

ルの試みもなされた。

高炉計算機操業ガイドシステムの一環として、さきに開発された5帯分割集中定数化モデル(榎谷モデル)を改良した炉熱制御モデルが発表された。融体滴下域である第5帯の固(液)相温度によつて炉熱レベルを推定し、送風(重油吹き込み量など)アクションをガイドするものであつた。このほか炉熱の予測または制御法に関する報告が二、三行われたが、いずれも応用 GMDH (Group Method of Data Handling) 法または ARMA (Auto-Regressive Moving Average) 法などの統計的方法によつて、Si または溶鉄温度の変化の予測を行うものであつた。羽口埋込温度計や羽口輝度計の情報を ARMA モデルにとりこむ方法も報告された。通気異常にガス流の円周方向バランスの悪化が先行するという知見に基づいて定量化された二つのバランス指標と、異常の前段階として現れる局部スリップ・ドロップによるガス発生量の変動を代表する炉頂圧力変動指標とによつて、異常を予測・予防するシステムも開発された。

なお変動する生産・エネルギー情勢に即応した操業の検討という今日的な課題にこたえて、コークスと焼結鉄の品質の予測とその高炉への影響の評価、各工場の主要原単位の予測、全物質収支などを行つて、操業の安定度を提示する「製鉄工程シミュレーションモデル」も開発された。

### (9) 総括

わが国における製鉄理論とその研究は、この10年間、技術の進歩とともに前進し、多くの成果をあげたが、それはまた解明されるべき問題がより本質的な段階へと前進したことをも意味している。一方鉄鋼業を取り巻く環境は製鉄の技術、理論研究のいずれについても、過去の延長線上の単調な発展の展望を許さない。こうした情勢のもとで理論・研究がさらに前進を続けるためには、正確な路線の採用と効果的な研究体制の確立が不可欠と思われる。

## 2.2 原 燃 料

### 2.2.1 原燃料事情の推移と展望

#### (1) 鉄鉱石資源について

##### (a) 鉄鉱石供給源の推移および鉄鉱石価格の推移

最近の10年間は昭和48年のオイルショックを機に鉄鉱石においても数量価格ともに大きく変動した時である。

鉄鉱石の供給源については図2.2.1に地域別輸入推移が示してある。地域別輸入シェアについては昭和40年頃から急激にシェアを伸ばしたアフリカが48年以降急

昭和	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
47年	44.3	20.7	16.0	11.3	3.8	2.4	1.5
48年	49.2	20.4	14.2	9.5	2.7	2.9	1.1
49年	49.6	24.0	12.2	9.2	1.9	3.4	0.7
50年	49.9	26.0	12.8	6.6	1.8	3.0	0.9
51年	49.7	26.5	13.2	4.7	0.9	4.2	0.8
52年	49.5	25.4	13.5	6.4	1.8	2.7	0.7
53年	48.8	25.8	12.5	6.6	3.2	2.2	0.9
54年	45.1	27.5	13.1	7.1	3.1	3.6	0.5
55年	47.2	28.5	12.3	6.2	3.1	2.6	0.1
56年	46.7	28.6	12.7	5.9	3.0	3.5	0
57年	46.6	28.8	12.9	6.1	3.2	2.4	0

①オセアニア, ②南米, ③インド, ④アフリカ, ⑤東南アジア, ⑥北米, ⑦ヨーロッパ

図 2.2.1 鉄鉱石の地域別輸入推移

激に低下している。鉄鉱石資源が枯渇してきた東南アジアは減少の一途をたどつてきたが、52年からフィリピン焼結鉄が輸入され始め、若干の回復をみている。しかしこれは主としてオーストラリア、南米産の鉄鉱石で製造されたもので、東南アジア origin ではない。ヨーロッパ地域はクリボイログ (Krivoy Rog) 鉄鉱石の生産減と東欧圏の需要増で、自由圏への輸出は55年に停止され、ここからの輸入はなくなつた。その反面国際市場での競争力が増してきた南米のシェアは大きく伸びている。オセアニア地域は54年のハマスレー (Hamersley) やマウントニューマン (Mt. Newman) の長期間ストライキで若干輸入が減少した年はあつたがフィリピン焼結への供給を考慮すると48%程度のシェアを維持している最大の供給源である。

