鉄-シリカ比の管理など、造粒過程の最適値管理には問題が多い。

ペレット化法でもつとも重要な焼成工程には、シャフト炉型、移動グレート型、グレートキルン型の3型があるが、主としてスラグ結合により塊成する焼結法と異なり、1,100°C~1,350°C に生ペレットを焼成し、酸化拡散結合を行なうペレット法は、熱量原単位も少なくすむ。(表 1.2.14) とくに磁鉄鉱の場合は、赤鉄鉱の場合に比較し、約 100,000 kcal/t ペレットの熱量原単位を節約できるが、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> の酸化熱に基因している訳であり、実際の工程では、図 1.2.15 のような、焼成時間の差となつて現われてくる。

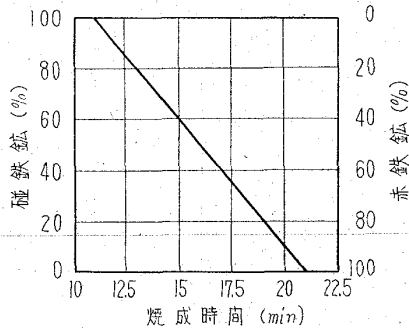


図1.2.15 焼成時間に及ぼす磁鉄鉱の影響

表1.2.16 各種ペレットの焼成熱量

銘柄	システム	鉱種	所要熱量 kcal/レベット(t)
Erie	Shaft	磁鉄鉱	126,000
Reserve	Mckee-Grate	磁鉄鉱	156,000
Groveland	Dravo-Grate	磁鉄鉱+赤鉄鉱	189,000
Marcona	Lurgi-Grate	磁鉄鉱	252,000
Republic	Grate-Kiln	赤鉄鉱	239,000~252,000
Empire	Grate-Kiln	磁鉄鉱	156,000~189,000
焼結鉄	D.L.		450,000~550,000

また、シャフト炉は、もつとも熱効率がが高いが、焼成雰囲気調整を行ない難いのが、致命的欠陥であり、とくにスペキュラヘマタイトを原料とする場合、他方法に比較して成品の品質は著しく劣るとされている。

このほか、焼成後におけるペレットの冷却速度も重要であり、極度の熱衝撃を与えて、成品強度を劣化せしめないように、十分、注意することが必要である。

以上、ペレット製造の概要につき述べてきたが、ペレット化法と焼結法は、互いに競争するものではなく互いに補足しあうものというべきであるが、高炉原料としてのペレットは、次のような点でとくに優れている。

ア) 加圧を受けずに整形されるため、微細な気孔を有し、被還元性に優れ、また、焼結鉄に比べると嵩比重が大きい。(焼結鉄 1.5~1.8, ペレット 2.0~2.4)

イ) 均質かつ球形であり、粒度も揃っているため、パッキング理論上明確なように、通気性が非常に優れ重量当りの表面積が大きい。

ウ) 高品位のため、スラグ量が少なく、コークス比が低下する。

なお、今後の問題として、還元ペレットおよび自溶性ペレットの製造が、北米地方ではかなり検討されているが、いまだ多くの問題を残している現状である。

文 献

- 1) 鉄鋼共同研究会, 製鉄部会, 第17回資料
- 2) " , " , "
- 3) " , " , 第15回資料
- 4) " , " , 第22回資料
- 5) 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 372
- 6) 鉄鋼共同研究会, 製鉄部会, 第22回資料
- 7) " , " , "
- 8) 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 373

1.3 高炉用コークスの製造

1.3.1 高炉用コークスに関する

試験および研究

石炭の構造研究よりはじまり、コークスの利用に関する研究までを含めて広範囲にわたる数多くの試験研究が外国およびわが国の科学者や技術者により報告されているが、天然高分子物質という化学的な研究対象として最も難しい石炭を原料として、一方成品コークスはプロセスの解析しにくい高炉において利用されるという宿命からコークスに関する技術は、科学的基礎に立つ近代技術の水準にまで十分高められているとはいえ、まだ経験を基礎にした技能によつて支えられている面が多い。今後コークス工業が近代化学工業に脱皮して行くには石炭化学の進歩にまつところが大きい。以下わが国における最近10年のコークスに関する広範囲な試験研究を簡単に概説する。

石炭構造やコークス化機構などの基礎的研究については、今後のコークス技術の進歩発展にとつて最も重要なものであるが、ここでは一応省略する。

コークス化性、粘着性ならびに配合に関する試験研究

については、K. B. S.\* 装置を使用してコークス用炭の分類配合における相性の判定およびコークス強度の推定を行なう研究が<sup>2, 3</sup>報告<sup>1, 2)</sup>されている。

同様に各種のプラストメーターによる石炭の軟化溶融現象およびコークス化性との関係についての検討も多数報告<sup>3)~6)</sup>されているが、これらはいずれも普遍的な結論を導くまでにはなっていない。また城が考察された繊維質部分と粘結成分による石炭配合の基本概念<sup>7)</sup>もある範囲の実用面では貴重なものであるが、あくまでも経験そのままである。配合に関する試験報告も多いが、ほとんど経験的な知識の積み重ねにすぎない。今後科学を基礎にしたこの方面の技術が強く望まれる。

コークス炉から押出されるコークスの塊の大きさやコークス塊の強度(耐破砕性)に深い影響をおよぼす乾留中の亀裂発生現象についても多くの研究<sup>8)~10)</sup>が行なわれている。本質的に亀裂の発生機構を研究したもの、亀裂度におよぼす乾留条件や炭種の影響を検討したもの、亀裂とコークス強度の関係を論じたものなどが主である。とくに吉田<sup>9)</sup>による第一次亀裂の発生、亀裂の成長の研究およびコークス板の返りによる押力とコークス化性の研究についての一連の報告は注目に値しよう。

石炭組織学の工業的応用としてフランスで開発された石炭を選択破砕し、組織成分を分離処理するSOVACO\*\*法<sup>11)</sup>が、わが国においても興味を持たれ、数年来この方面の基礎的および実用的試験研究<sup>12)~15)</sup>が行なわれてきたが、日本炭と欧米炭を比較すると原生植物、堆積条件および石炭化条件に差があるため、組織成分の物理的、化学的性質に違いがあり、ドイツやフランスで効果をおさめたといわれるこの方法も日本炭については、そのままの方法では効果が望めないことがわかった。これらの試験の結果選択破砕そのままの応用ではなく、炭種別に粉砕度をかえ、コークス強度や装入密度の向上に寄与する粉砕方法を確立する方向に進んでいる<sup>16, 17)</sup>。しかしそれぞれの石炭に適した組織成分の分離法(たとえば比重分離)と効果的な処理法(たとえば熱処理)の技術を確立することにより石炭組織学の工業的応用の将来性は望みがある。

石炭の乾燥および予熱法の研究はフランス<sup>18)</sup>で先鞭をつけ、その後ドイツ<sup>19)</sup>、アメリカでも研究<sup>20)</sup>されている。乾燥法についてはフランスですでに工業的規模で実施されて、それは熱経済、生産性、ならびに品質向上を目的とするものでその効果については明らかである。その設備や作業面に問題が残されているが、乾燥法については近い将来わが国においても採用される可能性は十分であろう。石炭予熱については一般炭利用の問題と関係があり、最近わが国においても研究や試験が行なわれている<sup>21)</sup>。

装入炭への油添加についてもいろいろ報告<sup>22), 23)</sup>が行なわれているが、試験内容や結果については大同小異であり、しかも実際にあまり工業的に応用されていないのは、経済性や作業上の面で問題があるためであろう。最近乾留後期に炭化室炉頂ガス空間部に天然ガスや油を添加する試験がソ連、チェコで行なわれたが吹込時の温度急低下による煉瓦への悪影響や火災の危険などがあり実

用化まで行かなかつたと報告<sup>24)</sup>されている。

フェロコークスの試験研究も古い歴史を持つが、数年前より再びドイツやアメリカで試験され、かなりの成果をあげている。わが国においても試験炉の結果<sup>25)</sup>や10カ月間にわたる高炉の実用化試験で予期以上の成績をあげた結果などが報告<sup>26)</sup>されているが、経済性を考慮した総合的な検討はまだ行なわれていない。今後粉鉱処理の問題としてフェロコークスの総合的検討を行なう必要がある。

一般炭利用を目的とする成型コークスの製造についても古い歴史があり、ドイツ、米国、英国および日本などにおいて、各種の製造法が検討されている。この成型コークスの研究は現在ソ連で最も盛んに行なわれており、最近加熱成型と連続式乾留を組合せたパイロットプラントで強度の高い冶金用コークスが得られている<sup>27)</sup>。成型コークスの将来については原料、成型および乾留炉などにいろいろ解決すべき問題が多い。最近西ドイツにおいて粘結性の少ない石炭を一部使用して、高炉用コークスを製造するのに装入炭をバインダーなしで全量加圧成型し、これを普通の室炉式コークス炉に装入して高炉用コークスを製造する方法が開発され、工業的規模で実施され、好成績をおさめている。わが国においても城氏らにより装入炭の一部を成型し、これを装入炭に混ぜることにより、装入量や強度の向上が期待されると報告<sup>28)</sup>されている。これらの方法の将来については、原料安および成品のメリットが成型などの処理費を十分上まわるかどうかによつて左右されるものと考えられる。

コーライト、オイルコークス、半瀝青炭などの低揮発分不活性物を配合して高炉用コークスを製造する方法はわが国においても十数年前は当時の原料事情を反映して盛んに研究<sup>29)~31)</sup>され、実際に工業的にも実施されたが、その後米国炭などの強粘結炭の輸入が行なわれるようになり、現在ではほとんど実施されていない。

乾留中における脱硫の研究は実験室的にはいろいろ成果をあげているが、工業的規模で実用されているものはない。その方法はおもに固体(または溶液)添加剤によるものか、気流中(不活性、還元性または酸化性)で乾留を行なうものである。最近の海外の文献によるとアルミン酸溶液やCaOの添加あるいは過熱水蒸気中や水素気流中で効果をあげた例が報告されている。還元気流、とくに水素気流中で熱処理するのが最も効果的であり、脱硫の本来の進む方向であるという研究者もいるが、一方別の研究者<sup>32)</sup>はB. C. R. A.\*\*\*の研究結果を総括して、実験室的規模の脱硫試験は誤まつた結論を導きがちであること、およびコークス炉ではガス体との反応によるコークスの脱硫の可能性はほとんどなく、硫黄を減らす方法は硫黄の少ない石炭を配合するほかないとの結論を出している。いずれにしる乾留中の脱硫技術が実用化にいたらないおもな理由は、硫黄の少ない石炭が存在するため、今後高硫黄炭の使用をせまられた時にこの問

\* Kattwinkel-Baum-Shimonura の略

\*\* Societe pour la Vaporization des Combustible の略称。別名 Burstlein 法ともいう。

\*\*\* British Coke Research Association の略

題がはじめて真剣に取り上げられるであろう。わが国においては従来脱硫に関する研究があまり報告されていないが、原料事情を反映して最近八幡製鉄において乾留中の脱硫の研究が進められている。

膨張圧に関する試験研究<sup>33)~35)</sup>は、膨張圧発生機構ならびに炭種や乾留条件と膨張圧の関係を取扱つたものが多く、膨張圧が炉壁にどのような影響を与えるかを力学的に研究した報告は海外の文献<sup>36)</sup>にわずかに見られる程度である。

操業に関する試験研究、たとえば乾留条件と成品の品質、歩留の関係、コークス炉の熱管理、そのほか多くの操業上の問題について多くの報告が行なわれているが省略する。

以上はコークス製造に関する研究を中心に概説してきたが、つぎに高炉用コークスの評価という使用者と製造者共通の問題に関連して、コークスの性質に関する研究や、高炉における利用についての検討について簡単に記す。コークス強度については強度の試験法、表示法、強度と乾留条件の関係および強度の本質的な意義について研究<sup>37)~39)</sup>したものがおもである。コークスの熱間強度の問題、強度の表示を一つの指数としてではなく、破碎による粒度変化として表示する問題、おのおのの強度指数の本質的な意義など、問題は多く残されており、従来部分的にとらえられたものを総括的に検討して行く必要がある。

コークス粒度に関する報告も従来断片的に数多く行なわれており、とくに最近では粒度調整や粒度表示の問題に着目されているが、高炉用コークスとして粒度をどのように評価するかという最も重要な面では必ずしも明確な結論を得ていない。コークス粒度と通気性ならびに高炉におけるコークス粒度に関する試験結果も2, 3報告されているが問題は残されている。

コークスの反応性についても、コークスの亀裂、組織粒度および乾留条件の影響を研究したものがおもで、反応性を高炉操業との関連において詳細に検討したものは少ない。しかし、コークス反応性の高炉操業への影響や羽口におけるコークスの燃焼状況を検討した報告が最近海外の文献<sup>40)</sup>などにしばしばみられる。この方面の研究も今後大いに注目されるべきであろう。

コークスの灰分や硫黄分については直接高炉との関連において着目されるものであるが、原料事情や選炭などに関連して経済的な限界をどのように決めるかが問題である。

そのほか気孔率、コークス組織、化学的構造、電気伝導度、熱伝導度、比熱などいろいろのコークス性状についての問題があるがいずれも評価の対象として十分研究されていない状態である。

以上簡単にコークス品位および評価の問題にふれたが今後は、個々の性状の研究と同時にそれらを総括的にとらえる研究が必要であろう

### 1.3.2 設 備

わが国の鉄鋼業は第二次世界大戦による設備の破壊、焼失とともに戦時中および終戦直後は鉄鋼技術もまった

くの空白時代を続け、再起を危ぶまれるような状態にあつた。しかし、このような設備、技術の麻痺状態から脱出するためいろいろ困難な問題にも打ち勝ち、第一次合理化計画の実施、続いて第二次、第三次と続く合理化計画の推進によつて、設備、技術とも飛躍的な進歩をとげた。このような情勢を背景にコークス部門においても設備の合理化、技術の革新が行なわれていつた。すなわち昭和24, 25年にかけて日本において各工場で品質管理の考え方が盛んに取り入れられるようになり、高炉用コークスの品質究明が進み原料管理、成品管理、計量管理などの必要性が強調され、これに伴い設備もいろいろ改善された。選炭関係では、まず過去の簡単な配合方式(テーブルフィーダー、斗車)から昭和28年には八幡製鉄において精度の高いポイドメーター式に改良<sup>41)</sup>され、コークス品質の安定に著しい効果をおさめ、各所で広く採用されるようになった。しかし、当初のポイドメーターは配合割合設定の精密性という点にあつたが、現在では精密度の向上はもちろん、輸送量の設定と水分補正もすべて遠隔操作で行なわれ、これに合せてベルトコンベヤーの操作も遠隔操作で行なわれるようになり、作業人員の減少と能率向上に寄与している。石炭の受入れ、払出しにおいてもコークス需要の増加に伴い石炭の取扱い量も増大し、港湾の拡張および石炭受入れ、払出し設備の合理化が行なわれ、岸壁は4~5万トン級の船が接岸可能なものに増強され、石炭の陸揚げ、貯炭、払出しは起重機によるブリッジ・トランスポーター方式(B・T方式)<sup>42)~44)</sup>に変わり、荷役時間の短縮、運転費の節減に効果を発揮している。一方このような石炭輸送の合理化はコンベヤー能力のほか石炭処理、設備に能力のアンバランスを招き、一部でU型コンベヤー<sup>45)</sup>が使用されるようになった。また粉砕機も能力が大きく電力費ならびに粒度調整上有利な反発式粉砕機<sup>43, 44, 46)</sup>が、従来のディスクインテグレーター型粉砕機に代つて昭和32年頃から広く採用されるようになった。そのほか近年の計装技術の進歩と合せて選炭工場の各所に改良がなされ、作業人員の減少および能率向上に効果を発揮している。さらに最近においては石炭の事前処理法として予熱乾燥装置、石炭脱水装置、粒度調整装置、篩分け装置および成型装置などの研究が進んでおり、選炭工場において将来これらの事前処理を採り上げるよう検討が行なわれている。

コークス炉設備においても第二次世界大戦で、ほかの産業部門と同様大きな被害を受け、またその上国内炭でさえも確保困難な状態のため終戦直後はほとんどのコークス炉が休止した。やがて原料事情も好転しはじめた昭和23年頃から終戦とともに休止していたコークス炉も再稼働をはじめた。しかし戦時中過酷な条件下で稼働したため、各コークス炉ともかなり老朽化が進んでいた。しかし昭和31年からはじまつた第二次合理化計画で製鉄部門への投資比重が増し表1.3.1に示すように各社で新設コークス炉がつつぎと操業を開始した。

しかし、ここで注目しなければならないことは、過去の模倣から自主的な技術開発が盛んに行なわれはじめたことである。すなわちその一つとして日鉄式コークス炉

表 1・3・1 昭和30年～昭和38年度に新設および改修稼働したコークス炉<sup>47)</sup>

会社	コークス炉名	操業開始年月	炉 型 式	炉室数
八幡製鉄	洞岡 No. 2 炉	昭 31・10	日鉄複式	75
	洞岡 No. 4 炉	昭 34・ 6	コップース複式	78
	洞岡 No. 8 炉	昭 37・ 4	日鉄複式 (アンダーゼット)	78
	戸畑 No. 1 炉	昭 34・ 7 (A) 昭 35・ 1 (B)	日鉄複式	96
	戸畑 No. 2 炉	昭 35・10 (A) 昭 36・ 3 (B)	日鉄複式	96
	戸畑 No. 3 炉	昭 37・ 3 (A) 昭 37・ 4 (B)	日鉄複式 (アンダーゼット)	81
富士製鉄	室蘭 No. 2 炉	昭 33・12	日鉄複式 (アンダーゼット)	73
	室蘭 No. 3 炉	昭 36・ 3	日鉄単式 (アンダーゼット)	73
	釜石 No. 4 炉	昭 30・ 9	黒田複式	35
	釜石 No. 1 炉	昭 33・11	日鉄複式 (アンダーゼット)	30
	釜石 No. 2 炉	昭 35・ 3 (A) 昭 36・ 5 (B)	日鉄単式 (A) 日鉄複式 (B)	40
	広畑 No. 2 炉	昭 32・ 4 (A) 昭 32・10 (B)	日鉄複式 (アンダーゼット)	68
日本鋼管	広畑 No. 1 炉	昭 35・ 9	日鉄複式 (アンダーゼット)	75
	大島 No. 5 炉	昭 35・ 4	T・N 式	80
	扇町 No. 3 炉	昭 36・ 4	オットー式	40
川崎製鉄	水江 No. 1 炉	昭 37・ 6 (B) 昭 38・ 8 (A)	ニュー・オットー式	86
	千葉 No. 2 炉	昭 33・ 3	ニュー・オットー式	60
	千葉 No. 3 炉	昭 35・11	ニュー・オットー式	74
住友金属	千葉 No. 4 炉	昭 37・ 3	ニュー・オットー式	74
	和歌山 No. 1 炉	昭 36・ 2	コップース式	70
	和歌山 No. 2 炉	昭 38・ 5	コップース式	50
中山製鋼	船町 No. 1 炉	昭 32・ 1	黒田複式	48
尼ヶ崎コークス	No. 2 炉	昭 32・ 8 昭 32・11	ニュー・オットー式	55
	No. 3 炉	昭 34・10	ニュー・オットー式	10
	No. 4 炉	昭 36・ 4 (A) 昭 36・ 8 (B)	ニュー・オットー式	80
三菱化成	黒崎 5 期 炉	昭 32・ 8	ニュー・オットー式	28
	黒崎 6 期 炉	昭 32・12	ニュー・オットー式	27
	黒崎 7 期 炉	昭 34・ 9	ニュー・オットー式	10
	黒崎 8 期 炉	昭 35・ 8	ニュー・オットー式	25
	黒崎 9 期 炉	昭 36・12	ニュー・オットー式	30
	黒崎 10 期 炉	昭 37・ 2	ニュー・オットー式	30
大阪ガス	黒崎 11 期 炉	昭 38・ 7	ニュー・オットー式	33
	北港 No. 1 炉	昭 35・ 1	オットー式	35
	北港 No. 2 炉	昭 35・ 1	オットー式	35
	堺 No. 1 炉	昭 38・11	大阪ガス・オットー式	100

の改良<sup>48),49)</sup>があり、富士製鉄広畑製鉄所では日鉄式にアンダーゼット方式を取入れたコークス炉が操業をはじめた。また、そのほか炉体中のガスの流れを改善するための設計上の改良、蓄熱室での熱効率を良好にするためスロット煉瓦の採用、端フリー昇熱対策として端フリー

ューへの空気、ガスの増量を図るための水平ガスダクトの改良および補助ウェストの考案、上下加熱を均一に行なうためフリーポート間に衝立煉瓦の取付け、燃焼室上部仕切り壁に特殊な形状の煉瓦の使用また炭化室、燃焼室の煉瓦積の改良、煉瓦の品質改善および煉瓦の場所

別の適切なる使用なども、その現われである。第二次合理化計画の推進により老朽設備の更新、改良が進んだがさらに昭和34年に入り再び日本経済は好況に転じ所得倍増計画、貿易自由化への国際的要請など産業界における投資意欲が旺盛となり、第二次合理化をさらに上回る第三次合理化計画が行なわれ大規模な銑鋼一貫工場が建設されることになった。そこで大型コークス炉に対する研究<sup>47,50-53)</sup>が各社で活発に行なわれることになり現状では4m炉に代つて建設費、設備費が安く、かつ生産性の高い大型炉への転換の傾向が強し昭和39年6月に富士製鉄広畑製鉄所にD.K.H.\*式の5m炉が操業開始したのをはじめ、年度中相ついで5m炉、6m炉が操業開始の予定である。しかしこれらの大型炉はすべてD.K.H.式<sup>53)</sup>、カール・スチル(Carl Still)<sup>54)</sup>式炉で、まだ日鉄式の大型炉は建設されていないが、昭和36年3月日鉄式4.6m炉が富士製鉄室蘭製鉄所において操業開始され、日鉄式コークス炉も今後は4m以上の炉高のものに改善されて行くであろう。このようにコークス炉の炉高が高くなる方向に進んでいる。一方、炉長、炉幅寸法の増大に対する検討もいろいろとなされ、徐々に大きくなる傾向にある。しかし炉長寸法の増大には水平方向の温度分布の調節にやや困難性を生ずること、押出負荷増大による押出ラックの機構に一段と進んだ改良を必要とすることなどが炉長の大型化を制限する要因となつていてこれまでは炉長は長いもので、13.5m程度が限界であつたが、近く炉長15mのカール・スチル炉が操業をはじめの予定である。一方炉幅については炉幅が大きくなると乾留時間が延び生産性の低下をきたすことなどのため、コークス炉炉幅を広くするには、必要なコークス量、炉室数およびコークス炉寿命などを総合勘案のうえ、経済的な炉幅を決定する必要がある。表1.3.2に昭和39年中

に操業または操業予定のコークス炉を示す。

合理化計画の実施によりコークス炉炉体の改善とともに耐火煉瓦についても品質ならびに形状の改善が行なわれた<sup>55,56)</sup>。この品質改良に効果をもたらした要因としては、原料の適正化、粉碎混練の進歩および成型法の進歩をあげることができるが、そのなかでも成型法の進歩は著しく、現在では異型煉瓦を除くほとんどが手打ち式から機械打ちの成型に代り煉瓦品質の改良に効果をあげている。しかし、ここで煉瓦の一層の品質向上と、コストの低下を考えると、煉瓦の種類が多いうえに形状の統一がなされていないコークス炉用煉瓦の規格の統一、形状の統一がなされれば品質の向上と安定化、コストの低下はもちろんのこと形状寸法も正確となり、コークス炉にも好ましい結果をもたらす。将来はこの標準化の方向に向ふべきである。表1.3.3に戦前の耐火煉瓦と最近の耐火煉瓦の品質の比較を示す。

他の設備と同様にコークス炉付帯設備、コークガイド車、押出機、装入車、消火車、炉蓋など各機械とも改良がなされたが、この改良の共通の傾向はほかの設備の能力アップにしたがい、機能操作の迅速性、安全性の増大および労力の軽減が改良のおもな点となつた。すなわち押出機においては装入炭均し中の戻り炭を能率よく処理するための戻り炭処理設備、炉蓋脱着装置の自動操作、走行押出速度のスピード化、装入車に対しては炉上作業を行ないやすくするため門型機構を採用し、装入炭の炭詰りを防止するためのコンフィューダーの採用、装入作業のスピード化、労力軽減人員節減のための装入蓋の脱着、装入口や装入蓋の掃除作業の自動操作の採用があり炉蓋については、ナイフエッジの調節はたとえば等間隔に設けたホルダーにより取付けられているエッジを打ち込んで調節を行なうというように簡単な機構のものに改

表 1.3.2 昭和39年度に操業開始する炉および操業開始予定のコークス炉<sup>47)</sup>

会社	コークス炉名	炉型式	炉寸法 (mm)		炉室数	1室当り装入量 (t)	操業開始および予定年月
			炉幅×炉長×炉高				
八幡製鉄	戸畑 No. 4 炉	日鉄複式 (アンダーゼット)	400×13,400×4,000		90	13.2	昭39・12
富士製鉄	広畑 No. 4 炉	D.K.H.式	450×13,590×5,000		70	20.3	昭39・6
	室蘭 No. 4 炉	日鉄複式	410×13,200×4,600		80	15.8	昭41・12
東海製鉄	No. 1 炉	D.K.H.式	450×13,590×5,000		100	19.6	昭39・10
日本鋼管	川崎 No. 2 炉	ニュー・オットー式	400×12,400×4,000		40	12.2	昭39・5
川崎製鉄	千葉 No. 5 炉	カール・スチル式	450×15,000×6,000		92	27.0	昭39・12
三菱化成	黒崎 12 期炉	ニュー・オットー式	400×13,200×4,000		35	13.7	昭40・2

表 1.3.3 コークス炉用珪石煉瓦の品質比較<sup>56)</sup>

項目	見掛比重	嵩比重	気孔率 (%)	荷重軟化点 (°C)	1,000°C 膨脹率 (%)	圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	耐火度 (SK)	成 分					
								SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO
昭和14年	2.34	1.79	24.0	1,555	1.19	227	32	93.51	0.74	1.94	—	2.89	0.26
昭和36年	2.33	1.84	21.3	1,635	1.19	511	32	94.66	0.54	1.04	0.22	2.24	0.14

\* Didier Kogag Hnselmann の略



表 1.3.4 鉄鋼部門における原料炭輸入実績<sup>63)</sup>

単位: 1,000 t ( ) 内は百分率

年 度	国 別	米 国	豪 州	ソ 連 (クヅネツ)	樺 太	中 国	カ ナ ダ	そ の 他	合 計
昭 和 29 年		2,338 (93.0)	—	—	41 (1.7)	47 (1.9)	—	83 (3.4)	2,509 (100)
30		1,831 (89.3)	10 (0.5)	—	67 (3.3)	127 (6.0)	—	18 (0.9)	2,053 (100)
31		2,382 (80.2)	18 (0.6)	—	68 (2.3)	479 (16.1)	—	24 (0.8)	2,971 (100)
32		3,544 (83.4)	191 (4.5)	—	157 (3.7)	329 (7.7)	—	28 (0.7)	4,249 (100)
33		2,534 (79.2)	210 (6.6)	75 (2.3)	222 (6.9)	128 (4.0)	5 (0.2)	30 (0.8)	3,204 (100)
34		3,111 (79.5)	381 (9.7)	107 (2.8)	184 (4.8)	—	75 (1.9)	49 (1.3)	3,907 (100)
35		4,307 (69.8)	883 (14.3)	308 (5.0)	131 (2.2)	—	421 (6.8)	120 (1.9)	6,170 (100)
36		5,292 (61.6)	1,962 (22.8)	583 (6.8)	183 (2.1)	—	502 (5.8)	71 (0.9)	8,593 (100)
37		5,442 (56.2)	2,598 (26.9)	782 (8.2)	169 (1.8)	153 (1.7)	463 (4.8)	31 (0.4)	9,639 (100)
38		5,109 (54.5)	2,779 (29.7)	807 (8.6)	—	89 (0.9)	539 (5.8)	45 (0.5)	9,368 (100)

表 1.3.5 輸入炭使用割合および強粘比<sup>63)</sup>

(単位 1,000 t)

年度(昭和)		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
項 目	強粘結炭	2,368	2,297	2,960	3,288	3,149	3,899	5,392	7,496	8,318	8,967
	弱粘結炭	153	29	19	319	433	212	342	724	1,013	360
	小 計	2,520	2,326	2,979	3,606	3,582	4,112	5,734	8,220	9,332	9,327
国内炭	強粘結炭	281	340	325	345	304	343	254	174	38	25
	弱粘結炭	2,626	3,208	3,761	3,929	3,572	4,737	5,259	6,283	9,314	7,523
	小 計	2,907	3,548	4,086	4,274	3,876	5,080	5,512	6,457	6,352	7,548
強粘割合 (%)		48.8	44.9	46.5	46.1	46.3	46.2	50.2	52.3	53.3	53.3
輸入炭割合 (%)		46.4	39.6	42.2	45.8	48.0	44.7	51.0	56.0	59.6	55.2

良され、作業の迅速化、労力の軽減などに効果を発揮している。

以上各種の設備について改良が加えられ、作業も簡略化されているが、コークス炉のオートメーション化と呼ぶにはまだ、ほど遠いものが感じられる。しかし外国ではコークス炉の燃焼系統の各バルブの自動制御を行なう加熱の自動化<sup>67,68)</sup>、装入車の積取りの自動化、コークス炉炉蓋掃除の機械化、コークワープの自動切出し装置、ベルトコンベヤー速度の自動調節、パンカー内原料量の送信装置、コークス押出時にアイソトープ使用による連絡など部分的な自動化、機械化についての報告<sup>69)~62)</sup>が行なわれている。さらにコークス炉生産性の上昇、品質の向上、コストの切下げの一つの問題として選炭工場お

よびコークス工場でのプロセスオートメーションに大きな関心が寄せられ、コークス品質の自動制御、コークス炉加熱系統の自動制御などの研究が進められている。

### 1.3.3 操 業

高炉用コークスは現在の高炉製鉄法が続くかぎり必要であり、その原料であるコークス用原料炭の消費量は鉄鋼生産の拡大に伴い増大している。わが国は強粘結炭をほとんど産しないため、大部分外国から強粘結炭を輸入し、これに国内産の弱粘結炭を配合して使用している。現在では強粘結炭の大部分原料炭全量からみると、その半量以上が輸入炭によつてまかなわれている。

高炉の大型化は、現在すでに着実に実施に移され、そ

れに応ずる原料炭の品質も次第に良質のものが要求されつつあり、また国内原料炭供給力の伸びにも限度があるため、将来の原料炭増量分における輸入炭の占める割合は次第に増えるものと思われる。表1・3・4に鉄鋼部門の原料炭の輸入状況をまた表1・3・5に輸入炭の使用割合および強粘比を示す。

原料炭の輸入先は米国、豪州、ソ連、カナダ、中国などがおもな国である。これらのなかで米国炭の輸入が一番多い。これは米国炭の埋蔵量が多く、生産量が安定していること、および品質的にはほかの外国炭よりすぐれていることが原因である。しかし、米国炭は輸送距離が長いこと炭価が高くなる。この輸送費の低減を考えて最近では近接地域の豪州炭にかなり置換り、昭和29年には全輸入原料炭中90%以上を占めていた米国炭の割合は年々減少し、昭和38年には約55%程度に低下している。しかし輸入炭量が年々増加しているため、米国炭の絶対量は増加している。また、一方豪州炭は昭和30年頃にはじめて輸入が開始されて以来、炭鉱の開発および港湾の整備が進むにしたがい、その輸入量は急激に増加し、昭和38年度には全輸入原料炭中約30%を占めるまでになり今後も増加する傾向にある。

しかし高炉の大型化に伴い、コークスの品質向上が強く要望されているので、現状では品質が良くかつ安定している米国炭の使用割合の低下には限度がある。最近では米国炭の輸送費節減のため、米国炭の輸送は石炭専用船により輸送をはじめている。

専用船の利点としては、

- (イ) 航海能率があがる。
- (ロ) 長期契約により安定経営に資するとともにフレートが割安となる。
- (ハ) 必要でない設備が省略でき、船型、設備をその航路に適するようにできる。

などがあげられるが、石炭専用船はその大部分が船型を大きくし大量輸送により輸送費の低減をはかっている。将来さらに鉄鋼原料の海外依存度が高まることを思うと石炭専用船は鉄鋼コスト切下げに大きな役割を果すものと思われる。

さらに選炭に関する技術については、原料炭の適切な配合によりコークスの品位を低下させずに素材費をできるだけ下げの問題と、一方コークス強度などの品位を増加させるため、あるいは原料炭として低品位な石炭を使用可能にするための原料炭の事前処理技術の問題が真剣に検討されるべきであろう。

最近の輸入原料炭の入荷は石炭専用船の就航によるロットの大型化が推進される反面、新規購入銘柄の増加による銘柄の多様化などに対処するため、貯炭場は大型化および機械化が進んでいる。石炭の銘柄数の増加による品質のバラツキ増加を防止するため、貯炭時にはベッディング方式が広く行なわれている。また貯炭量の増加および風化による石炭の劣化を防止するため、圧加貯炭方式も行なわれている。

洗炭作業は終戦直後までは選炭工程の主要作業を占めていたが、戦後低灰分の米国炭の輸入が開始され、また国内炭も山元での洗炭が行なわれるようになってからはだんだん縮小され、現在はほとんど行なわれていない。最近ではコークス灰分は10%前後となり、高炉操業の進歩とあいまつて、高炉のコークス比は500kg前後まで低下している。表1・3・6に戦後の装入炭およびコークスの品質ならびに出銹量の推移を示す。

配合作業においては、ポイドメーターの採用による配合機の精度向上、原料炭品位の安定などにより配合作業の単純化が可能となつた。また、統計的品質管理の導入により、配合作業における品質管理が強化され装入炭の品質は著しく安定した。

表 1・3・6 装入炭およびコークス品質ならびに出銹量の推移 (八幡製鉄)

