

グの還元によつて生成されたものか否かという意味で注目値しよう。

スラグの分離が以上のように進行するものとすれば、最終スラグの形成過程は高塩基度部の熔融ないし CaO の滓化、ならびに生成過程の異なるスラグの混合の過程ということになる。この過程が降下に伴う昇温によつて促進されるであろうことは疑いないが、同時にこれに羽口燃焼コークス灰分の滓化が、高塩基度スラグの低塩基度化として交絡することになる。A 調査はスラグの Al_2O_3 の増大傾向からみて、灰分の同化は羽口レベルでおこるとし、D 調査は灰分の吹き上げのため、脈石成分組成は羽口上で溶落する直前にすでに最終組成になるとしている。また B 調査は灰分の同化にはふれず、ただ羽口レベルに近づくにつれて昇温するため (CaO) が増大するとし、C 調査は CaO/SiO_2 が羽口近くで増大すると述べているにすぎない。これは灰分の滓化が羽口近傍でおこることは確かとしても、その部位は炉の条件により上下しうることを示すもののように思われる。今後燃焼帯に関する研究の一環としてコークス灰分の挙動の解明が望まれる。

生成過程の相異によるスラグ組成の相異のほかに、径方向・周方向の不均一分布によるスラグの不均質性が、羽口レベルにおいてもみられたと報告されている。これらの混合による均一化は炉床で行なわれるほかないが、鉄鉄の場合と同様、それがどの程度に完全でありうるかは不明といわねばならない。その解明のためには、コークスの充填—その状況や程度も推測の域をでない—されている炉床部における液の流動状態に関する調査研究が必要である。

(3) 展 望

解体調査の最大の長所は炉の全体に関するいわば立体的なあるいは構造的な情報を与える点にある。調査が上述した多くの価値ある知見を提示して、高炉内でのプロセスの進行過程の認識を深めるのに大きく寄与しただけでなく、さらには認識をあらためさせさせたのもこのためである。しかしこれにはまた所詮「死体解剖」であつて、稼働状態すなわち向流状態におけるプロセスの進行の様相を把握しきれないという弱点もある。したがつて高炉製鉄理論のいつその発展のためには、生産高炉や試験高炉の冷間・熱間調査だけでなく、模型実験や机上実験、さらには思考実験も含めた総合的なアプローチが不可欠であることは明らかである。

終りに以上の所論で論及しえなかつた問題として、羽口破損の原因の究明という操業上の重要課題や、環境汚染のおそれがなくてしかも合目的な原料事前処理法の原理の発見という課題が残されていることを付言する。

1.2 原 燃 料

1.2.1 原燃料事情の推移と展望

(1) 鉄鉱石資源について

(a) 鉄鉱石資源の推移

イ) 鉄鉱石供給源の推移

わが国の鉄鉱石輸入先別数量の推移は図 1.2.1 に示す

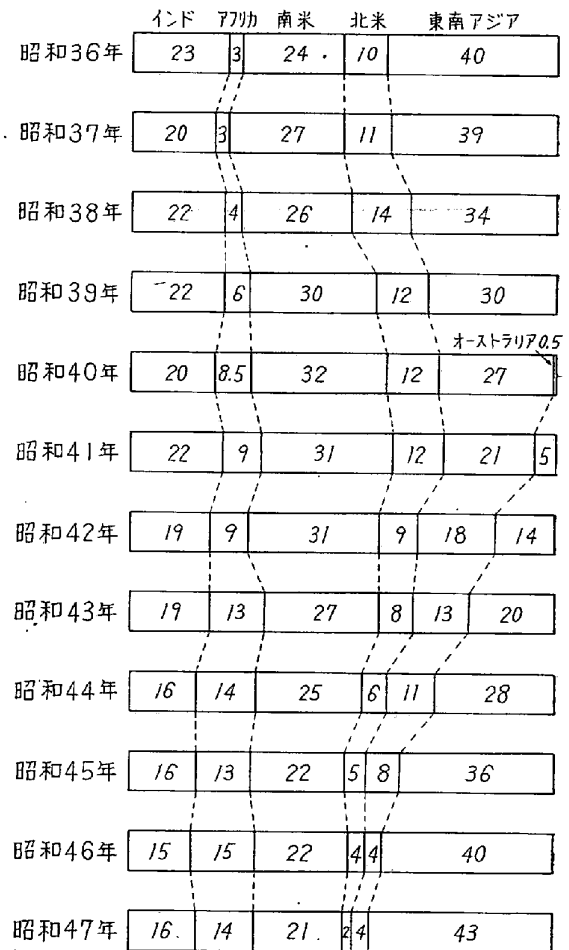


図 1.2.1 鉄鉱石の国別輸入推移

とおりである。昭和36年にはフィリピンとマレーシアを主体とする東南アジアからのものが輸入の約40%を占めていたが、その後の日本鉄鋼業の拡大につれて、インドの Kiriburu, Bailadila, Goa など機械化採掘を始めて対日供給を図り、またチリー、ペルーなどの開発も進み、さらには大西洋岸のブラジルからも鉄鉱石が輸入されるようになった。しかしながら昭和41年頃からの日本鉄鋼業の急激な拡大に対処し、また一方、東南アジアの鉄鉱石資源の枯渇化という事情もあつて、新規ソースの開発が必然的に要求される情勢となつた。

オーストラリア政府は昭和13年以来、国内資源保護のため鉄鉱石の輸出禁止政策をとつていたが、昭和35年に同国西部地域で莫大な鉱量の鉄鉱床が発見されて、国内資源が豊富であることが判明し、同年12月に鉄鉱石輸出を解禁した。そして昭和40年には Goldsworthy の第1次対日契約がなされ、昭和41年から出荷された。その後 Hamersley の調査・開発、Mt. Newman の開発、Robe River の開発と続き、昭和46年にはオーストラリア鉄鉱石の割合が鉄鉱石全輸入量の40%を占めるに至り、一方フィリピンやマレーシアの鉄鉱石輸入はほとんどなくなつた。

ロ) 焼結用粉鉱とペレット

焼結鉄の高炉での使用効果が認識されるとともに、その使用割合は漸増し、積極的に粉鉱を輸入することが必

要になつてきた。そのため低品位鉱を粉碎して選鉱した精鉱粉鉱の輸入、切込鉱を山元で整粒して塊鉱と篩下鉱に分け、粉鉱比率を高めて輸入すること、さらにブラジルなどでの粉鉱の多いソースの開発などを行なつてきた。

一方、ペレットの使用は焼結鉱に較べれば絶対量は少ないが、この10年間で2～3倍に増している。最近では、鉄鉱石産出国が付加価値を高めて鉱石を輸出するという思想から、産出国でのペレット生産が増加してきた。

ハ) 鉄鉱石の価格と品位の推移

高炉生産能力の増大に伴い、鉄鉱石の供給国はブラジル、カナダ、アフリカなど、大西洋岸にまでもおよび、海上輸送距離は当然伸びてきている。最長輸送距離は、昭和36年の4,900海里に対して昭和46年には6,139海里となつている。しかしながら、鉄鉱石入着価格は逆に14.22ドル/tから11.58ドル/tと低下してきており、これには鉱石専用船の大型化によるフレート価格の低下が大きく寄与している。また、日本の大製鉄所をすべて大型船着岸可能とすることはもちろん、海外鉱山の開発に当つても、大型船が使用可能のように港の建設を怠らなかつた。図1・2・2に昭和36年以降の鉄鉱石輸入価格の推移を示すが、最近では燃料価格を主とする世界的インフレにより、鉄鉱石価格も上昇傾向にある。

品位については、東南アジアの鉱石の割合が高かつた昭和36年頃は平均Feは60～61%で、粘性と Al_2O_3 が高いことから高炉での使用上問題が多かつたが、オーストラリアやブラジルの鉱石の割合が上昇するにつれて平均Feは63～64%になり、粘性問題はなくなつた。しかし Al_2O_3 問題は依然として解決されていない。P含有量に関しては、製鋼の転炉化に伴つて規格がシビアに

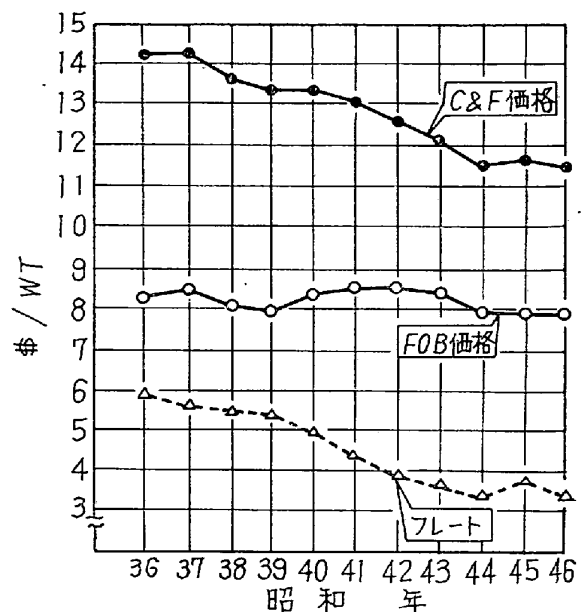


図1・2・2 鉄鉱石輸入価格の推移

なつてきている。また、焼結鉱使用割合の上昇により、高炉における造滓量の低下が要望され、最近では低 SiO_2 のペレットがよるこばれる傾向も出ている。さらに、環境問題に応じて原料中のS分を制限する必要が生じ、硫酸焼結の使用中止、高S鉱石例えばマルコナ粉鉱の購入削減、選鉱強化による低S原料への転換などを積極的に行なつてきた。

(b) 鉄鉱石資源の将来の展望

わが国における鉄鉱石需給見通しは表1・2・1に見られ

表1・2・1 長期鉄鉱石需給

(単位: 万トン)

		昭和49年	50	51	52	備 考
生 産	粗 鋼 I	11,700	12,400	13,150	13,900	Iは下限 IIは上限 高炉鉄=粗鋼×0.8
	粗 鋼 II	12,000	12,900	13,800	14,700	
	高 炉 鉄 I	9,360	9,920	10,520	11,120	
	高 炉 鉄 II	9,600	10,320	11,040	11,760	
需 要	輸 入 鉱 石 I	13,759	14,582	15,464	16,346	輸入鉱石比 1.47
	所 要 量 II	14,112	15,170	16,229	17,287	
供 給	豪 州	6,437	6,723	6,528	6,398	既ソースは延長契約を含んだ契約量
	そ の 他	8,583	8,362	8,013	7,190	
	既 ソース 計	15,056	15,085	14,541	13,588	
バ ラ ン ス	I	1,279	503	▲ 923	▲ 2,758	対日既開発鉱山からの供給余力
	II	944	▲ 85	▲ 1,688	▲ 3,699	
供 給 余 力		3,530	4,040	4,650	4,660	
バ ラ ン ス	I	4,827	4,543	3,727	1,902	
	II	4,474	3,955	2,962	961	
新規開発対象			1,200	2,200	3,000	

るように、昭和51年には既契約ソースでは不足をきたすが、既開発ソースの生産拡大で補足することも考えられる。しかし、すでに輸入鉱石におけるオーストラリア鉱石への依存率がきわめて高くなつており、また最近オーストラリアで見られる労働情勢の不安定や、外貨預託制度などによる政府の規制もあり、オーストラリア鉱石の安定供給には不安が多くなつてきている。

そこで、将来の鉱石の安定供給という見地からソースの分散化を図り、そのためにオーストラリア以外での新規鉱山を開発することが不可欠である。しかしながら、アフリカ新興国においては資源ナショナリズムにより鉱山開発には政府の介入があり、鉱山開発も政府の外交政策と不可分の状態となつてきており、従来のような単純購買方式だけでは資源確保は困難が予想される。したがつて欧米鉄鋼メーカーなどに見られるような Captive Mine および Joint Venture 構想により、日本鉄鋼業も積極的に開発投資参加を図つてゆく必要がある。

結局、今後はブラジル、オーストラリア、アフリカ、インドがわが国への鉄鉱石供給の4本柱となるであろう。

(2) 原料炭資源について

(a) 原料炭資源の推移

昭和39年以降のわが国の原料炭の生産高と輸入量の推移を表1-2-2に、輸入量を国別に見た推移を図1-2-3に示す。このような推移をたどつた原料炭資源について次のような諸点が指摘されよう。

イ) 海外依存度の増大

予測を大幅に上回る粗鋼生産の伸長に伴う原料炭需要の増大に対処するためには、原料炭とくに強粘結炭の生産が少ないわが国としては海外からの輸入に多くを依存せざるをえない。表1-2-3に示すように国内炭はその採掘条件の悪化に伴う生産コストの上昇などによつて国際競争力を失つており、さらに硫黄・窒素酸化物など公害