需給面ではオイルショック以前の成長期に産業公害がクローズアップされ、42年8月公害対策基本法が制定されるに至り焼結設備の増設が規制される一方、山元の低品位鉄鉱石の品質改善と微粉鉄鉱石の有効活用についての要求が高まつたため海外にペレット工場を新設することになり、48年から49年にかけてアルガロボ (Algarrobo)、ニブラスコ (NIBRASCO)、マンドビ (Mandovi) といずれも共同購入ベースの長期契約を締結した。これらのペレットは53年4月アルガロボ、8月ニブラスコ、54年7月マンドビと次々に出荷開始された。また51年には将来の粗鋼生産の伸び(60年度全国1億3700万t見込み)を見込んで既存鉱山であるハマスレー、ローブリバー (Robe River)、リオドセ (CVRD) と増量の長期契約を締結した。ローブリバー240万t/年、ハマ

スレー 600 万 t /年, リオドセ 655 万 t /年である。当時は新規開発プロジェクトの検討も行われていたが, 既存鉱山の拡張が投資額も少なく生産コスト, 価格面で有利と判断され新規プロジェクトは追って決定されることとなつた。しかしその後の景気回復も期待どおりに進まず, 粗鋼・銑鉄生産が伸び悩み, 契約量に対する引取率は 70~80% 程度にまで低下し更に現在では 60% 台となつている。これが山元の採算性に大きな影響を及ぼしたが各山元に対しては引取率をほぼ同一とすることで特別な混乱もなく対処してきた。このような状況の中で第二次オイルショックも加わりオイル価格は更に高騰し, ペレットの生産コストは大幅に上昇したため市場価格との較差拡大が採算性の悪化を招き, 特に Limonite 系の原料で燃料原単位の高かつたローブリバーとマンドビは暫定休止と代替粉出荷が決まり, それぞれ 55 年 4 月, 56 年 4 月に操業を停止した。ニブラスコは一部代替粉出荷となり, 契約終了となつたハマスレーペレットとチョウグル (Chowgule) ペレットは契約延長をしなかつた。

現在操業を続けているペレット工場は燃料コスト削減に努力しており, ニブラスコは 57 年 4 月よりカーボン内装を本格的に実施, アルガロボは 58 年 4 月より 100% 石炭燃焼に切り替えた。またサベジリバー (Savage River) も無煙炭外装を行つている。

価格面では OPEC に刺激された鉄鉱石輸出国が鉄鉱石資源の有限性と輸出所得の拡大を狙つて, 50 年 4 月 AIOEC (Association of Iron Ore Exporting Countries ; 鉄鉱石輸出国機構) を 14 カ国の参加により結成し, 輸出国間の情報交換を行いながら, 53 年 4 月以降 UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development, 国連貿易開発会議) の場を利用して鉄鉱石の価格カルテルと数量調整を図るべく要求し続けてきた。しかるに鉄鉱石が鉄鋼業向けの単一市場であることと世界的経済不況下で需給ギャップが大きいこともあり, また輸入国側の結束も固く現在鎮静化している。しかしオイル価格高騰による生産コストの上昇と米ドル建て契約であるため米ドル安による手取り減などから各山元の値上げ攻勢が強まつてきた。これに対し鉄鋼各社は共存共栄関係維持を重視し, 長期契約での価格改訂を弾力的に運用すべく, 従来一定期間 (3~6 年) 価格固定の契約がオイルショック以降のインフレ進行で実情に合致しなくなつたので, 契約数量の半数を 2 年間固定し各半数を各年改訂する方法 (ブリック方式) に改めた。これは各年の価格上昇の急激な変化をできるだけ避けるための方式であつた。図 2.2.2 の鉄鉱石輸入価格の推移からも分かるように, フレートも上昇傾向をたどつているが, これはバンカー価格の上昇が主因であり, 船型の大