項 目	年度(昭和)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
装 入 炭 灰 分 (%)	16.6	15.7	13.5	11.0	11.3	11.1	10.8	9.8	9.6	
コ ー ク ス 灰 分 (%)	23.0	21.6	18.6	15.1	15.5	15.0	14.6	13.2	12.3	
コ ー ク ス 強 度 $DI_{15}^{90}$ (%)	88.1	88.6	90.0	90.8	90.9	92.0	92.1	91.9	92.7	
コ ー ク ス 硫 黄 (%)	—	0.74	0.70	0.77	0.70	0.68	0.68	0.63	0.60	
出 銹 量 (×1,000 t)	129	247	438	688	787	1,132	1,199	1,435	1,399	
コ ー ク ス 比	1.587	1.345	1.189	1.040	0.956	0.905	0.886	0.818	0.717	

項 目	年度(昭和)									
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
装 入 炭 灰 分 (%)	8.7	8.9	8.7	8.0	7.5	7.5	7.4	7.4	7.3	
コ ー ク ス 灰 分 (%)	11.8	12.0	11.7	10.8	10.3	10.1	10.1	10.2	10.0	
コ ー ク ス 強 度 $DI_{15}^{90}$ (%)	92.7	92.4	92.9	92.2	92.9	92.9	93.2	93.5	93.5	
コ ー ク ス 硫 黄 (%)	0.56	0.58	0.58	0.58	0.56	0.56	0.56	0.59	0.56	
出 銹 量 (×1,000 t)	1,659	1,925	2,108	2,278	2,959	3,732	4,473	4,760	5,401	
コ ー ク ス 比	0.704	0.708	0.687	0.636	0.622	0.612	0.558	0.546	0.530	

さらに最近石炭の水分や灰分測定自動化の研究が進められている。

石炭の配合に関しては各作業所において、各地区のベースコールに対する相性の問題について検討が行なわれ各作業所で独自の配合を行なっている。たとえば筑豊炭を弱粘結炭のベースとしているところでは配合米国炭に中揮発分米炭をおもに使用し、北海道炭をベースとしているところでは低揮発分米炭をおもに配合するというように各地区特有の配合を行ない、品質の向上およびコストの切下げに努力している。

また、昭和30年より輸入をはじめた豪州炭<sup>64)</sup>は粒度別性状差が大きく、塊状部分は硬度高く流動性が悪く従来の粉碎方式ではコークス品質の低下をまねくため予備粉碎を行なうようになった。その結果好成績を収めた。また予備粉碎を行なう炭種も豪州炭にかぎらず軟化開始温度が高く、流動性の悪い外国強粘結炭、たとえばソ連炭などについても適用されるようになった。

とくに富士製鉄室蘭製鉄所では北海道炭と外国強粘結炭の各種性状の相違について検討した結果、独自の粒度調整法を完成<sup>17)</sup>し、実作業にも適用して好成績をおさめた。配合作業と粉碎作業の結びつきも、従来は配合→粉碎方式が主体であったが、最近銘柄別粉碎→配合方式を採用し石炭の特性に応じた粉碎度にして、配合するといった作業方式も採用されるようになってきた。以上のように石炭粉碎は選択粉碎法なども含めて今後ますます開発すべき技術であろう。さらに将来は石炭事情によっては、劣質炭の使用も考えられ、一方コークス品質の向上は高炉の大型化に伴い、ますます要望が強くなっていく。そうすればそれに伴った石炭処理技術の開発が必要になってくるであろう。

つぎに操炉関係について概説すると、戦後のコークス炉の建設は昭和30年以降において鉄鋼生産の増加に伴い急速に進められた。図1.3.1に鉄鋼各社のコークス炉新

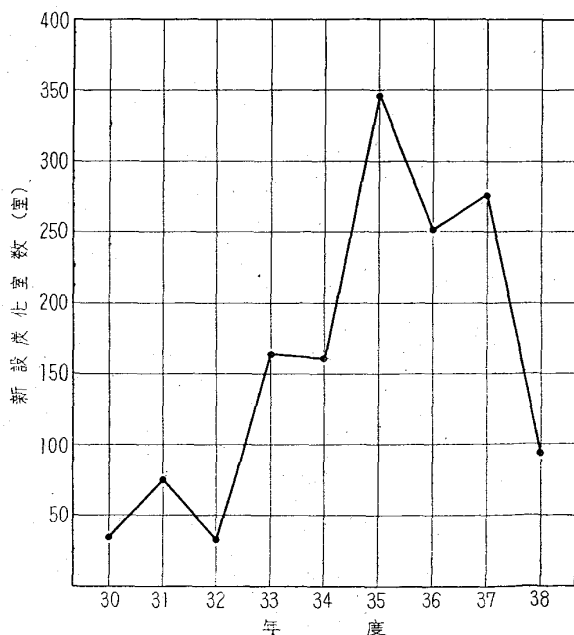


図 1.3.1 鉄鋼各社のコークス炉新設状況

設の推移を示す。

またコークス炉については、設備のところで記したようにいろいろな改良が加えられ作業能率や熱能率の向上がはかられている。

コークス炉の操業管理については、燃焼管理の強化による温度分布の改善、炉前作業の機械化による作業能率の向上、さらには装入炭品位の向上および、コークス炉煉瓦の品質向上などにより、戦前では考えられなかつた150%近い高稼働率で連続的に操業可能になったことは特記すべきことである。また炉体、コークス品質および化成品への影響を考慮した稼働率と炉温の関係、加熱条件とコークス品質の関係<sup>65)</sup>、あるいは稼働率と品質を含めた経済性の問題なども技術的に検討が行なわれている。

燃焼管理関係においては、コークス炉の均一加熱および消費熱量を中心に管理が行なわれている。とくに熱効率の高い新設炉の増加、加熱ガスの改善たとえば、高炉ガスのカロリアップによる熱効率の向上<sup>66)</sup>やコークス炉ガスのカロリダウによるカーボントラブルの防止およびカロリコントロールによる加熱ガスカロリーの均質化<sup>67)</sup>、計器操業の推進、炉体保全の強化、コークス炉炉温管理およびそれに伴うアクション方法の改善などにより、熱原単位は徐々に低下してきている。図1.3.2にその推移を示す。

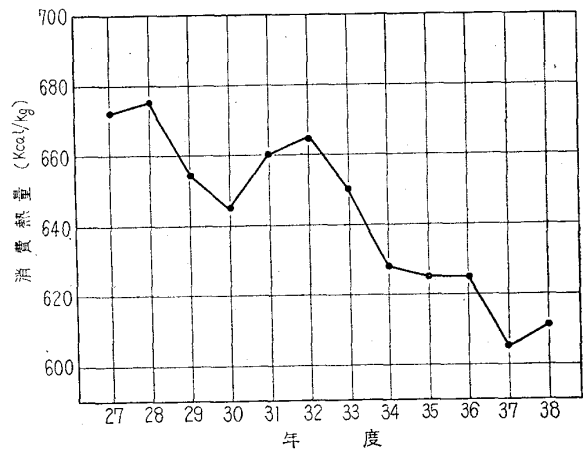


図 1.3.2 鉄鋼各社の平均消費熱量

コークス炉の寿命もドライメン圧力の上昇、炉蓋の改善によるガス漏洩防止、装入炭水分の低下、および予防保全の強化などにより大幅に延びている。

コークス処理関係では、コークス粒度の調整について昭和28年頃より、コークカッターの使用について種々検討<sup>68)</sup>され、現在では広く用いられるようになり、実際面にかかなりの成果を収めているが、高炉用コークスとして粒度をどのように評価するかという問題については、必ずしも明確な結論を得ていない。またコークカッターだけではなく、コークスの篩分け強化によりコークスの整粒効果を高める方法も行なわれている。

コークス強度については、その試験法や表示法がいろいろ検討され、従来のJIS法のドラム試験の改訂や、さらには熱間におけるコークス強度への関心が高まっている。

## 文 献

- 1) 原田正夫他, 本邦コークス工業最近の進歩 3 (1952), p. 7
- 2) 鈴木信, コークス技術年報 11 (1961), p. 88
- 3) 吉田雄次他, コークスの研究 4 (1953), p. 1
- 4) 久田清明他, コークスの研究 4 (1953), p. 19
- 5) 吉田雄次他, コークス技術年報 11 (1961), p. 67
- 6) 椿猛他, コークス技術年報 11 (1961), p. 78
- 7) 城 博, 燃料協会誌 26 (1947), p. 1, p. 98
- 8) 久田清明他, コークスの研究 4 (1953), p. 188
- 9) 吉田雄次他, コークスの研究 5 (1954), p. 81
- 10) 城博他, コークス技術年報 7 (1957), p. 92
- 11) E. Burstlein, Chal. etindstr. 14 (1955), p. 354
- 12) 木村英雄, コークス技術年報 7 (1957), p. 173
- 13) 熊井順二郎, コークス技術年報 7 (1957), p. 188
- 14) 城博他, コークス技術年報 10 (1960), p. 92
- 15) 長谷場七郎他, コークス技術年報 11 (1961), p. 149
- 16) 鈴木信他, コークス技術年報 10 (1960), p. 73
- 17) 宮原正元, 特許公報 昭35-5784
- 18) R. Loison 他, Fuel Absts. 3 No. 5 p. 32
- 19) W. Baumann 他, Brennstoff-Chem. 43 p. 321
- 20) J. P. Doherty 他, Blast Furn. & Steel Plant 50, p. 248
- 21) 熊井順二郎他, コークス技術年報 12 (1963), p. 21
- 22) 片岡次夫他, コークス技術年報 9 (1959), p. 86
- 23) 辻畑敬治他, コークス技術年報 10 (1960), p. 110
- 24) K. I. Makarov, Koksi Khim. 1962, No.8 p. 18 p. 21
- 25) 城博他, コークス技術年報 8 (1958), p. 33
- 26) 長谷場七郎他, コークス技術年報 7 (1957), p. 68
- 27) L. A. Drakin 他, Akad. Nauk. Gruz. SSR 3, 189, C. A. 57, 16979
- 28) 城 博他, 燃料協会誌 41, No. 441
- 29) 本邦コークス工業最近の進歩 1 (1950) コーライ ト特集号
- 30) 西尾醇, 本邦コークス工業最近の進歩 2 (1951)
- 31) 中島長久, 本邦コークス工業最近の進歩 3 (1952) p. 118
- 32) H. E. Blayden 他, Gas World 144 (1956), p. 961
- 33) 吉田雄次, コークスの研究 6 (1956) p. 14
- 34) 久田清明他, コークスの研究 6 (1956), p. 28
- 35) 城本義光, コークス技術年報 9 (1959), p. 56, p. 77
- 36) Von Walter Ahlers in Mueheim (Ruhr), Stahl u. Eisen. 1959, Heft 7, 9
- 37) 太田満喜雄, 本邦コークス工業最近の進歩 3 (1952)
- 38) 橋本節夫, コークスの研究 4 (1953), p. 172
- 39) 岩田智次, コークス技術年報 7 (1957), p. 163
- 40) H. Kahlhöfer 他, Stahl u. Eisen. 82 p. 547
- 41) 宇都宮宣一他, コークスの研究 4 (1953), p. 213
- 42) 風当正夫, コークス技術年報 7 (1957), p. 15
- 43) 上嶋熊雄他, コークス技術年報 10 (1960), p. 150
- 44) 松沢真太郎他, コークス技術年報 11 (1961), p. 162
- 45) 前田真澄, コークス技術年報 12 (1962), p. 95
- 46) 渡辺時治, コークス技術年報 8 (1958), p. 143
- 47) 中原実, 燃料協会誌 43 No. 445 p. 324
- 48) 西尾醇他, コークス技術年報 8 (1958), p. 105
- 49) 高宮克彌他, コークス技術年報 12 (1962), p. 165
- 50) 武内哲, コークス, サーキュラー 12 No. 2 p. 93
- 51) 松沢真太郎, コークス・サーキュラー 11 No. 3 p. 99
- 52) 西尾醇, コークス・サーキュラー 10 No. 3 p. 5
- 53) F. ヘルト, コークス技術年報 11 (1961), p. 180
- 54) W. ボッホマン, コークス技術年報 11 (1961), p. 170
- 55) 開田高生, コークス技術年報 12 (1962), p. 108
- 56) 高良淳, 日本のコークス炉変遷史 (1962), p. 50
- 57) V. S. Varilchenko, Coke & Chem. (USSR) 1961, No. 2, 25
- 58) S. S. Smirnov 他, Coke & Chem. (USSR) 1961 No. 5, 30
- 59) J. W. Bauer, Blast Furn. & Steel Plant 49, 424
- 60) Z. Medricky, Glückauf 97, 233
- 61) H. F. Strähuber, Stahl u. Eisen. 81, 1575 (1961)
- 62) F. A. Garan他, Coke & Chem. 1961, No. 9, 29
- 63) 日本鉄鋼連盟編, 日本の鉄鋼統計, 昭和39年度版
- 64) 城博他, コークス技術年報 12 (1962), p. 43
- 65) 久田清明他, コークスの研究 5 (1954), p. 121
- 66) 吉見克英, コークスの研究 5 (1954), p. 212
- 67) 上野正助他, コークス技術年報 10 (1960), p. 124
- 68) 宮原正元他, コークスの研究 6 (1956), p. 131

## 1.4 高 炉 設 備

第二次世界大戦の結果壊滅的打撃をこおむつたわが国鉄鋼界も昭和25年朝鮮動乱を契機として復興の曙光をみるにいたり, 昭和26~30年を第1次合理化期間として圧延設備を中心として鉄鋼生産設備の新設・更新が行なわれた。さらに戦後新しく開発されたLD式製鋼法の発展とともに溶銑の需要度が高まり高炉の新設が必要となり昭和31年を初年度とする第2次合理化計画が推進され大型高炉の新設, 既設高炉の改修毎の炉容拡大が行なわれてきた。現在これに引続いて第3次合理化計画が進められている。昭和26年以後, 昭和36年まで製銑部門の合理化に要した費用は約1,500億円で普通鋼関係への投資額

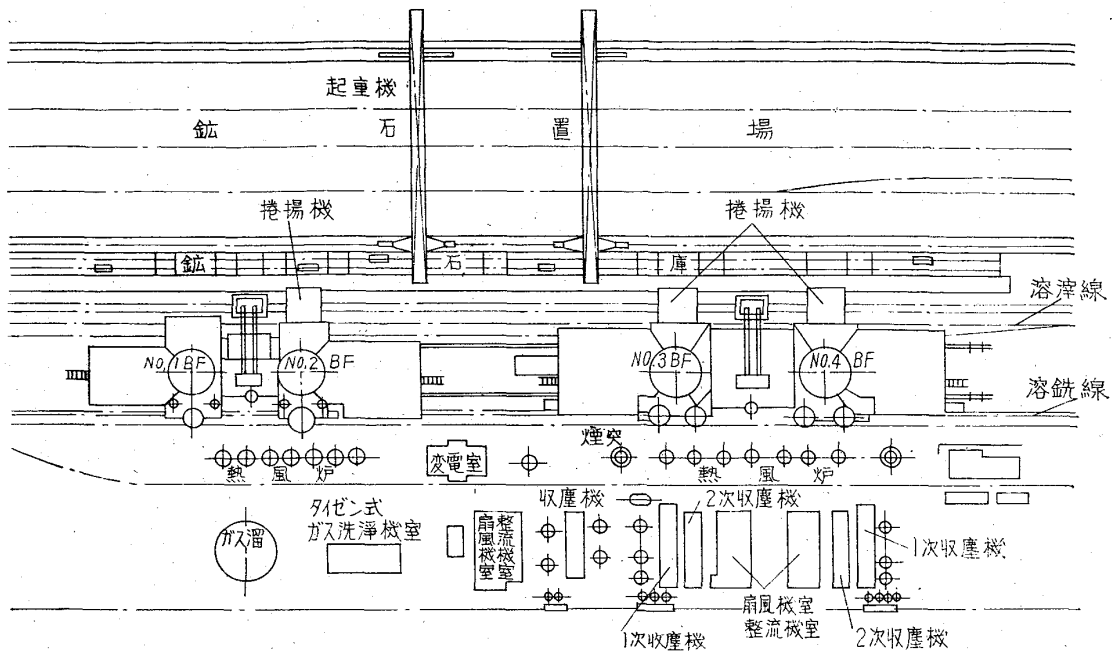


図 1.4.1 高炉群の直線式配置図

の約 16.4% で、そのうち高炉部門では 591 億円である。昭和 25 年より 39 年 9 月までの新設高炉は 20 基、改修炉は 26 基および 1 基当りの設備能力は世界の最高水準に達している。以下戦前より今日までの設備の変化と発展の概要について述べる。

### 1.4.1 配 置

製鉄工場規模の拡張とともに高炉も大型化し工場配置も戦前と異なるものとなつた。戦前の配置には図 1.4.1 に示すとき直線式が多い。すなわちこの型式は高炉と鑄床が同一中心線上にあり、この中心線と平行に熱風炉群および溶滓・溶鉄線が設置されている型である。この型式は炉の大型化の場合まず第一に溶鉄鍋車が一線になつているため鑄床が長くなる欠点があり、大型高炉群に

対しては次に示す長所を有する梯形式配置がよい。梯形式配置を 図 1.4.2 に示すが、この型は Gary type ともいわれ、米国 U. S. S. の最大級工場の一つであり Gary 工場の配置方式である。八幡製鉄戸畑工場および東海製鉄ではこの型が採用されている。この型式の利点は次の諸点である。(1) 溶鉄・溶滓線が各炉毎に専用になつているので、炉の改修工事および新設に当り他の操業している炉に支障を与えることが少ない。(2) 溶滓線を 2 線以上取り得るので鑄床の短縮をはかり得る。(3) したがって多数の高炉群の場合所要地面積が少なくてすむ。ほかに川崎製鉄千葉工場に採用した十字式配置もある。十字式配置を 図 1.4.3 に示すが、この式は鑄床と溶鉄線とが直角に交差しているのが特長で、この方式も溶鉄線を 2 線とり得るが、隣接高炉では共用線となる。またこ

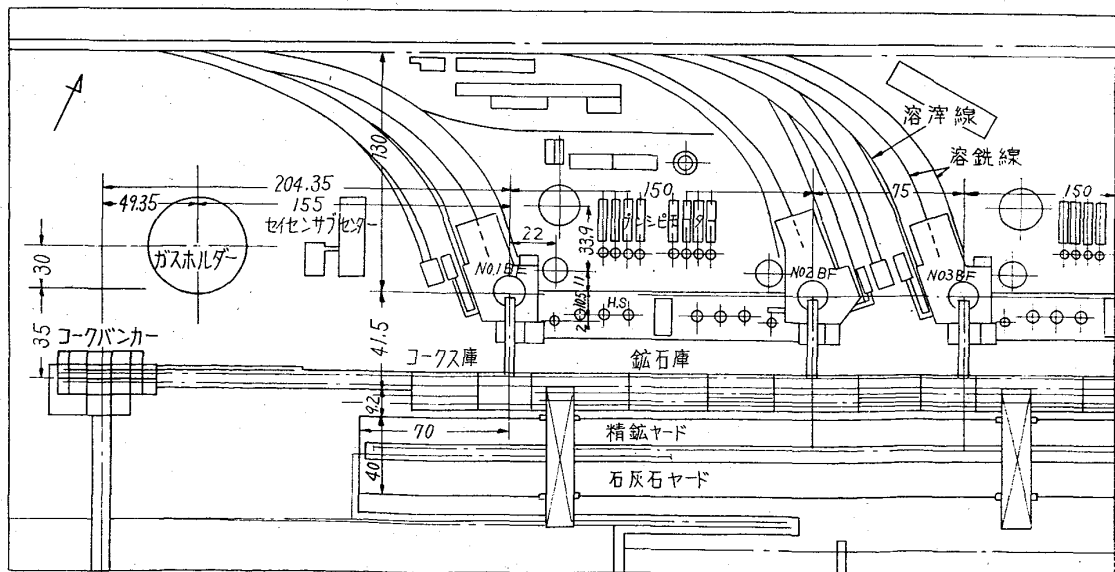


図 1.4.2 高炉群の梯形式配置

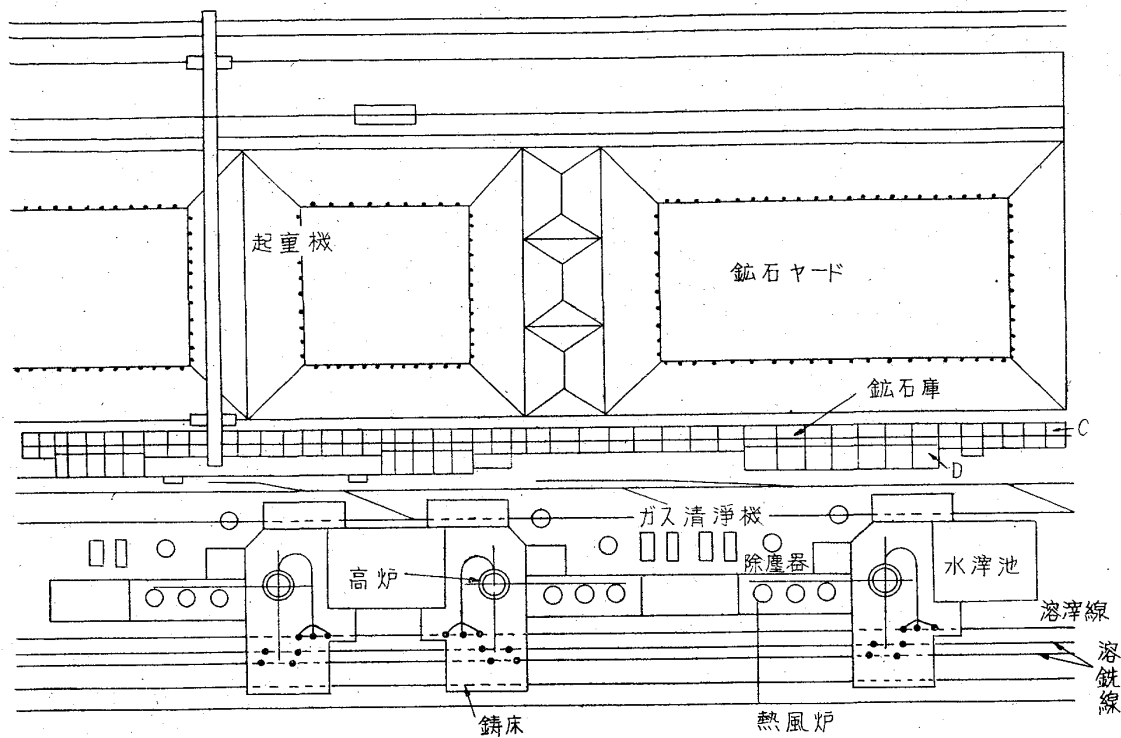


図 1.4.3 高炉群の十字式配置

の型式では鑄床を短くするには溶銑鍋などの大型化が必要となる。今日新設された工場ではいずれの型の配置においても熱風炉を高炉と同一中心線上に配置し、熱風炉の操業管理の合理化と作業人員の節約をはかっていることが特長の一つである。

1.4.2 高炉容量

昭和40年1月現在においては高炉基数は46基となり、そのほか40年、41年度中にさらに、八幡製鉄堺製鉄所のNo. 1高炉、川崎製鉄千葉製鉄所 No. 5高炉、住友金属和歌山製鉄所 No. 3高炉、神戸製鋼神戸工場 No. 3高炉、日新製鋼呉工場 No. 2高炉がそれぞれ完成される見込みである。戦前より今日までの高炉1基当り年産能

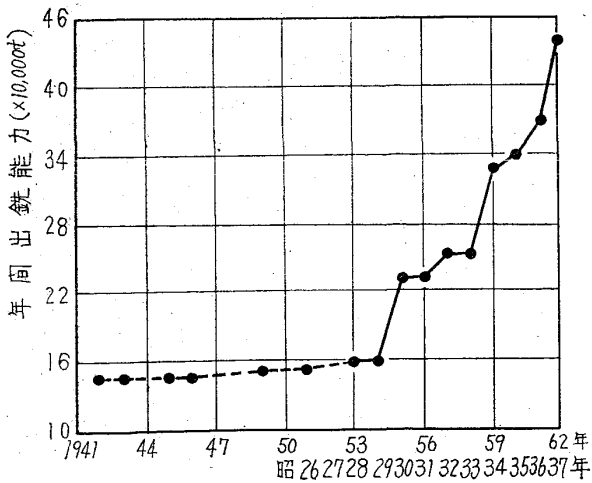


図 1.4.4 高炉一基当り年間能力の推移  
日本鉄鋼連盟資料

力の推移を図 1.4.4 に示すが、昭和29年以降急速に上昇している。戦前の高炉では内容積約 1,000 m<sup>3</sup> 程度が最大級であつたが、戦後は 2,000 m<sup>3</sup> と 2 倍になつている。しかし自由世界各国の 1 基当り平均出銑能力は図 1.4.5 に示すごとく、昭和37年(1962年)現在で 1,200 t/日と米国とほぼ同じである。すなわち、基数の増加とともに

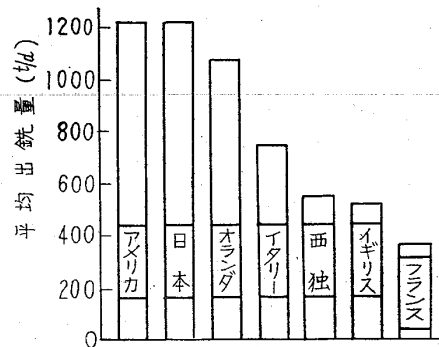


図 1.4.5 各国の高炉一基当り平均日産出銑量 (1962)

炉容を大型化している。八幡製鉄東田 No. 1 高炉(1901年火入)と世界最大級の戸畑 No. 3 高炉の比較を図 1.4.6 に示した。

1.4.3 炉型式

わが国における高炉の型式は明治の末期より図 1.4.7 に示すごとき、炉頂金物の荷重は槽で受け、シャフト部について、煉瓦は鉄帯を用いて締付け、荷重を6~8本の支柱または槽よりの支持金物で受けるドイツ式から発達して昭和7年にいたり洞岡 No. 2 高炉に初めて図 1.4.8 に示すごとき米国式が出現した。すなわちこの型の特長

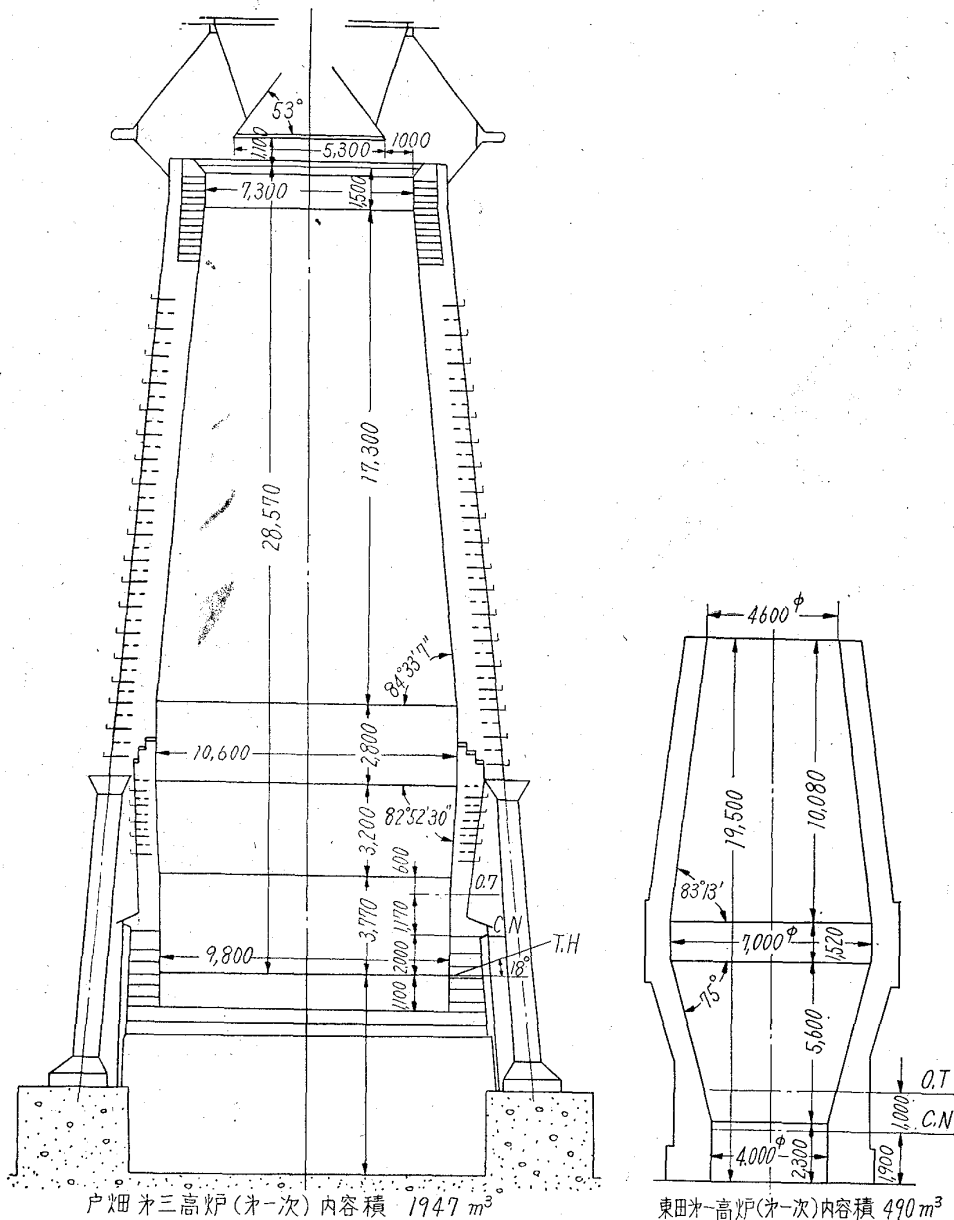


図 1.4.6 東田 No. 1 高炉と戸畑 No. 3 高炉との比較図

は槽を設置しないでシャフト部の煉瓦を鉄皮でかこみ、炉頂荷重およびシャフト部の荷重をリングプレートを介して6~8本のシャフト受け支柱で支持している構造である。戦後はドイツが第二次大戦中に開発したフリースタANDING型 (Free Standing type) が出現した。すなわちこの型式は図 1.4.9 に示すごときもので、シャフト受け支柱を取り除き炉体の全煉瓦を鉄皮でかこみ、シャフト部の煉瓦の荷重は湯留りおよび朝顔の煉瓦で支えている構造である。次に操業実績より下記の点を考慮したわが国独特の型式として鉄骨鉄皮式、すなわちドイツ式と米国式の折衷型式が考案された。この方式の利点としては①煉瓦保護上シャフト部には冷却函を多数挿入したほうがよいので、地震の多いわが国では炉頂荷重は槽で支持するほうが安全である。②わが国の原料事情より硫酸焼鉱を多く使用する関係上、焼鉱中の Zn 分がシャ

フト上部煉瓦目地に沈積して炉体膨張を惹起することが多く、特にドイツ式炉型のほうが米国式より膨張が大きい。八幡製鉄東田 No. 5 炉 (昭24.6.15火入~31.3.3吹止) はドイツ式であつたが6年間に1.6mも膨張した。したがつてシャフト部はドイツ式より米国式がよい。③わが国では淡水使用はコスト高になるので海水使用が多い。したがつてフリースタANDING型のごとく鉄皮の外部冷却方式はわが国では好ましくない。④地盤の弱い土地では荷重を広く分布させる意味で米国式より槽の設置が好ましい。鉄骨鉄皮式高炉構造を図 1.4.10 に示すが、炉頂荷重は槽で受けシャフト部の煉瓦は鉄皮でかこんでいる構造である。さらに高炉への重油吹込みはボッシュガス (bosh gas) の増加をもたらし、そのためシャフト下部および朝顔煉瓦への負荷が大きくなつてきたので、この部分の構造を改善する必要が生じた。シャフト