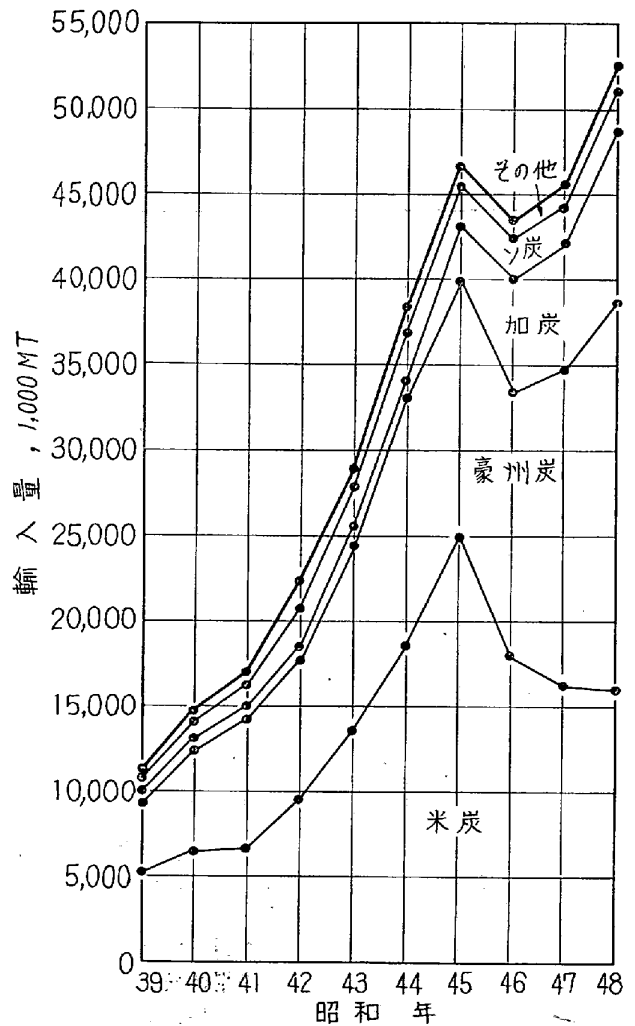


図 1-2-3 原料炭国別輸入推移

表 1-2-2 石炭の国内生産と国別輸入推移

(単位: 1,000WM/T)

年次 (暦年) 昭和	生 産 高			わが国の総輸入量			鉄 鋼 業 の 原 料 炭 国 別 輸 入 量									
	原料炭	その他 石 炭	計	原料炭	その他 石 炭	計	アメリ カ	オースト ラリア		ソ 連		カナダ	中国	ポー ランド	その他	合計
								強粘	弱粘	強粘	弱粘					
39	12,506	38,423	50,929	11,976	1,257	13,233	5,281	3,504	502	905	—	763	148	—	30	11,133
40	12,350	37,184	49,534	15,904	1,176	17,080	6,408	4,350	1,692	979	42	739	405	—	5	14,618
41	13,111	38,236	51,347	18,221	1,288	19,509	6,717	5,273	2,248	1,202	141	809	524	103	—	17,017
42	12,374	35,108	47,482	24,030	1,437	25,467	9,642	5,228	2,970	1,825	215	801	734	724	226	22,365
43	12,380	34,189	46,569	30,967	1,457	32,424	13,651	6,775	4,061	1,919	413	961	—	942	37	28,803
44	12,449	32,241	44,690	39,862	1,301	41,163	18,656	9,443	5,179	2,263	613	812	—	1,103	170	38,239
45	12,290	27,404	39,694	48,767	1,404	49,871	24,945	10,109	4,845	2,088	485	3,206	—	902	153	46,733
46	13,521	19,911	33,432	45,339	1,584	46,923	17,978	10,847	4,694	2,090	231	6,449	—	1,136	44	43,469
47	13,451	14,647	28,098	48,519	758	49,277	16,157	14,033	4,515	2,047	187	7,439	—	1,147	35	45,561
48	11,460	10,954	22,414	55,823	1,031	56,904	16,015	17,555	5,153	2,199	240	10,047	—	1,177	105	52,492
48年輸入炭 の国別比率							30.51	33.44	9.82	4.19	0.46	19.14	—	2.24	0.20	100.00

表 1・2・3 鉄鋼業原料炭の内外比と石炭比

年次 (暦年) 昭和	高 炉 鉄 生 産 高	輸 入 炭 消費比率 (%)	国 内 炭 消費比率 (%)	石 炭 比
39	23,211	56.9	43.1	0.85
40	27,001	63.6	36.4	0.84
41	31,585	64.0	36.0	0.82
42	39,678	68.6	31.4	0.81
43	45,952	74.8	25.2	0.80
44	57,650	79.7	20.3	0.81
45	67,539	82.5	17.5	0.80
46	72,249	81.3	18.8	0.77
47	73,679	81.4	18.6	0.73
48	89,676	84.1	15.9	0.71

規制の強化による需要減退がこれに拍車をかけ、総出炭量は逐次低下の一途をたどり、わずかに原料炭得率の上昇により原料炭の生産量が横這いないし微増の状態を保っている。したがって需要を満たすためには海外ソースの確保を図らざるをえず、その中でもポテンシャルの高い米国炭への依存を深めた。

ロ) 米国炭依存度の増大およびL米比の低下

輸入炭への依存の中でも特に米国炭に依存しなければならない背景には、おもに石炭鉱業の特殊性がある。石炭鉱業において新規開発をする場合、①その開発テンポ、生産の弾力性、労働力確保、関連投資などの点で困難性を持つており、開発テンポに関しては調査に3年以上、建設に2～3年間と、出炭開始までに最低5年間はおかかり、フル操業に至るまでにさらに2～3年を要するため、鉄鋼関連設備などの建設テンポよりはるかに遅く、急激な供給体制をとることは不可能であること、②増産余力がほとんどないこと、③その立地は過疎地帯でのケースが多く、量的にも質的にも労働力を十分確保することは難しく時間がかかること、④さらにそういう立地条件においてはインフラストラクチャー関連投資の比率がかなり高くならざるをえないことなどのため、急激な需要の増大に対処するためには、必然的に原料炭市場として最も規模が大きく、粘結性の点でも秀れた米国炭の輸入が主体となり、昭和42年以降急激に増加し、昭和45年には約2,500万tと昭和30年代の約5倍に達した。しかし米国炭はグローバルな性格を持つだけに欧州の需要との競合があり、また米国内の電力用需要との競合もあつて、量的な確保が次第に困難になつてきた。一方、価格面からもマーケット要因が強く、さらに海上輸送コストの面からも他のソースと比較して割高であることは避けられず、銑鉄コストの面からは米国炭比率の低下が求められ、昭和45年をピークとして減少し、現在1,600万t強/yearとなつている。米国炭の中でも特に低揮発分炭の比率を低下させることが図られ、オーストラリア炭、カナダ炭との置換が漸次なされてきて現在は10%を下回つている。

ハ) オーストラリア、カナダ新規開発炭の輸入

原料炭を将来とも米国炭のみに依存し続けることは経

済的にも数量的にも問題があるため、安定供給が可能でしかも低価格の期待できる近距離ソースを確保する必要に迫られ、関係者の積極的な努力によりオーストラリアおよび西部カナダにおいて対日供給ソースの新規開発が進められた。すなわち長期契約のもとに、オーストラリア Q'LD 州で昭和46年以降契約量 1,600 万 t/year、カナダ B.C. 州と Alberta 州で昭和45年以降契約量 1,250 万 t/year の新規開発計画が遂行された。その立上り時期には種々の問題点があり、まだ必ずしも順調に軌道に乗つたとはいえないが、米国炭とともに漸次日本の3大供給ソースとなりつつあるのが現状である。

ニ) ソ連炭の長期契約による輸入増加

ソ連炭は 100 万 t 弱/year の入荷が続いたが、昭和40年以降の日本側の需要急増とソ連側の外貨獲得の目的が合致し、港湾条件も改善されてクズネツ炭田からの内陸輸送距離が 6,000 km 強というハンディキャップを克服して、長期契約による購入体制ができ上つた。

ホ) ポーランド炭の輸入開始

ポーランドは、近代化・工業化を進めつつある同国の経済を支える最も重要な国家的産業として石炭鉱業に重点的投資をして開発を推進し、その一環として石炭輸出の伸張、外貨獲得を指向した。それが日本側の供給ソース拡大の必要性に合致し、昭和41年に輸入が開始された。現状では 100 万 t 強/year となり、数量的には安定ソースのひとつであるが、海上輸送距離が長いこと近距離ソースより価格競争力が劣り、将来に問題を含んでいる。

ヘ) 中国炭の中断

昭和37年に輸入再開され、ピーク時は 70 万 t 強/year に達したが、昭和43年に中国側の内部事情により中断されて現在に至っている。

ト) 国内炭の後退

国内炭の生産コストはその採掘条件からエネルギーソースとしての国際競争力に乏しく、数次にわたる原料炭炭鉱と高能率炭鉱を重点としたスクラップ・アンド・ビルド政策により、総出炭量は昭和38年の 5,110 万 t から昭和48年の 2,241 万 t と大幅に低下した。このような政策により、同期間において原料炭は 1,182 万 t から 1,146 万 t とほぼ横這いとなつている。しかし製鉄用原料炭としての国内炭使用比率は表 1・2・3 のようにこの間に 44.1 % (793 万 t) から 14.9 % (1,004 万 t) と極端に低下してきている。国内炭の増産は資源の条件からみて多くを期待することは困難であり、将来も現状の生産水準を維持するのが限界と考えられる。

チ) 総括

これらソースの推移を強粘結炭・弱粘結炭という分類からみると、米国炭がほとんど強粘結炭であることと、オーストラリアとカナダの新規開発が強粘結炭を対象として選定されたこととによつて、必然的に強粘結炭の比率が上昇し、高炉装入物としてのコークスに要求される品質を確保するための配合必要条件を整えることにより、高炉生産性向上の一翼をになつてきた。

(b) 原料炭資源の将来展望と採るべき対策

今後の原料炭需給を展望するとき、次のような諸点が指摘される。

イ) 数量確保上の問題

まず第一はソースの新規開発の困難性がますます増大するということである。資源ナショナリズムによる産出量や価格などへの規制強化ならびに需要側への開発リスク負担（技術、資金）の要請が現れ始めている。オーストラリアにおいては連邦政府が石炭価格の見直しを要求して資源保護政策・高価格政策の色彩を強める動きを示し、カナダにおいても地域住民への利益還元、環境保護などを目的として種々の規制が考慮されつつある。そして労働集約型産業である石炭鉱業としては労働力確保が新規開発の場合の重要な条件となるので、労働力の量と質の確保および賃金レベルの高騰などの問題によつて、新規開発は従来にも増して困難性が大きくなり、数量面での確保がむずかしくなってくるのが予測される。

さらに量的確保を困難にする他の要因として原料マーケットのグローバル化の進行がある。現在すでに米国炭は広く世界に輸出されており、特に日本をはじめカナダや欧州（主として EC 諸国）などの間で常に数量・価格面で競合している。この傾向はオーストラリア炭においても見られ、すでに欧州との競合が生じており、西部カナダ炭もその兆を見せている。将来ブラジルをはじめとする鉄鋼生産国の拡大がなされれば、ますますこの傾向を強くするものと予想される。

もうひとつの観点として質的な面でのグローバル化が指摘されよう。すなわち原料炭もエネルギー源のひとつであるということがより鮮明になるものと考えられる。増大するエネルギー需要に対処するためには、石油と天然ガスには埋蔵量の面からの制約があるので石炭に依存せざるをえない部分があり、この面での競合が米国原料炭についてはもちろん、ひろく非粘結炭（将来はコークス用炭になりうるという前提で）についても特に予想され、安定供給、安定価格という点で大きな不安要素を抱えている。

ロ) 品質上の問題

次に指摘される点は品質の問題であり、装入炭の流動性が漸減してコークスの品質（特に強度）への影響が懸念されることである。今後の新規開発はオーストラリアとカナダの中揮発分強粘結炭がその主体となるが、米国炭との比較において軟化溶融時の熱的特性として不活性成分が多いという特徴をもっており、さらに高流動性である国内炭の横這いしないし漸減もあつて、強粘結炭の比率は必然的に漸増することになるが、その反面流動性は最適範囲の下限を下廻り、粘結性不足の状態となることが懸念されている。

ハ) 価格上の問題

価格に関しては、これまで種々の努力によつて比較的低廉を維持し、日本鉄鋼業の国際競争力強化に大いに寄与していたが、今後ともこの状態を保つことは極めて困難となりつつあり、現在すでに高価格時代に突入している（図 1・2・4 参照）。そして前述のような資源ナショナリズムによる規制強化や、原料炭といえどもエネルギー資源の範ちゅうに属しそのマーケットの影響からは逃れられないことなどを考慮するとき、今後も価格上昇の傾向は続くものと予測される。

ニ) 今後採るべき対策

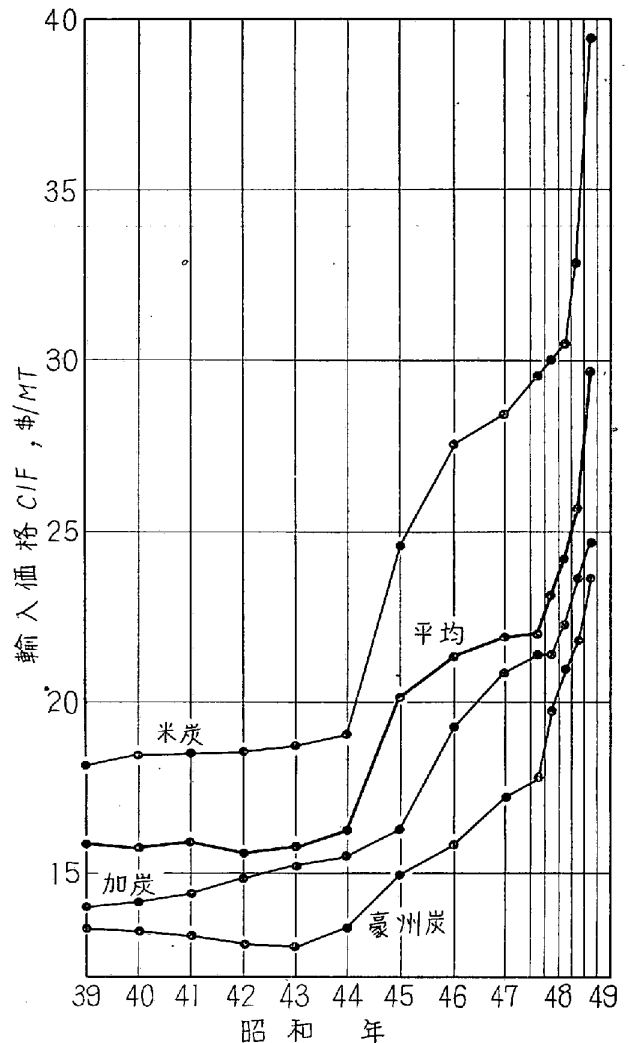


図 1・2・4 原料炭輸入価格推移

このような原料炭ソースの趨勢に対処するには、まず数量面の確保と安定性を図る必要があるが、そのためには鉄鉱石の場合と同様に、これまでの長期契約をベースとした単純購買のみならず積極的に新規開発に資金をもつて直接参加することによつて、供給力の拡大とともに安定性を確保すること、さらに資源国に対する技術・資金など多面的な経済協力によつて相互の発展を図ることが必要であろう。また非粘結炭の活用などによるコークス用炭範囲の拡大も同時に強力に推進し、ソースの分散を図るべきである。