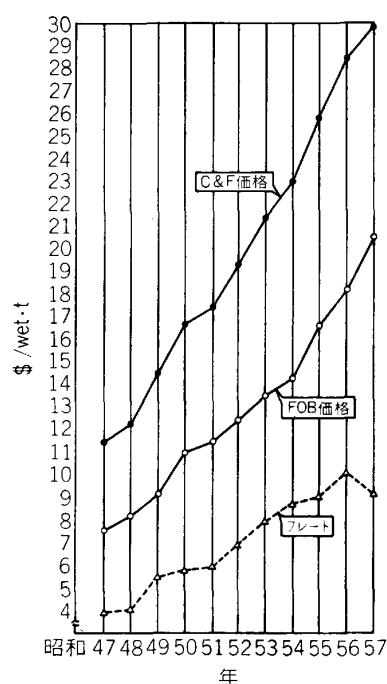


図 2.2.2 鉄鉱石輸入価格の推移

型化や省エネルギー船の竣工により上昇度合が多少抑えられている。図には示していないが, ごく最近 (58 年度以降) 2 年間は FOB 価格で 1 割強の切下げが実現している。これは依然として続いている鉄鋼不況と山元の合理化, その他によつて可能となつたものと考えられる。しかし今後の価格動向については不明瞭な点が多い。

新規開発プロジェクトとして主なものはオーストラリアの Marra Mamba Formation に賦存する鉱石を対象にしたゴールドズワージー “C” (Goldsworthy “C”), マランドゥー (Marandoo), ウェストアンジェラ (West Angelas) やアフリカのアイボリーコースト (Ivory Coast), ウォロギシ (Wologisi), それにブラジルのカラジャス (Carajas) 等がある。しかし現在の不況下ではカラジャス以外はその開発が中断されている。カラジャス鉄鉱山はアマゾン地域のパラ州にあり今世紀発見された最大の鉱量 (180 億 t, 粗鉄 Fe 66% 以上) を有する鉱山であり 61 年に操業開始を予定している。この鉱山は現在リオドセ社が採掘している鉄四角地帯の鉱石を主としてブラジル国内向けとする代わりに輸出用とすべく開発を進めているもので, 第 1 段階で年産 1500 万 t, 第 2 段階で 2500 万 t, 第 3 段階で 3500 万 t の生産体制で計画されている。

#### (b) 鉄鉱石資源の将来の展望

現在のごとき不透明な状況下では中・長期の確実な粗鋼生産の見通しもなく, 鉄鉱石の需給見通しも立てるのは困難であるが, 発展途上国の伸びや既存鉱山の枯渇 (ゴールドズワージー鉱山は 62 年閉山予定) を考慮する

と若干の需要や供給源の変化はあるにしても、今後 10 年間大きな変化はないであろう。現在地球上にはかなり大量の鉱量が確定されており、しかも種々の技術の発達に伴って増加するのが常である。しかし一方この資源が有限であることも確かである。従って資源を無駄なく有効利用できる技術の発展に期待するところ大である。

(2) 原料炭資源について

(a) 燃料価格の推移と原料炭事情

この 10 年間の原料炭および燃料事情は、昭和 48 年の第一次石油危機を契機に大きく変貌した。昭和 48 年 8 月産業構造審議会が 48 年度の粗鋼生産量を 146 百万 t ± 5 百万 t と発表したように（実績粗鋼 120 百万 t、対前年度比 17%）47 年秋から 48 年にかけて、鉄鋼生産のピークを迎え、このため電力を中心としたエネルギ

ー、原料炭等の供給は逼迫した状況になった。

また 47 年 12 月のオーストラリアの資源政策に代表される資源ナショナリズムの強化も原料炭の需給・価格に不安を投げかけていた。

このような状況の中で 48 年 10 月に始まる OPEC 諸国の産油制限によるエネルギー危機は、我が国鉄鋼業界にとって重油を主とする石油系燃料価格、供給にインパクトを与えたのみに止まらず、燃料としての石炭の見直し、49 年オーストラリアの豪雨、米国国内での需要の増大、および米国東部諸州でガソリン不足による炭鉱労働者の出勤拒否等の要因が加わり、供給不足、ひいては原料炭の暴騰に拍車をかけた。