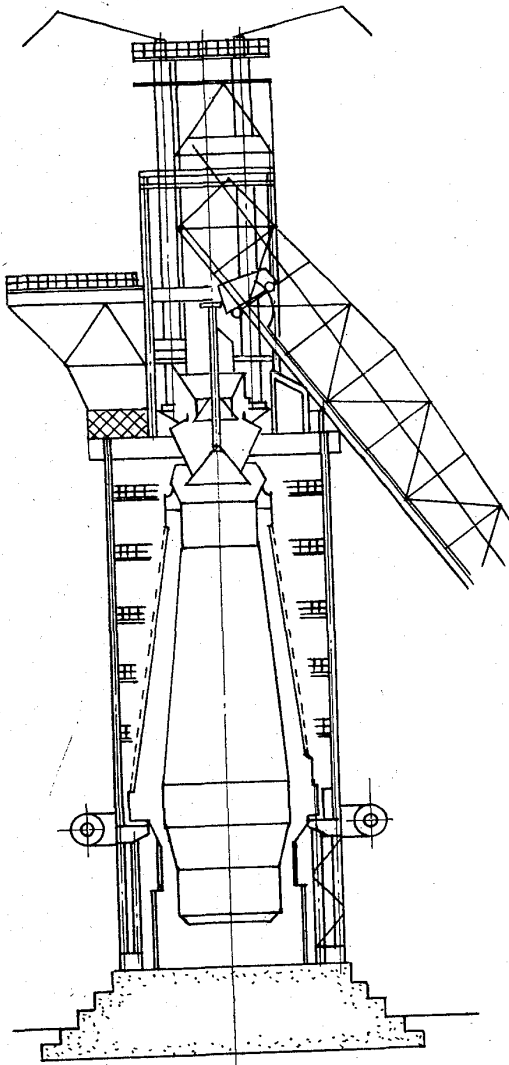


図 1.4.7 鉄帯式 (ドイツ式) 高炉構造

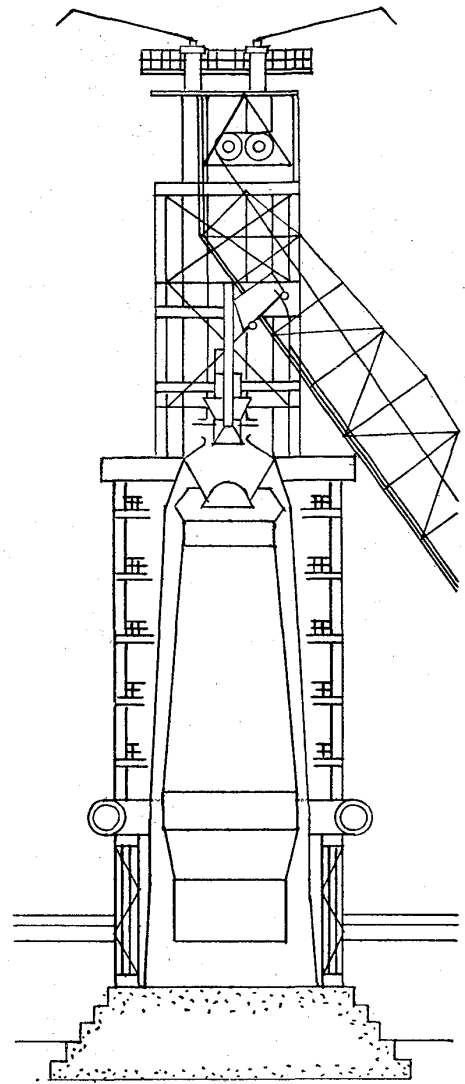


図 1.4.9 フリースタANDING式 高炉構造

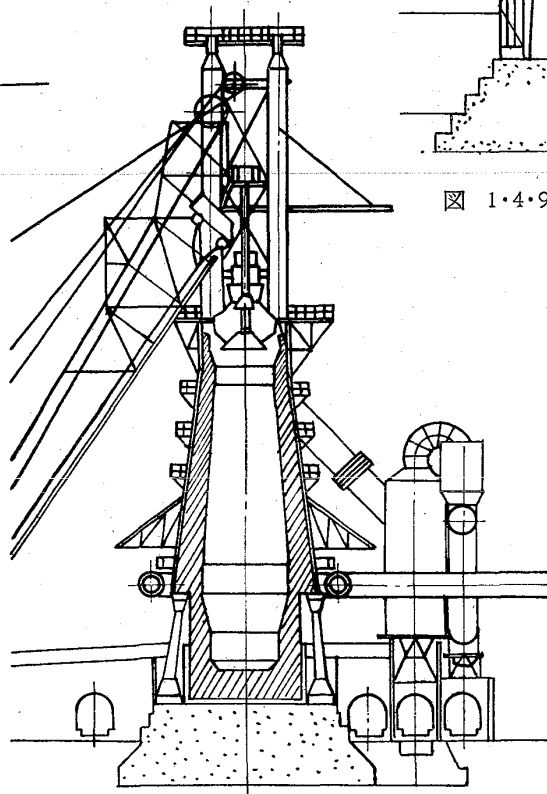


図 1.4.8 鉄皮式 (米国) 高炉構造

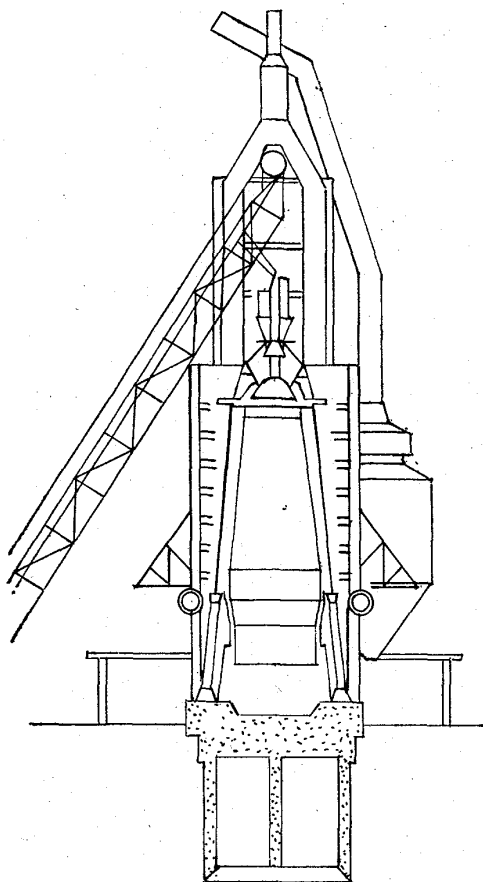


図 1.4.10 鉄骨鉄皮式高炉構造

下部および朝顔部は  $\text{FeO}$  の多い初期の鉱滓ができる部分であるので、シャモット煉瓦は侵蝕されやすい。このことは八幡製鉄東田 No. 1 高炉 (昭 37・8・1 火入) および富士製鉄釜石 No. 1 高炉 (昭 33・11・8 火入) において煉瓦中に  $^{60}\text{Co}$  のラジオアイソトープを埋没して侵蝕調査

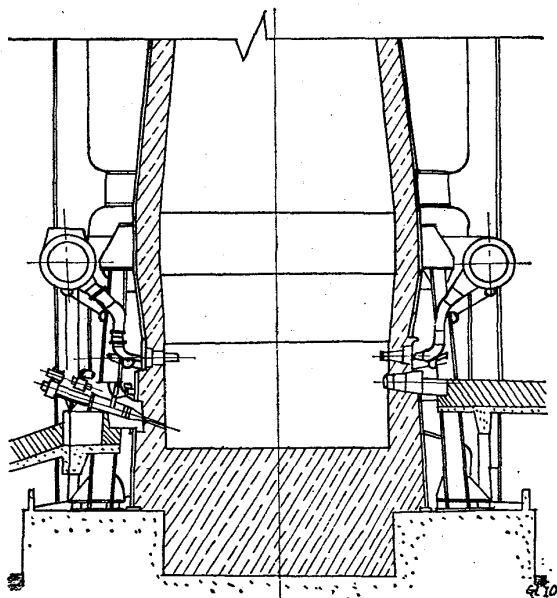


図 1.4.11 シャフト部荷重の外部支持構造図

を行なった結果、朝顔部の煉瓦は火入後 3 週間で 50~60% が侵蝕された例によつても明らかである。すなわち、冷却効果のおよばない範囲の煉瓦は早く侵蝕されて、冷却効果のおよぶ厚さでバランスするものと考えられる。この事実よりすれば従来のシャフト部の荷重をリングプレートで介して支持する構造は、シャフト下部煉瓦厚が厚くなるので煉瓦の侵蝕量の多い構造といえる。この点よりフリースタANDING型が推奨された。しかし、フリースタANDING型はシャフト下部の煉瓦厚は薄くできるが一方朝顔下部の煉瓦が厚くなり、この部分が侵蝕されやすい欠点を有している。以上のことから図 1.4.11 に示すごとく、シャフト下部煉瓦厚を薄くし朝顔煉瓦も薄くし得る構造として、シャフト荷重はシャフト鉄皮の外周リングガーダーを設置して支持する方法も開発され実用化されている。

世界の高炉構造も大体わが国と同じ考え方で炉体煉瓦厚をできるだけ薄くする方向に進んでいる。

#### 1.4.4 炉体各部構造

##### (1) プロフィール

プロフィールについては戦前と戦後とでは大差はないが今日の特色について若干述べる。

##### 1) 炉 高

戦前のいわゆる 1,000 t 高炉と今日の 2,000 t の高炉とでは約 1~2m の差しかない。これは装入原料の粒度構成が小さくなり、かつ整粒され還元されやすくなったために炉高を大きくする必要がなくなつたからである。

##### 2) 湯 留

湯留径は、コークス燃焼量を決定する重要な因子である。戦前のコークス燃焼率は  $18 \text{ t/m}^2 \text{ day}$  以下であつたが、今日の大型炉では  $21 \sim 22 \text{ t/m}^2 \text{ day}$  と向上している。

##### 3) 朝 顔

朝顔角度は  $82 \sim 83^\circ$  と戦前の炉より少し大きくする傾向にある。すなわちさらに low bosh wide hearth とするためである。

##### 4) シャ フ ト

シャフト角度は  $85 \sim 86^\circ$  程度が好ましいといわれているが、内容積が  $2,000 \text{ m}^3$  と大型炉になると下ベルの重量の関係で  $84^\circ$  と小さくとらざるを得ないが実績では悪い結果は出ていない。

##### (2) 煉 瓦

煉瓦に関しては戦前と今日では非常に異なつている。すなわちシャモット煉瓦の品質はよくなり、また戦後新しくカーボン煉瓦が開発された。カーボン煉瓦を湯留部に使用することにより戦前によくみられた炉体破損という現象は希有になつた。以上の点より高炉の寿命は延長され、戦前の内容積  $1,000 \text{ m}^3$  高炉の寿命は 3~4 年程度であつたが、今日では 8 年と 2 倍に延びている。炉一代の出鉄量も戦前では 100 万 t 以上の記録を出した炉の数は少なかつたが、今日では 1,000 t 高炉で 300 万 t 以上記録したものもあり、2,000 t 高炉では 500 万 t 以上も可能であろう。

##### 1) シャモット煉瓦

戦前のシャモット煉瓦は中国の復州粘土を主体とした

表 1.4.1 時 期 別 煉 瓦 性 状

使用 時期	原 料	比 重			気孔率%			耐火 度	圧縮 強度 kg/ cm <sup>2</sup>	最 大 膨 張 率 %	荷重軟化点			化学成分			ス ド ー グ リ ン グ		*2 滓 侵 蝕 率 %		
		嵩	見 掛	真	見 掛	密 封	真				T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	開 始	破 壊	A	B	
湯 留	戦前 復州系	2.3	2.7	—	14.9	—	—	33.0	780	—	—	1,450	—	1,670	42.3	53.9	3.7	—	—		
	戦後 復州系	2.4	2.8	2.8	13.6	1.7	15.3	33.7	959	0.8	1,410	1,508	1,560	44.5	50.3	3.4	3.3	10 t			
	岩手系 マリントクレイ	2.2	2.6	2.7	14.3	2.1	16.4	33.2	793	0.9	1,460	1,542	1,578	36.2	59.0	3.0	1.0	1.7			
壁	最近 *1 高アルミナ シリマイト	2.41	3.03	—	20.5	—	—	36.0	370	—	—	1,652	—	56.91	38.64	2.29	—	—	26.4	26	
	戦前 復州系	2.3	2.7	2.0	24.3	—	—	33.5	229	0.9	1,350	—	1,600	42.1	53.4	2.7	—	—			
壁	戦後 復州系	2.1	2.8	2.8	22.7	1.6	24.3	34.2	337	0.8	1,390	1,530	1,622	36.6	52.1	4.3	7	10			
	岩手系 フリントクレイ	2.1	2.6	2.7	18.5	2.3	20.8	33.0	645	1.2	1,460	1,540	1,565	36.3	58.2	2.3	2.0	9.0			
	主体としたもの シャモット70% 生煉瓦30%	2.3	2.6	2.7	8.7	3.6	13.3	32.5	1,075	—	1,470	1,535	1,565	41.9	53.2	1.8	9.5	10	72	37	
最近	生煉瓦	2.35	2.69	—	12.6	—	—	33.5	874	—	1,420	1,500	1,640	42.93	52.0	1.47			62.0	31	

\*1: 出鉄口, 出滓口付近に使用し, その他の部分はカーボン煉瓦使用.

\*2: 滓侵蝕率 A 1,450°C×30 分間 (浸漬法)  
B 1,450°C×3 時間 (ルツボ法)

ものであつた。戦後復州粘土の輸入杜絶によりしばらく国産の岩手粘土を主体として製造研究がなされたが、良質の煉瓦はできなかつた。昭和25年頃米国製煉瓦を輸入して築炉した結果、米国製煉瓦の優秀なことが認められたので、爾来国内の煉瓦メーカーは米国式製造法の研究を行ない、今日ではすべて米国より原料の粘土を輸入して良質の煉瓦製造を行なつている。最近ではさらに炉の寿命の延長、生産性の向上をはかるため煉瓦への要求はきびしくなり、これに対処してこれまでの生粘土を多く配合して製造する方式よりもシャモットを多く配合する方法や、高アルミナ煉瓦に変わりつつある。ドイツでは主として高シャモット配合法であつたが米国も最近では高シャモット配合法に変わりつつある。表 1.4.1 に各シャモット煉瓦および高アルミナ煉瓦の性状比較を示す。

2) カーボン煉瓦

ドイツではカーボン煉瓦を50年前より高炉に使用していたが、わが国では戦後開発して現在湯留や朝顔に使用している。米国では未だ多く使用されていないが次第に増加の傾向にある。わが国におけるカーボン煉瓦は製司コークスを主体として製造され、炉底用煉瓦には浮上り防止の形状が研究され特許も出されている。カーボン煉瓦は熱伝導率が高いので冷却を十分に必要がある。カーボン煉瓦を炉底に使用した炉でも吹止後の調査の結果炉底中心部のカーボン煉瓦は相当侵蝕されているので、カーボン煉瓦も、冷却効果がおよばない範囲は侵蝕される。したがつて、最近の大型炉では基礎コンクリート保護のため炉底冷却を行なつている。

(3) 槽

ドイツ式の古い高炉の槽はすべてトラス構造で柱数も4~8本であつたが、戦後新設された鉄骨鉄皮式の高炉では溶接技術の進歩により溶接によりラーメン構造が採用され、柱数は4本である。また、東海製鉄 No. 1 高炉の

ごとく鋼管構造のものもある。

(4) 炉体各種マンテル

戦前建設された高炉のマンテル類は大部分鉸鉸構造であつたが、今日ではすべて溶接構造である。材質については戦前のものはデュコールスチールであつたが、今日では SB または SM 材である。しかし炉底マンテルは初め炉底煉瓦の侵蝕を考慮して SB 材としたが、前述のごとくカーボン煉瓦の使用によつて侵蝕が少なくなり温度上昇も少ないので、むしろ SB 材より安価な SM 材のほうが好ましい。朝顔および羽口周りの構造はバンド式とマンテル式とがあり、米国ではバンド式が現在なお多いようであるが、わが国ではマンテル式として積極的に冷却面積を多くする構造としている。したがつて羽口周りも外部注水によつて冷却している炉もある。またマンテル式のほうが羽口数も強度的にみて増加しやすい。

(5) 羽 口

羽口についての最も大きい変化は、戦前の炉には必ず幾つかの非常羽口を設置していたが、今日では非常羽口は全然設置していないことである。このことは製鉄技術向上および装入原料の品質管理強化などにより、いわゆる炉の「非常」というものが少なくなつたためである。羽口形状は各種のものが考えられたが大部分は戦前と類似のものを使用している。ただ材質的には変化がある。すなわち古い炉では銅羽口を使用し、ついでアルミニウム羽口に変わったが、この羽口は破損率が高かつた。戦後ふたたび銅羽口に戻つたが、銅は99.9%の純度の高いものを使用している。形状は冷却効果が一樣になるように偏肉のない構造を要求している。羽口数は設計上許し得る限り増す方向をとつている。たとえば戦前の 1,000 t 高炉の羽口数は12本であつたが今日では16本前後に増加しており、2,000 t 高炉では27本の炉もある。

(6) 冷 却 函

冷却函には開放型と密閉型とがあり、開放型はフリースタンディング型高炉とともに紹介されたものである。開放型の冷却は自然通水により、密閉型は強制通水によるので汚濁した冷却水を使用する場合開放型はいわゆるゴミが沈積しやすい。一方密閉型は通常銅製であるので海水を用いて流速を大きくするとキャビテーションエロージョン (Cavitation Erosion) が発生するので注意を要する。流速は 2 m/sec. 以下が好ましい。開放型は通常鉄鑄物である。

### 1.4.5 炉頂構造

#### (1) 炉頂槽

炉頂槽は小型のドイツ式炉や米国式炉には通常設置されていないが、戦後の図1.4.10にみられるごとく鉄骨鉄皮式に設置され、大小ベルおよび傾斜塔上部機構の荷重を主として支持し、そのほかベルおよびカップなどの補修用ホイストが取付けられている。しかし、ごく最近では建設コスト切下げのため炉頂槽を廃止して米国式のごとく上昇管を利用する方向に進んでいる。

#### (2) 上昇管および下降管

上昇管および下降管の配列は戦後新設の大型炉は、写真1.4.1に示すごとく、4:2:1 とし壮大な外観を呈している。旧来の高炉では下降管は2本のものが多かったが新設のものは1本にして除塵器の効率向上をはかっている。

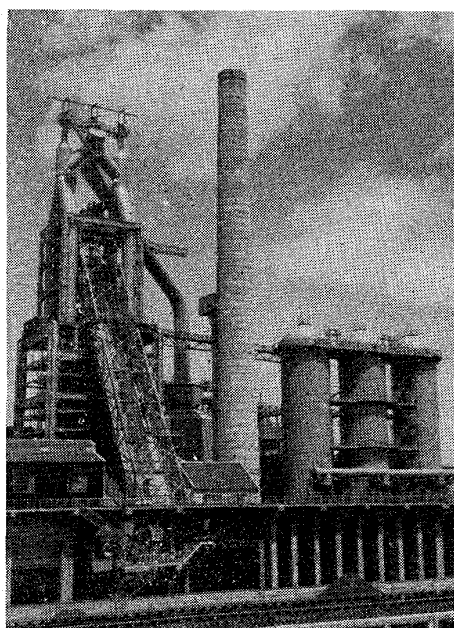


写真 1.4.1 4:2:1 方式の炉頂写真

### 1.4.6 捲揚げおよび装入設備

#### (1) 捲揚機

##### 1) 型式

装入原料を炉頂に運搬する方式には現在スキップ、バケットおよびベルトコンベアー方式とある。バケット方式はドイツでは多く用いられており、米国はすべてスキップ方式である。これはコークス強度がドイツのほうが米国のコークスより弱いためであろう。わが国でも戦前

は設計者の考え方によつてスキップ式にするかバケット式にするかが決定されていたが、戦時中はスキップ方式よりバケット方式のほうがむしろよいと考える操業者が支配的になりつつあつた。川崎製鉄千葉工場の No. 1 高炉にバケット式を採用したのはこの結果の現われと考えられる。しかし、バケット方式は捲揚速度が遅いため 700t/日 以上の炉には不適當である。したがつて今日では装入速度が速いため大型炉はすべてスキップ方式を採用している。次に最近ではベルトコンベアー方式がクローズアップされ、わが国でもすでに4基の高炉に使用されている。コンベアー方式の建設費はスキップ式より安いが敷地面積を多く要する。

#### 2) 駆動方式

スキップ用捲揚機の機構上変わった点は捲胴の駆動で、従来は2台の電動機を設置して1台で運転、他の1台は予備とする方式であつたものを、現在は2台の電動機を設置し常時2台で運転、1台故障時は負担を70%程度に下げて運転する方式とし、経済性を考慮した設計としている。制御法としては中型炉に交流のリアクトル方式を採用したこともあるが、大型炉にはワードレオナード方式が好ましい。

#### (2) 装入装置

##### 1) 型式

主としてスキップ方式の装入装置について述べる。大正時代に建設された高炉ではシングルコーンのブラウン型 (Brawn) であつたが、昭和年代に建設された炉には2ベル方式のマッキー型 (McKee) が多く採用された。しかし、構造的に旋回およびシール部に不備な点が多々あつた。戦後はマッキーの改造型が広く採用されたが、これは戦前の水によるシールをグリースに変えている。高圧用にはさらにシールを強化した heavy duty 型を使用しているが、そのほか Paul Wolf 設計のものも使用されている。また高圧操業の開発とともに John Mohr & Sons の3ベル方式の装入装置も使用されつつある。上ベルについては戦前の鑄鋼より高マンガン鋼に変わり、大体出鉄 200 万 t が標準寿命である。下ベルについては特に高圧操業の場合ベルとカップとの接触面の摩擦が著しいので、この部分の耐摩擦対策として Hastelloy C (Hastelloy C) または ストゥーディ (Stoody) などの合金の盛り金を行なっている。現在高圧操業は 0.7~1.0 気圧までであるが、これよりも高圧の場合には現在のごときシール構造では不十分と考えられるので、図 1.4.12 に示すごとく上ベルを2段にして下段のベルで炉内圧を減圧し、シール部の負荷を軽減し構造を簡単にする方式も考えられているが未だ実際に使用されていない。

#### 2) 上下ベル開閉装置

上下ベル開閉は図 1.4.13 a. b. c. に示すごとくカウンターウェイトを利用し、レバーを介して上下ベルをそれぞれのベル開閉装置に接続し開閉動作を行なわしめている。開閉装置としては電動機によりクランクモーションを行なわしめるものと、圧縮空気によるシリンダー方式が戦前より広く採用されてきた。最近では構造を簡略化するため図 1.4.13 c に示す油圧機による方法も採用され、さらに材料を節約するため図 1.4.13 d に示すとき、直

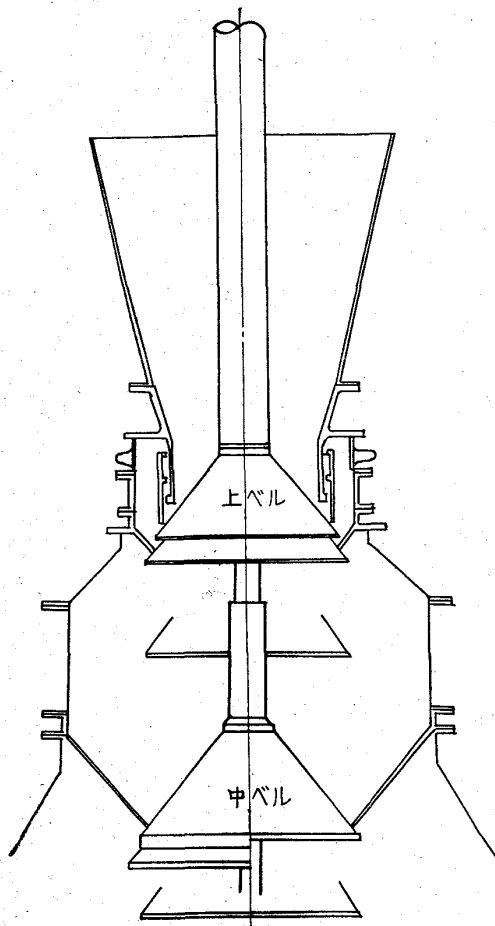


図 1.4.12 高圧用装入装置の例

接上下ベル開閉用ロッドを油圧で作動せしめる方式も開発されつつある。この方式ではレバー、カウンターウェイト、シーブホイールおよびワイヤーなどが節約され、相当の重量節約となりそれだけ基礎負荷も軽くなり建設費が軽減されることになる。

(3) 深度測定装置

深度測定には検尺棒を用いて装入物のレベルを測定するのが一般的方法であるが、最近ではラジオ・アイソトープ ( $^{60}\text{Co}$ ) を用いて装入物のレベルを測定する方法が開発されつつある。

(4) 給油設備

炉体に付属する主なる機械設備は捲揚げおよび装入装置であるが、これらの給油は戦前では作業員の手によって行なわれガス中毒の危険が多分にあつたが、戦後は中央集中給油方式が発達して高炉にもこれが採用されている。主なる給油個所として旋回装置、ベル開閉装置、主スキップ捲揚装置、深度測定装置およびシーブホイール類などである。給油系統としては給油時間間隔が短い旋回部のシール用と他の部分とに分けたループ方式を採用している。

1.4.7 炉前付属設備

(1) 原料切出し設備

1) 鉱石関係

臨海製鉄所では通常粗鉱ヤードに持ち込まれた鉱石は破碎篩分設備で処理された後精鉱ヤードに貯蔵される。精鉱ヤードから鉱石庫上までの払出設備までには種々方法があるが、比較的大規模の製鉄工場では、①門型起重機と鉱石庫上を走行する鉱石車の組み合わせによる方式、

②ジブローダー (Gib-loader)、ホイールローダー (Wheel loader) などの払出機とベルト

コンベアーとを組合わせた方式とがあるが、後者のほうが新しい方式である。鉱石庫はコンクリート製、鋼板製とあるが、戦後は粘性鉱石用と非粘性鉱石により鉱石庫の形状を変え、粘性鉱石も出やすくして秤量の精度をあげるようにしている。したがって、切出し装置も昔の自然流出方式を改め、強制的な切出し方式に変わった。すなわちカットゲート (Cut-Gate) 方式をベルトフィーダー (Belt feeder) 方式に改善している。秤量設備としては従来秤量車を利用する方式が多く採用されたが、この方法では装入回数が制約されて大型炉には不適當である。そこで前述のフィーダーと秤量ホッパーおよびベルトコンベアーを組合わせて容易に装入回数を増し得る方法とし、しかも切出しから装入まで全自動制御しやすいものが採用されつつある。一

a. 電動クランク式      b. エヤーシリンダー式      c. レバー併用油圧シリンダー式      d. 油圧シリンダー直昇式

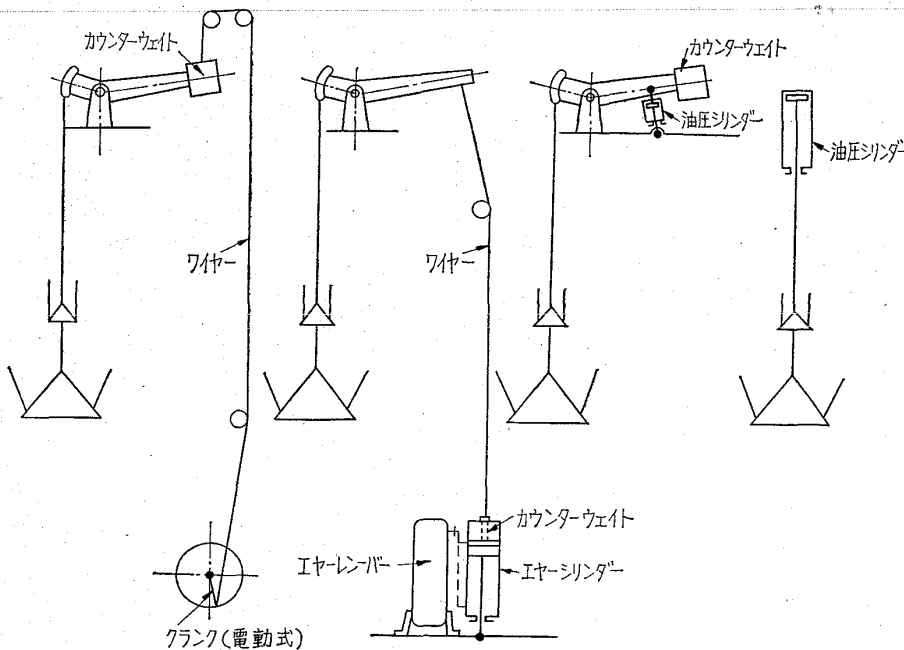


図 1.4.13 各種のベル開閉機構図

線に配列された鉱石庫群の場合には1個のフィーダーに1個の秤量ホッパー、または2個のフィーダーに1個の秤量ホッパーを設置し、円形の鉱石庫では多数のフィーダーに1個の移動式秤量ホッパーを設置して秤量はすべて遠隔操作されている。秤量の検出には、秤量ホッパーをdial式秤量としその目盛とセルソンを利用するものと、ロードセルおよび電子管指示計とによるものがある。この方法はスキップ方式またはベルトコンベアー方式のいずれの装入方式の場合にも応用され、今後はすべての方式に変わって行くものと思われる。

### 2) コークス関係

コークス槽よりの切出し装置として戦前は主としてローラープレート (Roller grate) を用いて切出しと篩分けをして秤量ホッパーに装入していたが、戦後電磁振動篩が発達してこれに変わった。これはローラープレートに比して、故障も少なく秤量の精度も上げ得るからである。

### (2) マッドガン (Mud Gun)

明治、大正の古い小型高炉では出銑口閉塞には人力によるストッパー止めを行ない非常に勇壮な光景を呈していたが、その後蒸気駆動のマッドガンが使用された。戦後初めて米国の Bailey 社の電動式マッドガンが輸入され、現在わが国のすべての高炉には国産の電動式マッドガンが使用されている。電動式マッドガンは砲身の旋回、傾斜およびマッド圧入の3動作をそれぞれの電動機で行なうものである。しかしながら今日いままなお電動式マッドガンの故障がかなりあるので構造の研究を要する。最近油圧機器の発達により油圧式マッドガンも計画されている。

### (3) 出銑口開孔機

戦前の高炉では出銑口の開孔にはハンマーとボールとを用いて人力により行なわれていたが、今日ではすべて機械化し圧縮空気または電動機を動力源として、最初にドリルで掘さくし次にハンマー操作に切替えて金棒を打ち込む機構となつている。

### (4) 出滓口閉塞機

以前出滓口閉塞には作業員が金棒の先端に円錐状の金物を取付け、それにしぼり材 (いわゆるボタ) を塗付けてしぼり口めがけて打ち込み、次にハンマーで叩いて滓を止めていた。今日では小型高炉は別として大型高炉では圧搾空気によつてストッパーを作動せしめ、冷却水が通つている先端金物で滓を止めている。出滓口閉塞機は米国より学んだものであるが欧州より早く取付けて上手に使いこなしている。最近では水冷による閉塞の代わりとしてボタによる閉塞も考えられている。

### (5) 出滓口開口機

以前は前述の人力によるストッパー止めの場合ストッパーを引抜き酸素で開口していたが、今日ではさく岩機を利用して開孔している。

### (6) 炉前作業の機械化

高炉の大型化とともに出銑比 ( $t/m^3/24\text{ hr}$ ) も向上して出銑回数を増さねばならない状態になつている。したがつて出銑と次の出銑との間隔時間が短くなるので炉前の溶銑樋補修や片付

け作業時間の短縮をはからねばならぬ情勢になつている。現在は人力を主とした高熱環境下の作業であるので、衛生面、労務管理面からもこの作業を機械化する必要がある、その機械設備の開発中であるが早急実現しなければならぬ問題である。

### (7) 溶銑処理設備

#### 1) 溶銑鍋

戦後高炉の大型化とともに溶銑鍋の容量も大きくなり、型式も上部開放型より上部閉塞型に変わつている。後者の大容量のものはトピード型混銑車と称される。製銑工場と製鋼工場との間の溶銑の流れは図1.4.14に示すごとく、従来溶銑鍋車、混銑炉併用方式が多く採用されていたが、トピード型混銑車による場合は混銑炉は除かれている。今後新設の大型の製銑工場ではこの方式がますます採用されて行くであろう。溶銑鍋車の容量は90t、トピード型混銑車は250tまで現在使用されている。

#### 2) 鑄銑機

鑄銑機の最も古いものとしては2連のモールド群を1個の電動機で操作する Hail Patterson 式と2連のモールド群をそれぞれの電動機で操作する Pittsburgh Cool Washer Co. 設計のものがあつた。これらの型式はどれもモールドに固定されたローラーが軌条の上を移動して行く型式でローラーの摩耗が著しく保守費が高なっていたが、戦後新設された鑄銑機は、ローラーは固定され、この上をチェーンリングで連繫されモールドが移動するステーションナリーローラー型 (Stationary Roller) で、前記の欠点は除かれている。最近鑄銑機の代わりに開発されたものに溶銑粒化装置がある。これは約  $2\text{ kg/cm}^2$  の高水圧を溶銑樋より流出する溶銑に吹付けて溶銑を粒化する方法であつて、英国の Stewarts and Leoyd's Process といわれている。わが国では東海製鉄に初めて採用されており、鑄銑機に比して建設費および製造費が低いといわれているが、鑄物用には問題がある。

### (8) 溶滓処理設備

高炉溶滓の中、通常その2/3が出滓口より1/3が出銑口より排出され、出滓口よりの溶滓の一部は直接水滓または鉱滓綿に利用されていたが、今日鉱滓綿の吹製はほとんど行なわれていない。大部分の溶滓は溶滓鍋車に受けて滓流し場に運搬されているが、最近では滓流し場を鑄床に隣接して設置し直接高炉よりそこに排滓している工場もある。その目的は溶滓鍋車の節約にある。

#### 1) 溶滓鍋

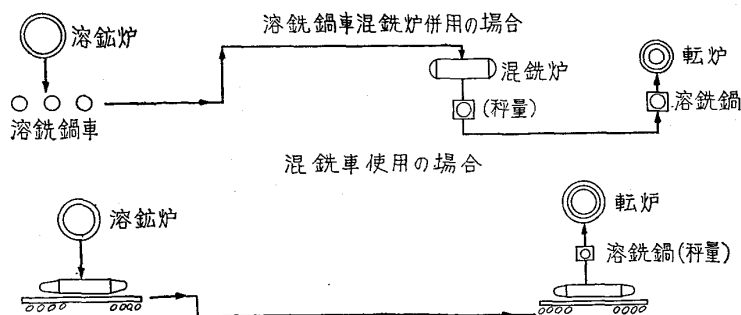


図 1.4.14 製銑工場と製鋼工場内の溶銑の流れ図

溶滓鍋の容量は10~30 t のものが多く使用されており、大型高炉用でも 30 t 程度で容量についてはあまり変化はない。溶滓鍋の容量は最大約 14 m<sup>3</sup> までとされているが、これは鍋形状と軌条幅とに制約されたためである。鍋の形状は熱歪の影響を少なくするため、横断面はできる限り円形で縦断面はV型がとられている。鍋の支持方法は戦前では鍋に直接トラネオンを取付けていたため故障が多かつたので、支持方法をトラネオンリングを介して支持する方法に改め、その結果鍋の亀裂は少なくなつた。鍋の材質についても戦前は FC 製が多かつたが、戦後は SC としたため使用回数は向上している。

2) 水 滓 設 備

通常水滓設備としてはピット法によつている。これは高炉よりの溶滓を金型樋に導き、ここで 3~4 kg/cm<sup>2</sup> の高圧水を水滓トン当り 7~9 m<sup>3</sup> の割で吹付け急冷細粒化しピット内に推積する方法である。この方法による水滓は水分を約50%含んでいるためセメントにする際乾燥費が増す欠点があるというので、戦後に乾燥粒化装置としてドイツより Dry-slag granulator が輸入されたが、現在のところ広く採用されるにいたつていない。

1.4.8 高 圧 操 業 設 備

高圧操業の研究は米国とソ連で始められ、特に米国では第二次世界大戦中に採用された。炉頂圧力としては米国ではソ 0.7 kg/cm<sup>2</sup> (10 lb/in<sup>2</sup>)、ソ連では 1.4 kg/cm<sup>2</sup> (20 lb/in<sup>2</sup>) まで使用されており、高圧操業による増産量は米国では 0.07 kg/cm<sup>2</sup> 当り 1% といわれている。この方式での欠点はベルの摩耗が著しい点にある。すなわち高圧になるほどベルの摩耗は著しく寿命も 1.4 kg/cm<sup>2</sup> 程度では約 3 年といわれている。わが国でも最近高圧操業法が採用され始め、すでに八幡の東田 No. 1 炉、日本鋼管水江 No. 1 炉、富士製鉄室蘭 No. 3 炉で実施されて