非粘結炭については安価な炭素材の獲得という期待はほとんど持てないものと予想される。これは、採掘コスト自体が炭種とは関係なく、炭層の賦存状態により左右されるものであると予想されるからである。

次に、将来懸念される原料炭の流動性低下傾向については、高流動性炭の積極的確保を目指すと同時に、新技術の開発が不可欠である。粘結剤添加、加熱成形炭配合、予熱装入などの従来のコークス炉に対する技術開発のみならず、新しいプロセスとして成形コークスの新技術の開発が、量的拡大も同時に可能な非粘結炭ソースの活用にもつながり、さらに作業環境改善対策、省力化、

表 1・2・4 鉄鋼業における重油、石油消費高の推移

年度 (昭和)	重油 (1,000 kℓ)					石油 (1,000 kℓ)						
	用途別内訳					* 硫黄別内訳		灯油	軽油	L P G	ナフサ	その他*
	高炉用	圧延用	変電ボイラー用	その他用	計	低硫黄	高硫黄					
39	913	1,767	606	1,516	4,802							
40	1,045	1,855	733	1,262	4,895							
41	1,044	2,270	874	1,378	5,566							
42	1,097	2,936	987	1,595	6,615							
43	1,240	3,199	1,109	1,490	7,038							
44	1,671	3,770	1,426	1,659	8,526							
45	3,405	4,180	1,637	1,801	11,023	4,800	6,223					
46	4,353	4,368	1,788	1,684	12,193	6,130	6,060					
47	4,448	4,866	1,806	1,615	12,735	6,800	5,935	253.4	101.9	435.3	14.0	—
48	5,246	4,983	1,527	1,707	13,463			542	432	1,982	147	6
49					12,405			715	485	3,103	350	160

出所：重油は通産省「鉄鋼統計月報」による 石油は新日鉄推定値

* 低硫黄，高硫黄は各々0.3%，2.2%と仮定した推定値。* その他はLNG原油を含む

表 1・2・5 鉄鋼向重油納入価格 (円/kℓ)

	低 硫 黄	高 硫 黄
昭和45年度上期	6,500	5,800
下期	6,800	6,100
46 上	7,900	6,500
下	8,159	"
47 上	8,850	6,700
下	"	"
48 上	9,800	"
10月	12,500	9,700
11月	16,500	"
12月		"
49 1~3	27,200	16,000
4~6	~30,600	"

自動化という観点からも今後の大きな課題と考えられる。

そして将来における量的・質的確保，価格問題の解決のためには，化石燃料に完全に依存する従来の製鉄法のみならず，原子力をはじめとする化石燃料以外のエネルギーによる製鉄法の開発によるその多様化，分散化を図ることがさらに必要となるであろう。

(3) 流体燃料資源について

世界的な環境問題に対する認識の高まりにより，各国ともますます低S燃料の需要が高まってきている。従来鉄鋼業での重油の需要は全国需要の10%未満と小さく，安定した需要バランスを保ってきたが，今後硫黄酸化物排出規制を満足しつつ粗鋼生産を増加させるためには相

当量の不足が予想され，これに代わる流体燃料が必要となる。これに対して低S燃料としてLPG，LNG，ナフサなどの代替燃料の確保が検討され，一部実施に移されているが，これら流体燃料は完全にグローバルなマーケットであり，量的確保の他に問題点をかかえている。すなわち，諸外国との競合による供給不安定，受入れ設備への新規投資が必要でありかつ大きいことなどである。したがって今後鉄鋼業としては，主体的な立場での代替燃料の確保，脱硫技術の開発およびその早期実用化を図る必要がある。

表1・2・4に流体燃料の消費高推移を，表1・2・5に重油の価格の推移を示した。

1・2・2 焼 結

(1) 概 説

最近10年間の高炉生産量・能率の向上は著しいものがある。この(a)量の増大による鉱石輸入ソースの変化，(b)能率の向上のための装入物に要求される品質・量のグレードアップ，(c)生産性の向上，(d)特に顕在化してきた公害防止対策など多様な要求の中で焼結操業・設備技術の進歩は著しいものがあつた。

この間の焼結原料の大きな変化は購入ソースの東南アジア，チリー，ペルーから豪州，ブラジル，アフリカへの変更（すなわち高FeO鉱石→Hematite鉱石）である。これに伴い原料中FeO(%)の低下，Al₂O₃(%)の上昇，SiO₂(%)の低下，微粉および粗粉の上昇が起つてきている。これらの方向はいずれも焼結製造上生産能率・品質両面に悪い方向である。一方高炉の大型効率化により焼結への「多量に安定して良品質を供給する」ことの要求は強まり，特に量および熱間性状に対する要求はこの10年間急激に強まった。

これらの条件を両立させるべくこの10年間に特に進歩した操業・設備技術の因果関係を表1・2・6に示す。設備

表 1・2・6

(原料面での変化)

FeO 低下
SiO₂ 低下
Al₂O₃ 上昇
粗粉増加
微粉増加

熱量変化

生成融体量低下

生成融体物性悪化

結合・力焼結反応悪化

通気性低下

生成鉱物組織悪化

(結果)

生産性低下

冷間強度低下

耐還元粉化性低下

還元率低下

(対策—最近10年間で特に進歩した)

- (1) スラグ成分による生成融体量、物性、鉱物組織最適化（造滓剤添加，塩基度上昇等）
- (2) 原料粒度改善による通気性最適化（バインダーによる造粒，粗粉破碎）
- (3) 還元粉化機構の解明および対策
- (4) 層厚上昇，密度向上，上層脆弱部減少による歩留向上（高層厚，高負圧，保熱炉，コークス整粒等）
- (5) 大型化，稼働率向上による生産能率向上
- (6) 自動制御による管理密度向上，安定，効率化

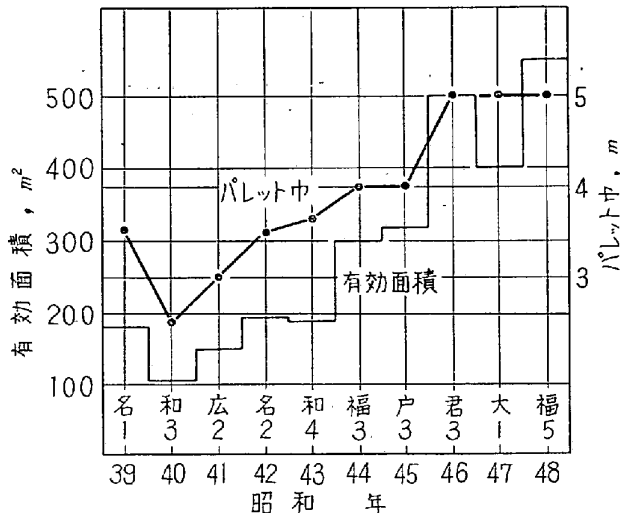


図 1・2・5 新設焼結機有効面積・パレット幅推移

技術の進歩状況は図1・2・5に示すごとく大型化し，それに伴い高負圧・高層厚化した。操業の変化・進歩を図1・2・6に示す。今後の原料面での見通しは開発の主体はやはりブラジル，豪州，アフリカであり Al₂O₃，SiO₂ など今後も同様の傾向が続くと考えられ，量・品質を確保し，耐還元粉化性と還元率を両立させる焼結製造方法の一層の追求が課題となる。

公害対策技術の進歩状況は粉塵対策としては電気集塵機が定着化し，現在主排風機53基に対し38基が設置されている。大気汚染対策としての排ガス中 SO_x の低減方法については原料面でのS低減およびアンモニア法，石灰石膏法による排煙脱硫方法が検討され，実機操業が行なわれつつある。NO_x は発生防止および除去技術の検討が行なわれている。

(2) 操業技術

(a) スラグ量および成分の適性化

配合条件による最適の品質・生産性を得るためには SiO₂，CaO/SiO₂ の適性範囲にする必要があり，鉱石中

に含有する SiO₂ の他に SiO₂ 調整剤の添加が行なわれている。これは SiO₂+CaO 量，コークス量に支配される適性融体量および生成される Calciumferrite 量によると考えられている。

鉱石中の Al₂O₃ の上昇は構成鉱物組織の強度劣化により，強度・生産性は低下する。対策はある程度まではコークス・スラグ量増による鉱物組織の改善で対処しうるが，極力 Al₂O₃ 量を下げることが望ましい。

しかし Al₂O₃ 上昇による高炉スラグの流動性悪化を防止するために，焼結で MgO 源を添加するが，これは常温強度低下をもたらす。MgO 鉱石は一般に反応性がきわめて悪く，CaO-Slag 系の適性熱量では不十分なために未反応のまま残留することによる。したがって融体化・同化しやすい MgO 源（例 Ni スラグ）の添加が有効である。

(b) 原料粒度の改善

粗粉の増加は通気性の向上によつてあるところまでは生産量は向上するが，反面強度は低下する（図1・2・7）。この対策は融体生成量の増加（スラグ量+コークス量）および層厚を高めるが，本質的には粗粒粉の破碎を行なうべきである。また粒度のみならず成分の変動減少策として，鉱石のブレンディングが実施されている。

微粉対策として通気性の確保および結合強度を得るためには疑似粒化が必要である。凝集剤に生石灰を使用し高生産性が得られた例を図1・2・8に示す。凝集剤の他に分散剤，コークスの分割添加も研究されている。

(c) その他の品質・生産量改善策

脆弱な上層比率低下による歩留向上のための高層厚化と，微粉原料に対する適性風量確保による強度上昇を排風機の高負圧化により可能にした。実績例（図1・2・9）から高負圧にすれば同一原料粒度でも強度・生産性とも向上する。

上層部の急冷による脆弱部減少対策として保熱炉を設置した。その効果は（表1・2・7）鍋歩留の向上による生産性の上昇である。また最近では被還元性も考慮した耐還元粉化性良好な焼結鉱の製造にも応用された実施例がある。