ちなみに原料炭値上げのリーダーとなつた米炭価格は 49 年で CIF 年平均前年対比 209%、豪州炭価 151%、輸入炭価平均で 188%。

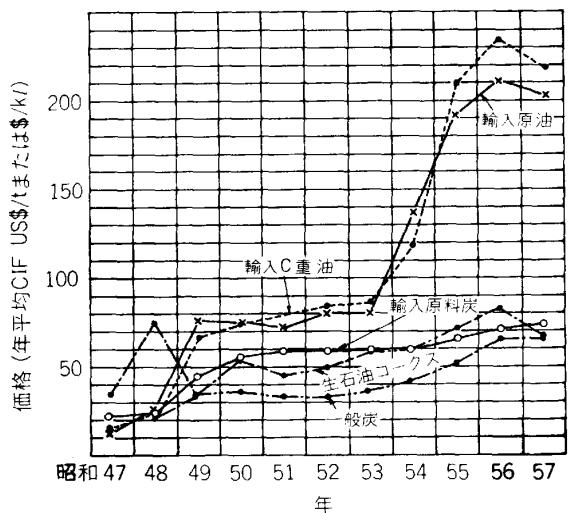


図 2.2.3 燃料価格の推移  
(大蔵省通関統計、鉄鋼統計要覧、1984 年石炭年鑑より作製)

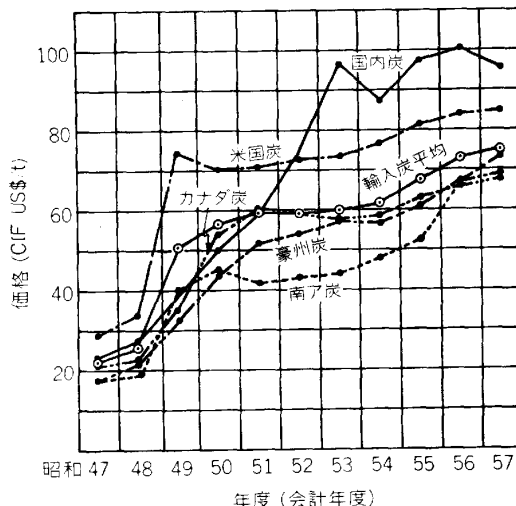


図 2.2.4 ソースごとの原料炭価格推移  
(大蔵省通関統計、1984 年石炭年鑑より作製)

表 2.2.1 石炭の国内生産と国別輸入推移  
(日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧)

年次	生 産			わが国の総輸入			鉄鋼業の原料炭国別輸入										
	原料炭	その他炭	計	原料炭	その他炭	計	中国	ソ 連		ポーランド	カナダ	アメリカ	オーストラリア		南アフリカ (共)	その他	計
								強粘	弱粘				強粘	弱粘			
昭和46	13 492	18 236	31 728	44 799	1 331	46 130	-	2 055	218	1 248	6 467	16 580	11 380	4 959	-	63	42 970
47	13 152	13 827	26 979	49 952	829	50 781	-	2 114	194	957	8 597	15 149	15 219	4 518	39	-	46 786
48	10 979	9 954	20 933	56 673	1 158	57 831	-	2 246	267	1 206	9 805	17 649	16 366	5 596	25	95	53 254
49	10 334	9 959	20 293	62 908	1 717	64 625	-	2 476	264	1 225	9 060	25 138	16 572	4 558	168	191	59 653
50	9 265	9 332	18 597	61 023	1 423	62 446	-	2 590	270	1 104	10 961	21 277	16 380	4 891	193	440	58 107
51	8 523	9 802	18 325	59 236	1 697	60 933	-	2 503	289	923	9 982	16 908	18 890	5 610	1 186	523	56 813
52	8 969	9 602	18 571	56 280	2 378	58 659	-	1 951	523	693	10 261	12 941	18 521	5 703	2 378	255	53 226
53	8 659	9 891	18 550	50 820	2 083	52 903	355	1 793	316	404	10 635	9 879	16 431	5 953	2 280	423	48 469
54	7 663	10 097	17 760	56 689	2 748	59 437	671	1 288	329	440	9 181	13 495	18 980	6 058	2 434	267	53 143
55	6 673	11 422	18 095	64 758	8 373	73 131	739	1 441	293	387	10 415	19 944	18 374	6 103	2 757	-	60 452
56	5 993	11 479	17 472	65 897	13 024	78 921	1 059	872	-	65	8 552	22 579	25 503	3 021	-	61 651	
57	5 285	12 123	17 408	62 233	14 365	76 598	1 205	941	-	-	8 650	18 766	24 635	2 993	-	57 190	
58																	