いる。そのほか、新設の高炉はもちろん、改修高炉の大部分は高圧操業設備を設置する方向に進んでいる。炉頂圧力としては 0.7~1.0 kg/cm<sup>2</sup> 程度である。高圧操業炉の設備配置の一例を図1.4.15に示すが、図中のワッシャー後に設けられたセプタム弁によつて炉頂のガス圧を制御し、装入装置の上下ベル間にワッシャーを出た一次清浄ガスを均圧弁を通じて封入して下ベルの下降を円滑ならしめ、かつ炉内よりの粗ガスによるベルおよびカップの摩耗を防止する。また上ベルを降下する際には排圧弁によつて、前述の封入一次清浄ガスを大気中に放出し圧力を降下せしめる機構となつている。制御系統は図に示すごとく、セプタム弁制御装置、ブリーダー弁制御装置、均圧排圧制御装置およびガスワッシャー水位制御の4系統に分けられる。セプタム弁の構造の一例を図1.4.16に示すが、一次清浄ガス管に 700 mm φ の 3 個のバタフライ弁と 3 個の 300 mm φ の通気管よりなつている。圧力調整は 1 個のバタフライ弁で微調整できるように他の 2 個のバタフライ弁は遠隔手動でプレセットしておく。したがつてセプタム弁制御装置は炉頂圧を一定に保持する装置で、高圧操業中最も重要なものである。検出端は炉頂上昇管に設けられ、これより取り出された圧力は発信機に送られ電気信号に変換されて、計器室内の炉頂圧指示記録調整装置へと送られる。炉頂圧指示記録調整器では入つてきた炉頂圧と設定圧力とを比較して偏差信号を出し油圧調整器に送り、これによつて油圧シリンダーを動かし弁の開閉を行なう機構になつている。何らかの理由で炉頂圧が設定値を超えた場合には、原則としてセプタム弁が自動的に開き炉頂圧を下げるよになつているが、自然棚落またはスリップなどがあり、圧力の急上昇とみた場合、セプタム弁制御のみでこの変動を吸収し得ないときはブリーダーを開き圧力を下げる。ブリーダー制御装置は 3 個の内開型のブリーダーと 1 個の外開型ブリーダーよりなり、圧力検出端、圧力発信機および上限警報計を結んでいる。炉頂圧があらかじめ設定した圧力以上に上昇すると電磁弁が開きエアシリンダーが作動して、各ブリーダー弁が設定圧力の低いものより順次開くよになつている。均圧および排圧制御は炉頂圧の上昇によつて炉内より上下ベル間に浸入する粗ガスを抑えるため一次清浄ガスを封入し、またベル開閉時に排圧する装置である。均圧および排圧制御装置は捲揚げおよび装入装置のタイマーからの信号を受け開閉を行なう。上記 2 ベル方式の装入装置のほか高圧用として 3 ベル方式がある。米国の John Mohr & Sons が開発した方式で、これは中ベルと下ベルとの間の封入ガス圧力を炉内ガス圧より高くする方式である。また前述のごとく上下ベル間に一次清浄ガスを封入するが一次清浄ガス設備に湿式を用いた場合、すなわち、ガスワッシャー、ベンチユリースクラバーまたはオリフィスクラバーなどを採用した場合、装置上部の水位を一定に保持する必要がある。ワッシャーの場合、水位検出はワッシャーに隣接して設置された水位検出タンクの底部(水面下)と上部(水面上)

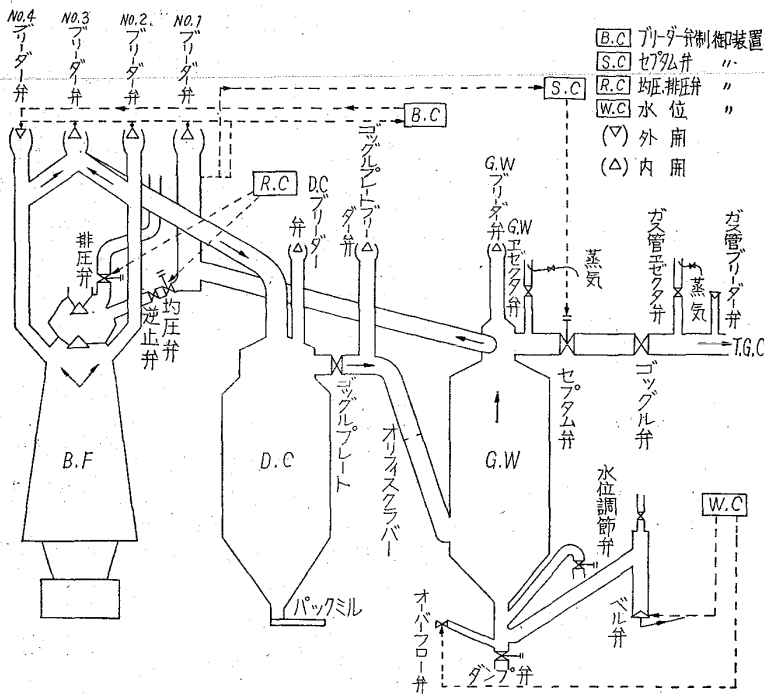


図 1.4.15 高圧操業炉の設備配置と制御系統図



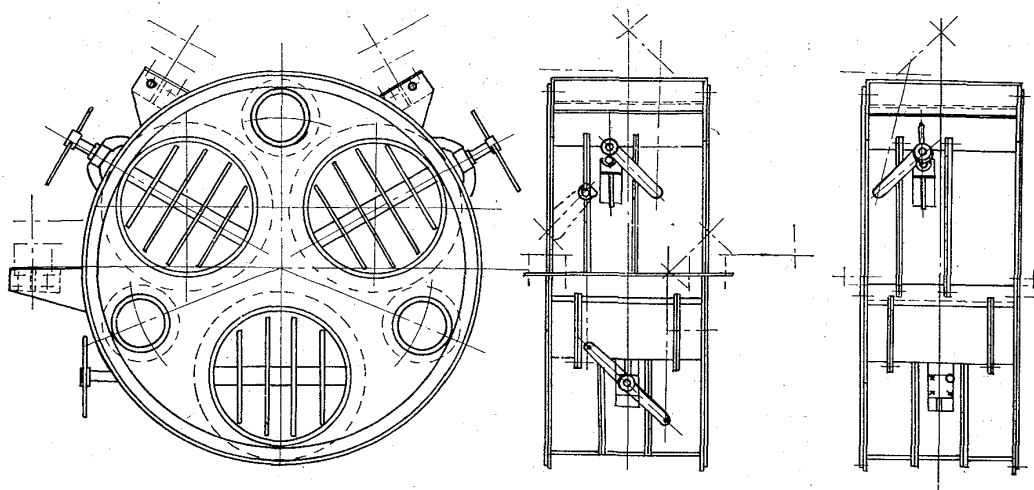


図 1.4.16 セーブ タム 弁

に圧縮空気を吹込み、この差力を電気信号に変換してオーバーフロー弁の開閉を行ない水位を制御する機構となっている。

### 1.4.9 熱風炉設備

戦後わが国の製鉄技術は操業面、設備面ともに急速な進歩を遂げ、コークス比は世界の最高水準に位しているが、このコークス比の成績向上の一つの原因は装入物の事前処理強化と高品位によるもので、この装入物の事前処理強化によつて高温送風が可能となつた。すなわち戦前の送風温度は700°C以下であつたが、戦後の今日では1,000°Cまで上昇している。このことは米国においても同様で Lake-Superior 地方のメサビの粉鉱石を多く使用していた高炉では約500°Cの送風温度しか使用できなかったものが、鉱石の事前処理（ペレット化）を実施することによつて約900°Cまで上昇している。さらに今日高炉に天然ガス、重油、微粉炭などの燃料吹込み法の発展によつて、より高い高温送風が必要となり1,000°C以上の送風温度が使用されつつある。今後も1,000°C以上の高温送風がますます要求されており、熱風炉の型式の変化も起こりつつある。また適正な熱風炉の設計および合理的な操業のため熱工学的研究も盛んに行なわれている。

#### (1) 型 式

現在使用されている熱風炉の形式にはマックルアー型 (McClure) とカウパー型 (Cowper) とがある。わが国の型式を歴史的にみれば、明治・大正の初期に建設された高炉にはカウパー型が採用され、大正中期より昭和8年頃までに建設された高炉にはマックルアー型が用いられ、その後建設された高炉にはふたたびカウパー型が採用されている。ごく最近にいたり前述のごとく、1,000°C以上の高温送風の要求が出るにおよんで既設熱風炉の能力向上の必要性、および安定した高温熱風炉構造の面より、外燃式熱風炉の型式が発展しつつある。外燃式熱風炉とは、燃焼室と蓄熱室を切り離して設置した構造である。マックルアー型の構造は図1.4.17に示すが3通路式で中央に燃焼室があり、その周囲に蓄熱室を設けているので炉下部を除き対称的構造となつている。そのため

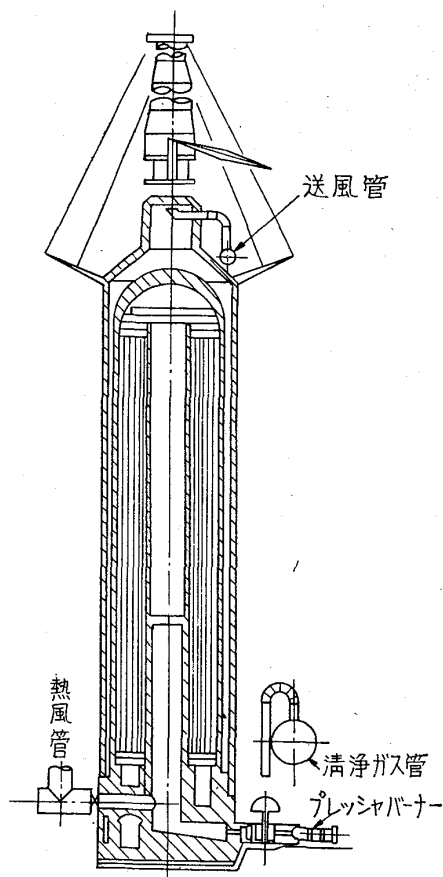


図 1.4.17 マックルアー式熱風炉

煉瓦の膨張収縮が均一に行なわれ安定している構造と考えられるが、実際には図1.4.18に示す非対称的構造のカウパー型より故障が多い。特にドーム煉瓦は燃焼期と通風期により煉瓦の内面と外面との温度差が大きくなるので亀裂が生じやすい。また炉下部はガス燃焼口と熱風出口がほぼ同一レベルにあるため複雑になるので、高温になるにしたがい部分的煉瓦膨張差が大きく働き損傷しやすい。マックルアー型を高温送風に使用してチェッカー受け金物が酸化崩壊した例は多い。また同一鉄皮径に

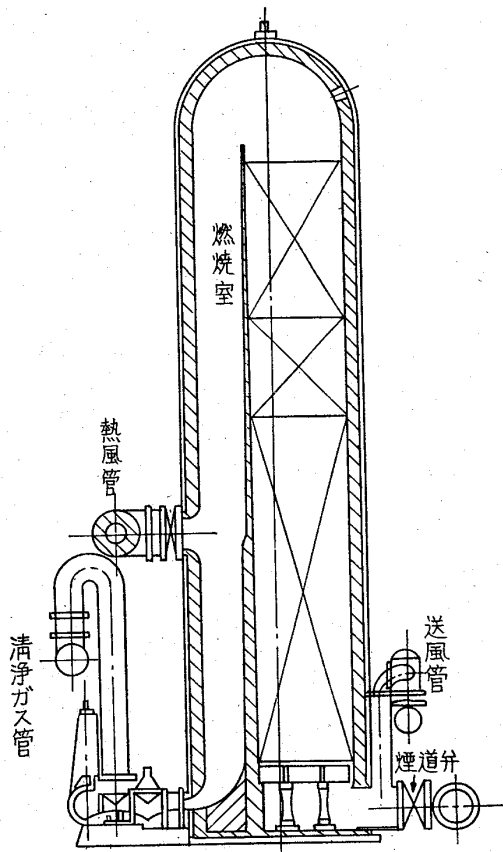


図 1.4.18 カウパー式熱風炉

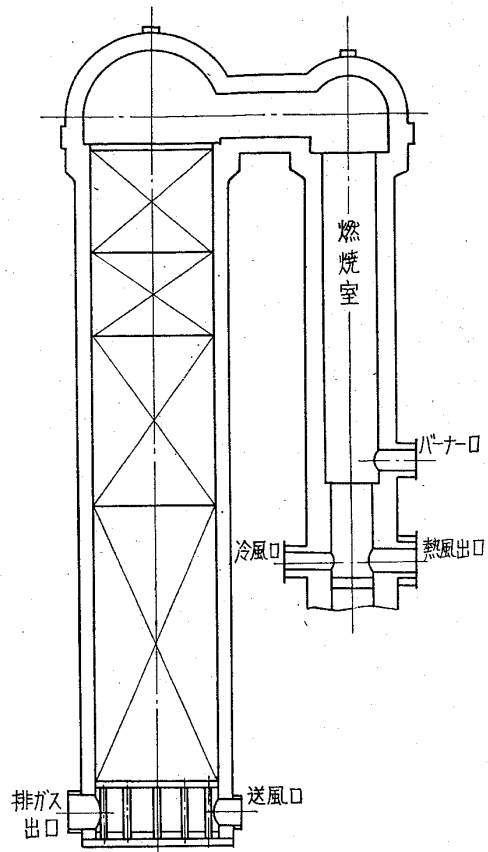


図 1.4.19 外燃式熱風炉

においてカウパー型に比して伝熱面積も保有煉瓦量も少ない。カウパー型は2通路式で、この型においても能力を増大するにつれて熱風炉の径と高さを拡大する必要があるが、高さ/直径の比は5を超してはならないので既設炉の改造に当りむやみに高さを増すわけにはいかない。また高温ガスの使用により燃焼室と蓄熱室の仕切り壁の煉瓦の温度差が大きくなるので、亀裂を生じ短絡の原因となる。したがって図1.4.19に示すごとく外燃式熱風炉が発展してきた。外燃式熱風炉の長所は次の点にある。

①燃焼室炉壁の断熱が均一となる。②蓄熱室の温度に制約されない。③燃焼室水平断面を円形になし得る。④補修の際チェッカー室の温度を降下させなくてよい。⑤従来の熱風炉を利用して低コストで伝熱面積を20~40%増大し得る。外燃式の型式にしても燃焼室および蓄熱室が共通ドームとなつている型(Didier型)と別々のドームを持つ型(Koppers型)とがあるが、いずれの型がよいか未だ不明である。

(2) 各部構造

1) 鉄皮

戦前の熱風炉には鉸接構造のものもあつたが戦後はすべて電気溶接構造である。鉄皮の構造上特に注意しなければならない点は底板にある。すなわち戦前から問題になつたことで底板に発生する応力は多年の使用中に破損し漏風の原因となることである。戦前の構造は底板と鉄皮とが直角に接している構造となつているので応力の逃げ場がなく、したがって破損しやすかつた。そのためこれを高圧容器のごとく底板に彎曲部を設ける構造に変え

ている。ただし、この場合鉄皮の据付け時に注意しないと底板の中心部が浮上り気味となる。

2) 燃焼室

燃焼室の水平断面は強制吸引による場合十分な広さを持つ必要があるが、大型熱風炉ではガス燃焼量を  $120 \sim 160 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ . に設計すればよい。

3) 蓄熱室

蓄熱室は炉全体の容量の40~50%を占めており熱風炉の最も重要な部分である。したがってチェッカー煉瓦の適正な選択、合理的な操業とともに十分な伝熱面積と煉瓦重量の決定が最も大切である。わが国では戦前熱風炉の研究は少なく、したがってチェッカー煉瓦の形状も図1.4.20 Aに示すバスケットウイブ型の簡単なものであつた。戦後はB.C.Dに示すごとく、はりま型、フライン型(Freyn)、ディディア型(Didier)など複雑な形状煉瓦を使用するにいたつているが、図に示されるごとくB.C.D.のそれぞれの形状はAに比して単位体積当りの伝熱面積は大きい。したがって同一径の熱風炉でも大きい伝熱面積を得ることができる。次にカナル径について述べる。気体と固体壁との相互間の伝熱には対流および輻射伝熱が考えられるが、熱風炉においては煉瓦と空気との熱伝達は境界膜による熱伝導が小さいので主として対流によるものである。一方燃焼ガスから煉瓦への熱伝達は対流のほか燃焼ガス中の  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  による輻射伝熱が加味される。ガス層の厚いほど、すなわちカナル径の大きいほど輻射伝熱割合は大きい。古い熱風炉では自然吸引であつたため燃焼ガス量も少なくカ

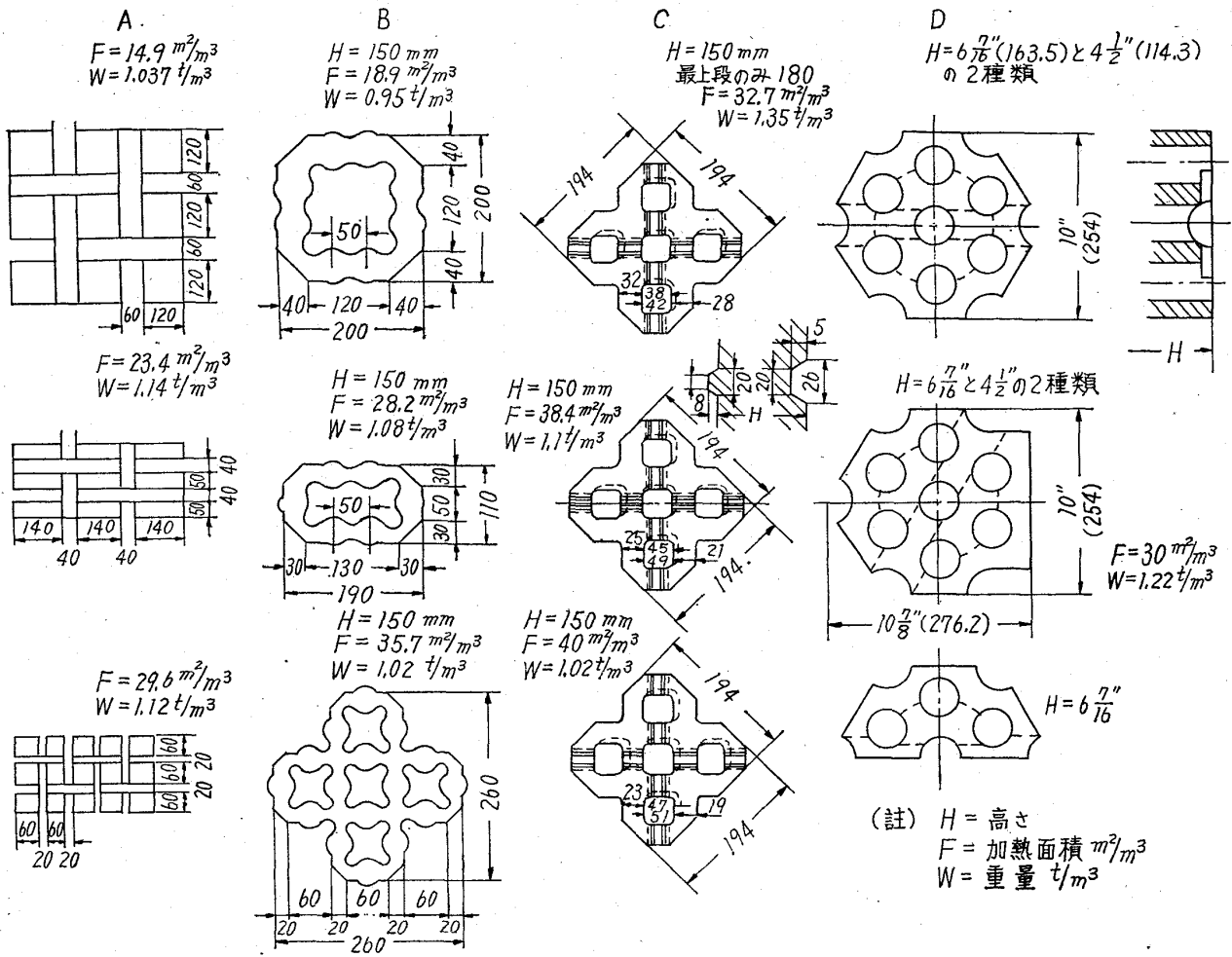


図 1.4.20 各種型の熱風炉チェッカー煉瓦

ナール径も大きかったので、対流による伝熱よりも輻射による割合が支配的であった。今日の新しい熱風炉では強制通風式で燃焼ガス量は多く、しかもカナル径は小さく設計されているので対流による伝熱割合が増加し、両者の比が1:1近くなつていていると考えられる。

4) 煉 瓦

戦前高炉ガスの清浄度は  $0.02 \text{ gr}/\text{Nm}^3$  程度、送風温度も  $700^\circ\text{C}$  以下であったが熱風炉の操業管理が不十分であったため、過熱により特にドーム煉瓦や蓄熱室上部チェッカー煉瓦の損傷が著しかった。すなわち熱風炉の過熱燃焼によりダスト中の  $\text{K}_2\text{O}$  の影響を大きく受け煉瓦表面の硝子化による伝熱係数の低下および耐火度の低下などが生じていた。戦後湿式電気集塵設備の発達によりガス清浄度は  $0.005 \text{ gr}/\text{Nm}^3$  以下になし得た結果、カナル径の縮小化が可能となり、また伝熱面積が拡大された。一方操業面においても各弁の自動切替制御により燃焼時間の延長、燃焼自動制御により過熱防止が可能となった。他方煉瓦の品質についても改善が加えられた。すなわち図1.4.21に示すごとくシャモット煉瓦は  $1,200^\circ\text{C}$  以上で収縮をはじめるので、約  $1,000^\circ\text{C}$  の送風温度を長年月安定して使用するためには高温部にシャモット煉瓦を使用することは不適当である。したがって高温部には高アルミナ煉瓦を使用することにより炉の寿命の延長と

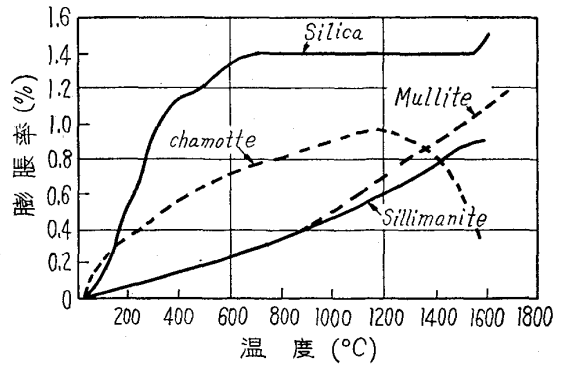


図 1.4.21 各種煉瓦の膨脹率

熱効率の向上をはかっている。さらに  $1,200^\circ\text{C}$  程度の高温度熱風炉には珪石煉瓦のほうが安定しているといわれているが、 $600^\circ\text{C}$  以下では容積変化が著しいので熱風炉用煉瓦として今後研究していかねばならない。図1.4.22に送風温度差による熱風炉の使用煉瓦の品質の差を示す。そのほか良質の断熱材の発達により、これを熱風炉にも多く採用し熱放散を防ぎ熱効率の向上をはかっている。

(3) 熱風炉付帯設備

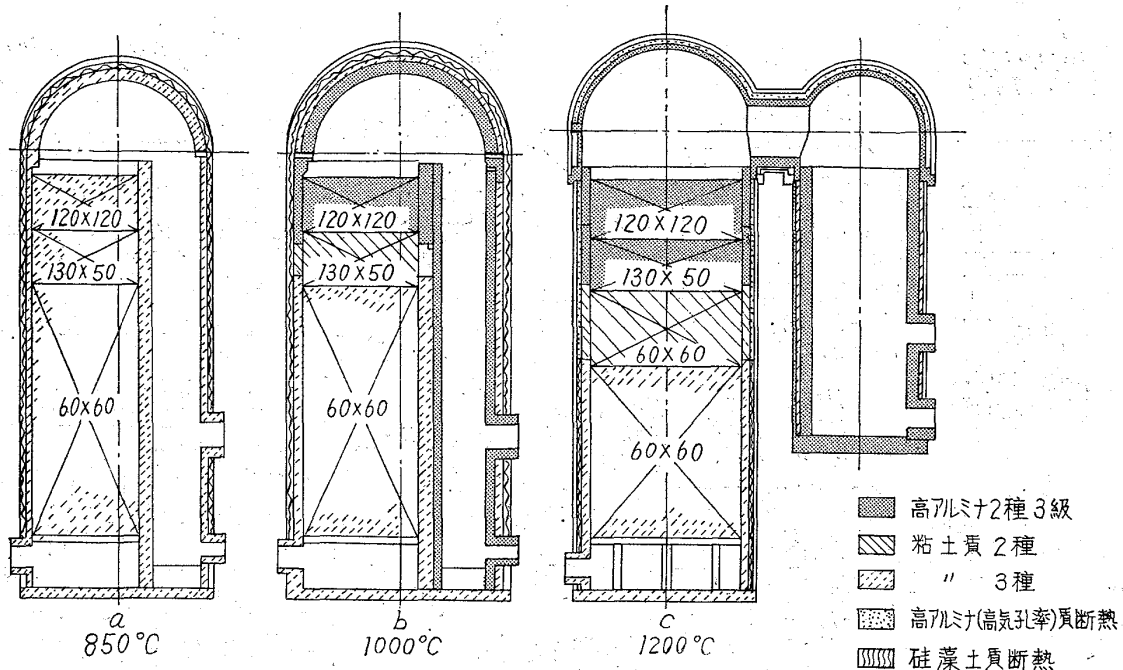


図 1.4.22 送風温度差による熱風炉の使用煉瓦図

熱風炉の付帯設備としてバーナー、各種弁類などがあるが、戦後特に開発されたものは自動切替制御装置および自動燃焼制御装置である。

1) バーナー

古い熱風炉では自然吸引でガスの燃焼量も少なかったが、今日ではすべて強制通風方式で大型熱風炉では 80,000 Nm<sup>3</sup>/h のものまでできている。わが国のバーナーは Zimmerman & Jansen 型が多く採用され、遮断弁は通常水冷されていないが、1,000°C 以上の高温熱風用の熱風炉では水冷式スルース型にする必要がある。

2) 各種弁類

熱風炉に付帯する弁類には熱風弁、送風弁、冷風弁、煙道弁、ガス遮断弁、放風弁などがあるが、特に戦後に改善または開発されたのは熱風弁およびガス遮断弁である。熱風弁の型式にはスルース型 (Sluice) とムッシュ型 (Mush) とがあるが、ムッシュ型は米国で多く採用されわが国および欧州ではスルース型が多い。戦前のスルース型熱風弁の寿命は3~6か月と短かったが、戦後は主として給排水の管の導入および排出方法と弁座および弁板の材質を改善することにより1年以上寿命が延長された。ガス遮断弁については戦前は水封弁以外に完全にガスを遮断する方法はなかったが、戦後はロータリー弁やゴッグル弁などが開発され、水封弁に比して操作時間が非常に短縮された。

3) 自動切替制御装置

熱風炉の切替時間の短縮、切替順序の正確化および作業人員の節約をはかるためにバーナーおよび各種弁類の自動切替制御が行なわれている。この制御は Zimmerman & Jansen のものが最初輸入されたが最近はすべて国産化している。熱風炉の切替にはガス切り、送風、ガス入れの3操作がある。各操作を行なわしめる動力源には大別して、空気操作方式と電動操作方式があるが、

空気操作方式も遠隔操作を行なう場合には空気圧を電気に変換して遠隔操作が行なわれている。熱風炉は爆発しやすいガスを取扱う関係上、切替えの故障は検出されて故障表示器に表わされるようになっており、また動作の順序の誤りを防ぐために前段の動作が完了しなければ次の動作はしないことになっている。停電時には切替開閉機を単独に入れて手動に切替え、できる限り短時間に各種弁が開閉できるように設計されている。この自動切替装置は次の自動燃焼制御装置とともに、熱風炉設備に関して合理化されたものうち重要なものである。

4) 自動燃焼制御装置

昔の熱風炉はガスと空気の比率制御のみを手動で行ない、一部アスカニア装置もあつたがうまく作動していなかった。今日の熱風炉ではすべて次に示す項目の自動制御が行なわれている。すなわち、①一定温度以上にドーム温度を上げないように、ドーム温度制御。②完全燃焼せしめるための空気ガス比率制御。③、①に関連して、燃焼ガス流量制御。④過熱防止に、排ガス温度制御。⑤一定送風温度制御などの制御が行なわれ、何らの故障もなく操作されている。検出端よりのパルスは電気に変換されて計器に表示され、計器盤は自動燃焼装置の操作デスクと組合わされている。

1.4.10 ガス清浄設備

高炉より出たガスはまず除塵器に入りここでダスト中の粗粒が除かれ、次に各種のガス清浄設備によつてさらに清浄化され熱風炉、コークス炉、その他圧延工場の加熱炉およびボイラーなどに利用されている。

(1) 高炉ガス

高炉より発生するガス量は戦前と今日とは大いに異なっている。戦前のコークス灰分は18~20%と高いため高炉の単位容積当り送風量も少なくなり、したがって単位

時間当りのガス発生量は少なかった。一方出鉄量が少ないためトン当りガス発生量は、4,000~5,000 m<sup>3</sup>と多量であった。今日ではコークス灰分は、約10%で高炉単位容積当り送風量が大いので時間当りガス発生量は増大し、逆に鉄トン当り発生量は、1,700~2,000 Nm<sup>3</sup>と戦前の半分になっている。カロリーは戦前では約1,000 kcal/Nm<sup>3</sup>であったが、今日では800 kcal/Nm<sup>3</sup>程度で好成績の高炉では約700 kcal/Nm<sup>3</sup>である。ガス中に飛散するダスト量は戦前はコークスの潰裂強度が弱く、また装入鉱石中に粉鉱が多く混入していたため多かつた。今日では鉄トン当りガス灰量は20 kg以下に低下し、一般的にいつて普通操業炉では高炉より出るガス中に5~10 gr/Nm<sup>3</sup>、除塵器を出るガス中に3~5 gr/Nm<sup>3</sup>、一次洗浄塔を出たガス中に0.5~1.0 gr/Nm<sup>3</sup>、湿式電気集塵器を出るガスは5 mg/Nm<sup>3</sup>以下のバランスとなつている。

## (2) 型 式

ガス清浄設備の型式を大別すると乾式と湿式とがありさらに機械的と電氣的に区分される。最近では高温送風が必要となり、そのため熱風炉のチェッカー煉瓦のカナル径は小さくなり、またコークス炉もアンダージェット(Under-jet)方式が採用されるなど、ガス中のダストを極力除去する必要が生じている。

### 1) 乾式清浄装置

バッグフィルターなどの乾式の機械的清浄装置は、わが国ではほとんど採用されていなかった。電氣的方法としてコットレルがあるが、わが国の製鉄所では昭和5年に釜石製鉄所に初めて設置され、次に八幡製鉄、日本鋼管の各製鉄所に設置された。

コットレルの場合、入口温度、湿度を調整して一次二次のコットレルに導いている。しかし、この条件調整がむずかしい上に保守に人手を要する。この方式での清浄度は9~10 mg/Nm<sup>3</sup>で次に述べる湿式電気集塵機より劣つている。

### 2) 湿式清浄装置

一次清浄用には洗浄塔、オリフィスクラバー (Orifice scrubber) およびベンチュリースクラバー (Venturi-scrubber) などが使用され、2次清浄用にはタイゼン式ディスインテグレーター (Theisen disintegrator) や電気集塵機が主として採用されている。

a) 洗浄塔 (Washer) 洗浄塔には格子型とスプレイ型とあり、米国では格子型が多くドイツではスプレイ型が多い。格子型は圧力の損失が大いだがスプレイ型に比して使用水量が少ない。一方スプレイ型はその逆である。戦前わが国で採用されていたのは格子型であったが、戦後スプレイ型も多く採用されている。わが国の製鉄所のごとく高炉ガスの利用率の高いところでは、できる限り圧力損失を防止したほうが得策である。

b) オリフィスクラバー (Orifice scrubber) およびベンチュリースクラバー (Venturi-scrubber) 両スクラバーとも水を高速ガス中に噴射せしめてダストを吸着させ、下部に水筒分離器を設けた構造である。最近はいずれの型もベンチュリーのスロートの径、またはオリフィスの径を調節可能にする型となり、それを調節することによつてガス清浄度を加減し10 mg/Nm<sup>3</sup>の程度まで下げ得る。したがって、この設備のみで2次清浄を

必要としない場合もある。ただし圧力損失が大い欠点がある。

### c) ディスインテグレーター (Disintegrator)

洗浄塔より出たガスは2次清浄用として、タイゼン式 (Theisen)、ブラザート式 (Brassert)、ディングラ (Dingler) など機械的清浄装置にかける。わが国はタイゼン式が多く採用されている。戦前のある時期ではコットレルよりタイゼンのほうが操作しやすいので、この方式が好んで採用されたことがある。この型は容量として50,000 Nm<sup>3</sup>/hが最大でガス清浄度は大体20 mg/Nm<sup>3</sup>程度であるため、新しい大型工場には今日あまり採用されない。

### d) 電気集塵機

湿式電気集塵機は戦後特に発達した型式で前述のコットレルに比し操作も容易であり効率も高いので、この方式が、現在最も多く採用されている。型式を大別すると平板型と円筒型とがあるが、平板型は欧州、円筒型は米国で多く採用されている。わが国では立地条件より海水を用いなければならない工場が多いが、腐蝕の点から円筒型より平板型のほうが補修しやすい、しかし敷地面積が狭く淡水使用可能ならば円筒型のほうが建設費が若干安くすむ。平板型にも敷地面積を少なくするためと圧力損失をさらに少なくするため横型ベンチュリーと組合わせたベンチュリオン型と称するものがあるが、ベンチュリーにダスト付着の問題が若干残されている。湿式電気集塵機の清浄度は5 mg/Nm<sup>3</sup>以下である。荷電装置についても戦前のコットレルには機械的整流器を使用していたが、これは騒音があり、またNOガスを伴うので空気調整の必要があつて単位容量も30 KVA程度であった。今日ではセレン整流器、シリコン整流器が発達しこれは取扱いも容易である。この新しい整流器の発達により集塵機の単位容量も大きくなし得るようになって、現在100,000 Nm<sup>3</sup>/hまでできている。

### (3) 排水処理設備

湿式ガス清浄設備よりの汚水を直接排水管にて海または川に放流する場合排水管が詰るおそれが多分にあり、また海や川が汚染する面からもガス灰の一部を回収後放流する必要がある。戦前は処理設備としては単なる沈殿池程度があり、工場の単位容量も小さかつたのでそれで足りていたが、今日のごとく工場単位容量が大きくなりガス灰の量も増している状況下ではシクナーおよび汙過機を必要とする。今後海や河川の汚染規制条令が強化されればますます処理設備を必要としよう。戦前高炉ガス灰用シクナーを設置したこともあつたが運転がうまくいかなかつた。しかし、今日ではすべて順調に運転されている。シクナーの入口パルプ濃度は1,100:1、底部より出るスピゴットの含水率50%、オーバフローの濁度は30 p.p.m.を設計基準としている、汙過機としては真空式と加圧式があるがガス灰用には真空式が用いられ、オリバーフィルター型が多い。

## 1.4.11 送風設備

高炉送風機の型式を歴史的にみれば、明治・大正時代には蒸気機関が主として使用され、昭和初期にいたり電動ターボ型になり次に蒸気タービン駆動のターボ型が採用された。戦後は高能率の蒸気タービン駆動または電動

表 1.4.2 高 炉 送 風 機 型 式 の 分 類

1. 送風機による分類		
送 風 機 型 式	単 一 容 量	国 内 実 績
往 復 動 型	$\leq 3,500 \text{ kW}$	明治以降より昭和初期まで
ターボ型 (軸流型)	制限なし	大正10年以降
軸 流 型	同 上	昭和32年以降
ね じ 型	$\leq 2,000 \text{ kW}$	昭和37年試作程度
2. 原動機による分類		
原 動 機 型 式	送風機型式および容量	国 内 実 績
蒸 気 機 関	往復型 $\leq 800 \text{ kW}$	明治, 大正初期に設置され, 現在使用せず.
ガ ス 機 関	往復型 $\leq 3,500 \text{ kW}$	大正後期より昭和初期に設置, 現在一部運転中.
電 動 機	ターボ型 軸流型 $2P \leq 7,000 \text{ kW}$ 4P 制限なし	現在小, 中型高炉に使用ターボ型 $4,000 \text{ kW}$ , 軸流型 $6,000 \text{ kW}$
	ねじ型 $\leq 2,000 \text{ kW}$	なし
蒸 気 タ ー ビ ン	ターボ型, 軸流型とも出力制限なし	B ターボ型, 現在小, 中型高炉に使用, アメリカでは大型高炉にも使用
	ターボ型, (実績 $11,000 \text{ kW}$ 級) 軸流型, (実績 $12,000 \text{ kW}$ )	C 軸流型, 現在国内大型高炉用に使用
	ねじ型, (実績 $2,000 \text{ kW}$ )	D 現在中型高炉に使用 (並列運転による)
ガ ス タ ー ビ ン	軸流型, 出力制限なし (1軸開放型で $14,000 \text{ kW}$ まで)	現在, 中型高炉用に試作中, 欧米では $14,000 \text{ kW}$ 級の実績がある (送風専用および発電併用)

機駆動の軸流型送風機が採用され, その他ガスタービン駆動による軸流送風機も現在開発中である. 表 1.4.2 は高炉用送風機型式および原動機型式による分類を示す. 以上のごとく送風機の型式は変化してきたが, 高炉用送風機の具備すべき条件として下記の点を考慮し機種を選定すべきである.