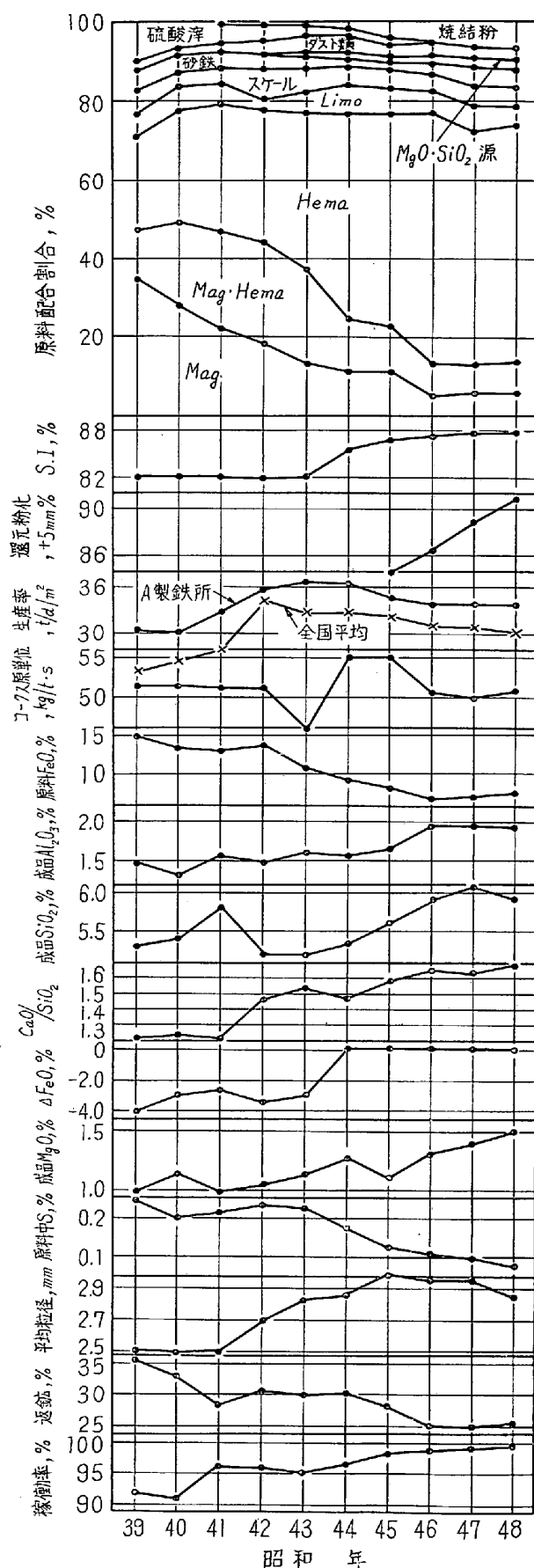


図 1-2-6 A製鉄所配合および操業推移

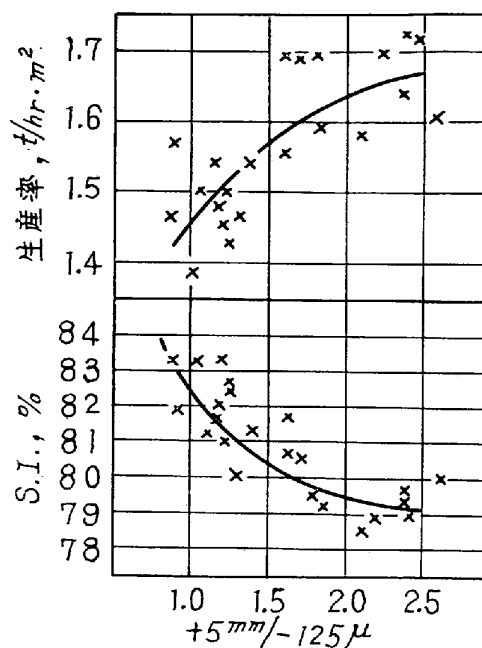
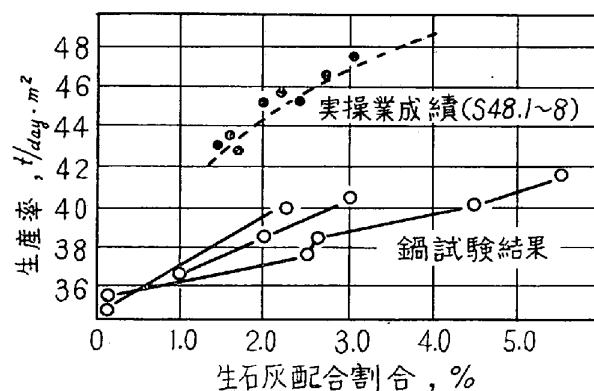
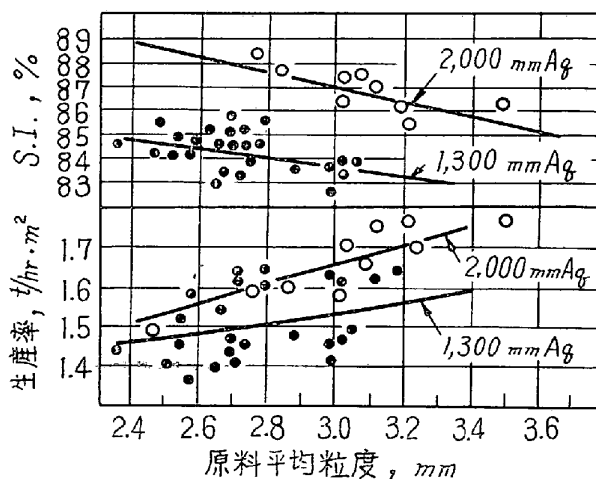
図 1-2-7 強度・生産率におよぼす原料粒度の影響
(古井：製鉄研究第272号 1971)図 1-2-8 生石灰配合の効果
(新日鉄：第44回製鉄部会 1974)図 1-2-9 吸引圧力と落下強度・生産率の関係
(清水：Trans I.S.I.J. 1971)

表 1・2・7 保熱炉の効果 (神鋼: 第37回製鉄部会1970)

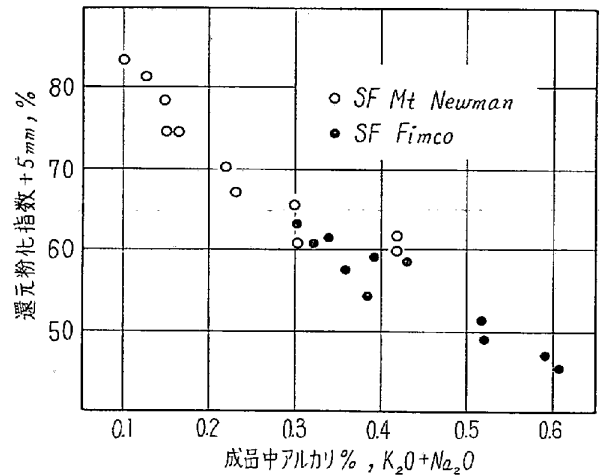
	生産量 (t/hr)	鍋歩留 (%)	コークス 使用量 (kg/t)	重油 使用量 (ℓ/t)	S. I. (%)
効 果	+15	+7.3	+10.9	+0.12	+0.9

(d) 耐還元粉化性

昭和40年頃から焼結鉱の耐還元粉化性が高炉装入物としての評価の上で重要なものとなつた。粉化機構については当初炭素析出が主因と考えられたが、 H_2 還元でも起こることから Hematite→Magnetite 還元時の体積変化による歪であると推定された。さらに実験室のおよび実操業においてスラグ量、塩基度、成分、コークス量および操業条件により影響を受けることが判明しつつあるが、それらと粉化機構そのものの因果関係については定量的把握はいまだ不十分である。

イ) 粉化要因および対策

焼結過程での反応を模式的に表わすと図1・2・10のように考えられる。耐還元粉化性を得るためには焼結鉱成分中の2次、再酸化、多成分系 Hematite (Al_2O_3 , TiO_2 などを固溶した)の抑制および Hemi Calcium ferrite,

図 1・2・11 アルカリ量と還元粉化指数(KOHにて添加)
(住金: 第44回製鉄部会 1974)

各スラグの生成促進が必要であると考えられる。個々の要因および対策については表1・2・8に示す。実操業では各要因を総合的に考えて対処している(図1・2・11, 1・2・12)。

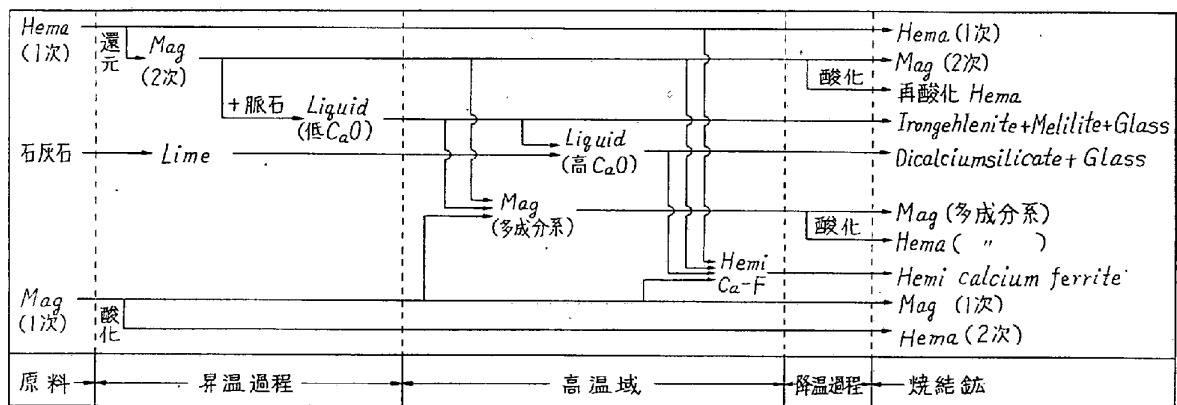
図 1・2・10 焼 結 過 程 の 反 応
(新日鉄: 第28回学振54委 1973)

表 1・2・8 還 元 粉 化 要 因 と 対 策

要 因	影 響 お よ び 理 由	対 策
スラグ量 CaO/SiO_2	多い程良い。クラック伝播の障害物となる。 1.5以上では高い程良い。C-F生成量増, Hema 生成抑制による。	通気性との兼合いでできるだけ多くする。 できるだけ高くする。
FeO	直接的関係はないが、スラグ量・コークス量による熱履歴によって変りうる。	スラグ・コークス量で決まる最適条件あり。
Al_2O_3	Hema 中に入り、多成分系にするため悪影響	Al_2O_3 量を下げる。
TiO_2	Hema 中に入り、多成分系にするため悪影響	高 TiO_2 源を少量添加する。
MgO	Mag. 生成量を増すが、反応性が悪いので、本質的影響はない。	—
アルカリ	Hema→Mag 反応促進剤となり、粉化促進すると考えられる(図1・2・11)	使用制限
風 量	PO_2 に関して最適風量がある(図1・2・12)	通気性、生産率による風量の最適化

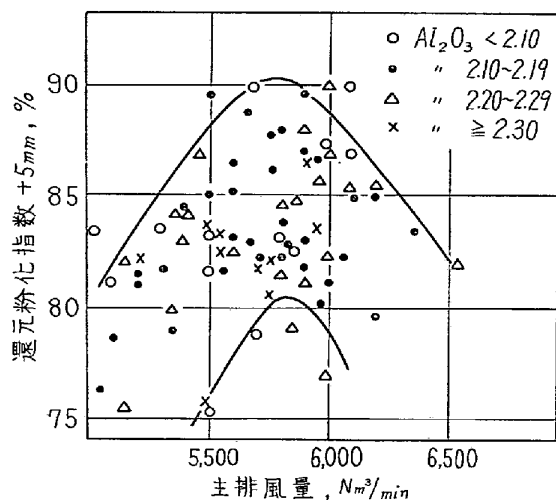


図 1-2-12 還元粉化と風量との関係

ロ) 被還元性との関係

相反すると考えられていた還元粉化性と被還元性を両立させることが今後の課題であるが、その一つの実施例を示す(表 1-2-9)。コークスを気体燃料で最大限置換し、スラグ成分の融体化が可能な温度域にできるだけ長く保持することによって、図 1-2-10 で示した反応のうち Magnetite の 2 次的な生成を抑えるとともにスラグ成分をできるだけ融体化することにより得られたものである。

(3) 設 備

(a) 大型化

現在までの焼結設備大型化を可能とした理由として次の点があげられる。

イ) パレットの構造と材質の改善

スパンの拡大に伴って生ずる荷重、熱応力、鑄造条件の困難性に対して 3 分割化による適性材質の選択と鑄造性の改善がある。インシュレーションピース、フレーム

表 1-2-9 点火炉・保熱炉による COG 多量燃焼試験
(新日鉄：第28回学振54委 1973)

操業法		従来法	COG 多量法
条件・成品			
試 験 条 件	層 厚 mm	400	440
	パレット速度 m/min	2.67	4.17
	COG 原単位 Nm³/t	7.30	16.39
	(点火炉)	(6.06)	(10.88)
	(保熱炉)	(1.24)	(5.51)
	コークス配合量 %	4.02	2.84
	原料中 FeO %	8.10	7.85
	" SiO₂ %	5.52	5.05
	CaO/SiO₂	1.64	1.35
	歩 留 %	68.3	63.5
	生産率 t/hr. m²	1.340	1.294
成 品 性 状	成品中 FeO %	7.46	6.34
	成品中 FeO/原料中 FeO	0.92	0.81
	S. I. %	85.1	87.2
	還元率 %	64.6	69.4
	還元粉化後平均粒度 mm	9.01	10.91

のスロットの採用により特殊鑄鋼製の歪を防止し、特殊ダクトイル鑄鉄の採用により熱応力によるクラックの防止と強度の保持が可能となつた。

ロ) 焼結機排鉱部の調整装置

油圧式摺動または揺動式によりパレット間隙の微調整を行ない、またスプロケットホイールの設置は大型化するパレットから受けるカーブドトラックへの負荷を軽減させ安定したパレットの運行ができるようにした。

ハ) 主排風機の技術

大容量、高負圧、耐摩耗性の要請にこたえて翼形ファンなどの高効率の排風機が製作された。これは高張力材

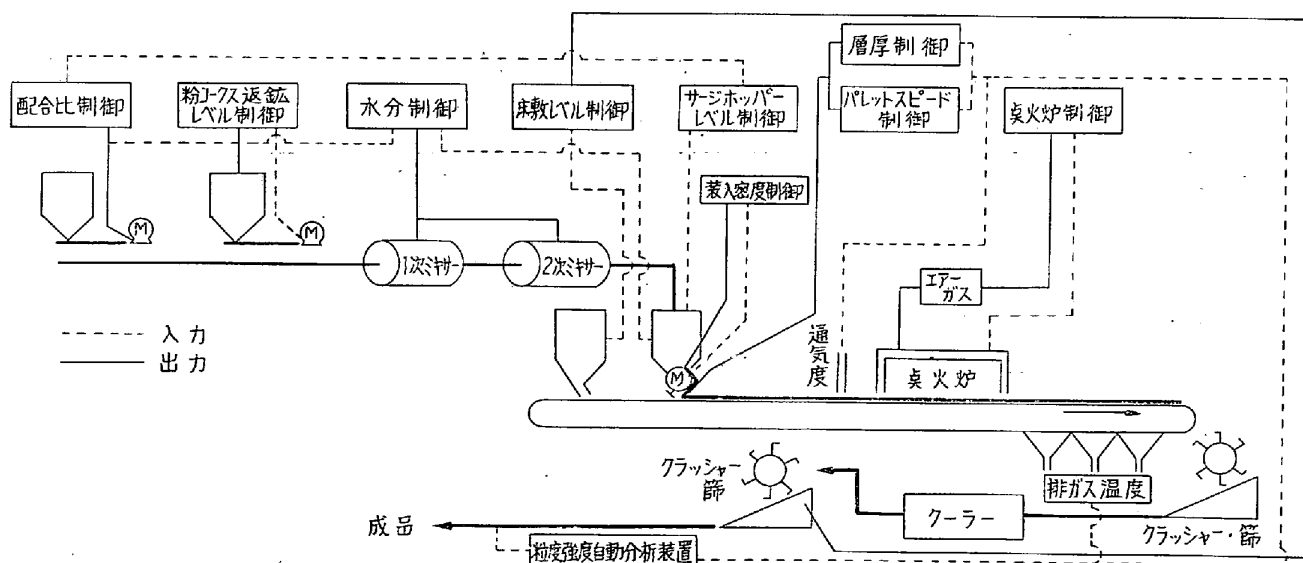


図 1-2-13 総合自動運転システム図例

料の開発, 溶接技術の向上などによるものであろう。

ニ) 付帯設備の大型化および並列化

1次クラッシャーは鬼齒, 受アゴの肉盛材料および形状の改善, 肉盛部水冷および台車式取替装置の導入により長期使用に耐えうる物となつた。その他シュートなど摩耗部に対してはセルフライニング方式あるいは高Cr系耐摩耗ライニングの使用により設備安定の基礎となつたといえる。また大型設備の安定稼働を計るため最終スクリーンの多段化および並列化が行なわれ, スクリーン網材の耐摩耗鑄造品への変更も行なわれている。大型化の今後の展望については, 1,000 m² 級の焼結機の問題点が検討されつつある。