表 2.2.2 石油類およびガス消費量  
(日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧)

項目 年次	電 油 (1000kl)					計	灯 油 (1000kl)	軽 油 (1000kl)	LPG (1000t)	高炉ガス (100万m³)	コークス 炉ガス (100万m³)
	高炉用	平炉用	圧延及び 鋼管用	発電・ボ イラー用	その他用						
昭和46年	4353	205	4368	1788	1479	12193	...	...	...	76648	8690
47	4448	194	4866	1806	1421	12734	...	...	...	78874	9397
48	5246	177	4983	1527	1530	13463	...	...	...	90511	11521
49	4889	141	3856	1278	1358	11522	...	...	...	89608	11178
50	4163	82	2483	1042	1079	8849	907	440	894	82487	10640
51	4280	63	2694	1277	945	9258	1069	425	1005	83288	10824
52	3121	32	2241	1241	860	7495	768	290	984	75670	10361
53	2935	-	2306	1123	865	7210	751	151	1008	69660	9848
54	2663	-	2272	880	851	6666	742	121	955	72036	10648
55	1067	-	1868	514	671	4120	587	99	668	70781	10793
56	53	-	1544	460	433	2490	522	87	626	61864	9833
57	10	-	1276	404	337	2027	459	72	472	58299	8744

注 1. コークス製造部門等を除く鉄鋼部門のみ。

2. 灯・軽油, LPG は 50 年より調査が開始されたため, それ以前は不明。

さらに, 原料炭手当が火急であつたため灰分の高い低級中揮発分炭をスポット買いしたこともあり品質上の問題も惹起している。

昭和 50 年以降第一次オイル・ショックのもたらした不況あるいは景気後退の中で鉄鋼各社は原料炭・燃料の安定供給・安価な素材を求め種々の対策を講じた。

すなわち技術的な面からは, 割安な原料である低品位炭を成形炭として活用, 絶対量の削減策として歩留りの向上, 原単位の低減・省エネルギー等を推進した。

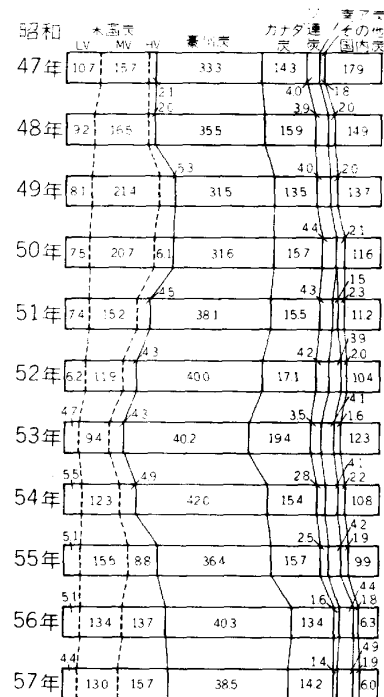
また, 購買面では割高な米炭 (主として低揮発分炭) の削減, 供給ソースの多様化, 炭価・海上輸送費の引下交渉, さらに炭価の暴騰に歯止めをかけるための契約体系の見直しが行われた。

オイルショック以前より供給力の拡大, 安定性の確保を求め志向していた海外炭鉱の投・融資もショックの前後に実現した。(48 年カイザーリソース社の株式取得, 50 年 5 月ブルー・クリーク (Blue Creek) No. 5, No. 7 炭鉱に関してジム・ウォルター社への融資。)