①前提として高炉操業者側より適正なる使用範囲の仕様が決まるべきである. ②高炉操業法には定風量操業法と定風圧操業法とがあるが, 定風量操業法が好ましい. ③したがって安定した自動定風量操業が可能なるもの, すなわち炉況変動に対して一定風量が容易に得られるもの. ④建設費が低廉であること, すなわち, 原動機を含めて総合的な建設費が低廉であること. ⑤長期連続運転に耐え運転保守が容易であること. ⑥原動機および送風機の運転効率が高く, 運転および保守費ができる限り少ないこと.

送風機の適正範囲の決定であるが, 鉄トン当り送風量は戦前と今日とは大幅に異なり, 戦前では  $3,500 \sim 4,000 \text{ m}^3$  を要したが, 今日では  $1,300 \sim 1,400 \text{ m}^3$  と半量以下に減っている. すなわち, 図 1.4.23 に同一出鉄量として  $800 \text{ t/日}$  の場合の新旧高炉送風量の比較を示す. 鉄トン当り送風量の半減とともに送風機への要求範囲も適正化されてきた. 戦前では常用送風量および送風圧に対して大幅に広い領域を要求して送風機の能率をあまり重要視

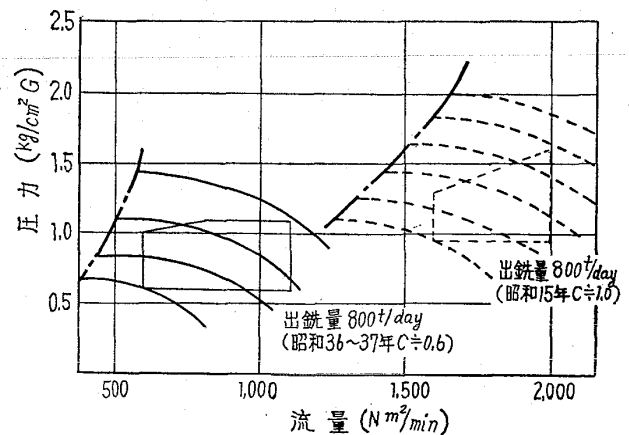


図 1.4.23 新 旧 高 炉 送 風 流 量 比 較 (同 一 出 鉄 量 の 場 合)  
 ..... 昭 和 15 年 頃 の 使 用 範 囲 お よ び 送 風 機 特 性 曲 線  
 ——— 昭 和 36 ~ 37 年 " " "

していなかつたが, 今日では効率の最も高い点を常用点として送風量では漏風率を 5% 見込んで  $\pm 300 \text{ m}^3$ , 送風圧では圧力損失  $0.1 \text{ kg/cm}^2$  を見込んで炉況変動用に対し  $\pm 0.3 \text{ kg/cm}^2$  を常用領域としている. 高圧操業炉では設定炉頂高圧から普通操業時の炉頂圧を引いた, すなわち, 炉頂圧の上昇分の 70~80% を普通操業時の

送風圧に加味して設計すればよい。次に軸流送風機とターボ型送風機との特性曲線を図 1.4.24 に示すが、この

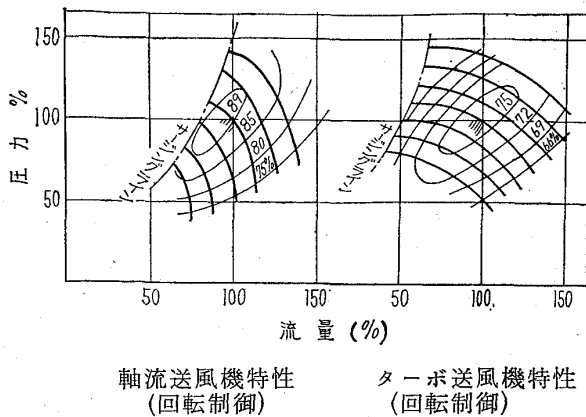


図 1.4.24 軸流送風機とターボ型送風機の特性曲線

図で分かるように軸流型の方が高圧送風機に適している。わが国では欧米に先駆けて新設高炉にはすべて軸流送風機を採用している。ただし、 $500 \text{ Nm}^3/\text{min}$  以下の小容量のものでは高速多段になりすぎるのでターボ型がよい。原動機については、大型高炉送風機はすべて蒸気タービン駆動であるが、 $6,000 \text{ kW}$  以下ならば電動機駆動で可能である。わが国では電動機駆動の送風機は建設費が蒸気タービン駆動のものより低廉であるが、送風費は逆に高くなっている。これは速度制御による電動機の部分負荷運転のためである。そこでごく最近では風量制御を送風機の静翼可変によつて行ない、電動機を定速運転する型式が出現し、 $6,000 \text{ kW}$  以下ではこの型式が有利になりつつある。電動機または蒸気駆動のほかにはガスタービン駆動によるものが、最近開発されつつある。ガスタービンの型式には開放型と密閉型とがあるが高炉用には開放型が採用されている。ガスタービン駆動の送風機の特長としては軽量小型で起動が早く、運転操作が容易でありかつ冷却水が非常に少なくすむので水の少ない内陸プラントに適している。建設費としては蒸気タービン駆動のものと比較して大差はないが、運転実績が少ないので今後なお研究を要する。その他特殊な型式としてねじ型送風機がある。高い圧力比が容易に得られるので高圧操業に適しているが、現在では、風量に制限があり  $500 \text{ Nm}^3/\text{min}$  までが推奨されている。

## 1.5 高炉操業技術

最近における製鉄技術のめざましい発展は、さきに述べた装入原料の改善とともに、本章にかかげる操業技術の進歩によるものであるといつても過言ではないと思う。すなわち高温送風、調湿送風、酸素富化送風、燃料吹込みなどの送風処理技術の進歩および焼結鉱の品質改善とその増配合、さらには直装鉄鉱石の整粒強化などが逐次実施されるとともに、種々の操業理論と解析が進み、操業技術の大幅な進歩を促したものである。

その結果は生産速度の上昇とコークス比の低下となつて現われている。生産速度は 10 年前に日産約  $1,000 \text{ t}$  が最高であつたものが、高炉の大型化と相まつて出銑比

(高炉内容積  $1 \text{ m}^3$  当たりの 1 日の出銑トン数) も大幅に向上し、日産  $3,000 \text{ t}$  以上の出銑を続けている高炉も現われている。

この間出銑比は  $0.8$  から  $1.5$  になり、短期間の試験では  $2.5$  を記録したものもある。

一方のコークス比の低下も著しく、その推移は図 1.5.1 に示すとおりで、現在  $300 \text{ kg}$  台のコークス比で操業している例もあり、世界的な記録をたてつつある。そしてこれらはともは鉄鉄原価の低減に大きく役立つている。

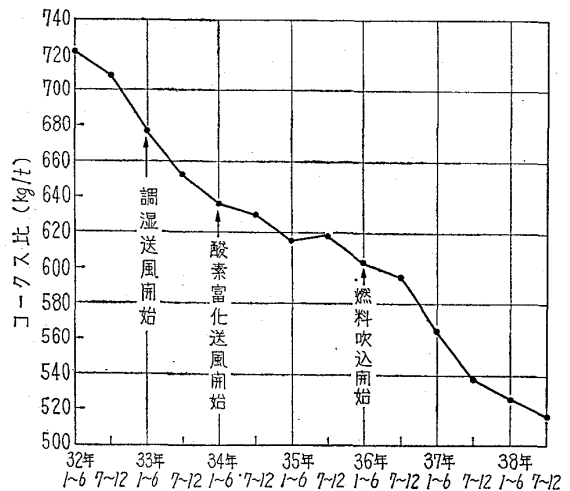


図 1.5.1 最近のコークス比推移 (全国平均値)

また最近、以上の新技術とは別に複雑な高炉々内反応を理論的、統計的に究明し、時々刻々の炉況を適確に把握して、より高度の操業管理を行なわんとする技術が台頭し早急に研究が進められている。これは計装設備の進歩と電子計算機の普及により必然的に生じたものであり今後大いに期待されるものの一つであるといえよう。

本章でこれらの各技術について述べる。

### 1.5.1 高温送風

#### (1) 高温送風の効果

かつて、わが国の高炉送風温度は  $500 \sim 700^\circ\text{C}$  であつたが、原料の予備処理の進歩、焼結鉱の高配合、調湿送風、燃料吹込などの実施によつて、現在では  $900^\circ\text{C}$  以上、最高  $1,050^\circ\text{C}$  の高温送風が行なわれている。

送風温度を上げれば、熱的な燃料コークスの節約のみでなく、それだけコークスからくる灰分が減少し、これを滓化するための石灰石が節約される。これにより、鉄鉱石の装入量を増すことができ、出銑量が高める効果もある。

送風温度のコークス比におよぼす効果は操業条件によつて異なるが、温度  $100^\circ\text{C}$  上昇につき  $20 \sim 30 \text{ kg}$  のコークス比の低下が期待されている。

八幡・洞岡の高炉において昭和 34 年の操業実績を解析した結果は図 1.5.2 に示すごとく、温度  $100^\circ\text{C}$  上昇につき、コークス比  $26.8 \text{ kg}$  の低下である。

鋼管・川崎では第 4 高炉の昭和 32~34 年の操業実績を多重回帰分析を行なつた結果、温度  $100^\circ\text{C}$  上昇につ



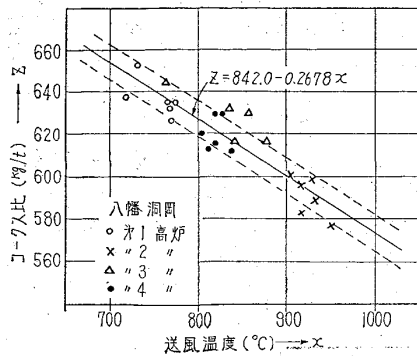


図 1.5.2 送風温度とコークス比の関係

き、コークス比 21.5 kg の低下という値を得ている。

一方、出銑量への効果は、同じく八幡・洞岡の操業実績によれば図 1.5.2 のように、温度 100°C 上昇につき内容積 1 m<sup>3</sup> 当たり 0.09 t/day の増加になっている。

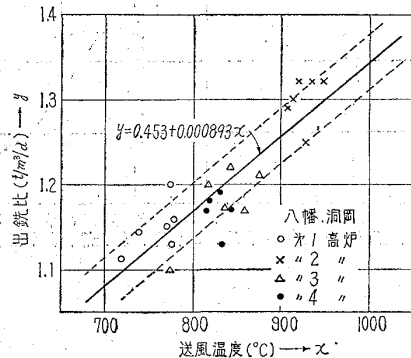


図 1.5.3 送風温度と出銑比関係

## (2) 高温送風設備の改善

高温送風の発展につれて、設備上の改善が種々なされている。

### 1) 熱風炉加熱面積の増加

送風温度 800~900°C では 45~50 m<sup>2</sup> 加熱面積/m<sup>3</sup> 高炉内容積であつたが、1,000°C 以上の高温送風を行なう場合は 55~60 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> に増加している。

### 2) 蓄熱室煉瓦の改善

高温燃焼ガスの流速を均等化するために 2~3 層式の蓄熱室構造が多く利用されたが、次第にガス通路を小さくして加熱面積を増大し、熱交換量を多くすることを主眼として、種々の形状のブロック煉瓦が使用されつつある。

### 3) 煉瓦材質の改良

熱風炉ドーム温度は従来、煉瓦積の保守上から 1,150~1,200°C に制限していたが、高アルミナ煉瓦、シリカ煉瓦などを高温部に使用することにより、ドーム温度の上昇が可能になつた。

### 4) 分離燃焼型熱風炉の採用

わが国の熱風炉は、その大半がカウパー式であつたが最近、シリカ煉瓦を使用した分離燃焼型熱風炉が採用され、鋼管・川崎で操業に入つたほか、八幡・洞岡、川鉄・千葉で建設中である。

### 5) 管類の断熱強化

熱風炉出口から高炉羽口にいたる間の温度降下を防ぐために、管類の断熱に留意している。ペンストック、ブロー・パイプなどは耐熱金物を使用し、内面に煉瓦またはキャストブルを 30~50 mm 塗布し、断熱をはかるとともに金物を保護している。

### 6) 熱風弁の改良

熱風弁ケースは種々の耐熱合金鋼の使用が研究され、一部には水冷式のものを使用されている。また熱風弁の過熱を防ぐため、熱風弁の前に調節冷風を入れる方法も実施されている。

## (3) 熱風炉操業の進歩

熱風炉操業の進歩により熱効率が上昇し、設備上の改善と相まって、高温送風の要求を満足させている。

### 1) 熱風炉切替時間の短縮

送風量および送風温度の上昇により熱風炉の熱負荷は大きくなり、燃焼末期には排気温度が上昇して熱効率が低下する。このため、燃焼時間を短縮して排気温度の上昇を抑え、ガスの有効利用をはかっている。

また、熱風炉の 2 基並列送風も行なわれており、混合冷風を使用しない並列送風も計画されている。

### 2) 燃焼ガス量の規制

熱風炉の残熱をいたずらに大きくすることは、熱損失を大きくするばかりでなく、炉体保護の上からも避けるべきであり、このため、負荷に応じて燃焼ガス量を決めており、最近ではプログラム燃焼制御なども開発されつつある。

### 3) 燃焼用ガスのカロリー・アップ

最近における高炉のコークス比低下により、高炉ガスカロリーも次第に低下し、従来 900 kcal/Nm<sup>3</sup> であつたものが、特に低い場合には 700 kcal/Nm<sup>3</sup> 近くにまで低下している。ガス・カロリーの低下は火焰温度の低下をきたし、ドーム温度は上昇せず、排ガス量が増大して熱効率が低くなる。このため、高炉ガスにコークス炉ガスを添加して 900~1,000 kcal/Nm<sup>3</sup> に富化することが行なわれており、ナフサ・ガス、L.P.G.、燃料油などの使用も検討されている。

### 4) 燃焼用空気の酸素富化

高炉ガス・カロリー低下対策として、燃焼空気の酸素富化も一部では試みられている。

### 5) 自動制御

わが国の熱風炉は、ほとんど圧縮空気または電動式の自動切替装置を有しており、自動制御機構としては、送風温度自動制御、空燃比自動制御、ドーム温度制御全自動切替などをもっている。

以上述べたように、高温送風設備の改善および操業方法の進歩により、高温送風が得られるとともに熱効率も従来に比較して大幅に上昇しており、燃焼用ガスの原単位 (900 kcal/Nm<sup>3</sup> 換算) は、送風温度の上昇にもかかわらず、低下の傾向をたどり現在では 650 Nm<sup>3</sup>/t-pig 程度に達している。熱風炉の熱精算例を表 1.5.1 に示す。

近い将来、さらに高い送風温度が実現されるであろうが、そのためには、熱風炉煉瓦などの耐火物、高炉付属設備の金属材料の研究が必要であろう。また、自動化がさらに進み、熱風炉全自動切替が行なわれるようになり



表 1.5.1 熱風炉熱精算表  
(富士・広畑 8 号熱風炉  
45 min 通風 45 min 燃焼, 35.12~36.2)

		× 10 <sup>3</sup> kcal/cycle	%
燃 持 焼 込 ガ ス 熱	燃 焼 熱	29,719	92.9
	頭 熱	455	1.4
	計	30,174	94.3
燃 焼 用 空 気 頭 熱		145	0.4
冷 持 熱 込 風 込	頭 熱	1,628	5.1
	蒸 気 頭 熱	55	0.2
	計	1,683	5.3
入 熱 合 計		32,002	100.0
熱 持 去 風 熱	頭 熱	23,251	72.7
	水 分 頭 熱	1,160	3.6
	計	24,411	76.3
排 持 ガ 去 ス 熱	頭 熱	1,637	5.1
	水 分 頭 熱	106	0.3
	未 燃 損 失	0	0
	計	1,743	5.4
冷 却 水 持 去 熱		500	1.6
放 蓄 散 熱	炉 体 放 散	274	0.9
	蓄 熱 そ の 他	5,074	15.8
	計	5,348	16.7
出 熱 合 計		32,002	100.0
熱 効 率		92.5%	

$$\text{熱効率} = \frac{\text{熱風の熱量} - \text{冷風の熱量} + \text{蓄熱}}{\text{燃焼ガスの持込む熱量}}$$

データー・ロガー、コンピューターなどの導入によつて完全な自動制御が行なわれるよのようになるであろう。

## 1.5.2 複 合 送 風

### (1) 複合送風技術の歴史

高炉の送風処理技術は、広く利用されており、現時点では日常のアクションを含めて、操業技術の大半を占めているといつても過言ではない。一般に送風処理技術、すなわち高温送風、調湿送風、酸素富化送風、燃料添加送風などのうち、高温送風以外のものを広義の複合送風と呼んでいる。従来より銑鉄原価の約 1/3 を占めるコークスの消費量を減らすことが、原価低減の近道であつてそのためにはいくつかの試みがなされてきた。その 1 つとしてかつては送風温度の上昇が工夫され、前節で述べたとおり、種々の努力により今日にいたつている。しかし当初は単純な温度上昇は炉況不調を招いて、おのずから限度があつたが、その後冬季と夏季の大気中の湿度の相違が、炉況に大きく影響することが解明され、昭和 33

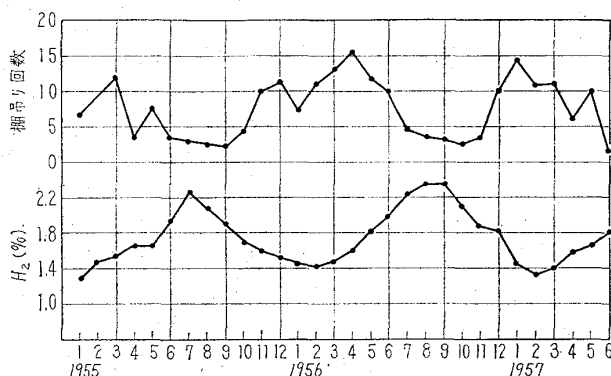
年ごろより、水蒸気添加操業が考えられ、さらに調湿操業へと発展してきたのである。

一方酸素製鋼法の発展とともに、安価な酸素が得られて、生産性向上のために、酸素富化送風が考案され、昭和 33 年ごろに実用段階に入った。このころ、羽口先理論燃焼温度を一定にするという考え方が発表され、酸素富化調湿操業に際して適用された。これらが操業成績の向上、炉況安定の手段として一般化してきたころ、さらにコークス比低下の手段として、燃料吹込み技術が開発された、すなわち、高炉の燃料および還元剤としては従来炉頂から装入されるコークス、あるいは木炭のみあつたが、近年重油を主とした補助燃料が、送風羽口より装入可能となつた。前述の各技術の必要性和その発展の経過について別個に述べる。

### 1) 調湿送風

第 2 次世界大戦後、ソ連では大気に水蒸気を加えて、15~20 g/Nm<sup>3</sup> の一定値に調湿する操業が研究され、生産性の向上、コークス比の低下、送風温度の上昇などの好結果を得た。わが国においても昭和 29 年ごろより調湿、操業が取り上げられ、八幡では昭和 29 年より夏季は減湿、冬季は加湿を行なつて低い湿分値に調湿する試験を行なつた。

昭和 30~32 年において、国内の代表高炉の炉頂ガス H<sub>2</sub>% と棚吊り回数とを調査すると図 1.5.4 に示すように大気湿分の高い夏季に棚吊りが少なく、大気湿分の低い冬季に棚吊りが多いことがわかる。



(富士・広畑第 1, 2 高炉 八幡・洞岡第 3, 4 高炉)  
(富士・釜石第 8, 10 高炉 富士・室蘭第 1, 2 高炉)

図 1.5.4 毎月の高炉棚吊り回数と炉頂ガス中平均 H<sub>2</sub>%

また送風空気に添加する水蒸気量を変更して、湿分の調節が炉況に与える影響を調べた結果、調湿が炉況安定上に必要であることがわかり、現在では高温送風を行なうための調湿送風が一般に行なわれている。さらに送風温度を最高温度に固定して、添加湿分量の加減によつて炉熱の調節を行なつているところもある。なお、わが国での各高炉の送風湿分量は 15~30 g/Nm<sup>3</sup> が一般的である。

### 2) 酸素富化

今世紀初頭より高炉送風に酸素富化することが考えられたが、当時はもつぱら酸素富化による羽口前燃焼温度上昇という点に注意が向けられ、酸素は冷え気味の炉況

の回復手段として考えられていた。

1930年にドイツのオーバーハウゼンで初めて酸素富化送風が行なわれ、コークス比の低下、炉況の改善などが確認された。またソ連での試験によると生産性が向上しコークス比が低下することが確認されている。しかし最近までこの酸素富化送風が商業用高炉で顧みられなかつたのは、酸素の値段が高過ぎるといふ経済的理由のためであつた。戦後純酸素製鋼法の台頭と相まつて次第に安価な酸素が得られるようになり、既存設備の生産性向上のため、酸素富化操業が行なわれるようになった。しかし高温送風と同じく単味で酸素富化量を増していくことは、炉況を不安定にするため限度があつたが、最近燃料吹込み技術が開発されて以降、羽口先の温度補償および燃料の燃焼効率向上のために、再び期待されるようになり、また広く利用される方向に向つている。

一方最近では高炉用としてより安価な低純酸素製造設備の研究も進められている。

3) 燃料吹込み

わが国の銑鉄原価の要素は燃料に1/3、燃料以外の原料に1/2を占められており、製鉄用石炭資源が不足でコークスが高価であるため、急速に重油を主とした燃料吹込みが開発されてきた。

昭和32年ごろよりすでに一部では調査研究が進められており、昭和35年には鉄鋼技術共同研究会(現日本鉄鋼協会共同研究会)で理論面に関する検討が行なわれて以来急速に実用化の実験や研究が行なわれるようになった。その後アメリカやヨーロッパではおもに工業炉での吹込み試験に成功し、作業上、安全上十分吹込み可能であることを立証した。これを契機にわが国においても急速に実用されることになつたのである。

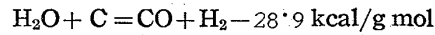
わが国で実際操業に応用されたのは、重油では昭和36年4月鋼管川崎第3高炉で、Cガスでは昭和36年6月八幡東田第5高炉で、タールでは昭和38年7月鋼管川崎第4高炉で実施されたのが最初である。その後の実用化の速度はきわめて速く、昭和36年の年末には早くも15基で燃料吹込みを実施し、そして昭和39年4月現在では稼動高炉42基中41基(残り1基は火入当初のため)が燃料吹込みを実施している。現在の各社の吹込み状況を表1.5.2に示す。

燃料を吹込んだ場合種々の利点が予想されたが、高温送風の場合に羽口先の温度を下げるため、添加蒸気に代わつて燃料の吹込みが可能であつた。換言すると燃料吹込みにより、高温送風、酸素富化が可能となり操業も安定し著しいコークス比の低下がもたされた。また、重油吹込み設備は安価であるから、高価なコークス炉設備の節減にもなり、総じて、銑鉄原価の低減に大いに貢献している。

(2) 複合送風の理論

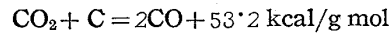
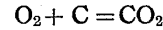
高炉を操業する上に最適の温度分布、ガス分布などは現在までに十分な解明はされていないが、経験的には各炉で最適の操業条件が確認されている。その条件の一部が送風処理の度合である。これを大別して次の3点に分類して説明する。

1) 羽口前の燃料帯の管理  
調湿送風の場合



炉内に入つた水蒸気は羽口前で上式の水成ガス反応を起こして、著しい吸熱を起こす。一方送風量についてみると、水蒸気添加により実質送風量が増加する。

酸素富化送風の場合



送風中の酸素濃度を増すと著しい発熱反応により燃焼帯温度が上昇する。羽口先燃焼帯の温度計算方式として代表的なもの1つに、ソ連のA. N. Rammによつて示された式があり、それによつて計算すると図1.5.5のようになる。

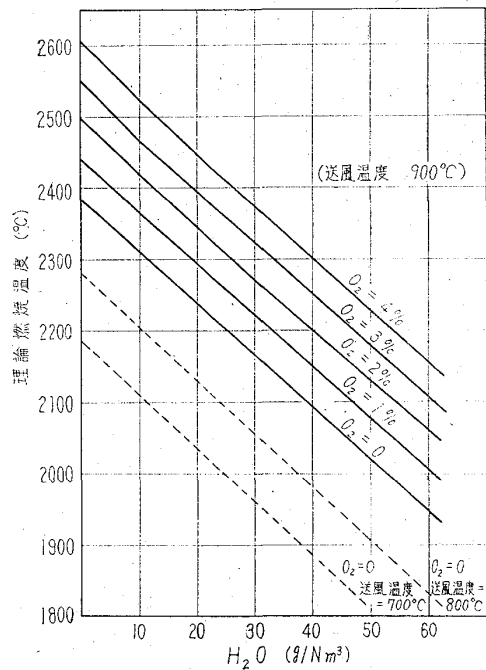


図 1.5.5 理論燃焼温度 (富士・広畑)

燃料吹込みの場合

燃料を羽口から吹込むと、クラッキングその他によりかなりの吸熱が行なわれ、羽口先の温度は低下する。そこでこの温度を一定に保つには、当然温度補償が必要となるわけである。おのおのの燃料についてその必要量を表1.5.3に示す。

表 1.5.3 燃料吹込による燃焼帯温度低下に対する補償

燃料種類量	重油 10kg/t	ナフサ 10kg/t	Cガス 10Nm³/t	Rガス 10Nm³/t	微粉炭 10kg/t
送風温度 (°C)	+ 40	+ 42	+ 29	+ 50	+ 28
水蒸気 (g/Nm³)	- 5	- 5.2	- 3.7	- 6.2	- 3.6
酸素富化 (%)	+0.68	+0.75	+0.51	+0.94	+0.50

2) ボッシュガスの管理

燃焼帯を出たガス成分は還元剤としてのCO、H₂および不活性のN₂とよりなつており、高炉操業を円滑に効率よく行なわせるためには装入物の条件によつて、このボッシュガス成分および量をおよび量をある一定限度内に管理す

表 1-5-2 各社燃料吹込み状況と成績

39年4月

高 炉	内容積 (m <sup>3</sup> )	吹込開始	吹込燃料	吹込羽口数	吹込燃料比 (kg/t)	コークス比 (kg/t)	吹込方法	アトマイス法	制御装置	ノズル径 (mm)	蒸気 ページ方法	
八幡東田	1	892	昭	重油	/16	29	501	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤自①手	5	手 動
	4	512	37° 4' 3"	"	6/12	52	558	"	"	⑤自①手	5	"
	5	646	37° 2' 13"	"	7/12	66	461	ラ ン ス 型	圧縮空気噴霧	⑤自①手	5	"
洞岡	2	884	37° 11' 12"	"	11/16	59	498	ブローパイプ型	"	⑤自①手	4, 5	"
	3	1,184	37° 1' 5"	"	11/16	43	545	"	"	⑤自①手	"	"
	4	1,279	38° 11' "	"	/16	38	510	"	"	⑤自①手	"	"
戸畑	1	1,603	38° 11' "	"	/20	33	516	"	"	⑤自①手	5	"
	2	1,657	38° 10' "	"	/20	7	530	"	"	⑤自①手	"	"
	3	1,947	38° 4' 22"	"	/27	33	488	"	"	⑤自①手	"	"
富士室蘭	1	1,042	36° 10' 25"	重油	10/16	49	457	羽 口 型 ブローパイプ型	重油圧力噴霧 圧縮空気噴霧	⑥自①手	3	全羽口同時自動 全羽口片独手動
	2	1,042	38° 12' "	"	/16	50	536	羽 口 型	重油圧力噴霧	⑥自①手	3	
	3	1,219	38° 8' 31"	"	/18	61	455	羽 口 型	"	⑥自①手	3	羽口毎手動
	4	1,701	37° 10' 17"	"	18/20	37	508	ブローパイプ型	"	⑥自①手	3	"
釜石	1	1,018	37° 1' 16"	"	12/14	67	603	"	"	⑤自①手	3	羽口毎手動
	2	1,610	37° 5' 26"	"	18/20	75	474	"	"	⑤自①手	3	"
広畑	1	1,273	38° 6' 7"	"	16/16	39	494	"	"	⑤自③自	3	蒸気 ページ 羽口毎手動 空気 ページ 羽口毎自動
	2	1,250	37° 12' 2"	"	16/16	44	520	"	"	⑤自③自	3	
	3	1,515	37° 10' 12"	"	20/20	49	460	"	"	⑤自②自	3	
鋼管川崎	2	1,137	36° 9' 7"	重油	14/16	52	505	羽 口 型	重油圧力噴霧	⑥自①手	3	手 動
	3	965	36° 4' 15"	"	10/14	44	542	羽 口 型	"	⑤手①手	4	"
	4	924	39° 8' 16"	"	/12	—	599	ブローパイプ型	"	"	"	"
	5	903	36° 11' 16"	ター	9/12	35	572	羽 口 型	"	⑥自①手	3	手 動
鶴見	1	1,143	37° 7' 7"	重油	14/16	2	591	羽 口 型 ブローパイプ型	"	⑥自①手	3, 3°5	"
	2	516	37° 2' 10"	"	9/10	52	520	羽口型	圧縮空気噴霧	⑥自①手	"	"
水江	1	1,709	38° 4' 6"	"	20/22	48	470	羽 口 型	重油圧力噴霧	⑤手①手	4	自 動
住友小倉	1	750	37° 2' 5"	重油	10/14	39	483	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤自①手	4	羽口毎手動
	2	752	38° 11' 1"	"	12/14	29	511	羽 口 型	"	⑤自①手	4	"
和歌山	1	1,350	37° 8' 3"	"	18/20	49	463	ブローパイプ型	"	⑥自①手	3	自 動
	2	1,657	38° 9' "	"	/24	41	495	"	"	⑥自①手	3	"
3月分 川鉄千葉	1	913	38° 12' "	重油	/14	52	538	"	重油圧力噴霧	"	"	"
	2	1,172	38° 8' 1"	"	/16	43	558	羽 口 型	"	"	"	"
	3	1,689	38° 2' 26"	"	16/18	34	508	"	"	⑤自①手	4	エヤー ページ
	4	1,689	36° 12' 18"	"	12/20	35	507	"	"	⑤自①手	4	"
神鋼灘浜	1	753	38° 6' 25"	重油	14/14	57	460	ブローパイプ型	圧縮空気噴霧	⑤自①手	3	"
	2	1,243	38° 7' 3"	"	/16	36	488	"	"	⑤自①手	3	"
日新 呉	1	895	38° 4' 3"	重油	/16	62	447	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤自①手	4	羽口毎手動
大阪西島	1	326	37° 3' 24"	重油	12/12	68	417	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤手①手	2° 5	羽口毎手動
矢作名古屋	1	258	37° 8' 11"	重油	10/10	56	638	ブローパイプ型	圧縮空気噴霧	⑤手①手	2	羽口毎手動
3月分 ニ鉄尼崎	1	662	38° 6' 25"	重油	12/12	49	490	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤自①手	2° 5	羽口毎手動
	2	753	38° 7' 3"	"	14/14	51	462	"	"	⑤自①手	2° 5	"
2月分 中山仲町	1	652	38° 7' 25"	重油	/12	0	645	ブローパイプ型	重油圧力噴霧	⑤自①手	3	羽口毎手動
	2	698	37° 11' 15"	"	12/12	61	494	羽 口 型 ブローパイプ型	"	⑤自①手	3	"