(b) 制 御

最近の焼結工場の自動制御ループを上げると, (1)総括運転制御, (2)原料配合制御, (3)原料水分制御, (4)原料給鉄制御, (5)装入層厚密度制御, (6)点火炉燃焼制御, に集約でき, 現在までにはほぼ完成したといえる。特に中性子水分計使用による原料水分の管理およびコントロール, γ 線レベル計使用による各原料槽在庫レベルの管理の確立は大きい。しかしながらおのおのの操業因子の総合的な判断によるプロセス制御の点ではいまだ初期の段階であり, 個々の測定および制御精度の向上, およびコンピューターコントロールを目指した点火前通気度, BTP, 成品品質測定結果を, パレットスピード, 層厚, 水分, 原料粒度コントロールへフィードバックし, 成品品質の安定かつ最適操業を維持する総合管理システムが現在試みられつつあり, その一例を図1-2-13に示す。

1-2-3 ペ レ ッ ト

(1) 概 論

ペレットは北米の低品位タコナイトの製鉄原料への利

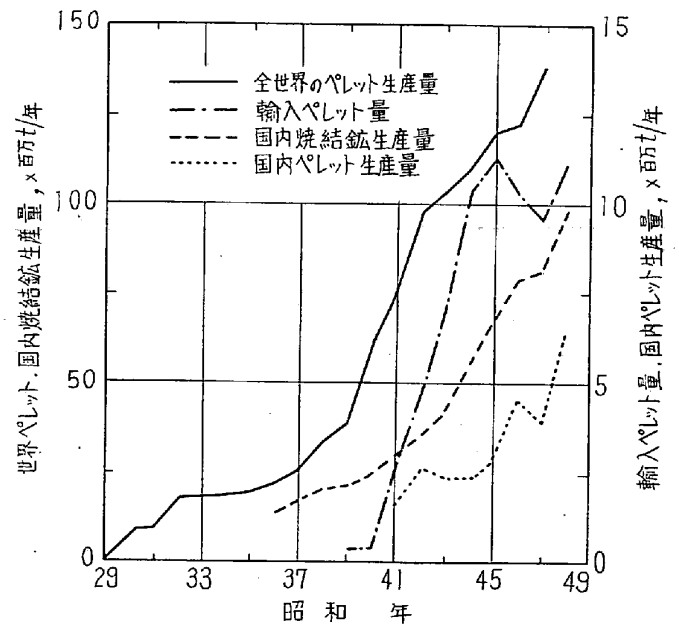


図 1-2-14 ペレット, 焼結鉄の生産量の推移

用を目的として工業化されたものであり, 本格的生産は昭和29年に開始した。当初はマグネタイト精鉄を用いシャフト炉での製造のため生産規模の大きな増加は見られなかつた。昭和37年頃より精鉄以外の各種鉄鉱石にも適用できる, 生産性の大きなグレートおよびグレート・キルンが登場してきたため生産量は大幅に増加した。現在に至るも世界生産量の大半は北米地域で占められており, このペレットの鉄源は同地域の鉄鉄生産量の半量に相当するといわれている。図1-2-14にペレットの生産と輸入量, また比較のため焼結鉄の国内生産量の推移を示した。

表 1-2-10 わが国のペレット工場

製造会社	製造所	生産能力(公称)	焼成方式	処理原料	操業開始年(昭和)
川崎製鉄	千葉製鉄所	100万t/y	シャフト	輸入鉄石混合	28年*~38年**
神戸製鋼	神戸製鉄所	100 "	グレート・キルン	輸入鉄石混合(石灰石添加)	46操業中止
"	加古川製鉄所	200 "	"	"	41
"	"	200 "	"	"	45
"	"	200 "	"	"	48
新日鉄	広畑製鉄所	250 "	"	"	48
鉄原	戸畑工場	40 "	"	製鉄所内発生ダスト	42
"	広畑工場	17.5 "	"	"	45
光和精鉄	戸畑工場	24 "	バンドドライヤ・キルン	硫酸滓	40
矢作製鉄	名古屋工場	15 "	シャフト	硫酸滓+マグネタイト精鉄	38
同和精鉄	尼崎工場	24 "	バンドドライヤ・キルン	硫酸滓	45
日立金属	安来工場	3.5 "	シャフト	マグネタイト精鉄	44

* 操業開始, ** 最大生産に達する

国内のペレット工場の概要は表 1・2・10 のとおりである。北米と同時期の昭和28年に最初の本格工場として川鉄千葉のシャフト方式による工場が 35 万 t/年の生産を開始し、昭和37年に 100 万 t/年の能力に達した。使用原料はマグネタイト精鉱を含む混合原料である。しかし同工場は昭和46年に閉鎖された。

次いで昭和41年には 100 万 t/年能力のグレート・キルン方式の工場が神鋼・神戸で稼働した。原料鉄鉱石として脱水し難い天然赤鉄鉱を主体としたため粉碎方式として閉回路乾式粉碎を採用し、また大型高炉使用のための世界初の自溶性ペレットの工業化を成功、操業している。引き続いて同方式の 200 万 t/年能力の工場が神鋼加古川において2基、新日鉄・広畑において250 万 t/年能力の工場が稼働している。現在ではこのグレート・キルン方式の4工場が日本を代表する大型高炉向けの原料処理設備としての工場であるといえよう。

わが国の事前処理鉱の使用は自溶性焼結鉱が主体で、昭和48年度は焼結鉱の 9,780 万 t の 1/5 弱の 1,760 万 t のペレットが使用されている。ペレットの製造をシャフト方式で行なう場合、ある程度のマグネタイト精鉱を求める必要があり、この入手は難かしくかつ一基当りの生産量も少ないため、現在では使用鉱石の制約もなく、品質の良好なペレットが得られ、また自溶性化の可能なグレート・キルン方式による工場によるペレットの生産が主流である。

その他硫酸率から Cu, Zn を塩化揮発により回収するとともにペレットを製造するユニークな工場が光和精鉱と同和精鉱に建設されている。また独自の潤式・磨砕混練を行ないシャフト炉で製造している矢作製鉄、さらに以前は焼結原料に添加していた製鉄ダストを処理する工場が鉄原により新日鉄の八幡、広畑製鉄所に設置されペレットの製造とともに焼結工場の生産性向上に貢献しているといえる。

ペレットの輸入は昭和38年のマルコナペレットの入荷に始まる。その後新規契約もあり、現在では表 1・2・11 に示すオーストラリア主体の7工場より入荷し、合計 1,120 万 t/年と国内生産の約2倍程度を占めている。これら輸入ペレットは全量単一銘柄鉱石より製造した、いわゆる酸性ペレットである。

輸入ペレットでは品質面での問題が多かつた。まずペレットの還元時の異常な膨張（ふくれ）で、初期に入荷

したペレットが JIS 還元試験を実施中に異常膨張し、著しい時は還元ガスの流通が困難となる現象が生じた。同ペレットを高炉に使用した際（20%程度）、棚吊りやスリップが頻発して炉況が極端に悪化し出鉄量の低下を経験している。後述するが、この異常ふくれの発生原因、防止対策も解明され、またこれを契機として還元“ふくれ”が JIS 化された。

その他輸入ペレットの山元での製造開始の当初は操業の不慣れもあり、圧潰強度や還元性、また Al_2O_3 量などの点で問題が生じた。これを契機に各ペレットごとに山元現地と日本側の間に合同技術委員会が設けられ、ペレットの品質の改善に役立っていることは特筆すべきであろう。現在では輸入ペレットの大半が契約規格値を満足している。しかしいまだ大型高炉での多量配合は避けられており、この面から今後ますます増加する輸入ペレットの品質改善と高炉への使用法についての検討に一層の努力が要請されよう。

またペレット製造工程へのプロセスコントロールの導入により焼成管理に効果を発揮した。さらに、コールドボンドペレット製造方法が開発されたが、セメント10%添加のため鉄品位の低下、品質面で問題があり北欧を除き工業化の機運に至らない。

今後、ペレットの使用は高炉用として生産の増加は当然であるが、開発途上国での鉄源対策としての直接還元鉄製造原料への展開も考慮する必要がある。

(2) 設備および操業

(a) 原料の調整

ペレットの造粒は粒子間の主管負圧現象を利用するため粒度管理が重要視される。従来の単銘柄鉱石のペレタイジングでは -44μ やブレン値で管理されていたが、混合原料使用の場合は、粒度測定法が進歩したこともあり、 -10μ の管理も重要視され造粒性、急熱抵抗性のコントロールの基準値として用いられている。ブレン値の管理として、マグネタイト精鉱では $1,500\sim1,800\text{ cm}^2/\text{g}$ 、ヘマタイト鉱では $2,300\sim2,800\text{ cm}^2/\text{g}$ 程度に調整されている。

表 1・2・12 に粒度調整のための粉碎方式の特色を示す。原鉱石がタコナイトのような低品位マグネタイト鉱では粉碎効率の良い湿式粉碎を採用する。しかし天然ヘマタイトでは粉碎後の真空フィルターによる脱水性が、水分量9%以下においてマグネタイトでは $1,000\text{ kg/m}^2\cdot\text{hr}$

表 1・2・11 輸入ペレットの製造工場

ペレット工場名	公 称 能 力 万 t/year	輸 入 契 約 量 万 t/year	焼 成 方 式	処 理 原 料	輸入開始年 (昭和)
Marcona	1.3 2.0	1.67	グ レ ー ト	マグネタイト精鉱	38
Chowgule	0.5	0.55	グ レ ー ト	天然ヘマタイト鉱	42
Hamersley	2.0	2.20	グ レ ー ト	天然ヘマタイト鉱	43
Whyalla	1.5	1.3	グレート・キルン	天然ヘマタイト鉱	43
Savage river	2.25	2.5	シャ フ ト	マグネタイト精鉱	43
Robe River	4.2	4.2	グ レ ー ト	褐 鉄 鉱	47
Larap	0.75	0.7	シャ フ ト	マグネタイト鉱	43

表 1・2・12 ペレット原料の粉碎方式

粉 碎 方 式		原料の状態	分 級 機	実 施 例
乾 式	開 回 路	粉碎前1%水分まで乾燥後粉碎を行なう	無 し	脱水は困難であるが粉碎が比較的容易なヘマタイトおよびリモナイト系鉱石に用い、山元における単一銘柄鉱石の粉碎に用いる。例ハマスレー、ローブリパー
	閉 回 路		エ ア ー セ バ レ ー タ	脱水困難なヘマタイトおよびリモナイト系鉱石に用い、粒度調節が容易なため製鉄所における場合のように多銘柄の混合原料の粉碎に用いる。例、神鋼・神戸、加古川、新日鉄・広畑
湿 式	閉 回 路	スラリー状で粉碎する	湿式サイクロンまたは湿式ふるい	難粉碎性鉱石を効率よく粉碎することが可能で、粒度調節も容易なことから、通常山元においてマグネタイト系の鉱石を選鉱しペレット原料とする場合に用いる。例マルコナ、サベージ

に対しヘマタイトでは $100 \sim 300 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ と低効率のため、また一般にヘマタイトは粉碎性が良好のため乾式粉碎を実施する場合が多い。単一銘柄鉱石を用いる場合は開回路粉碎方式で十分であるが、多銘柄鉱石の混合原料を対象とする場合は容易に粒度調節の可能な閉回路粉碎方式を用いている。

また自溶性ペレットの製造では石灰石も同時に混合粉碎し、石灰石の粉碎性の良好さから石灰石は選択的に微粉碎されるため造粒性、焼結性の改善に有効である。さらに天然鉱石の乾式粉碎された粒子は水に濡れ難くまた硫酸滓では生ペレットの落下抵抗や急熱抵抗が低いが、造粒前の予湿、混練により改善され運搬時の粉の発生防止、急熱抵抗性の向上による乾燥帯における通気性の向上がなされる。

(b) 造 粒

造粒は単一銘柄のマグネタイト精鉱では安定性の良いドラム方式を用いるが、天然ヘマタイト特に本邦のような混合原料を用いる場合は運転条件の変更しやすいディスク方式を用いる。

生ペレットの品質として圧潰強度、落下抵抗、急熱抵抗が管理されている。圧潰強度はペレット充填層の厚いシャフト炉では 3 kg/p 以上必要とされている。しかしペレット層の薄いグレートやグレート・キルンでは 1 kg/p でも十分であり、むしろ管理対象とされていない。落下抵抗はペレタイザーから焼成機までの耐破壊性を示すもので、マグネタイト精鉱では5～6回程度と低く破壊しやすいためできるだけ運搬距離を短くする工場のレイアウトが考えられており、天然ヘマタイトでは10回以上であり問題とならないが、落下衝撃による変形が大きくなる場合があり、乾燥帯の通気性を妨げることがある。

急熱抵抗は乾燥帯における生ペレット中の水分や結晶水の加熱による急激な放出に起因する破壊現象に対する抵抗性を示す。この値は使用原料の種類によつてほとんど定まってしまうので工場設計時に原料を十分検討しディメンショの決定を行なう必要がある。