昭和 51 年から 53 年にかけて輸入原料炭 CIF 価格は横ばいの傾向を示し始めた。

しかし, 54 年 1 月のイラン革命を契機とする第二次石油危機により 57 年度まで炭価は上昇の一途をたどることになる。

この第二次石油危機は第一次危機に比べ石油供給の大幅な減少を伴うものであつたため石油の値上がり幅も著しく, 供給の逼迫, 一般炭の割安化から電力, セメントを主体として重油から一般炭への転換が急ピッチで進められた。この急激な一般炭需要の増加は一般炭価格が高騰し, 原料炭価格も一般炭価格に引きずられて上昇した。

図 2.2.5 ソース別炭種別原料炭依存度推移 (消費比率)  
(1984年 石炭年鑑)

この石油危機に対処するため鉄鋼業界はオイルレス操業への転換を図り, 重油の高炉での使用は皆無に近い状態まで削減された。

こうした石炭ブームも産炭国の輸出能力の拡大, 需要量が予想外に伸びなかつたこと, 石油供給過剰が産油国による公示価格の値下げを強いたこと, さらに, 鉄鋼不況の深刻化などにより, 57 年には消え去つた。

そして, 57 年度粗鋼生産量が 1 億 t を割り, 先行き明るさの見えない鉄鋼の悪環境を背景にした炭価交渉の

表 2.2.3 オーストラリア・カナダの新規契約銘柄  
(昭和 58 年以降長期契約)

国名	銘柄名	契約年数 (年)	年間契約量 (万t/年)
オーストラリア	リバーサイド (Riverside)	8	330
	カラ (Curragh)	3	150
	オーキー・クリーク (Oak Creek)	3	50
	コリンズビル (Collinsville)	15	100
計(60年度)			630
カナダ	ライン・クリーク (Line Creek)	15	100
	グリーンヒルズ (Greenhills)	2.5	75
	グレッグ・リバー (Gregg River)	16	210
	クィンテット (Quintette)	14.5	500
	ブルムース (Bullmoose)	15.5	170
計(60年度)			1055

結果、大幅な値下げ回答を引き出すことができた。

#### (b) 石炭供給源の推移

供給源の推移を図 2.2.5 に示す。

米国炭については割高な LV は減少、反面流動性源の HV 炭は国内炭にかわり昭和 54 年以降上昇傾向にある。54 年から 57 年にかけて米炭比率が増加しているのはオーストラリアでの石炭関連部門のストにより米炭がスポット買ひされたため、米炭は LV 中心に削減の方向にある。

豪州炭は昭和 40 年代前半には 20% 台であったのが 40 年後半には 30% 台、50 年代に入つてからは 40% 近くに達している。

カナダ炭は 40 年代前半は 2~3% であったが 46 年に 12.1 と飛躍的に上昇し以後 15% 前後の比率で推移している。

豪・加両炭については表 2.2.3 に示すように新規炭鉱が昭和 58 年以後次々と出荷を開始しており、これらの新規炭鉱からの 60 年度の輸入量はオーストラリアで 630 万 t/年、カナダで 1055 万 t/年 にも上る。特にカナダ炭の飛躍的増量の背景には、豪州炭の安定供給に対する不安感(炭鉱・港湾でのストの多発)がある。

またカナダ新規炭鉱のうちグレッグ・リバー炭鉱へはアンインコ・ジョイント・ベンチャー、クィンテット炭鉱については株式取得といった形で経営参加している。

供給ソースの分散化もこの 10 年のうちに進んでいる。

成形炭等低質炭の活用技術の確立、および 51 年のリチャーズベイの開港により南ア炭も多く使われるようになり、また中国との取引も 53 年に再開した。

ソ連炭は近年出荷減の傾向にあり、ポーランド炭は 57

年以降購入していない。

中国の 7 プロジェクト(うち原料炭 4 炭鉱)、ソ連の南ヤクトといった日本より銀行融資を受けたプロジェクトは現在建設途上にある。

国内炭は減少の一途をたどっている。

#### (c) 石炭資源の将来と展望

数量確保の面から述べればオーストラリア・カナダでの新規炭による増量はかなり見込まれること、米国炭も石炭ブームの遺産として生産能力にだぶつきを生じていることから当分の間、逼迫した状況に追い込まれることは、まず無い、といつてよからう。また現在の予測では中長期的にも鉄鋼需要の伸びは緩やかで、省エネルギーによるエネルギー原単位の減により燃料需要量は横ばい、あるいは若干の減少もあり得る。