(注) ①羽口1本毎の燃料流量制御 ②羽口1本毎の燃料衝風比率制御 ③羽口ブロックの燃料流量制御  
④羽口ブロックの燃料衝風比率制御 ⑤主管の燃料流量制御 ⑥主管の燃料衝風比率制御

る必要があり、そのためには前述したごとく、送風の各因子(温度、蒸気、酸素濃度、燃料吹込み量)を管理する必要がある。

3) 出銑量およびコークス比の推定

燃焼帯のガス発生状況からもわかるように水蒸気添加(調湿)それ自身は出銑量を増してコークス比を上げ、酸素富化は出銑量の増加、燃料吹込みはそれ自身、コークス比の低下となることがわかる。しかし温度補償の種類により複合して送風処理した場合には異なつた結果を生む。それらの理論計算量を表 1.5.4 に示す。

表 1.5.4 コークス比および出銑量の変化

燃料	補償方法	コークス比 (kg/t)			出銑量 (%)		
		風温	水蒸気	酸素	風温	水蒸気	酸素
重油	10kg/t	-15.0	-12.0	-11.5	+0.77	-0.31	+2.08
ナフサ	10kg/t	-16.9	-13.8	-13.5	+1.08	-0.24	+2.59
Cガス	10 N m <sup>3</sup> /t		6.0			-0.01	
Rガス	10 N m <sup>3</sup> /t	-14.4	-11.0	-10.6	+1.41	-0.17	+3.15
微粉炭	10kg/t	-11.8	9.6	9.4	+0.25	-0.76	+1.18

実際に複合送風した場合の出銑量変化、コークス比の変化は実績と一致しがたく、また上記3項のほか種々の操業上の制約条件も異なるので必ずしもこのとおりにならない。

(3) 複合送風の設備

1) 調湿送風の装置

送風空気へ湿分の添加法としては冷風管に蒸気管を挿入して行なわれるのが普通であるが、水を噴霧状に吹込む方法もある。調湿制御系統の一例を図 1.5.6 に示す。

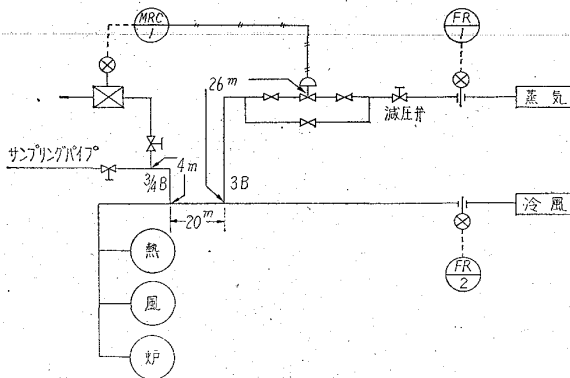


図 1.5.6 高炉送風温度制御系統図 (富士・釜石)

2) 酸素富化送風の装置

酸素は送風量に対して比率制御するのが普通で、吹込み位置は通常熱風炉前の冷風本管とされている。その設備の一例を図 1.5.7 に示す。

3) 燃料吹込みの装置

わが国では現在、おもに液体燃料が吹込まれているので、その代表的な吹込み系統図を図 1.5.8、図 1.5.9 に示す、このほか現在テスト中のものに微粉炭の吹込みがある。なお、ガス体であるCガス、Rガスも実際操業で

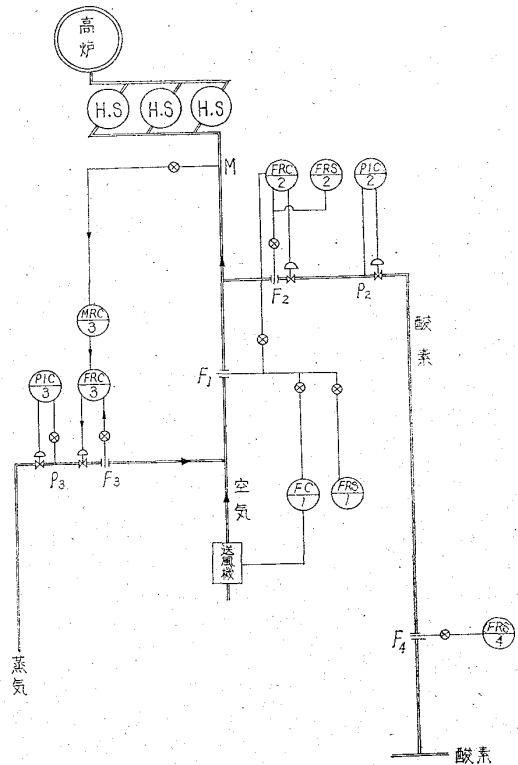


図 1.5.7 酸素富化装置 (鋼管・鶴見)

吹込まれたが、現在はいずれも中止されているのでここでは省略する。図 1.5.10~1.5.12 に表 1.5.2 に示した羽口型、ブローパイプ型、ランス型の一列を示す。

吹込み設備として、初期には安全装置に重点があつたが、吹込みの経験から安全性については特に心配のないことがわかり、一部安全計装を簡略しているところもある。一方吹込み装置については初期には図 1.5.10 のごとく羽口型が多く採用されていたが、漸次ブローパイプ型に改善されてきている。

(4) 複合送風の効果

1) 調湿送風

送風量を一定にしたままで送風湿分を増加させた場合の出銑量増加率は 10 g/N m<sup>3</sup> 増に対し約 5% であり理論計算値 4.5% とほぼ一致している。コークス比の低下率は湿分 15~25 g/N m<sup>3</sup> の範囲において 10 g/N m<sup>3</sup> 増につき 82°C の温度補償を行なつて 10 kg/t の低下をみせており、計算結果の 70~80°C 上昇、9.2 kg/t の低下とよく一致している。

2) 酸素富化送風

酸素富化は主として出銑量増加を狙つたものであるが、実際の酸素富化操業例を表 1.5.5 に示す。この表中に湿分として表示されるように調湿操業は一般化した技術として普及併用されている。

この表のごとく送風に酸素富化した場合、1%富化に対し約 6% 前後の出銑量の増加がみられ、またボッシュガス量が限界に達しない場合の酸素富化操業は、酸素量が同じならば増風操業と同じ効果を示している。

3) 燃料吹込

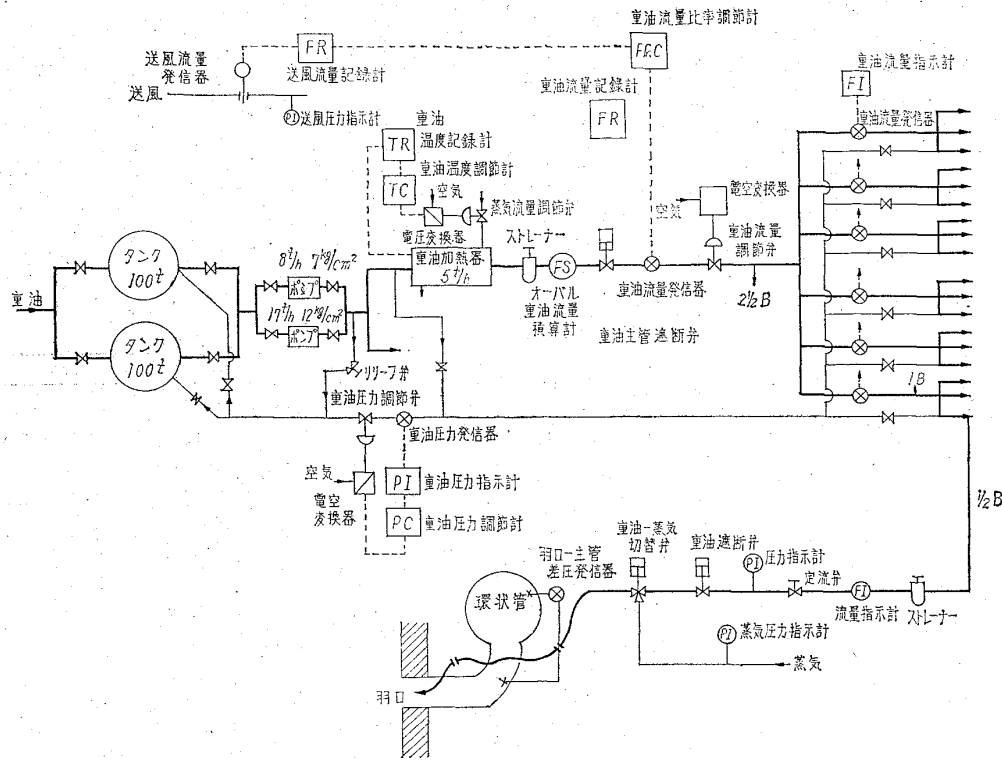


図 1.5.8 重油吹込制御系統図 (住友・和歌山第1高炉)

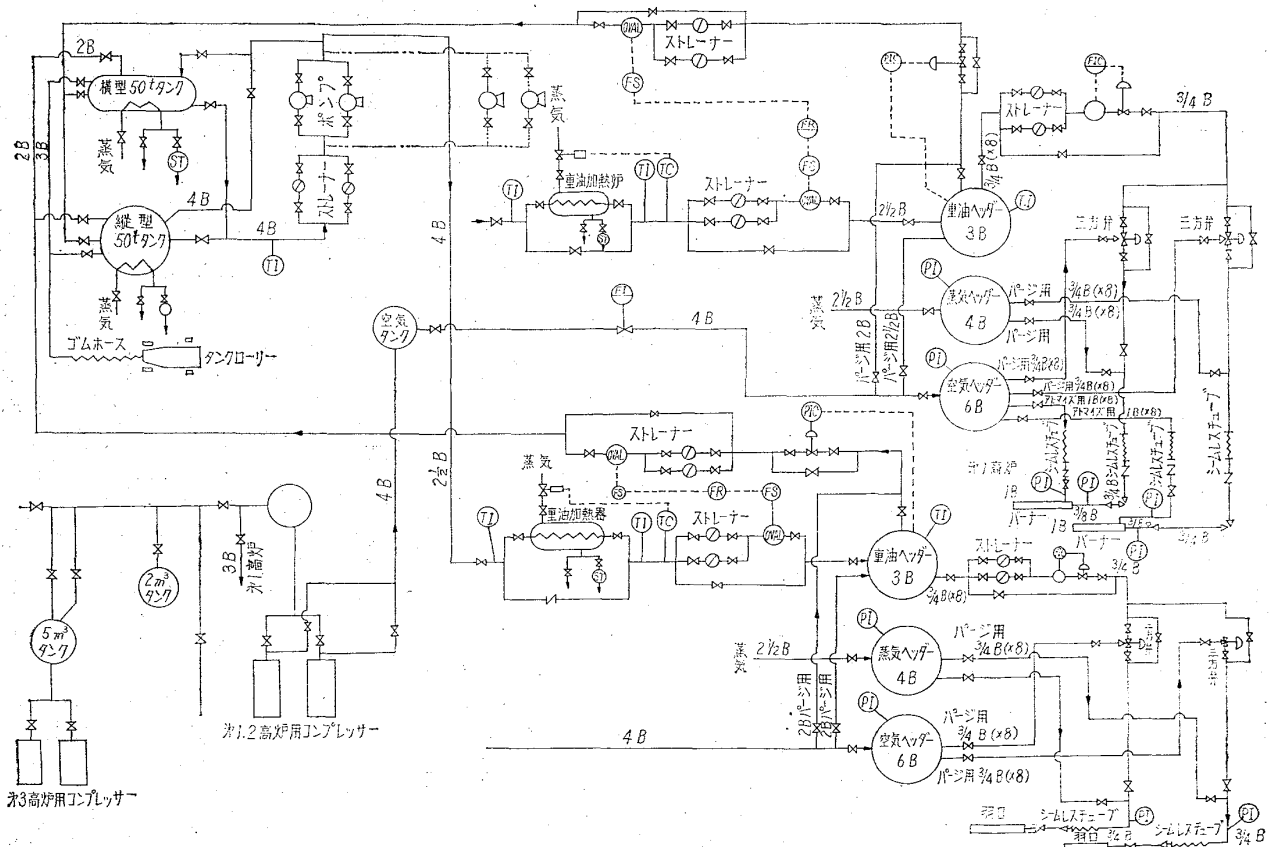


図 1.5.9 重油吹込装置系統図 (富士・広畑第1高炉, 第2高炉)

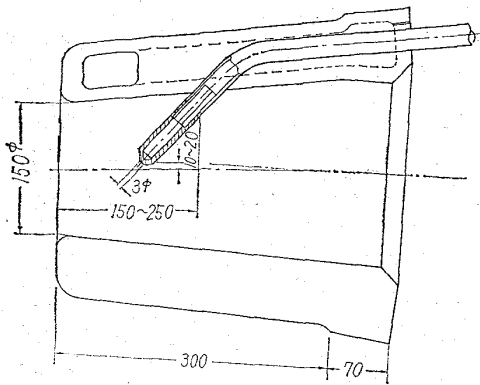


図 1・5・10 羽口(貫通)型吹込装置 (富士・釜石)

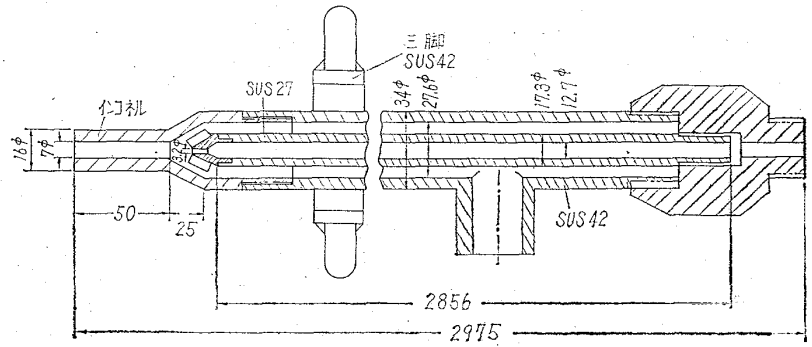


図 1・5・12 空気霧化型吹込装置 (富士・広畑)

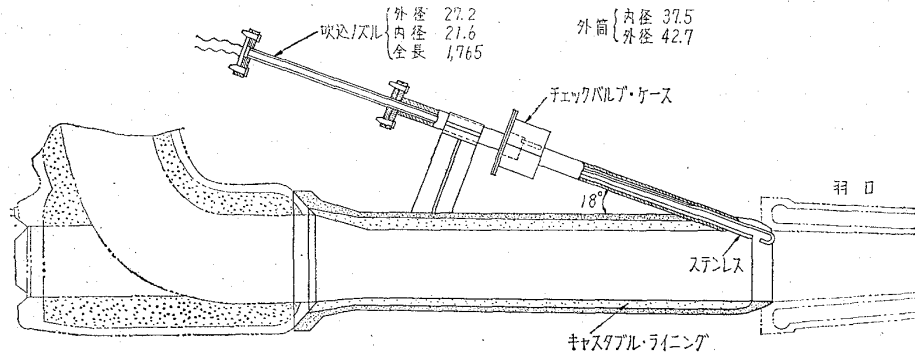


図 1・5・11 ブローパイプ型吹込装置 (八幡・東田)

表 1・5・5 酸素富化操業結果 (富士・広畑第 1 高炉)

	普通操業	酸素富化操業		
	34-8	34-9	34-10	34-11
酸素添加(%)	—	0.7	2.9	3.1
出鉄量 (t/d)	1,443	1,428	1,427	1,506
コークス比 (kg/t)	609	609	603	596
送风量 (Nm <sup>3</sup> /min)	1,670	1,583	1,474	1,460
湿分 (g/Nm <sup>3</sup> )	22.5	26.3	31.4	33.4
送風温度 (°C)	902	846	825	836
炉頂ガス温度 (°C)	188	181	152	154

操業成績例を表 1・5・6 に示す。これらは熱補償を送風温度、湿分で行なつて重油吹込み量を増していつたことがわかるが、熱補償に酸素富化送風を利用した代表的な操業例を表 1・5・7 に示す。表中置換率とは吹込み燃料の量に対してそれによつて減量されたコークス量との比率である。

燃料を吹込み始めたとき出鉄量増大が期待されたが、実際の増加は操業成績表に示すとおりまちまちである。

コークス比低下量はさきの表 1・5・4 に示したように、燃料の種類、補償の方法によつて異なるが、これらは実際操業の成績でもまちまちである。実際の操業では

熱風炉の余剰能力、添加の余裕などから補償は計算どおりに行なわなくても、コークス比の低下は可能である。

(5) 複合送風の問題点と将来

複合送風技術は定量的に把握できていない点も多いが、炉況の安定、生産性の向上、ひいては原価の低減に貢献して飛躍的に発展してきた。そして、その効果の判定方法は、現在では前述のごとく出鉄量、コークス比などの作業成績の比較によるほかはない。

調湿送風、酸素富化送風は副次的な問題は発生しなかったが、燃料吹込みの場合には主として未燃焼カーボンによる設備の問題が生じた。本質的にその効果を知るために燃料吹込みの場合には、未燃焼カーボンを測定したり、炉頂ダスト中の油分の測定をしたりしている。

H<sub>2</sub> ガスの炉内における還元利用率は、その H<sub>2</sub> 源の種類および量のいかんにかかわらず一定であると一般にいられているが、ボッシュガス中の H<sub>2</sub> 濃度がある限界を越すとその利用率は徐々に低下すると報じているところもある。

また CO 利用率もコークスから発生したものも、補助燃料から発生したものも同じであると考えられている。

燃料吹込み時の問題点としては、前述の未燃焼カーボンが B ガスの清浄装置で問題を起したが、現在では各社とも解決している。また作業的にはパーナチップの詰りが問題になり、チップの構造と同時に、その径も

表 1.5.6 重油吹込操業例 (富士・釜石・第1高炉)

	基準期間 37						
	1/11~1/20	2/1~2/10	2/11~2/20	2/21~2/28	3/1~3/10	3/11~3/20	3/21~3/31
出 鉄 量 (t/d)	1,342	1,393	1,408	1,363	1,324	1,390	1,352
コークス比 (kg/t)	560	515	494	479	476	456	462
重 油 比 (kg/t)	—	31.2	45.4	69.7	71.4	64.9	60.7
送 風 量 (m <sup>3</sup> /min)	1,596	1,637	1,595	1,639	1,587	1,600	1,512
送 風 圧 (g/cm <sup>2</sup> )	988	1,043	1,031	1,147	1,103	1,067	1,055
送 風 温 度 (°C)	854	824	854	884	873	891	968
〃 湿 分 (g/m <sup>3</sup> )	13	13	21	11	12	10	11
鉄 中 Si (%)	0.65	0.64	0.56	0.56	0.49	0.47	0.56
〃 S (%)	0.033	0.036	0.031	0.035	0.034	0.033	0.039
鉍 滓 比 (kg/t)	383	389	349	379	414	349	349
鉍滓塩基度	1.28	1.29	1.32	1.32	1.31	1.36	1.31
炉頂ガス CO <sub>2</sub> (%)							
〃 CO(%)							
〃 H <sub>2</sub> (%)	2.6	3.4	3.7	4.9	5.4	4.9	4.4
置 換 率	—	1.44	1.50	1.16	1.19	1.60	1.61
CO/CO <sub>2</sub>	1.30	1.30	1.30	1.34	1.29	1.36	1.34

表 1.5.7 重油吹込操業例 (大阪・西島・第1高炉)

	5/6~11	13~26	28~6/7	10~18	20~29	7/7~20	22~29	8/1~6	12~17	20~31
出 鉄 量 (t/d)	542	540	531	519	520	447	443	429	450	467
コークス比 (kg/t)	550	506	442	420	391	378	367	391	405	475
重 油 比 (〃)	40	52	86	117	107	131	153	135	128	112
送 風 量 (m <sup>3</sup> /min)	489	477	451	451	432	362	357	362	399	401
送 風 圧 (g/cm <sup>2</sup> )	716	612	582	671	600	592	701	727	820	738
送 風 温 度 (°C)	906	963	1,004	1,012	1,024	1,048	1,045	1,045	1,048	1,031
〃 湿 分 (g/m <sup>3</sup> )	71	61	40	38	16	22	24	22	23	22
鉄 中 Si (%)	0.80	0.58	0.54	0.63	0.53	0.59	0.70	0.76	0.77	0.61
〃 S (%)	0.034	0.043	0.037	0.027	0.033	0.029	0.022	0.027	0.021	0.027
鉍 滓 比 (kg/t)										
鉍滓塩基度	1.22	1.19	1.20	1.23	1.23	1.19	1.19	1.13	1.15	1.16
炉頂ガス CO <sub>2</sub> (%)	17.0	17.4	17.6	18.1	19.2	19.6	19.3	19.2	18.7	17.8
〃 CO(%)	27.6	26.4	24.7	24.1	22.6	23.6	24.5	23.8	24.1	
〃 H <sub>2</sub> (%)	3.6	4.3	4.8	5.7	5.1	5.1	5.7	5.3	4.6	3.9
O <sub>2</sub> 富 化 率	4.3	3.7	3.8	4.3	4.5	5.5	6.4	6.1	5.0	3.9

検討されている。現在各社の状況は表 1.5.2 に示したとおりである。

複合送風技術の発端すなわち季節によつて高炉の炉況の変化が生じることに気づいてから 10 年に近いが、この間さきに図 1.5.1 に示したとおり、その成績の向上には著しいものがある、ことにコークス比の低下に著しく役立つ燃料吹込みをふりかえるときこの数年間の技術的な問題点と進歩はつぎのようになる。

1) 羽口近傍からいかにして燃料を炉内に入れるか。

2) 操業、作業の容易な設備は。

3) 吹込み量を増加させると炉況不調となり、置換率が低下するので吹込み量の増加には限界がある。

4) 置換率はいかにすれば向上可能か。

5) 置換率を上げるためには、羽口先燃焼帯でよく燃焼させることが必要で燃焼帯の構造を研究する必要がある。

などこの 2, 3 年間にこれらの問題を解決してつぎつぎと改善をすすめてきたのである。そして装入原料の予

備処理とともに送風処理技術は、高炉内の反応を改善し炉況を安定し、コークス比の低下と、出鉄量の増大を通じて鉄鉄原価の低下に大きく貢献している。

一方、わが国の現状では重油が経済上、作業上もつとも有利に操業に利用できるもので、今後さらに温度補償や吹込み方法の検討が進みその効果を上げていくものと考えられる。そのためには、燃焼工学的に燃焼帯の構造を解明し、ポッシュ、シャフトでは化学工学的にガス還元と熱交換を解明する必要があるであろう。そして一方では、より安価な吹込み燃料としてナフサ、微粉炭、重油-石炭スラリー、などの吹込み技術が開発されるであろう。

なおわが国では昭和37年にフランスのポンペイ社と国内製鉄12社が、燃料吹込みに関して技術提携を結びBFI委員会(Blast Furnace Injection Committee)を設けて技術の導入および情報交換を行なつて、燃料吹込み技術の進歩をはかっている。

### 1.5.3 高圧操業

#### (1) 高圧操業の歴史

高圧操業の理論的研究は、今世紀当初より行なわれてきたが、第2次大戦中既存の高炉の能力をあげる目的でアメリカ Republic 社の Cleveland 工場で1944年初めて実際操業に取り入れられた。このときの炉頂圧は、10psi/in<sup>2</sup>(0.7 kg/cm<sup>2</sup>)まで上げられ、出鉄量13%増、コークス比11%減という結果が得られて以来、全米各地に広がった。現在では、新設大型高炉のほとんどが高圧設備を有しているようである。またソ連においては昭和25年(1950年)にMagnitogorsk工場で実施されて以来、急速に発展をとげ、昭和34年には約70%の高炉が高圧設備を有し、生産高の82%が高圧高炉より生産されているといわれる。炉頂圧は、米国においては大略0.7 kg/cm<sup>2</sup>以下が多いが、ソ連においては1.0~1.5 kg/cm<sup>2</sup>と比較的高い。米国 U. S. S. 社の Gary 工場では20 psi/in<sup>2</sup>(1.4 kg/cm<sup>2</sup>)の高炉が昭和36年に火入れされており、同社 Duquesne 工場 No. 6 高炉では John Mohr 社の3重ベル方式を採用し、炉頂圧最高30 psi/in<sup>2</sup>(2.1 kg/cm<sup>2</sup>)の高炉が、昭和37年に火入れを行なつた。また、欧州でも、10基程度の高圧高炉が稼動しているようである。

わが国では、八幡、東田第1高炉が昭和37年8月1日、続いて同年11月16日に鋼管水江第1高炉が、38年1月16日には富士室蘭第3高炉がそれぞれ高圧高炉として火入れを行ない、高圧操業を行なっている。また富士広畑第3高炉、東海第1高炉が、39年8、9月にそれぞれ高圧高炉として火入れした。その他2~3の高炉が新設または改修の高圧高炉として建設中である。

#### (2) 高圧操業の意義

高圧操業は、原理的には炉頂ガス管に絞り管を設けて炉頂ガス圧力を高めて行なう操業法である。

生産量を増加するために、単純に送風量を増加すると炉内のガス速度が増加し、ある限界を越えると、ハンギング、チャンネルリングが頻発し炉況悪化に伴ないガス灰が増加する。一方炉頂ガスの圧力を上げると、炉内にお

けるガス圧力も上昇し、炉内ガスの容積を減じ、ガス密度を増し、ガスの流速を減ずることにより羽口先と炉頂間の差圧を小さくし、炉況を悪化せしめることなしに送風量の増加が可能となり、生産は増加する。これが利点の1である。表1.5.8に英国 Colvilles 社の Clyde No. 2 高炉のシャフト部におけるガス速度の普通操業と高圧操業の場合の比較表を示す。炉内ガス圧力が上昇すれば還元反応が促進され、かつ、ガス圧力が上昇し、

表 1.5.8 装入物空隙率に対するシャフト部  
ガス速度の変化

装入物の 全空隙率	ガス速度 (m/sec)	
	通常操業	高圧操業
40%	22.4	18.2
45	20.2	15.9
50	18.2	14.4
55	16.5	13.1
60	15.2	12.0

流速が小さくなると装入物と炉内ガスとの熱交換がよりよく行なわれてコークス消費量は減少する。これが利点の2である。図1.5.13に八幡技研で行なつた還元試験の結果を示す。この試験は、20 ± 1 mm に整粒した試料300gをCO 30% N<sub>2</sub> 70% からなる還元ガス(流量0.015 l/min) 中に入れ、還元したものである。図より明らかなように、圧力を1 kg/cm<sup>2</sup> ab から、2.5 kg/cm<sup>2</sup> ab. に上昇せしめると還元率は約10%上昇している。

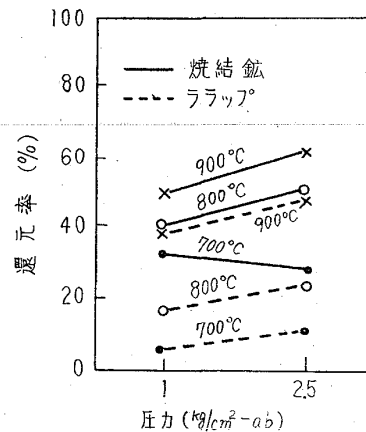


図 1.5.13 圧力と還元率の関係

上記2つの利点より、そのときの経済情勢により柔軟性のある操業方法が取れる。

a) 鉄鉄の要求が大きいときは、炉内ガス速度を炉況悪化への限界まで増加し、同容量の普通高炉に比して、炉況を悪化せしめることなしに、増産が可能となる。

b) 経済的操業が至上命令であるときは、送風量を減じてガス速度を下げる。これにより普通高炉以上に還元状態が改善されコークス比がより低下する。

c) 上記2者の中間の操業も可能である。

#### (3) 高圧操業の設備



わが国の稼動中の高圧高炉は前述した3基であるが、いずれも最大炉頂圧  $1 \text{ kg/cm}^2$ 、常用  $0.4 \sim 0.7 \text{ kg/cm}^2$  程度のもの、これら高圧高炉は普通高炉に比して以下のような項目に新たな設備または改良を行なっている。

図 1.5.14 に八幡東田第1高炉の設備系統図を示す。

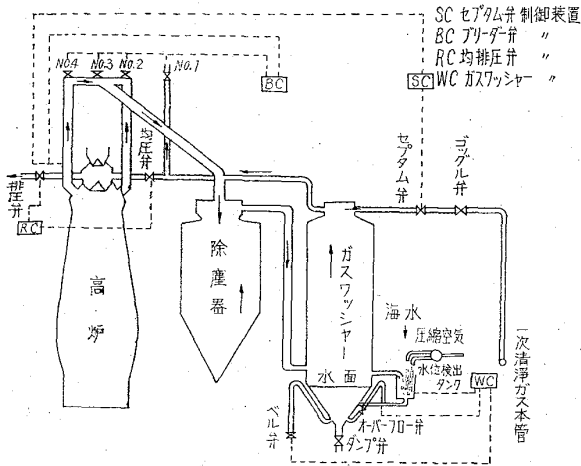


図 1.5.14 高圧操業設備配管および制御系統図

1) 炉頂圧力制御装置

図 1.5.15 に示すように、一次清浄を行なったガスマンシステムに、炉頂圧を上昇させ、かつ圧力調整を自動的に行

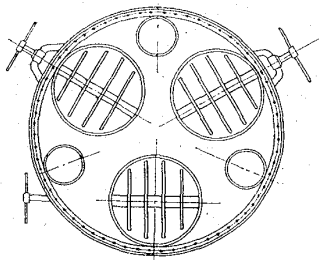


図 1.5.15 セプタム弁

なわせるセプタム弁を設けている。このセプタム弁は通常3コのバタフライ弁よりなり、このうち1~2はバタフライ弁の開度を自動調節し、炉頂圧を常に設定圧力に保つように作動せしめる。また、これらの自動調整バルブは通常計器室からの遠隔作動可能となつている。他のバタフライ弁は手動バルブまたは On-Off バルブである。

セプタム弁で制御不可能なスリップなどの急激な炉頂圧変動のショックを緩和し、必要時に開閉させるために炉頂ブリーダバルブを設定値圧力で自動的に開閉させるようにしてある。これらのブリーダバルブは湿式除塵器の後、セプタム弁の前の一次清浄ガスブリーダ1コと炉頂より直接上昇していわゆる荒ガス用ブリーダ2~3よりなつている。清浄ガス用ブリーダバルブは内開式で、荒ガスブリーダバルブは内開式、外開式をそれぞれ有しているのが普通である。

2) イコアライザー弁 (均圧弁) およびリリース弁 (排圧弁)

炉頂圧の上昇に伴ない下ベルの開閉が困難になり、しかもベルおよびホッパーの接触部の摩耗が激しくなる。

このため、清浄ガス用上昇管から分岐を取り、清浄ガスをベル間に吹込み、ベル間を炉頂圧とほぼ同程度の圧力に保ち、下ベルの開閉を容易にしかつ下ベル、ホッパーの摩耗を防ぐ方法を取つている。すなわち、ベル間圧力を下ベル開放時には均圧弁により炉頂圧力の近くまで高め、上ベル開放前には排出弁により大気圧にまで下げてベル閉閉をスムーズに行なわせている。また、富士鉄室蘭第3高炉は3ベル方式を採用し、改修中の富士広畑の第3高炉は上ベル上にバルブシールを行なう2ベルバルブシール型を採用している。またこれらの高炉は下ベルホッパーにガスコンプレッサーにより昇圧した2次清浄ガスを吹込み、ホッパー内の圧力を炉頂圧力よりも高くしてベルホッパーの摩耗に対処している。

当然のことながらこれらの弁操作は、捲揚げのタイムスケジュールと結びつけ、上下ベルの開閉と自動的に連動してある。

3) 炉頂部ガスシール

ベルおよびホッパー間にわずかな間が生じて、炉頂圧が高い場合には急速なガス流が生じ局部的に摩耗が進行するので、シール部には、ニッケル、クロム、コバルト系の硬質合金の溶接、マンガン鋼の使用などを行なっている。またマッキー式旋回装置の固定部と可動部の間のガスシールには、ネオプレーンを用いたラビリンス型のシールを採用し、グリースにて間を満たす方法を取つている。

4) 湿式集塵機および液面制御

上部セプタム弁、均圧弁、清浄ガスブリーダ弁などのダストによる損傷を防止するため高圧ライン (セプタム弁前) に荒いダストを捕集するため湿式のスクラババーを設けている。鋼管水江第1高炉、八幡東田 No.1 高炉はオリフィススクラバー、富士室蘭第3高炉、広畑第3高炉はベンチュリースクラバーを設置している。

これらの湿式集塵機の散水の水位調節は、高圧操業において生ずる種々のガス圧においてウォーターシールを保つためにその液面の制御が必要である。この制御系統は通常水位検出タンク内の水圧を検出し、これをもとにオーバーフロー弁開度を制御する方式を取つている。

(4) 高圧高炉の操業

国内の稼動中の3基の高圧高炉は、いずれも火入れ以来順調な操業を続け後述するように高生産性を維持している。

1) 出 鉄 量

八幡東田第1高炉は昭和38年8月より本格的な高圧操業に入ったが、39年2, 3, 4月の3カ月平均、炉頂圧  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  で、出鉄比  $1.78 \text{ t/m}^3$  に上昇し、普通圧操業に比して、約15%の上昇をみている。図 1.5.16 に38年7月より12月までの炉頂圧と出鉄比のグラフを示す。

鋼管水江第1高炉は38年2月より高圧操業に入り、順次操業度を上昇し、炉頂圧  $0.4 \text{ kg/cm}^2$  一定の操業をしているが、39年2~4月は出鉄比  $1.78 \sim 1.81 \text{ t/m}^3$ 、同年5~6月には  $1.85 \sim 1.87 \text{ t/m}^3$  まで上昇している。特に試験操業は行なっていないが、炉頂圧  $0.4 \text{ kg/cm}^2$  により10%以上の生産性上昇に寄与しているとみられている。

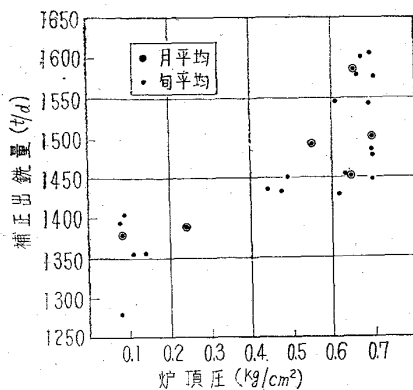


図 1-5-16 炉頂圧と出鉄量の関係

富士室蘭第3高炉は、火入れ以来4回にわたる操業試験を行なっているが、第3次試験で短期間ではあるが、炉頂圧  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  で出鉄比  $2.0 \text{ t/m}^3$  の成績をおさめた、長期的には  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  の炉頂圧で  $1.72 \text{ t/m}^3$  の操業度を維持している。なお試験操業の結果、10%の出鉄増のためには、高操業度の場合、 $0.23 \text{ kg/cm}^2$  の炉頂圧上昇、低操業度の場合、 $0.15 \text{ kg/cm}^2$  の炉頂圧上昇を行なえばよいとしている。