また生ペレット造粒後の微粉、チップなどを取り除くための効率の良いローラーフィーダーが開発、さらにグレートでの乾燥帯における上向通風の採用により、グレート

ートでの通気性改善、片焼き防止に役立っている。

(c) 焼 成

焼成設備には図1・2・15～1・2・17に示したグレートおよびグレート・キルンの他シャフト炉の3方式が稼働している。この他に昭和45年ロータリーハース方式が開発され稼働したが、技術的な問題で現在は生産を中止している。

シャフト炉は最も歴史のあるタイプである。本方式の特徴は装入されたペレットと熱ガスとの接触が十分に行なわれているため熱効率は高い。しかし側壁のペレットが過熱気味に対し炉中央部では十分に焼成されない傾向があり、自己発熱するマグネタイトを含まない原料へは適用され難いし、また生産性を上げることも難かしい。

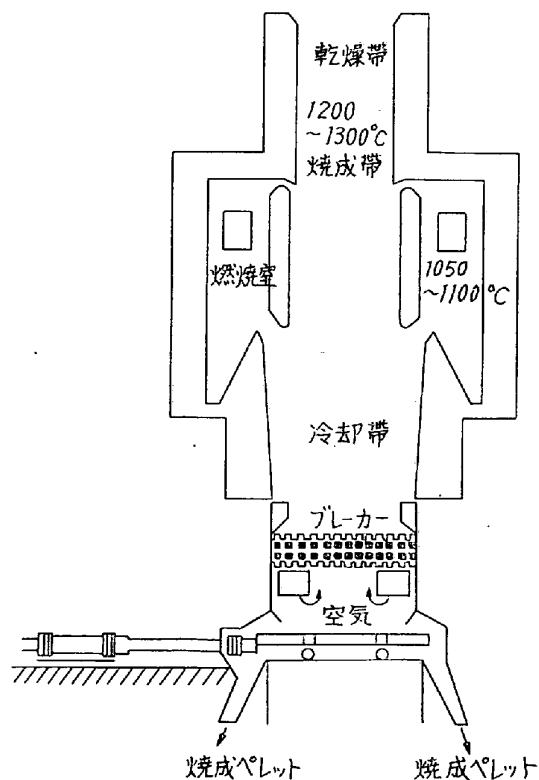


図 1・2・15 シャフト方式の焼成装置

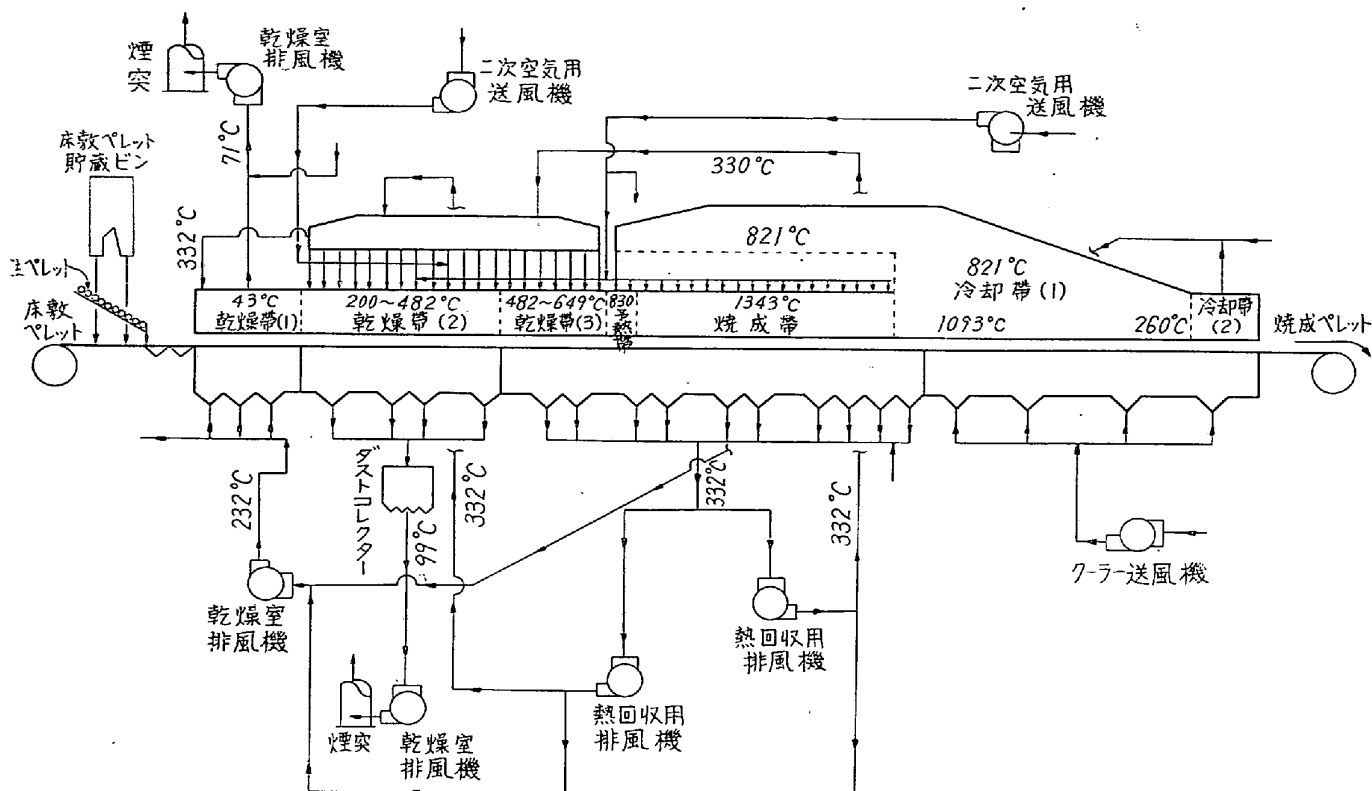


図 1-2-16 グレート方式の焼成装置

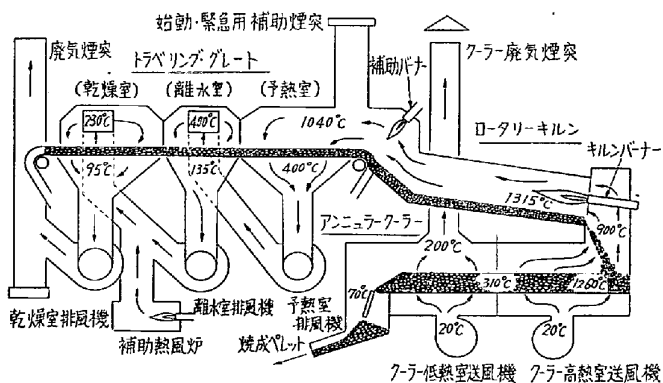


図 1-2-17 グレート・キルン方式の焼成装置

このため今後特殊な用途を除き大製鉄所の大量生産工場としての建設は考えられないであろう。

グレート方式はフードに設けられたパーナーによつて下向通風によつて焼成される。排ガスの循環により熱の有効利用を計っている。グレートや側壁の材料の保護のためペレットの一部を循環使用しているが損耗が多く、保全費が高い。本方式はペレット充填層が 250 mm と厚いので上下間の焼成温度差から品質のバラツキが生じやすい。このためグレート材質の耐熱性の向上、アフターバーニング室の採用などの改善がなされ、適用鉱種も従来のマグネタイトとヘマタイトからリモノイトまで拡大された。

次のグレート・キルン方式ではグレートであらかじめキルン排出の 1,050°C 程度の熱風を循環使用し乾燥、予熱後ロータリーキルンで高温焼成されるため、品質の秀

れたかつ均一なペレットが得られる。また自溶性ペレットでは適正焼成温度帯が狭いので本方式を用いざるをえない。

グレート・キルンでは焼成は放射熱を利用するためフレームの管理も重要である。またキルンリング生成、除去対策は特に問題がない。

ペレット焼成設備も近年大型化の傾向にあり、グレートおよびグレート・キルンでは 10,000 t/day のものが建設可能となつている。

(d) 品質の調節

ペレットの品質としては、物理性状および還元性状が問題となる。

物理性状としてはペレットの輸送時に問題となる圧潰強度と回転強度の測定がなされている。通常の酸性ペレットでは 1,300°C 付近の高温焼成の有効なことが判明している。

還元特性としては還元性、ふくれ指数、還元軟化性が重要視される。この内還元性は図 1-2-18 のように焼結鉱、酸性ペレット、自溶性ペレットの順に良好となり、この結果は最近の高炉解体結果からも一部裏付けられている。また還元率はほぼペレットの気孔率に対応することも明らかになつている。ふくれ指数は前述の初期入荷マルコナペレットが異常ふくれ現象を呈した後注視されたもので、この異常ふくれは原鉱の双晶構造のマグネタイトが焼成後仮晶を残すことに主に起因している。すなわち還元初期のヘマタイト（六方晶系）からマグネタイト（立方晶系）への変化の際の格子変態により応力が発生し鉱粒が微細化する。それに引続き急速な還元が生じさらに生成金属鉄がウィスカー状に発生するため膨張す

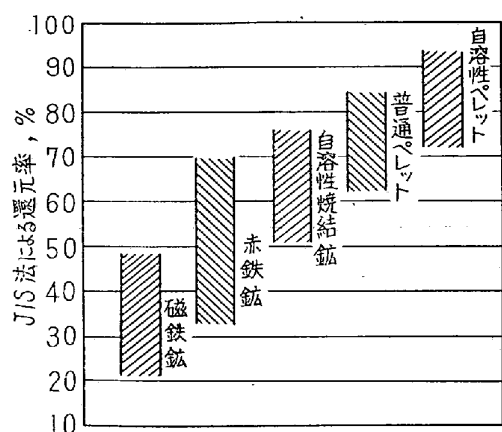


図 1-2-18 各種原料の被還元性の比較

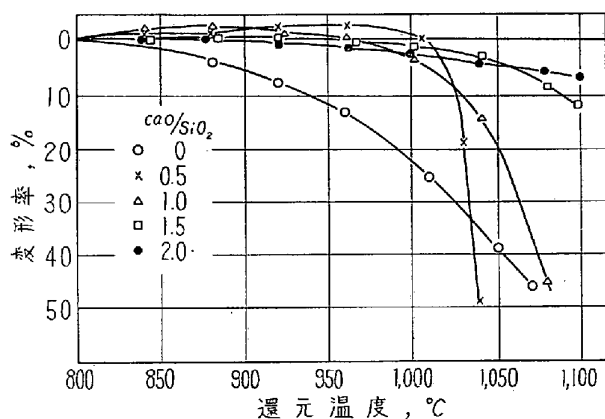


図 1-2-19 ペレットの荷重軟化性状におよぼす塩基度の影響 (例)

ることが解明され、この対策として焼成温度の上昇、 SiO_2 の添加などが操業法として確立した。

また、塩基度の上昇はふくれを低下させるが場合によっては塩基度 0.5 で異常にふくれの大きくなる現象のあらが判明している。

還元軟化は図 1-2-19 に示すごとく、塩基度の上昇効果が大きく、酸性ペレットでは焼成不十分のものを除けば焼成温度上昇効果は小さい。塩基度 0.5 では 1,000°C 付近より急速軟化する。

マグネタイトを原料とするペレットは急速加熱するとペレット表面に緻密なヘマタイト層が形成され、内部が十分に酸化されずに二重構造が形成することがある。こ

のペレットは強度やふくれなどの品質面で劣化するため生産性向上のための高温加熱は避けなければならない。

以上のような技術改善の結果、現在本邦で使用しているペレットの品質は表 1-2-13 に示すごとくである。

1-2-4 高炉用コークス

(1) 概 論

昭和40年代は、高炉用コークスの生産、技術両面にわたり、多様化を呈した時代である。

昭和42年末よりの世界的好況に支えられた鉄鋼生産の急速な増大に伴なつて、高炉の大型化が急テンポで進展した結果、原料炭ソースの変遷ならびに窮迫化が進み、次第に原料炭の量および品質の確保が困難な情勢となつている。一方高炉操業の高速化、燃料比の低下などにより、コークスは益々苛酷な条件下で使用されるため、品質（とくに強度特性）の高度化に対する要求は、従来より以上に強くなつている。

また、公害、労働環境、労働力不足、省エネルギーなど、社会情勢の変化に対応した諸問題がクローズアップされ、その解決策が強く要請されている。

このような情勢を背景として、高炉用コークスの製造技術は最近10年、多岐にわたる分野で、さまざまな進展を繰り広げてきた。

原料炭問題については、わが国ではその大部分を海外に依存しなくてはならないため、従来から需給の安定化を図るべく、原料炭の節減、有効活用に関する諸技術の研究開発、ならびに操業技術の改善努力が常に続けられてきた。とくに昭和45年以後、原料炭需給情勢の著しい逼迫化に対応して、一般炭の活用およびコークス化性の改善技術が急速に進展をとげ、従来経済性の理由から見送られていた諸技術が、実用化に移されつつある。

以下、わが国で進展したコークス化性改善技術の開発を中心にして、その動向と見通しについて述べる。

(a) 乾燥炭・予熱炭装入法

コークス炉へ装入する石炭を事前に乾燥、もしくは予熱することによつて、炭化室内での嵩密度の上昇、および炭化時間の短縮を図り、コークス品質の向上、低品位炭の活用および生産性の向上を達成する方法として、乾燥炭または予熱炭装入法の研究ならびに実用化が積極的に進められ、注目を浴びている。

乾燥炭装入法については、早くから各社で実炉試験により効果が明らかにされていたが、その実用化は、日本

鋼管福山において、新技術開発公団の援助のもとに行なわれ、生産性向上率9%、および低揮発分強粘結炭の節減5%などの効果を確認して所期の目標を達成した。

予熱炭装入法については、石炭技研が中心となり、一連の中規模試験の結果から、コークス炉の生産性向上率20%、強粘結炭の配合割合を40%以下に節減し、一般炭を30%まで配合可能なことを明ら

表 1-2-13 輸入ペレット購入規格および国産ペレットの品質 (一例)

物 理 性 状		輸入ペレット	神戸製鋼 加古川ペレット
タンブラー強度,	— 1 mm	4% max.	3% 以下
圧潰強度 (平均),	9~16mmφ	250kg min	360kg
" (最低)		— 80kg, 5% max.	150kg
JIS 還元率 (平均)		60%	90%
JIS 還元後圧潰強度,	9~16mmφ	45kg max.	65kg
ふくれ指数,	9~16mmφ	14% max.	11%

かにしている。

一方、海外においても予熱炭装入法の実用化が進められているが、その中でも予熱炭をパイプを通じ蒸気にて搬送装入する Allied Chemical 社の Coaltek 法¹⁾は、公害対策や作業環境の改善に対するニーズともマッチする方法として、世界各国から注目されており、実績いかによつては、今後重要な技術に発展する可能性がある。

(b) 成型コークス製造法

石炭を加圧成型して高密度の成型炭にし、乾留することによつて、そのコークス化性が向上することを利用した成型コークス製造法は、古くから一貫して開発努力が続けられている。本法はまた、プロセスの密閉式化、連続、自動化などの可能性が強いことから、単に資源面からの要求のみでなく、公害環境および労働力問題に対応できる技術として、その開発テンポが著しく早められつつある。

国内においては、熱間成型した成型炭を乾留して、高炉用成型コークスを製造する方法が、公資研、北海試、石炭技研、などで研究されており、このうち、石炭技研の方法は、新日鉄室蘭において、2t/hr のパイロットプラントによる段階まで開発が進んでいる。

京阪煉炭では、タール、ピッチなどの結合剤を用いて成型した成型炭を、開底式の間接加熱炉で乾留する方法を小規模ながら工業化し、非粘結炭を主原料とした成型コークスにより、住友金属小倉の第2高炉(1,350 m³)で、通常コークスとの大幅な置換試験を行ない、通常の高炉用コークスとなんら遜色なく使用できることを確認した²⁾。

海外においても米国、ソ連、西ドイツ、イギリス、ベルギー、オーストラリアなどの各国で、高炉使用試験を含めて研究開発が積極的に進められており、一部の方法については、技術導入にも関心が示されている。

高炉用成型コークス製造法は、現在直面している原料炭資源、公害環境などの諸問題を解決する最も有力な手段となりうるものと期待され、近い将来必ず実用化が完成するであろうが、最大の課題は、これら開発ニーズを満足しうる大量生産方式を、いかに確立するかにあるといえよう。

(c) 成型炭配合コークス製造法

成型炭による石炭のコークス化性向上の原理を応用し、現行のコークス炉がそのまま活用できる成型炭配合法の実用化が進められている。

国内炭の活用と生産性の増加を目的とし、結合剤を用いない成型炭の全量装入法による高炉用コークス製造の実用化研究が、日本鉄鋼協会に設けられた委員会の協力を得て、新日本製鉄八幡で実施され、コークス諸性状の改善、装入量の増大および強粘結炭の節減と非粘結炭の一部使用可能なことが確認された。

新日本製鉄戸畑では、装入炭の一部に結合剤を加えて成型し、他の大部分の装入炭と混合して、現行のコークス炉に装入し、通常と変らぬ形状のコークスを製造する、いわゆる加熱成型炭配合コークス製造法の実規模設備(成型炭1,100 t/day)が昭和46年11月に完成、順調に稼働している。成型炭配合率30%の場合、コークス DIs¹⁵⁰ 指数2~4%向上、非粘結炭の配合10~15%など

の効果を挙げている。この方法は、実用化が容易であり、比較的大規模生産への適用性があることと、また効果がかなり顕著であることなどから、当面の原料炭対策技術として、大きな期待が持たれている。

(d) その他のコークス化性改善技術

装入炭の粒度調整により、コークス化性を改善する技術は古くから知られているが、住友金属鹿島では篩分け工程を組込んだ、いわゆる SOVACO 法に準じた処理プロセスを採用している。

また装入炭の粘結性不足対策として、粘結剤の添加による方法が検討されており、住友金属和歌山では、石油アスファルト系の添加剤を開発している³⁾。本法は経済性と効果が課題であるが、粘結性充足手段としては比較的手軽な対応策であり、今後に期待が持てる。

(e) 石炭コークス品質評価技術

コークス品質に関しては、マクロ強度、粒度、ミクロ強度、構造、組織、反応性などについて、これらの間の関連性、製造条件との関係、高炉操業との関係など、多数の調査研究が行なわれているが、とくに注目すべき点は、高炉内においてコークスが受ける動的な状況を考慮した熱間性状が重要視されだしたことであろう。熱間性状の重視は高炉の休風時に採取したコークスの性状や休止高炉を解体して採取したコークスの性状などの結果に基づくもので、コークスの品質特性として熱間反応強度、反応後強度などの新しい特性の導入が図られてきた。今後予想される原料炭事情の悪化や、コークス品質に対する要求の高度化などからみて、このような考え方をさらに発展させ、コークス品質の評価を、より高炉操業に反映せしめる必要があろう。

近年、石炭の構造、コークス化機構などの基礎研究が進み、とくに石炭の組織学的な手法をもとに、コークス強度の推定、原料炭の評価やコークス組織分析への応用が図られたことは特筆される。

(2) 設 備

設備面でまず高炉の大型化に対応したコークス炉の大型化の進展が挙げられる。

従来は炉高4mのコークス炉が標準とされていたが、昭和36年、旧富士製鉄室蘭で4.6m炉(改造日鉄式)がスタートして以来、多くの大型炉が築造された。昭和40年前後までは、主に外国炉を導入し、5m炉の建設を行なつた時期であるが、その中で昭和39年に川鉄化学が採用した炉高6mのカールスチル炉は、わが国における本格的な大型コークス炉採用の契機をもたらした点で意義が深い。

昭和40年以降は炉高6m以上の本格的な大型コークス炉時代を迎え、40年代後半には炉高7m以上のコークス炉の稼働も開始され、カールスチル、オットー、ウィルプット、コッパース、DKH など、世界でも著名なコークス炉のほとんどがわが国に存在することになった。

外国製大型炉導入と併行して、国産コークス炉の大型化も新日本製鉄によつて積極的に進められた。すなわち旧八幡製鉄、旧富士製鉄において、それぞれ独自の観点から、大型炉の開発に取り組み、八幡では昭和40年、炉高6mの実炉大燃焼試験炉による試験を開始し、伝統的な日鉄式コークス炉を大型化するための基本設計を確立し

表 1・2・14 各社大型コークス炉建設状況 (炉高 5 m 以上)

社 名	炉団 No.	型 式	冷間寸法 () 内は有効	門 数	有効内容積	スタート年月	備 考
新 日 鉄 新日鉄化学	君 津 1	新 日 鉄 M (複)	(5,150)(14,800) 5,500×15,700×450	90	34.3	S. 43.10	
	2	〃 (〃)	〃	95	〃	S. 44. 5	
	3	〃 (〃)	〃	100	〃	S. 44.12	
	4	〃 (〃)	(6,150)(14,800) 6,500×15,700×430	92	39.2	S. 46. 5	
	5	〃 (〃)	〃	46×2	〃	A : S. 48. 5	A 半団のみ稼働中
	名古屋 3	カールスチール	(5,610)(14,900) 5,910×15,750×435	90	36.4	S. 43. 9	
	4	新 日 鉄 S (複)	(5,620)(14,820) 5,920×15,670×435	100	36.2	S. 44.10	
	大 分 1	新 日 鉄 S (複)	(5,625)(14,930) 5,925×15,800×440	78	37.0	S. 47. 5	
	2	〃 (〃)	〃	78	〃	S. 47. 1	
川 鉄 化 学	戸 畑 5	新 日 鉄 M (複)	6,000×15,700×450	55×2	37.6	A : S. 45.11 B : S. 47. 1	
	千 葉 5	カールスチール	(5,610)(14,010) 5,910×14,850×460	92	36.2	S. 39.11	
	6	〃	(6,406)(14,820) 6,706×15,750×435	51×2	41.3	A : S. 48.10 B : S. 49. 4	
	水 島 1	カールスチール (複)	(6,156)(14,820) 6,456×15,750×435	78	39.7	A : S. 42. 3 B : S. 42.11	
	2	〃 (〃)	〃	86	〃	A : S. 43.12 B : S. 44. 5	
	3	〃 (〃)	(6,406)(14,820) 6,706×15,750×435	86	41.3	A : S. 44.12 B : S. 45. 7	
	4	〃 (〃)	〃	86	〃	A : S. 46. 1 B : S. 47.11	
尼 崎 コークス	5	〃 (〃)	〃	43	〃	A : S. 48. 9	
	加古川 1	コ ッ パ ー ス (単)	6,500×15,560×450	60	40.6	S. 45. 6	
	2	〃 (複)	〃	60	〃	S. 45.11	
	3	〃 (〃)	〃	64	〃	S. 47.12	
住 金 化 工	4	〃 (〃)	〃	64	〃	S. 48. 3	
	鹿島 1-A B	コッパース住友 (複)	(6,725)(15,730) 7,125×16,500×460	72	48.66	S. 46. 1	
	1-CD	〃 (〃)	〃	82	〃	C : S. 46. 2 D : S. 48. 2	
	2-AB	〃 (〃)	〃	92	〃	A B > S. 48. 3	
日 本 鋼 管	和歌山 6	〃 (〃)	(5,700)(14,790) 6,000×15,560×450	106	37.3	S. 44. 2	
	福 山 1	ウィルプット (複)	(4,800)(13,760) 5,100×14,540×430	47×2	28.4	A : S. 41. 7 B : S. 41.10	
	2	〃 (〃)	〃	60×2	〃	A : S. 43. 4 B : S. 43. 2	
	3	ウィルプット, オットー (〃)	(6,200)(14,650) 6,500×15,430×430	52×2	39.0	A : S. 44. 6 B : S. 44. 8	
	4	〃 (〃)	〃	70+50+55	〃	A : S. 46. 3 B : S. 46. 5 C : S. 46.12	
三 菱 化 成	5	〃 (〃)	〃	110	〃	A : S. 48.11 B : S. 48.12	
	坂 出 1	オ ッ ト ー (単)	(5,700)(14,670) 6,000×15,430×430	100	35.5	A : S. 44.11 B : S. 45. 1	
	2	カールスチール (〃)	(6,650)(16,080) 7,000×16,880×432	100	45.3	A : S. 46. 7 B : S. 47. 6	
三井鉱山コークス	3A	〃 (〃)	〃	50	〃	A : S. 48.10	
	若 松 1	コ ッ パ ー ス (単)	7,125×16,500×430	45×2	45.2	A : S. 48. 1 B : S. 49. 1	

た。この炉はまず、5.5 m の炉が昭和43年新日鉄化学君津で、ついで6 m の炉が昭和45年新日本製鉄戸畑で、それぞれ操業を開始し、昭和46年には君津で6.5 m の炉が稼働した。また6 m 炉がブラジルウジミナス製鉄所で、1974年12月稼働開始した。

旧富士製鉄では、昭和42年より広畑を中心として開発に着手し、昭和44年旧東海製鉄で炉高6 m の炉を稼働させ、さらに改良を加え、新日本製鉄大分で昭和47年より6 m 炉が稼働している。

表 1・2・14 に本邦における炉高 5 m を越える大型コークス炉の建設状況を示す。

コークス炉の大型化を図るうえで、とくに重要な点は、均一加熱を確保することであり、カールスチル式炉は燃焼室上下方向に 6 段、新日鉄多段式炉は 3 段、ウィ

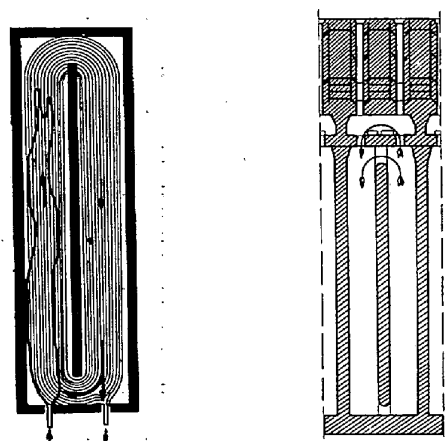


図 1・2・20 コッパース式コークス炉燃焼機構
左側ガス循環加熱機構 右側補助焰道機構上

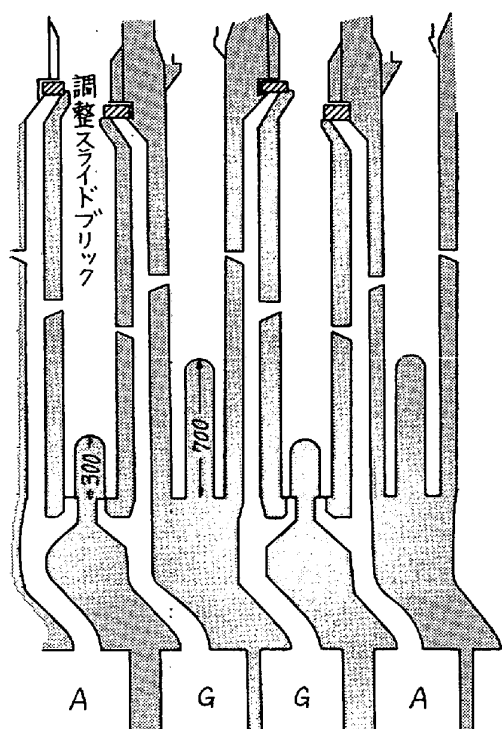


図 1・2・21 新日鉄式コークス炉 M 型燃焼機構

ルブット・オットー式炉は 2 段の燃焼ポートを設置して上下の均一加熱を達成している。

一方単段式コークス炉であるコッパース式炉は燃焼ガスの循環方式ならびに上部補助焰道機構に加えて上下炉幅、壁厚その他の改良、新日鉄単段式炉ではポート間隔とその形状により上下均一加熱を行なっている。