普通圧高炉の最高出鉄比は、 $1.5 \sim 1.6 \text{ t/m}^3$  であるから上記3基の高圧高炉の高生産性は顕著に表われている。

2) コークス比

高圧操業によるコークス比の低下はあまり期待できないと一般にいわれているが、八幡東田第1高炉では、炉頂圧  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  で約  $15 \text{ kg/t}$  の低下をみている。これは図 1-5-17 に示すように、炉内ガス流速の低下によるものと思われる。したがって、さらに操業度を上昇せ

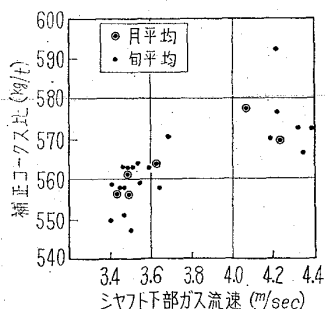


図 1-5-17 シャフト下部ガス流速と補正コークス比との関係

しめればコークス比低下の割合は小さくなると思われる。同様に富士室蘭第3高炉では、送風量と炉頂圧力をパラメーターとして出鉄量コークス比の関係を図 1-5-18 のように示している。これによるとコークス比を  $10 \text{ kg/t-pig}$  低下させるためには、高操業度の場合  $0.51 \text{ kg/cm}^2$ 、低操業度の場合、 $0.37 \text{ kg/cm}^2$  まで炉頂圧を上昇すればよいとしている。鋼管水江第1高炉でも、高操業度にもかかわらず燃料比が  $510 \sim 520 \text{ kg/t}$  と好成績をおさめているのは高圧操業による効果がこの面でも表われているものと思われる。

3) ガス灰発生量およびガス清浄

高圧操業によるガス灰発生量は、炉況により大きく影

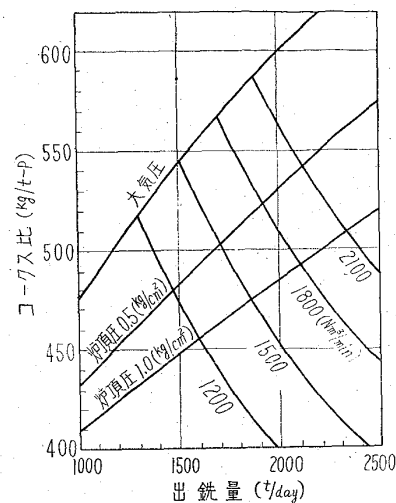


図 1-5-18 炉頂圧と出鉄量、コークス比の関係(富士室蘭第3高炉)

響を受けるが全体的に低下の傾向がみえる。

炉頂圧を利用したオリフィスまたベンチュリースクラバーによる除塵効率は非常によく、差圧および液空比にもよるが、鋼管水江第1高炉、富士室蘭第3高炉の実績でもスクラバー出口で約  $60 \text{ mg/N m}^3$  以下にまで清浄されている。

4) 送風圧の上昇

炉頂圧  $0.1 \text{ kg/cm}^2$  上昇することにより、送風量は、 $0.06 \sim 0.07 \text{ kg/cm}^2$  上昇しているようである。

(5) 高圧高炉の操業上、設備上の問題点

国内の高圧高炉は、高圧操業に移行してからいまだ1~1.5年の実績であるが、今のところ大きな問題点はないようであり、以下に述べる2~3の問題点が報告されているにはすぎない。

炉内圧が上昇するにしたがい、出鉄口の閉塞は困難になり、特に手止め作業は危険である。また出鉄後半には鉄滓の飛散が多く、鋼管水江第1高炉では飛散防止カバーを使用しているが、出鉄口閉塞時の減圧の回数は増加し、出鉄口前の樋のいたみが早い。また高圧高炉は前述したように出鉄比が高いため、普通高炉に比して、湯溜りを大きくするとか、出鉄口を2コにすべきであろう。

高圧操業による、ベル、ホッパーの摩耗、高圧部に使用されている各弁類の損傷状況などについては、より長期的な観察が必要で、長期的にみた高圧操業のメリットとともに今後の問題として残されている。

(6) 今後の見通しについて

以上述べてきたように、諸外国はもとより、国内における高圧高炉の成績からみて、国内における高圧高炉の採用は今後急速に増加して行くと思われるが、より高い炉頂圧の採用は諸外国の実績に注目している現状で、今後の課題となろう。

1-5-4 計算機制御

(1) 計算機制御の意義

高炉の操業技術が、最近にいたって急速に進歩し、高炉の大型化、諸設備の新鋭化、自動化と相まって、高炉

の能率が、その出鉄比においても、コークス比においても著しい向上を示していることは、これまでに述べたとおりである。

しかし、原料から銑鉄までという高炉の製鉄プロセス全般の立場で考えた場合、高炉の状況、すなわち高炉の反応状態を的確に把握し、コントロールする手段の開発が遅れているために、高炉操業の多くは、高炉操業者の多年の熟練と経験的判断によつて行なわれている。すなわち、高炉内での反応は、固相、気相、液相の3相にまたがり、高温工学および流体力学上の諸要素を多分に含んでおり、その反応機構はあまりに複雑なために、近代科学をもつてしても十分解明されていないが、この炉内反応状況を、常に良好な安定した状況に保ちながら、均質な銑鉄を生産し続けることは高炉にたずさわるものの任務であり、このような高炉の操業を標準化しようとする試みは、種々行なわれてきた。炉熱のコントロールにおける統計的手法の導入も、その1つであり、ある程度の成果はあげたが、炉況の推移の把握を含めたさらに高度の判断業務は、依然として残り、しかも統計的手法には、アクションが後手にまわることと、原料条件や操業条件が大幅に変わると適用できないという致命的な欠陥があつた。また一方転炉製鋼法の進歩に伴つて溶鉄成分にも、さらに苛酷な要求がなされ、より高度の操業技術の確立が必要となつてきている。ここに電子計算機のすぐれた能力を活用することによつて、人間の力では到底できなかつたような正確なプロセスのコントロールや、高度に標準化された作業を行なおうとする新しいオートメーションの技術の、高炉プロセスへの導入が注目されるようなになつたのである。

計算機制御は、計算機にあらかじめプロセスの諸変数の函数関係を組み込み、また、プロセスの諸条件を記憶装置に貯えておいて、プロセスの変動に応じてプロセスを最適に保つ条件を定め、制御指令するものである。その目的は

- (i) 生産と品質の向上
- (ii) 運転費または製品原価の切下げ
- (iii) 生産活動の標準化

のいずれかであり、各産業の各方面で研究が行なわれているが、高炉の操業に適用する際の意義についてつぎのことがあげられる。

(a) 高炉は、一品種のもの（つまり銑鉄）を多量に生産しており、しかも連続的なプロセスであるので、すぐれた数式モデルができれば、コントロールしやすいしまた効果的である。

(b) 高炉の操業は、非常に多くの要因を把握して、短時間に総括的な判断を下し、適切なる操業因子を選んで制御し、迅速に正確なアクションを行なうことが望ましいし、これに高度の標準化を達成することになる。

(c) 今日では、製品品質の向上および安定化が、市場で強く要求されているが、最終製品の品質を向上させるためには銑鉄から最終製品までの一貫した品質の向上が必要である。ことに転炉製鋼法のように、高能率の製鋼法が発展している今日、その原料となる銑鉄の品質には、従来よりきびしい要求がなされており、このような高度な制御法を適用して、生産量と品質両面の安定化を

はかる必要がある。

(d) 高炉が大型化するにしたがつて、1基当たりの生産量は大きくなり、生産および品質の面で異常が発生すると、鉄鋼一貫過程の中で大きな損失を与えることになる。このためにも計算機制御を適用し、高度の標準化を進め、人為的な誤アクションをできるだ排除するとともに異常の早期発見も可能となるので、この面からの意義も大きい。

(e) 今後製鉄工場の規模はますます巨大化する傾向にあり、大型高炉を数基併用させても、1台の電子計算機でこれを制御することが可能であり、これを中央の電子計算機と結びつけることによつて、巨大化した製鉄所全体の情報処理の円滑化がはかれる。このようなことを背景として、生産計画、原料配分計画についても、工場全体の最適化が可能となり、材料、人、時間の節約が可能となるであろう。

(f) 高炉の炉内反応は、前に述べたように、その複雑さのゆえに十分解明されておらず、計算機制御を進めるためには因子分析を進めなくてはならない。このような過程の因子分析を進める上で、電子計算機はきわめて強力な武器となり、逆にこのような研究が、広範囲にわたる新技術の糸口となることも予想される。

## (2) 計算機制御の考え方

なにをどのように制御するかは、問題のあるところであるが、第1に考えられることは、装入原料の制御である。たとえばコークス量を正確に秤量しても、その水分が適確におさえられていないならば、実際に高炉に入るコークスの乾量変動し、これによつて、炉熱が変動する。したがつて連続的に水分を検出し、装入量が一定となるように制御する。これは1つの制御ループである。

第2には、現状の炉況の診断を正確に行ない、最適なるアクションを決定することにある。これは種々な変量を連続的に検出して、炉の状態を良好に保つための精密な制御であつて、高炉の計算機制御の主要な部分である。しかし、これを実現するためには、プロセスの解析による数学的モデルの開発をしなければならぬ。このモデルについては、各国で精力的に研究開発が進められていると聞く。米国では A. L. Hodge らが、高炉を2つの部分に分け、その間の物質収支と熱収支を基礎として、ガスと装入物の間の熱交換について実績を考慮して半ば理論的にモデルを組み立てている。ソ連でも、高炉を各帯に分け、帯別に物質収支と熱収支を行なつており、炉頂ガス組成をもとにして高炉の熱条件を判定するモデルを作成している。ドイツにおいては、W. Zischkale, P. Ischebeck, G. Heinert らが反応の速度論的な面から研究を進めている。しかし、いずれにしても、モデル作成またはチェックの段階にとどまり、これを実際操業に適用して効果をあげたという例は聞いていない。

一方、わが国においては、数年来各社とも、その研究を進めており、その成果が大いに期待されている現状である。たとえば、39年2月の鋼管（川崎）の報告によると、炉熱推定（代用特性として銑鉄中 Si% を用いる）のモデル式を完成し、これを用いて約40日間、安定した操業を行ない、試験操業直前の銑鉄中 Si% の標準偏差は 0.13% であつたが、試験中は 0.07% と小さ

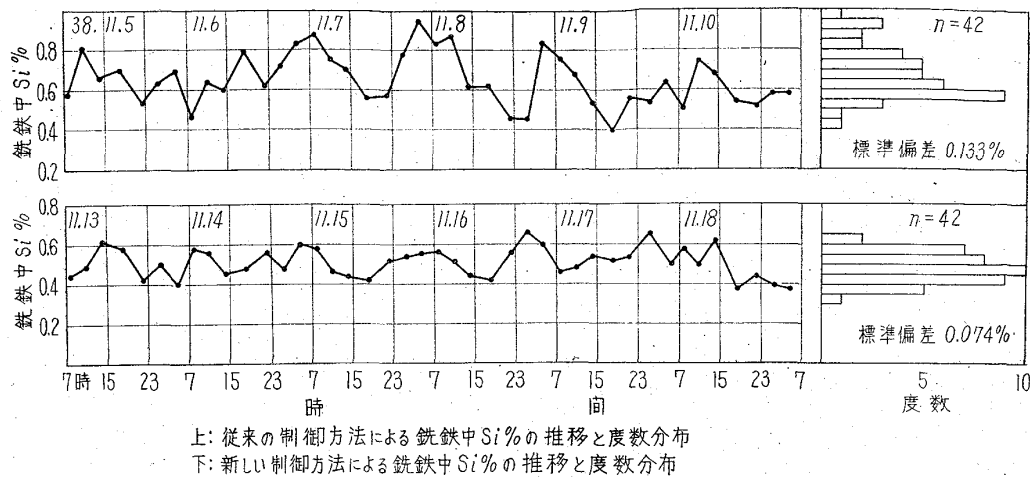


図 1.5.19 従来の炉熱制御と計算制御の比較

くなり、安定したと報じている。このときの鉄鉄中のSi%の推移の一部を図 1.5.19 に示す。

第3には、炉況推移の定量的な把握と適正作業目標の決定である。つまりある作業条件が与えられた場合に、どのようなことになるかを予測し、その条件に適するように、可変因子をきめることである。

以上のような考え方により、国の内外で研究開発が強力に進められているとはいえ、いまだその緒についてばかりの観が深い。今後の計測技術および高炉炉内反応の理論的發展にまつところが大であるが、開発が進むにつれ管理機構自体、または情報の流れの機構にきわめて大きな変革をもたらすことが予想される。出鉄量の管理、成分品質向上、能率の向上、事故、故障の早期発見につながることはもちろんのこと、今まで間接的に推定してきた面が時期をはずさず、しかもより直接的にわかることにより、高炉技術のうえに飛躍的な進歩をもたらすことが予想され、将来は高度に進んだ装置産業の段階にまで変貌することが考えられる。

## 1.6 電気製鉄法

### 1.6.1 緒言

含チタン砂鉄 (Titaniferous Iron Ores) は世界各地に存在し、鉄鉱資源として相当豊富であるから、これを製鉄原料として利用することは重要な問題である。高炉法により製鉄が行なわれ始めた頃すでに含チタン鉄鉱の高炉製鉄も試みられているが、いずれも長期操業の不可能であることが報告されている。すなわち、鉱滓中の  $\text{TiO}_2$  含有量が増加することにより、 $\text{TiO}_2$  が炉内で還元され、高融点の炭化物および窒化物を生成するためにその流動性が著しく低下し、羽口の閉塞を起こす原因となつている。したがって、正常な高炉操業を行なうために高炉に装入し得る含チタン鉄鉱 ( $\text{TiO}_2$  5~10%) は全鉄鉱量の 10% 前後にすぎない。

最近チタニウム工業が発達し、これが原料として含チタン鉄鉱を少量の還元剤とともに電気炉で溶融し、 $\text{TiO}_2$  65~75% の高チタン滓と C 1~2% の粗鉄を製造する

方法が工業的に実施されている。しかしこの製鉄法は製鉄を主としていないために、原料としては  $\text{TiO}_2$  30~50% を含有するイルメナイト (ilmenite) を使用している。しかしながら実際問題として  $\text{TiO}_2$  含有量の高い鉄鉱は少なく、大部分の含チタン鉄鉱は  $\text{TiO}_2$  5~15% を含有するにすぎない。したがってこの程度の含チタン鉄鉱の利用法が問題となる。日本においていわゆる砂鉄 (Iron Sand) と称して産出する含チタン鉄鉱がこれである。

現在電気炉鉄の約 90% は、砂鉄製鉄によるものである。さらに日本の砂鉄製鉄の歴史は古代製鉄法 (タタラ吹) から近代製鉄法へ移るまでの過程において重要な役割りを果たしてきているが、高炉製鉄法の出現以来砂鉄製鉄の工業化は困難となり、ただ経済性が無視された戦時中のみ生産が行なわれたにすぎない。すなわち昭和 15年頃から電気炉による製鉄法が工業的に行なわれるようになった。しかしながら当時の電気炉製鉄法における鉄滓は流動性を失ない、出鉄不能となる場合が多かつた。ときあたかも戦時中であつたためなんとか生産が維持されたにすぎない。戦後輸入鉄鉱石の価格が高騰し国内資源の活用が重要な課題となり、未利用資源として砂鉄が注目されることとなつて、電気炉による製鉄の研究が盛んに行なわれた。その結果昭和 25 年頃よりようやく安定した電気炉操業が可能となり、経済的にもなりたつ見通しがつくようになった。しかし最近高炉法による製鉄技術の進歩が大きいため、電気炉による砂鉄製鉄も経済的には非常に窮地に追い込まれている。この解決法としてさらに新しい技術の開発が必要となつてきた。その結果原価的にも大きなパーセント (約 30%) を占めている電力の原単位を大幅に引き下げる (2,250 kWh/t → 900 kWh/t) ことに成功し、技術的に大きな前進をなしたといえよう。本稿は砂鉄の電気炉製鉄法確立のために寄與した技術について年代的に概説するものである。

### 1.6.2 鉄滓成分の範囲について

砂鉄製鉄における困難を解決し、安定な製鉄作業を可能ならしめる条件をみいだすためには含チタン鉄滓と溶鉄の反応について解析を行なう必要がある。佐藤<sup>1)</sup>は、

1,000 kVA 単相低炉型電弧炉および日産 4t の能力を有する小型高炉を使い、含チタン砂鉄、ズングン鉄鉱石、石灰石の装入量を種々の割合として長期間にわたり製錬試験を行なった結果、製錬過程に近似する化学反応系の平衡を仮定し、溶銑および溶滓の成分変化における独立変数を定め、相関統計により製錬反応の推移を推論して含チタン鉄滓と溶銑の反応をつぎのごとく説明し、製錬鉄滓の成分範囲を定めている。

熔融鉄滓中の  $TiO_2$  は強力な両性酸化物であり、ときには  $CaO/SiO_2$  の低い酸性範囲において  $SiO_2$  の活量を著しく低下せしめて、その還元を阻止し、一方  $CaO$  の活量が逆に大となるため鉄滓は完全な塩基性鉄滓として作用し、相当強力な  $CaO$  による脱硫が可能となるものと考えられる。さらに  $TiO_2$  は鉄滓中の  $FeO$  に対して  $SiO_2$  と同様に酸性酸化物として作用し  $FeO$  の活量を低下せしめるため、鉄滓中に相当量の  $FeO$  が存在するも高炭素、低珪素含有量の溶銑の共存が可能となり、しかもこの  $FeO$  が  $TiO_2 \rightarrow TiC$  の還元を阻止し、安定な炉操業を継続することができる。 $CaO/SiO_2$  が 1.2 以上に達し、強塩基性組織となれば鉄滓中の  $FeO$  の活量が大きくなり、その還元消費とともに  $TiO_2 \rightarrow TiO_3 \rightarrow TiO \rightarrow TiC$  の還元が起こり、ついに操業不能の状態にいたる。また  $TiO_2$  含有量が 35% 以上に達すれば低塩基度範囲においても  $TiO_2$  の活量が急激に増加し、 $TiC$  の生成が起こる。したがって、含チタン鉄鉱の製錬は  $TiO_2$  の含有量および塩基度の低い鉄滓を選定するほど容易なことが明らかである。しかし銑鉄中の S 含有量の低下をはかり、 $TiO_2$  8~15% の含チタン砂鉄のみによる操業を行なうため、製錬鉄滓として  $CaO/SiO_2 = 0.8 \sim 1.1$ 、 $TiO_2 = 25 \sim 33\%$ 、 $Al_2O_3 = 5 \sim 12\%$  の組成を標準とすればなんら故障なく電気炉製錬を実施することができる。換言すれば鉄滓中に相当量の  $SiO_2$  が存在すれば  $TiO_2$  の

表 1.6.1 電気炉 (3,000 kVA) 製鉄の操業実績 (昭28)

団鉄砂鉄 (Fe 52~57% : $TiO_2$ 8~12%)	1,830~2,010 kg/t
石灰石	360~410 kg/t
コークス (Ash 18~29% : F.C. 75%)	400~450 kg/t
電力消費量	2,400~2,600 kWh/t
電極消費量 (Ash 13.5% : F.C. 71.7%)	25~33 kg/t
スラッグ量	700~800 kg/t
銑鉄成分 (wt %)	

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	V
4.0~4.5	0.1~0.3	0.1~0.2	0.12~0.35	0.03~0.06	0.01~max	0.05~max	0.06~0.2	0.1~0.3

スラッグ成分 (wt %)

CaO	$SiO_2$	$TiO_2$	$Ti_2O_3$	$Al_2O_3$	MgO	FeO	$CaO/SiO_2$
27~24	27~24	28~33	tr~3.6	4.5~9.5	3.9~11.0	1.9~5.7	0.90~1.20

活量は著しく低下し、 $TiO_2 \rightarrow TiC$  の還元反応が阻止されるため、安定な炉操業が可能となるものと指摘している。その後含チタン砂鉄の電気炉製錬には上記の鉄滓成分範囲を選定することにより技術的に安定操業が行なわれるようになった。

つぎに昭和 25 年の 3,000 kVA 電気炉の代表的操業実績ならびに銑鉄および鉄滓の組成を表 1.6.1 に示す。

### 1.6.3 電気炉容量の拡大とガスの利用

#### (1) 電気炉容量

電気炉容量の拡大は生産性の向上のみならず固定費の軽減、電力原単位の低減および炉の密閉化を容易ならしめる。すなわちガスの利用が可能となる。製鉄用電気炉の発達はその構造からつぎの二種類に大別し得る。

1. 電気高炉 (electric shaft furnace)
2. 低炉型電気炉 (pit type electric furnace)

いずれも Sweden, Norway で発達したが、現在もつばら使用されているものは Norway で発達した Tysl-and-Hole 炉。およびこれと原理的には同一であるが、Italy で発達した Siemens 炉の 2 つである。最近ではこの改造型が各国で使用されている。国外においては普通鉄鉱石を使用して 33,000 kVA 密閉型電気炉 13 基が稼動中でさらに 60,000 kVA 密閉型電気炉が建設中である。国内における砂鉄製錬法電気炉は、昭和 25 年まではだいたい 1,000~3,000 kVA の小型容量であつたが前述した鉄滓範囲の決定以後操業の安定が確立されたため、現在は 6,000 kVA 以上の電気炉から、最大 18,000 kVA 密閉型電気炉も稼動中である。

密閉型電気炉操業に必要な条件の一つに砂鉄の前処理をあげなければならない。前処理法としては、東北電化法、ペレタイジング法がある。すなわち、微粉碎された砂鉄から回転するドラムまたは円形皿で約 12mm 程度のボールが作られる。つぎに 1,200°C 程度で焼結することにより電気炉で十分使用可能な焼結ペレットを造ることができる。

つぎに昭和 38 年の 18,000 kVA 密閉型電気炉の代表的操業実績ならびに銑鉄および鉄滓の組成を表 1.6.2 に示す。

表 1.6.2 密閉型電気炉 (18,000 kVA) 製鉄の操業実績 (昭38)

ペレット (Fe 53~55% : $TiO_2$ 11~13%)	1,780 kg/t
石灰石	375 kg/t
コークス (Ash 12~16% : F.C. 82~86%)	330~350 kg/t
電力消費量	2,100~2,250 kWh/t
電極消費量	12~16 kg/t
スラッグ量	810 kg/t
銑鉄成分 (wt %)	

C	Si	P	S	Ti	V
4.1~4.40	0.1~0.2	0.11~0.25	0.05~0.07	0.04~0.2	~0.3

## スラッグ成分 (wt%)

CaO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	CaO/SiO <sub>2</sub>
30~25	30~25	29~27	1.9~4.1	0.8~1.2

## (2) 電気炉ガスの利用

電気製鉄炉より発生する炉ガスの発熱量は 1,500~1,900 kWh/t の電気エネルギーに相当するのでこれが有効利用法いかんによつては製鉄に使用した電力を零に近づけることが可能であると考えられることもできる。したがつてガスの使用価値判断いかんは生産合理化の面に大きな影響をおよぼすので工場の立地条件と相まつて重大といえよう。

## 1) 電気炉ガスの発生量と組成

電気製鉄のさいに発生するガスの量および組成は使用する原料によつて多少異なるが焼結ペレットを原料とした場合のガス発生量と組成は表 1.6.3 のとおりである。

表 1.6.3 電気製鉄炉のガス発生量と組成

ガス組成 (容量百分率)					発生量
CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	
76	6	15	1	0.1	600~650 N m <sup>3</sup> /t

## 2) 炉ガスの利用

炉ガスの利用法としては表 1.6.4 のような方法が考えられる。

表 1.6.4 炉ガスの利用法

区分	用途
燃料	製鉄、製鋼の加熱、都市ガス火力発電、ガスタービン発電用燃料。
合成化学	硫酸、メタノール
還元用	鉄鉱石の還元、その他

しかし利用法によつては他産業との関連を必要とするので、立地条件とも関係してなかなか困難であるから、評価は安くとも自工場で利用することがもつとも効果的であるといえよう。すなわち、その一例として砂鉄のペレット焼結用燃料、後述する予熱、予備還元およびその他の加熱用燃料としての利用である。

## 1.6.4 砂鉄の予備処理効果について

近年製鉄法について電気エネルギーを使用しない 2, 3 の方法が発表されているが、含チタン砂鉄の製錬においては TiO<sub>2</sub> が存在するために技術的に非常に困難である。したがつて電気エネルギーによる製錬法は技術的にもつとも安定した方法といえよう。しかし、日本においては電気エネルギーが他の熱エネルギーに比較して非常に高い。この高い電気エネルギー料金が製鉄原価の 30% を占めているので、いかにして電力原単位を低くすることがもつとも重要となる。この解決法として砂鉄の予備処理、すなわちペレットを予熱、予備還元して

電気炉にホットチャージし、製錬を行なうことにより電力原単位を 1,000 kWh/t 以下に引き下げることが可能となつた。

## (1) 東北電化法

本法は半還元海綿鉄の製造法で、昭和 31 年頃から本格的生産を実施している。本法は粉状砂鉄と安価な還元剤を混合してロータリーキルンに装入し、キルン内部を 950~1,200°C に保持して操業することにより半還元海綿鉄を造ることを特長としている。赤熱状態の原料はそのままキルン下部に設けられたロータリークーラに入りシャワーにて急冷された後貯蔵される。この半還元海綿鉄は還元剤、石灰石と配合されて開放電気炉で製錬されるが、消費電力量は 1,700~1,900 kWh/t である。

## (2) 新 EK 法

## 1) 新 EK 法の概要

本法は Norway Elektrokemisk A/S において製鉄炉の排ガスを利用し、ロータリーキルンまたはシャフト炉において装入原料を予熱、予備還元し、電気製鉄炉にホットチャージし、電力原単位を引き下げようとする方法を主体としているのでこれを図 1.6.1 に示す。

砂鉄を粉碎し、グリーンペレットをつくり、つぎにシャフト炉にて 1,200°C で酸化焼結を行ない、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99

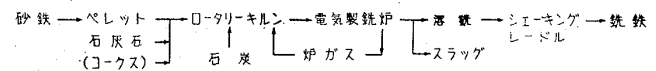


図 1.6.1 新 EK 法の系統図

%以上のペレットとする。つぎにペレット、石灰石、コークス(零の場合もある)の配合原料をロータリーキルンに装入し、電炉ガス、重油などで 1,150°C まで加熱し、還元を進行せしめ還元率 60~70% 程度のものとしこれをコンテナに受け、密閉電気炉に 900~1,000°C でチャージを行ない。電気炉内では Submerged arc furnace の操業が行なわれる。つぎにタップされた含有炭素 3% 程度の溶鉄はシェーキングレールドに移され数分の加炭操作で 4% 以上のカーボン含有量にすることができる。また硫黄分の多い場合は脱硫操作も行ない目的の鉄鉄をつくることことができる。

## 2) 新 EK 法における熱精算

新 EK 法における電力原単位を推定するために現在操業中の大型密閉炉の実績を基本に本法による各条件の熱精算を行なつた。

結果をまとめれば、表 1.6.5 のごとくである。

## 3) キルンプロセスの特長

本キルン構造上の特長はキルン本体に必要な数だけの空気導入口と石炭投入口を有することである。したがつてつぎの利点がある。

- 鉄石は還元剤と接触する前に水分、結晶水、CO<sub>2</sub> を失ない、 $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$ ,  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$  による固定炭素の無駄な損失がない。
- 還元に必要な固定炭素を石炭に求め、石炭の揮発分は無料の熱源として利用できるので経済価値が非常に高い。
- 石炭装入後の原料層内は完全な還元ガスで充満

表 1.6.5 新 EK 法における熱精算

kWh/t	実 績	60% 半 還 元				70% "	80% "
		コルド チャージ	600°C チャージ	800°C チャージ	1,000°C チャージ	1,000°C チャージ	1,000°C チャージ
(1) 酸化物の還元	-1033.2	-569.5	-569.5	-569.5	-569.2	-402.6	-295.0
(2) 溶鉄の含熱量	-348.2	-348.2	-348.2	-348.2	-348.2	-348.2	-348.2
(3) スラッグの含熱量	-383.7	-383.7	-383.7	-383.7	-383.7	-383.7	-383.7
(4) スラッグの生成熱	+112.2	+112.2	+112.2	+112.2	+112.2	+112.2	+112.2
(5) Fe <sub>3</sub> Cの生成熱	+35.3	+35.3	+35.3	+35.3	+35.3	+35.3	+35.3
(6) 炭酸塩の分解熱	-130.9	—	—	—	—	—	—
(7) H <sub>2</sub> Oの蒸発熱	-36.1	—	—	—	—	—	—
(8) 原料の頭熱	—	—	+255.0	+352.2	+440.5	+423.0	+405.0
(9) ガスの頭熱	-60.8	-38.4	-38.4	-83.4	-38.4	-35.4	-26.7
(10) コークスの乾留熱	-19.2	—	—	—	—	—	—
(1) ~ (10) 合計	-1864.6	-1192.3	-937.3	-840.1	-751.8	-599.4	-501.0
(11) カーボンペーストの熱損失	-44.8	-20.9	-187.7	-171.9	-158.2	-125.6	-109.0
(12) 冷却水の熱損失	-141.8	-94.5					
(13) 電気装置の熱損失	-113.2	-75.0					
(14) 炉体そのほかからの熱損失	-85.6	-55.2	—	—	—	—	—
合 計	-2250	-1437.9	-1125	-1012	-910	-725	-610

し、固定炭素は還元のみで使用され、発生 CO は直ちに燃焼し還元に必要な熱を供給する。

- (d) キルン内部の温度分布は、最高温度範囲（還元帯）がキルンの約 50% を占めているため、非常に効果的である。また 1,150°C まではリングの発生はみられない。

4) 電気炉の操業

- (a) キルンから排出された諸原料が電気炉に投入される時還元剤の容積は約 30% に減少しているため、ペレットの高温（1,000°C）および強還元（還元度 70%）による電気伝導度の増加もなら影響を与えることができない。したがって還元剤の容積減少は電極上昇の現象を起こさない大きな理由であるといえよう。

- (b) 出鉄温度は 1,380°C 前後である。

- (c) 操業は非常に安定し、スラッグの噴き上げなども

なく、装入原料の降下は順次円滑に行なわれ、ガス抜けも炉内全般にわたり順調に行なわれる。

- (d) 強還元ペレット、チャージにもかかわらず、電気炉内で 8~18% の間接還元が行なわれる。

- (e) 電力の原単位は 900~950 kWh/t である、

5) 加 炭 法

電気製鉄炉よりタップされる溶鉄の炭素含有量は 3% 前後であるためこれを次工程のシェーキングレードルまたは低周波炉に移し加炭、脱硫を行なう。

- (a) シェーキングレードルにより加炭剤（コークス黒鉛粉）および脱硫剤（CaC<sub>2</sub>, CaO）の添加により数分の操作で容易に高炭素低硫鉄になる。

- (b) 低周波炉を使用してもシェーキングレードルとまったく同様に高炭素、低硫鉄をつくることできる。

6) 原材料の成分と原単位 (表 1.6.6)

表 1.6.6 新 EK 法の原材料成分と原単位

ペレット成分

T.Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	P	S
54.45	77.17	0.62	3.55	0.48	2.32	2.70	12.48	0.084	0.006

還 元 剤

	F. C.	V. M.	Ash	P	S
粉 コークス	89.34	13.1	8.84	0.04	0.41
中塊 コークス	88.39	1.17	9.81	0.059	0.52
石 炭 A	55.74	34.68	7.94	0.13	0.44
石 炭 B	54.13	37.12	9.28	0.047	0.76

石 灰 石

CaCO <sub>3</sub>	CaO	MgCO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	S
98.23	55.05	0.79	0.27	0.29	0.04	0.0013	0.011



表 1・6・6 (続)  
ホットチャージ分析および炉ガス成分

	ホットチャージ分析				電炉ガス	
	T.Fe	M.Fe	FeO	還元率	CO	CO <sub>2</sub>
A	62.9	30.6	40.8	65.5	73.6	18.1
B	63.9	34.6	36.9	69.1	83.0	16.9

原 単 位						
	電力 kWh	ペースト kg	F.C kg	コークス kg	石炭 kg	ペレット kg
A	995	3.6	331	3.7	598	1,845
B	947	5.1	335	0	638	1,817

製 品						
	C	Si	Mn	P	S	Ti
A	3.16	0.05	0.10	0.183	0.066	0.05
B	2.95	0.08	0.24	0.165	0.040	0.24

ス ラ ッ グ							
	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	P	S	CaO/ SiO <sub>2</sub>
A	4.3	27.1	27.7	26.3	0.009	0.12	1.02
B	2.7	27.9	27.9	26.3	0.009	0.01	1.00

### 1.6.5 結 言

以上最近の約 10 年間における技術的發展過程を三段階にわけて回顧し、その概略を述べた。最終項に述べた新 EK 法の技術確立により、砂鉄の電気製鉄法も大きな発展をとげたことになる。今これを経済面より評価すれば、約 20% の原価引き下げに成功したことになる。さらに今後の発展を期待したい。

### 文 献

- 1) 佐藤良吉 日曹製鋼技報, 1 (1961) 3, p. 227

## 1.7 特殊製鉄法

### 1.7.1 直接製鉄法の研究、開発の誘因

現在の製鉄法は、まず高炉で銑鉄をつくり、ついでこれを製鋼過程で精錬しなおして鋼をつくる間接製鉄法である。鉄鉱石から直接鉄、および鋼をつくる直接製鉄法は、間接製鉄法より合理的であるように考えられ、非常に魅力的であつたから、世界の多くの国々においてきわめて多数の研究および試験が行なわれてきた。しかし実験のおよびパイロットプラント的に成功したものにおいても、実際規模の生産では、経済的の面で、現在の大きな生産能力を有する高炉にたちうちできなかった。ただ特殊条件下にある少数の直接製鉄法は現在においても活躍をつづけている。