また燃焼室と蓄熱室の結合方式や各蓄熱室へのガス分配などにおいてもいろいろな工夫が施され、これらの総合的技術成果によりコークス炉の大型化（炉高と炉長）が可能となつた（図 1・2・20, 1・2・21）。

わが国のコークス炉が短日時のうちに大型化が実現できた背景には、耐火煉瓦、付帯機械など関連業界の技術的向上が大きく寄与している。

コークス炉用煉瓦製造面では、手打成型が次第に水圧プレスやフリクションプレスに変わり、形状、寸法は手打ちに比べて著しく改善された。コークス炉用煉瓦は緻密なものが要求され、成型圧も $150 \sim 250 \text{ kg/cm}^2$ から $400 \sim 600 \text{ kg/cm}^2$ さらに最近では、炭化室の壁など 800 kg/cm^2 以上の成型圧となり、成型機も大型化した。これに伴ない機械成型煉瓦の使用割合も大幅に向上した。

煉瓦の材質面では、炭化室煉瓦の気孔率を下げ、熱伝導率を高めることによつて、乾留時間の短縮を図る、いわゆる dense brick に関する研究が大幅に進展した。

表 1・2・15 にコークス炉の大型化に伴う煉瓦品質の推移を、図 1・2・22 に dense brick と普通珪石煉瓦の熱伝導率の相違を示す。

コークス炉付帯設備に関しては、この10年間、とくに新設炉について大幅な進歩改良が加えられた。改良の共通傾向としては、機械操作の迅速性、確実性、安全性の増大、および労働負荷の軽減が主体となり、個々の作業で機械化、自動化しうるものはこれを行ない、次の段階で、これら個々の作業を組合わせてボタン制御化し、最終的には、押出機、装入車、ガイド車、消火車などの全作業を集中制御する方向で、各社とも検討を進めている段階である。

原料炭処理関係では単純化、大型化、自動化が進み長距離高速コンベアラインをはじめ、設備機器の自動化、

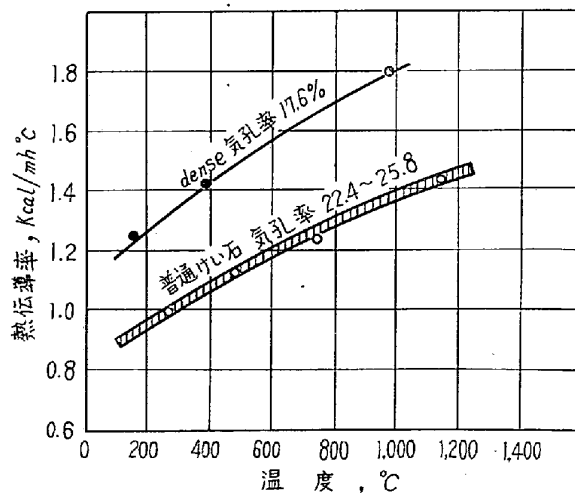


図 1・2・22 コークス炉用珪石レンガ熱伝導率
(林 武志：燃料協会誌, 53 (1971), p. 568)

表 1-2-15 コークス炉の大型化に伴うレンガ品質の推移

(小野田武夫: コークスサーキュラー, 21 (1972) No. 1, p. 8)

使用レンガ			ケイ石レンガ			粘土質レンガ
使用場所			炭化室壁用	Dense品(一例)	一般	蓄熱室その他
大型化に伴う品質の推移	化学組成	SiO ₂ (%)	> 92→>93	94.9	> 92→>93	55~75
		Al ₂ O ₃ (%)	<2.5→<1.2	0.9	<2.5→<1.3	25~45
		Fe ₂ O ₃ (%)	<2.0→<1.5	1.1	<2.0→<1.5	
		CaO (%)	<3.5→<3.0	2.2	<3.5→<3.0	
	物理的性質	耐火度 (SK)	> 32→>32 ⁺	32	> 32→>32	>26
		見掛気孔率 (%)	< 27→<23	20.4	< 27→<25	< 27→<25
		見掛比重	<2.35→<2.33	2.32	<2.35→<2.33	
		かさ比重				>1.8→>1.9
		圧縮強さ (kg/cm ³)	> 300→>450	600	>300→>350	>150→>200
		熱間荷重 { T ₁ 軟化点 { T ₂	>1550°→>1600°	1650	>1550°→>1600°	>1350°
	残存膨張収縮率 (%)	< 0.8→<0.2		<0.8→<0.2		
	熱間膨張率 (%) at 1,000°C	< 1.3→<1.2	1.17	<1.3→<1.2		

注 矢印は品質の推移

中央管理システムによる遠隔自動運転がはかられた。原料炭の多様化に対処し多種配合を容易にする目的で昭和42年3月、従来の配合槽方式に代わり鉱石処理などで一般化しているヤードブレンディング方式が川鉄化学水島で採用された。

ソ連で開発されたコークス乾式消火設備の詳細が紹介された⁴⁾。本システムは以下の装置で構成されている。

(1) 赤熱コークスの消火室への運搬装入装置 (2) コークスの消火装置 (3) 冷却コークスの排出およびコンベアー輸送装置 (4) 赤熱コークスの廃熱回収装置 (5) 冷却ガス循環装置 (6) その他付属設備

本システムによる赤熱コークスの顕熱回収は40気圧、450°Cの蒸気換算で420~450 kg/t-コークスといわれ、省エネルギー、公害対策面で注目されている。

コークス工場の公害対策面では大気汚染防止法の制定強化によつて粉塵関係防止設備が設備の構造使用管理基準として定められたのに伴ない、石炭ヤードへの散水ならびに表面固化剤の使用、粉碎機に対する集塵機の設置、BC関係の密閉化、送鼓BC系統に対する集塵機の設置または散水設備の設置が一般化し、コークス炉関係については装入車への集塵機の設置および固定ダクト化、ガイド集塵の固定ダクト化、消火塔上部へのハードルまたは金網の設置あるいは二筒式消火塔の採用、高圧安水によるスモークレスチャージ、発生ガス燃焼放散塔の設置などが実施された。

コークス工場の排水対策については水質汚濁防止法の規制強化により安水の無害化が計画され、従来都市下水の処理に広く利用されていた“活性汚泥法”がフェノール、シアンなどの有害物質を含むコークス工場の廃水処理にもきわめて有効なことが見直されて、昭和44~45年以降従来の溶剤抽出法、薬品処理法に替つて一般的とな

つた。今後の課題として処理水の高次処理を伴うクロードシステムがあり、その開発が鋭意進められている。

(3) 操業

選炭操業技術上では、粘結性に富む米炭から、不活性成分の多い豪州炭、カナダ炭、ソ連炭への移行に対処するため、30年代末から進められていた粒度調整法に対する関心が高まり、従来の配合粉碎方式から、粉碎配合方式へと移行し、昭和40年代には完全に本方式が定着化した。

また増産要請に対処するため、重油添加法が活発に行なわれ、一方低揮発分米炭節減から、従来鑄物用コークスに使われていた石油コークスの活用が図られた。

昭和45年以降では、予想を越えた石炭需要の増加に対して、産炭業の産業構造的な制約による能力不足、労働不安、天候不順などにより、需給の悪化、価格の高騰、品質の劣質化が進み、とくに中揮発分、高揮発分米炭については、旧来になく品質の低下が顕著となり、コークス品質の低減限界が大きな課題となつた。この間、劣質炭の使用技術、石炭の特殊性状すなわち組織成分、石炭の流動性、膨張性、粘結成分量などを活用したコークス品質推定技術、配合性の究明、乾留温度および炉幅とコークス化性の関連などの諸技術が活発に進められた。

その後一時需要が沈静化した。世界的な鉄鋼需要の拡大、石油危機による他産業の石炭ソースへの需要の増大に対し、供給側での新規開発の困難性と即応性の欠除、労働不安、ナショナリズムの台頭など、今後慢性的な需給の窮迫化、価格の高騰化、品質の劣悪化などを迎えることが予想されている。ここにおいて、技術革新による抜本的対策とあいまつて、操業管理面においても、配合技術の標準化、品質評価法とコークス強度推定技術の確

表 1・2・16 鉄鋼各社および関連各社 400mm 幅コークス炉稼働率

年(昭和)	40	41	42	43	44	45	46	47	48
各社平均稼働率 [%]	147.2	143.2	151.8	160.5	163.8	166.3	155.4	135.9	155.0
最高稼働率(炉) [%]	163.8	155.0	169.0	179.4	180.0	184.0	184.0	148.4	171.0

出典 燃料協会誌

立、石炭、コークス品質把握の迅速化自動化、などを達成するための真剣な努力が必要であろう。

コークス炉操業関係の昭和40年代における特筆事項は、コークス炉の大型化と操業技術向上に伴うコークス炉稼働率向上にある。前者は設備の項で詳細が述べられているので省略する。コークス炉の稼働率は昭和30年代の顕著な上昇に引続き、昭和40年代も表1・2・16に示すように400mm幅炉の全国平均稼働率では昭和45年に166.3%を示し、炉別の最高稼働率では180%と驚異的な実績を記録した。昭和30年代の最高稼働率は長期的操業としては150%稼働が可能とされていたことと比較すると実に、20~30%の向上となつている。これは、コークス炉の燃焼管理および炉操業技術の進歩から生まれたものであるといえよう。すなわち燃焼管理面については、燃焼室の垂直、水平温度分布の稼働率に見合った調整、燃焼室列間の温度差の減少、端フリー温度の向上方策、ガスアクション管理の標準化などが挙げられる。また炉操業技術面では、高温操業時の付着カーボン除去対策、ブロック装入法の採用、稼働機械の改善による窯出サイクルタイムの短縮と、それに伴う1チーム当りの窯出本数の増加、ガス切替サイクルタイムの短縮、炉体手当技術の進歩などが挙げられる。

コークス炉操業とコークス品質の関係については、1)乾留炉温 2)置時間 との関係について検討され、コークス炉の最高、最低稼働率は煉瓦面からくる最高、最低許容温度にコークス品質問題から捉えた条件も加味して考慮されてきている。

一方コークス炉燃焼管理における計装管理では燃焼ガスのカロリーコントロール、総熱量制御 CO₂、O₂メーター活用、およびコンピューター導入による炉体燃焼管理の実施などにより、炉温変動の減少、消費熱量の低減がはかられている。

炉手当モルタル材、および補修法の改善も顕著であり、炉令15年経過のコークス炉も新鋭炉と同レベルの稼働率、消費熱量を維持している。

(4) おわりに

過去10年間の高炉用コークス製造技術の進歩は、高炉技術のめざましい進歩と大幅な出鉄増に対応して、従来の概念を一変させる大型コークス炉の建設、順調な操業を可能とすると同時に、世界各国の多数にのぼる銘柄の石炭を有効に配合、調整することにより質、量ならびにコスト面で十分その要請に応え、わが国鉄鋼業の発展に大いに寄与した。加えて公害防止の点においても労働環境の改善も含めて、技術上の種々の困難さをのりこえ着

々と設備改善が進められ顕著な効果を上げるに至っている。

世界的にみても鉄鋼の需要は今後さらに増大することが予測されているが、一方原料炭の需給は採掘条件の悪化、労働力の不足などによりさらに逼迫するとともに価格の高騰、品質の劣化がより進むものと考えられ、原料炭問題こそ高炉用コークス製造技術の最大の検討課題であり、高炉製鉄法を規制する大きな要因といえよう。したがって利用度の低い石炭の活用により原料の選択幅を拡大し、コスト面からの選択も可能とするような新しいコークス製造技術の開発が強く要請されるところで、その有力な候補として成型コークス製造技術があげられるが、さらに室炉式コークス製造法においても、資源対応力を持つためにはいかにあるべきかを今一度原点にたち、これを中心に環境改善、生産性向上などを含め総合的に技術の発展が進められるものと考えられる。

そして成型コークス法が非粘結炭を、室炉式コークス製造法が粘結炭を主原料とし、かつおのおのが原料選択に柔軟性をもつことにより広い範囲にわたる石炭が有効に活用されるような方向に今後の技術開発は進むであろう。

文 献

- 1) G. E. BALCH: コークスサーキュラー 20 (1970), p. 206
- 2) 菅沢他: 燃協誌 51 (1972), p. 668
- 3) 桐谷他: 燃協誌 51 (1972), p. 639
- 4) 菅田 : 燃協誌 52 (1973), p. 715

1・3 高炉操業技術

1・3・1 操業技術

昭和30年代における高炉操業技術は、調湿・酸素富化・燃料吹込みなどのいわゆる複合送風技術がほぼ確立し、これに装入原料の改善すなわち焼結鉱の品質向上とその増配合ならびに鉱石の整粒強化が加わって同年代末には、出鉄比 1.5 t/m³・day、燃料比 540 kg/t が達成されていた。高圧操業は37年に始めてその技術が導入され、38年に入つて3基の高炉で操業試験が始まった段階であつた。

このような技術的な背景を基礎とした最近10年間の高炉操業技術の進歩は、大型高炉の設備ならびに操業技術が確立したこと、生産性が大幅に向上し、一方燃料比が低下したことの3点に集約され、また技術的には高圧操