第 2 次大戦後、世界的に直接製鉄法の研究が活発になり、わが国もその例外ではなく、多数の新しい直接製鉄

法の研究が相ついで行なわれた。第 2 次大戦後直接製鉄法の研究開発が盛んになった誘因としては、つぎのものが考えられる。

(1) 戦後の屑鉄事情の逼迫が直接製鉄法への大きな誘因になつた。世界の年間粗鋼生産高は戦時中の昭和 18 年に史上最高の生産記録をつくつた。戦後の生産拡大はさらに急速で、昭和 32 年には戦時中の最高生産高の約 1.8 倍に達した。わが国においても同様の傾向がみられる。ところが、鋼の生産に必要な屑鉄は、急に増産することが困難である。市場屑の供給量は、その国における資本財または耐久消費財としての鉄鋼の累積と、外国からの屑鉄輸入によつて、大きく左右される。資本財の屑化には比較的長期間を要し、耐久消費財は比較的短期間に屑化するが、その期間は平均して約 20 年前後とみられている。したがつて粗鋼生産量が急激に上昇する場合には激しい屑鉄逼迫を生ずる。これが第 2 次大戦後の世界の鉄鋼業の姿であつた。直接製鉄法は、第 2 次大戦後のこの屑鉄の逼迫を緩和することを一つのねらいとして世界のほとんどすべての主要製鉄国で開発が進められた。

(2) また、近代式製鉄法は、生産性を高めるために高炉およびその付属コークス炉などが大型化し、建設コストはきわめて高額なものになり、新能力の製鉄工場の建設は、経済上の大きな投機になつた。このために建設費の比較的安い直接製鉄法の開発への要求が強まつた。

(3) 高品位鉱石の入手が容易になり、また他方で石油化学工業における大量低コストの還元ガス製造法および流動層技術の発展などに刺激され、新しい直接製鉄法の開発が促進された。

直接製鉄法は、以上のごとき第 2 次大戦後の条件の下に、活発に研究開発されたが、その後の鉄鋼需要の軟化 LD 転炉の登場による鉄くず市場の変化、および高炉技術の飛躍的な発展による銑鉄生産費の低下などにより、世界の直接製鉄法の研究開発は活気を失い、現在においては全く下火になつてしまつた。わが国もその例外ではない。

### 1.7.2 わが国における戦後の直接製鉄法の研究開発

第 2 次大戦後、各種の直接製鉄法の開発が進められた。主要なものを挙げれば、川崎製鉄のクルップレン法日立金属工業の直接還元法、東北電化工業および有明製鉄のロータリーキルンによる半還元海綿鉄法、福田式ローター法、上島式海綿鉄製造法、中島式 N. F. 炉による直接製鋼法、野際式サイクロン炉法、富国石油直接還元法などがある。

昭和 39 年現在、工業的に実施中の直接製鉄法の主要なものには、川崎製鉄のクルップ・レン法および日立金属工業のウィーベルグ法があり、そのほかにロータリーキルンによる半還元海綿鉄法などがある。半還元海綿鉄法は電気製鉄法の事前処理法として採用されている。

(a) 福田式ローター法は、回転炉 (Rator) を用いて鉄鉱石から銑鉄および鋼を直接還元する方法である。砂鉄を原料として高塩基性低温製鉄法により、P および S の低い銑鉄をつくることのできる。炉における重油の



燃焼法に特徴がある。この方法は、ドライ粉、屑鉄、スケールなどを原料として、重油および酸素を適当に利用して鋼を製造することもできる。戦時中より実験を開始し、戦後、中断していたが、ふたたび試験を再開している。

(b) 上島式海綿鉄製造法は、昭和 32 年に電気化学工業青海工場のエルケム式密閉カーバイト炉より生ずる CO ガスを主成分とする副生ガスにて中間試験を行ない、昭和 34 年に、燐化学工業の燐製造にともなう廃ガスを利用して日産 10t の海綿鉄生産に入った。ウィーベルグ法と同様にシャフト炉を用いて塊鉄を高温ガス(900~1,000°C)で還元する方法であるが、廃ガスを利用するから経済的に有利である、炉の構造および原単位などは日本鉄鋼協会・鉄鋼便覧(特殊製鉄法)に記されている。

(c) 中島式 NF 炉法は流動層理論と鉄石還元理論にもとづき、4 段階の装置を組み合わせ一つ一つの炉にしたものである。第 1 段階は予熱酸化焼結炉(1,100~1,200°C)、第 2 段階は還元焼結炉(1,000~1,050°C)とともに流動層を有効に利用している。第 3 段階は還元ガスの調整室(1,600~1,000°C)、第 4 段階は溶解炉(1,600°C)である。粉原料を第 1 炉に供給すれば、つぎつぎと各炉を流れて、第 4 の溶解炉に達し、ここで細粒海綿鉄は、瞬間的に溶解して、不純物の少ない溶鋼となつて排出される方式である。昭和 24 年 3 月より N.F. 炉研究所を開設し、その後 1 日も休むことなく 10 数年間にわたる研究をつづけ、直接製鉄法に関する焙焼、還元、溶解の実験を実施し、多くの成果を収めてきた。

(d) 野際式サイクロン炉法は、イギリスのサイクロン・スチール法と同様の原理による直接製鉄法であるが、サイクロン・スチール法より早くからアイデアをとりまとめている。野際式の特徴は、装置全体がサイクロンおよびパイプと炉で構成され、装置のどこにも可動部分や回転部分がないことである。すなわち、原料の通る部分にバルブなどはなく、原料はガスの流れにつれて移動し溶融炉に達し、溶融金属鉄になる。戦後、千葉砂鉄が協力してパイロット試験を実施した。将来、化学技術全体の発展のなかで、粉体や気体の反応の究明がつけられそのコントロール技術の実績がつかれると、この可動部分や回転部分のない固定装置による直接製鉄方式は、ふたたび興味をひくであろう。

(e) 富国石油ガスの直接還元法は、多段式流動炉の最下段で天然ガスの変性を行なう方式である。資源技術研究所の協力によつて、日産 10t のテストプラントを新潟県で操業した。炉の構造などは日本鉄鋼協会・鉄鋼便覧 531p に示されている。

### 1.7.3 わが国で現在工業的に実施中の主要な直接製鉄法

#### (1) 川崎製鉄のクルップレン法

岩手県久慈市にある川崎製鉄・久慈工場では戦前よりクルップレン法を実施している。同工場の昭和 16 年以後のルッペ生産高を図 1.7.1 に示した。2 基のロータリーキルンが存在し、近年は操業技術が著しく改善され生産性は向上し、生産コストが低下している。とくに製

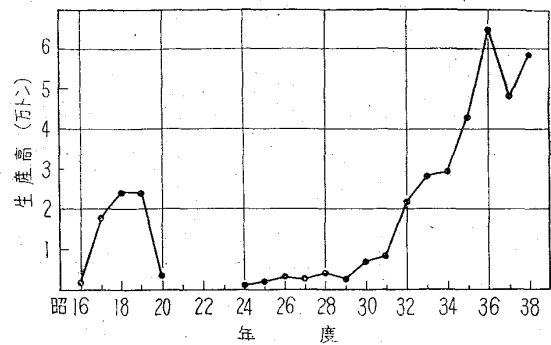


図 1.7.1 川崎製鉄久慈工場ルッペ生産高の推移

造原価を下げるために使用原料の鉄品位を向上させることに成功し、また、れんがの築炉技術の改善で炉の稼働率が飛躍的に増大し、ルッペの生産性が向上するとともに各種の原単位が低下し、生産コストが著しく下つている。

戦時中の昭和 19 年 4 月より 10 月までの 7 カ月間の実績によれば、300t 炉 2 基の稼働で、月平均稼働率が 52.8% で、ルッペ生産トン数は 1 カ月当り 2 基で 2,020t であり、1 日 1 炉当り平均 62.6t であつた。炉の稼働率が悪かつた原因は、その大半(54%)がれんが積替作業であり、それについて機械設備の修理作業が多かつた。当時の装入鉄品位は低品位であり、山砂鉄(30% Fe)と浜砂鉄(53% Fe)を 65:35 の配合割合(Wet)で使用し、装入鉄品位は 39% で現在の鉄品位にくらべて相当に低かつた。還元炭は朝鮮無煙炭を使用し、ルッペトン当り平均 1.63t を使用した。

戦後は、一時大型キルンの操業を休止していたが、昭和 32 年 4 月に 1 号キルン、昭和 34 年 11 月に 2 号キルンを再開し、無煙炭とともにコークブリーズを還元用に使用しはじめた。装入鉄品位は山砂鉄(30% Fe)と浜砂鉄(60% Fe)を 1:1 の割合(Wet)で配合し、装入鉄品位は 45% であつた。当時は操業不馴れによるリング焼の増加や、れんが脱落などが原因となりルッペの原価がなかなか下がらない時期であつた。

昭和 35 年 11 月以降においては、製造原価を下げるためには装入鉄品位を上げることが先決問題であるという見地にたち、山砂鉄と浜砂鉄の配合割合を 2:3 に変更し、さらに昭和 36 年 1 月より装入鉄品位をあげ、山砂鉄と浜砂鉄の配合割合を 3:7 に切換え、装入鉄品位が 51% になり、ルッペの生産量は増加した。還元炭は鉄石 100 に対し、コークブリーズ 10、無煙炭 30 であつた。他方昭和 36 年 6 月頃より、出鋼口およびタイヤ一部のれんが積を、従来の千鳥積から差し違いれんが積に改善し、れんが脱落が急激に減少し、稼働率は飛躍的に増大した。これらの結果として、ルッペの生産量が図 1.7.1 に示すように急激に増加した。それともない各種の原単位が低下し、ルッペの製造原価が著しく低下している。表 1.7.1 に装入原料の原単位を示した。

昭和 36 年 7 月より装入物をすべて乾燥状態で装入し、37 年 11 月より、炉内温度の管理体制を強化し、リングの付着が低下した。昭和 38 年 1 月頃より選別工程における作業工程を two pass 方式から one pass 方式に改め、

表 1.7.1 川崎製鉄・久慈工場のロータリーキルン  
装入原料の原単位  
(ルッペ t 当り使用量 kg)

期 間	山砂鉄	浜砂鉄	高炉灰	MC	コー クス	無煙 炭	加熱 炭
昭和 19年4月~10月	1,930	120	—	150	1,630	470	
35年4月~12月	1,118	591	939	208	426	391	326
36年1月~6月	792	963	608	205	398	432	330
〃 7月~12月	708	1,036	735	344	183	627	306
37年1月~6月	569	982	637	273	128	632	294
〃 7月~12月	499	1,156	586	292	168	560	280
38年1月~6月	613	964	1,512	158	168	684	342
〃 7月~12月	720	983	863	113	276	542	300
39年1月~6月	658	1,335	377	75	243	655	323

昭和39年4月に集塵装置を設置してキルンダストを回収している。ダストをペレットにして、炉に装入することを研究している。昭和39年7月より、山砂鉄を選鉱し鉄品位を50%まで上げ、これを装入する実験操業を開始し、この方法で、さらに製造原価の低下が期待されている。

(2) 日立金属工業のウィーベルグ法

日立金属工業・安来工場は、海岸工場地区に写真1.7.1に示すようにわが国初の本格的海綿鉄工場を建設し、昭和38年より生産をつづけている。この海綿鉄工場は

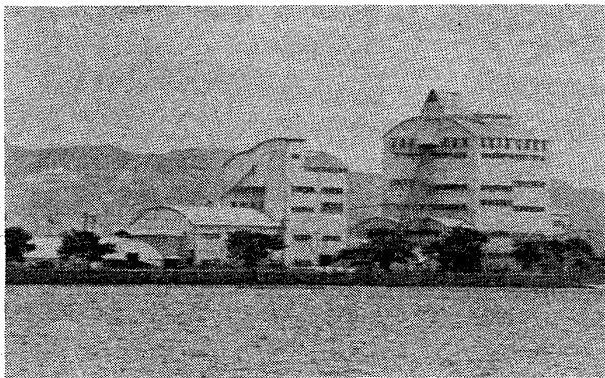


写真 1.7.1 日立金属工業・安来工場海岸工場地区  
の海綿鉄工場の全景

屋外、屋内の砂鉄貯鉱場、粉碎、選鉱、汙過設備、ペレタイジング設備および還元設備よりなり、写真の左側に見える建屋でペレットを焼結し、右側の建屋に還元炉がある。海綿鉄の生産能力は、公称月産1万tであるが、15,000t以上を生産可能である。海綿鉄製造工程図を図1.7.2に示した(詳細は日本鉄鋼協会、鉄鋼便覧524頁図7.116を参照)。

この工場で使用する山陰産砂鉄は、P, S, Cu, Snなどの不純物がきわめて低い世界的に優秀な鉱石の一つである。この砂鉄を選鉱し、ペレットに焼き固めてから、COとH<sub>2</sub>の混合ガスで約900°Cにおいて還元し、高級特殊鋼用の海綿鉄を製造する。ペレットの直径は約30mmである。写真1.7.2に海綿鉄を示した。還元率は90%以上である。最高の熱効率を示す型ペレット焙焼

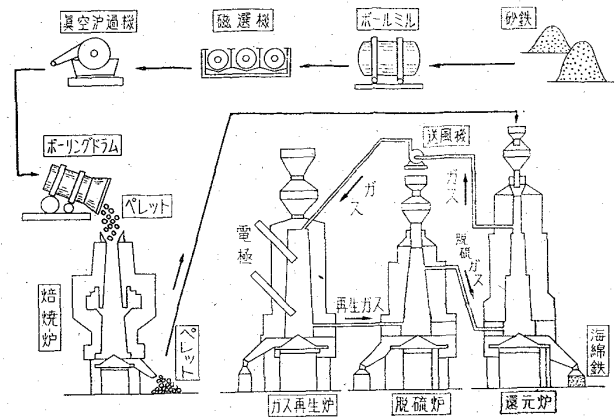


図 1.7.2 日立金属工業・安来工場の海綿鉄製造工程図

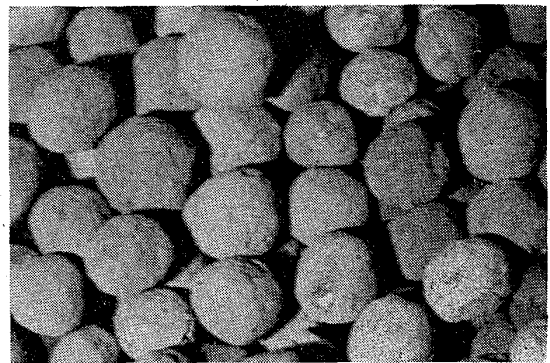


写真 1.7.2 日立金属工業・安来工場の砂鉄ペレットから製造した直径約30mmの球状海綿鉄、還元率90%以上

炉は、同社独自の技術をもつて完成したものである。還元工場の設備は、徹底した集中制御方式を採用し、スエーデンの各特殊鋼メーカーの海綿鉄製造設備よりも一段とすぐれた性能を有している。

この海綿鉄を主原料とする特殊鋼の特性は、(a)あらゆる不純物が少ない。(b)熱間および冷間の加工性がきわめて良好である。たとえば鍛造性が良く、一度に思い切つて大きな鍛造比で圧縮しても鋼材の内部まで十分鍛造がきいて良好な均一組織がえられる。(c)組織の調整が容易である。(d)同一硬さにおけるじん性が大きい。(e)繰り返し疲労限が大きい。(f)耐熱衝撃性が大きい。(g)耐摩耗性が大きい。(h)軸受やロールなどに使用すると耐ピッチング性が大きい。(i)海綿鉄を用いたボールベアリングは他に比較して約3倍の寿命があることが認められている。使用中に温度の高くなるバイトの刃先とか、熱間型材に使用すると寿命が長い、などの特徴がある。

安来工場は従来、鳥上木炭鉄工場の砂鉄鉄で鉄鋼一貫作業を行なっていたが、現在、この海綿鉄工場の完成で砂鉄製海綿鉄と砂鉄鉄の併用で一貫作業が行なわれている。

(3) 東北電化工業および有明製鉄などの半還元海綿鉄

この方法は、電気鉄原料としての砂鉄の事前処理法として行なわれている。ロータリーキルン中で、950~1,250°Cの温度範囲で砂鉄を金属鉄とFeOになるまで

半還元する。この際に同時に砂鉄を焼結させて塊状にする。塊状半還元砂鉄を電気炉に利用する場合には、大型電気炉での砂鉄製錬が容易になり、電気鉄炉における所要電力が著しく減少する点に特徴がある。

### 1.8 フェロアロイ製造技術

#### 1.8.1 従来の発展経緯

##### (1) 製造技術と原単位

過去 10 年間における原単位の切下げは表 1.8.1 に示すように顕著であつた。これの普遍的な原因は原料品位の向上と整粒を主体とする事前処理、電気炉の改善と大型化、製造技術の改善、品質管理の導入であり、全品種について、従来の発展経緯の詳細を述べる余裕はない

が、いま低炭素フェロクロムの電力原単位について述べれば、昭和 29 年度の 5,049 kWh に対し、昭和 38 年度は 2,979 kWh で約 40% の切下げ率である。これは表 1.8.2 に示す電気炉の大型化と金属ポールから炭素電極への電極型式の移行がおもな原因で、29年度の1基当り変圧器容量 1,280 kVA は 38 年度では 2,690 kVA と 2 倍以上になり、これにともない傾動式電気炉が増加しその結果炉床ライニングの寿命の延長と精錬作業の順調をもたらした。また電極型式については 29 年頃より金属ポールから炭素電極に急速に切替えられ、電力原単位の切下げに顕著な役割りを果たした。そのほかクロム鉱石の乾燥や一次品の溶湯使用も役立つている。またシリコマンガンでは過去 10 年間で電力原単位は 25%、同様に電極は 30%、コークスは 30% の切下げ率である。この原

表 1.8.1 主要フェロアロイの原単位の推移

製造品種	年度	電力原単位		コークス	電極ベースト	製造品種	年度	電力原単位		マンガンスラグ	コークス	電極ベースト
		kWh	kg					kWh	kg			
低炭素 フェロクロム	1954	5,049	2,062	—	kg	シリコ マンガ	1954	6,481	1,704	2,474	593	66
	1955	4,787	1,842	—			1955	6,227	1,756	2,093	584	65
	1956	3,741	1,825	—			1956	5,947	1,756	1,820	540	58
	1957	3,456	1,726	—			1957	5,874	1,767	1,833	538	54
	1958	3,879	1,716	—			1958	5,935	1,784	1,771	524	53
	1959	3,456	1,718	—	23		1959	5,377	1,644	1,651	478	47
	1960	3,240	1,717	—	22		1960	5,547	1,777	1,676	512	49
	1961	3,167	1,650	—	20		1961	5,179	1,729	1,444	473	43
	1962	3,050	1,665	—	21		1962	5,257	1,761	1,326	477	43
	1963	2,979	1,636	—	20		1963	4,995	1,760	1,206	467	40
高炭素 フェロクロム	1954	6,206	2,345	481	66	高炭素 フェロ マンガ	1954	3,648	2,244	—	499	35
	1955	6,247	2,271	464	61		1955	3,681	2,212	—	499	30
	1956	5,622	2,447	464	66		1956	3,562	2,242	—	517	31
	1957	5,366	2,393	463	76		1957	3,665	2,266	—	507	34
	1958	5,381	2,246	436	63		1958	3,604	2,156	—	485	30
	1959	5,948	2,297	414	53		1959	3,314	2,092	—	460	27
	1960	5,281	2,216	439	53		1960	3,229	2,076	—	477	28
	1961	4,599	2,074	412	39		1961	3,163	2,102	—	479	28
	1962	4,866	2,009	399	53		1962	3,186	2,057	—	472	25
1963	3,744	1,577	341	30	1963	3,041	2,034	—	454	22		
フェロ シリコン2号	1954	11,471	2,151	968	104	中(低)炭素 フェロ マンガ	1954	1,969	1,164	(シリコン) マンガス 950	—	24
	1955	11,634	2,157	984	103		1955	1,816	1,305	963	—	23
	1956	11,050	2,081	938	99		1956	1,671	1,313	916	—	25
	1957	11,341	2,131	903	101		1957	1,656	1,273	940	—	20
	1958	10,968	2,071	886	90		1958	1,680	1,197	901	—	21
	1959	10,982	2,128	851	92		1959	1,595	1,216	937	—	22
	1960	10,518	2,059	806	83		1960	1,469	1,186	902	—	20
	1961	10,424	2,099	823	77		1961	1,535	1,197	930	—	20
	1962	10,375	2,011	785	74		1962	1,563	1,128	879	—	18
	1963	10,034	1,957	784	74		1963	1,284	1,036	894	—	15

表 1・8・2. 低炭素フェロクロムおよびシリコマンガ製造用電気炉の変圧器容量と電極型式の推移

製造品種	年度	電気炉 基数	1基当り の変圧器 容量	電 極 型 式				合 計
				ゼーダー ベルグ式	簡易 (セミ)ゼ ーダーベルグ式	ブロック式	金 属 ポール式	
	年	基	kVA	%	%	%	%	%
低 炭 素 フェロクロム	1955	13	1,280	0	0	28	82	100
	1960	23	2,440	26	17	57	0	100
	1963	27	2,690	27	22	51	0	100
シリコマンガ	1955	32	3,340	38	49	13	0	100
	1960	39	4,005	58	41	1	0	100
	1963	29	4,530	56	44	0	0	100

因の一つは原料中のマンガニ鉱石対マンガニスラグの比率を高めて原料中のマンガニ濃度を上昇させたことにある。表 1・8・2 に示すように 1955 年度では鉱石 1,704 kg, スラグ 2,474 kg (比率 1:1.45), 1963 年度では鉱石 1,760 kg, スラグ 1,206 kg (比率 1:0.68) で、その結果原料中のマンガニ濃度は ~20% から ~25% に上昇したため生産性は向上し、電力その他の原単位は切下げられた。そのほかの原因として表 1・8・2 に示す電気炉の大型化とそれともなう電極型式の改善、炉床回転方式の採用などがある。電気炉 1 基当りの変圧器容量は表 1・8・2 に示すように、30 年度では 3,340 kVA, 38 年度は 4,530 kVA と約 1.5 倍に増大し、また 30 年度にはブロック電極を懸垂した電気炉が 13% を占めていたが、38 年度では皆無となり、炉床回転式電気炉が数基建設されたことは電力その他の原単位の切下げに役立った。炉床回転式電気炉はシリコマンガのほか高炭素フェロマンガ、フェロシリコン、金属けい素などの製造に採用され結果的には上記品種の 10 年間の電力原単位切下げ率は、それぞれ 16%, 12%, 23% (17,000 → 13,000 kWh) であつた。フェロニッケルの製造は昭和 26 年高炉法、クルップレン法および電気炉法により再開されたが、粗製品製造における焼結鉱の改善、フラックスの調整などにより電力原単位は 35,000 kWh/Ni 純分トンから 28,000 kWh に切下げられ、製品では酸素の使用あるいは揺動取鋼の採用などにより精錬時間の短縮および資材の節減などが可能になつた。

カルシウムシリコンの製造は還元剤の乾燥、原料の整粒、還元剤の適正配合などにより鉱石法による一段精錬法が確立され、30 年頃にはまだ残存していたカーバイド法は完全に過去の遺物と化した。その結果電力原単位は 16,000 kWh から 12,000 kWh に低下した。フェロタングステンと高炭素フェロモリブデンの製造では歩留りの向上を主眼にした鉱石の団鉱あるいはベレタイジング、集塵機併設の密閉電気炉が採用された結果両品種とも歩留りは 95% に達した。電力原単位も 10 年間に両品種とも切下げられたが、とくにフェロタングステンでは還元剤にフェロシリコンを使用したことが大きく影響して 13,000 kWh から 6,000 kWh に低下した。低炭素フェロモリブデンなどのテルミット精錬では 1 回のテルミット反応量の重量増加と還元剤のアルミニウムをフェロシリコンに置換することに重点がおかれた。その結果

1 回の溶解量は現在では約 700 kg までに増大し今後さらに増大の傾向にある。

#### (2) 新製品と品質改善

1) クロム系新製品 最も多量に生産されている新製品はチャージクロムとリファインドクロムで、いずれも高炭素品であるが前者が後者より炭素、けい素などの不純物が多いことが特色であり、主としてステンレス鋼精錬において初装入される。したがって、従来ステンレス鋼用クロム源の大部分は低炭素フェロクロムであつたが、ステンレス鋼の酸素吹製ではチャージクロムおよびリファインドクロムが初装入され、シリコクロムと低炭素フェロクロムは還元期以後使用されるため、製鋼用の高炭素フェロクロムと低炭素フェロクロムの使用比率は従来ほぼ 1:2 であつたのが、昨年頃より急激に 1:1 になり付随的にシリコクロムの使用比率も増加した。

窒素 1.2~1.9% の高窒素低炭素フェロクロムの国産品 200 kg が 29 年にはじめて市販されたが、これは主として、輸出向けステンレス鋼の添加剤用で 35 年には JIS に制定した。これは溶湯に窒素を添加されるが、このほか粉砕品に窒素を約 6% 添加した高窒素品も生産される。

そのほか取鍋添加用の発熱フェロクロム、シリコクロムおよび水素、酸素の脱ガス金属クロムがあげられる。

品質改善のうち低炭素フェロクロムの炭素含有量の低下は特筆大書に値する。すなわち 29 年頃の低炭素フェロクロムの炭素含有量の最低保証値は 0.030% であつたが、現在では 0.005% も可能になつた。

2) マンガン系新製品 電解マンガンの生産は昭和 26 年より再開され、品質的には水素 0.0006% 以下の脱水素品、窒素 4~7% の窒化物、製品厚さを 3mm まで増大させたことが特徴である。そのほか窒素約 4% を含む中 (低) 炭素フェロマンガニヤシリコマンガニ、発熱フェロマンガニヤシリコマンガニも生産される。

3) けい素系新製品 炭素 0.05% 以下、アルミニウム 0.5% 以下のフェロシリコンが取鍋の採用あるいは酸素吹製などにより生産される。金属けい素は木炭の水洗、オイルコークスの配合、アルミ製電極ケースの使用などにより製品のカルシウムは 0.25% 以下、鉄は 0.5% 以下に低減した。そのほか鉄 10~40% のカルシウムシリコンヤマンガニ 14~18% のカルシウムシリコンも生産される。

4) その他の新製品 フェロボロン, フェロニオブは、過去にあつては輸入に依存していたが、30年頃よりわが国で生産されはじめ、35年にはJISに制定された。またジルコン系アロイも生産される。フェロチタンは従来テルミット法により製造されていたが、近年チタンスポンジと純鉄をアルゴン気流中（あるいは真空中）で溶解して製造されるにいたり、製品中に含まれる不純物とくにアルミニウムや燐などはきわめて低下した。

1.8.2 現在の問題点およびその解決の方向

(1) 製造品種の単純化

わが国のフェロアロイ電気炉の年間稼働率は50~65%で明らかに低い。そこで稼働率を上昇させることが合理化の先決条件であるとして、豊・渇水期の区別なしに、設備を年間フル稼働させて製品トン当りの固定費を切下げる構想は肯定されるが、その場合わが国の電力料金算出方法から推定して電力単価がかなり値上りして、電気炉稼働率上昇による固定費の切下げ分を相殺するおそれがある。従がつて電気炉稼働率上昇の効果を独立させるには、フェロアロイメーカーが自家発電設備を所有（あるいは共有）するの必要が生ずる。一方、発電設備は大規模であればあるほど発電原価は安くなるので、フェロアロイ工場の規模が問題になる。さらに、また電気炉の大型化はフェロアロイ工業合理化の不可欠の条件である。

上記の電気炉稼働率の上昇を発端として自家発電設備と工場規模、電気炉の大型化にいたる一連の因果関係のうに原料および製品処理の合理化を考慮すれば、一工場当りの製造品種の単純化が必要となつてくる。さらに輸入原料の荷揚げおよび製品の積出しをあわせ考えれば臨海地帯できれば大製鉄所に近接した地域に工場を建設することが理想的である。

(2) 原料設備と事前処理

現状においてもショベルローダー、ベルトコンベヤなどが、かなり多く利用されながら、旧式で非能率設備が途中に点在してこれが隘路になつていたり、原料の流れ自体が複雑な場合がある。原料受入れから電気炉装入までの原料設備は自動制御方式を取り入れた一連の機械化、理想的には、無人操作に近いまでの合理化が望まれる。表 1.8.3 に原料工程とそれに対応する設備の一例を示した。

表 1.8.3 原料工程と設備

原料工程	設 備
荷 卸 し→配合場 または (荷卸し→貯蔵場) (オアベッド) 貯蔵場→配合場	クレーマー ショベルローダー ベルトコンベヤ 破 碎 機 振 動 篩 焼 結 機 (または) (団 鉱 機)
配 合 配合場→電気炉上ビン 電気炉上ビン→炉 中	コンスタントフィーダー ベルトコンベヤ ホッパーシュート

原料の事前処理については、つぎに列記した事項の必要性は認められながら、事前処理にはかなりの費用がかかるため、運用面ではいろいろ議論の分れるところである。

- 原料貯蔵…屋外貯蔵の場合は舗装、できれば屋内貯蔵
- 原料の乾燥…電気炉排ガスによる乾燥
- 原料の整粒…適正粒度の把握と一連の機械化
- 原料の焼結…格安な粉鉱石の購入
- 団鉱・ペレタイジング…経済性を考慮のうえ採用

(3) 電 気 炉

電気炉設備能力算定式をもとに今後建設される電気炉についてのべる。38年度末における約290基の電気炉の変圧器容量の平均は約3,400kVAであり図1.8.1に示す電気炉容量と工数原単位の関係からも、変圧器容量の増大が望まれ、とくに高炭素フェロマンガ、フェ

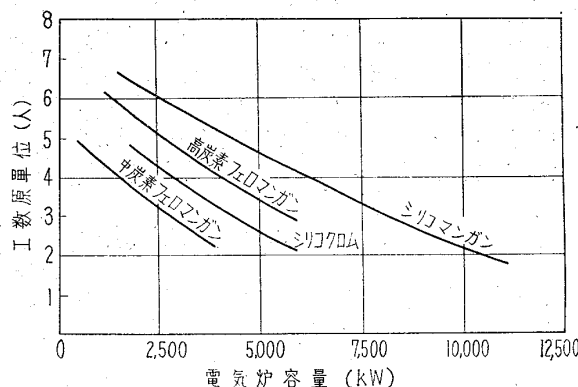


図 1.8.1 電気炉容量と工数原単位の関係

ロシリコン、高炭素フェロクロム、金属けい素、カルシウムシリコン、フェロニッケル、（できれば低炭素フェロクロムも）は10,000kVA以上は標準的といえる。日間稼働時間の増大と変圧器負荷率の上昇には、現状ではその採用率が60%（変圧器容量ベース）に達しないゼーダーベルグ電極の全面的採用が残されている。年間稼働日数の増大には(1)でのべた事項のほかには炉床ライニングの寿命延長策とくにライニングの寿命が比較的短かい炉ではフェロタンングステン炉のような予備炉体を設置する方法が望まれる。電力原単位の切下げは設備的には炉床回転式の採用が効果的であり、その他については製造技術の項にゆずる。

(4) 製品設備と製品精整

製品処理部門は従来から改善が強調されながらあまり進歩しなかつたといつても過言ではなく、今後の合理化が期待される。第一段階としてフェロアロイメーカーは製品粒度のJIS規格化を要望した結果、本年度改訂のフェロアロイJISに採用の予定である。これは粒度の規格化は、製品破碎作業の機械化には必須条件としているからである。この粒度の規格化に刺激されて鑄造、精整、包装などの各工程の機械化が進められよう。したがつて製品設備としては取鍋→鑄鉄機（あるいは鑄床）→ショットブラストマシン→破碎機→振動篩→包装機となるが、鑄鉄機については全く今後の課題といえるし、破碎機では小粒子や扁平状品の発生率の低下が望まれる。フェロシリコンなどの水砕も行なわれているが、使用面

での解決が待たれる。

(5) 製造技術

a) 酸素の使用は転炉，平炉，電気炉製鋼法の進歩にきわめて効果があつたし，重油は高炉において代替燃料として大きくクローズアップしている事実から類推しても，フェロアロイ製造における酸素，重油などの使用が今後の課題となる。すでにフェロニッケルの精錬には酸素がいずれの工場でも使用され，リファインドクロムの製造にも一部の工場で最近酸素が使用されはじめた。そのほかフェロシリコンや金属けい素の不純物除去にも酸素が使用される。

b) 昨年来高炭素フェロマンガ製造で密閉式電気炉ガスの顕熱をそのまま利用して原料を予熱する方法が試験中である。この方法では，集塵装置を設置しないにもかかわらずダスト損失が皆無にちかく，電力原単位も2,100~2,400 kWh と報告されている。また粗フェロニッケル製造ではフラックスを添加しない原料をロータリキルンで乾燥脱水して300°C以上の熱鉄状態で電気炉に装入する方法が実施されようとしており，これにより電力原単位は従来法に比較して10%切下げが期待される。このような電気炉の排ガスの利用が今後の課題である。

c) 従来低炭素フェロクロムの製造はわが国では3段

法，欧米では1段法によるシリコクロムとペラン法であつた。最近わが国でもペラン法が採用されはじめた。後者の方法ではシリコクロムの電力原単位が6,800 kWh，低炭素フェロクロムのクロム含有量1%当りの電力量は100 kWhといわれ，わが国で採用している3段法より有利である。

d) 上記の低炭素フェロクロム製造法のほかに Simplex の商標で知られている米国ユニオンカーバイド社の真空脱炭法がある。この方法では粉碎した高炭素フェロクロムを表面酸化し，これに結合剤を加えて団鉄を成型し，乾燥後0.1~2 mm Hgの真空度，1,250~1,350°Cの温度に約25時間保持して低炭素フェロクロムが製造される。しかしこの方法は特許であるため国内のフェロアロイメーカーは真空利用のフェロアロイ製造を開発しようとしている。

e) 高炭素フェロマンガ製造においては古くからスラグの塩基度1.1~1.4がマンガ歩留りや電力原単位の点から最良とされていた。しかしマンガスラグをシリコマンガの原料として利用する場合は，フラックスを使用せずに（あるいは減少して）高炭素フェロマンガを製造し，スラグの塩基度を0.5以下（あるいは約0.8）にする方が，総体的にみて経済的であるので，最近わが国でもこの操業方法が採用されはじめた。