総合エネルギー調査会基本問題懇談会基本政策分科会と同需要部会が昭和 58 年 11 月 16 日に策定した我が国の長期エネルギー需要見通しによれば 57 年度の石炭需要実績は 9450 万 t (2840 万 t)、65 年度見込み 10800 万 t (4300 万 t)、70 年度 12800 万 t (5800 万 t)、75 年度試算 16000 万 t ~ 17000 万 t と推移する。(カッコ内一般炭量、内数) この数字から産業界全体でも急速な需要の伸びはないものの需要の拡大は明確に志向されており、現状では数量確保上の問題はないとしても、長期的な観点からは有望プロジェクトの発掘に注目する必要があるだろう。

価格の面では石油危機が今後は起こらないと言えないこと、炭鉱・港湾ストの続発により高い供給ソースからの購入を余儀なくされる、といった不安定要素が潜在している。また貿易摩擦解消の一端として政治的圧力のかかっている米炭について、どの程度の数量で決着がつくかが、現在まで力を入れてきた供給ソースの多様化、輸入炭平均価格を左右する一つの因子となつている。

品質の面からは実用化の段階に入つた微粉炭の高炉吹き込み、試験段階にある成形コークス等低炭化度炭活用の努力が払われていることから将来はこの種の石炭の比率が増してくると思われる。反面これらの技術が生かされるのは原料炭(あるいは石油系燃料)と一般炭の値差がある水準を維持することにある。必要とする炭質を有する生産価格・運賃の安いプロジェクトの開発はもちろん心掛けておく必要はあるが、低炭化度炭に対する価格を含めた評価基準を明確にしていくことが肝要であろう。

#### (3) 焼結用副原料(石灰石)

##### (a) 我が国の石灰石埋蔵鉱量

石灰石は全国に広く分布し、我が国の需要を国内生産量で賄える唯一の鉱物資源である。我が国における石灰石の埋蔵鉱量とその品位は表 2.2.4、2.2.5 のとおりで

表 2・2・4 埋蔵鉱量および品位

	CaO (%)	埋蔵鉱量 (百万t)
確定鉱量	54.1	11 105
推定鉱量	54.2	8 877
予想鉱量	54.5	37 162
計	54.4	57 144

表 2・2・5 可採鉱量および品位

	CaO (%)	可採鉱量 (百万t)
確定鉱量	54.0	9 221
推定鉱量	54.2	6 929
予想鉱量	54.6	21 636
計	54.4	37 786

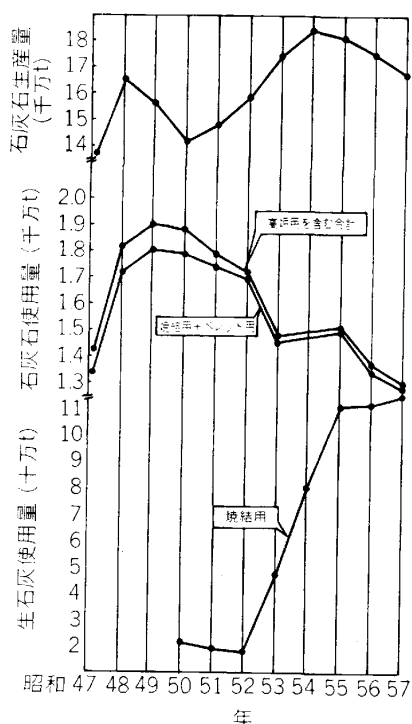


図 2・2・6 我が国の石灰石生産量と高炉焼結における石灰石、生石灰の使用実績

ある。表からもわかるように可採鉱量は確定、推定、予想合計で約 378 億 t とかなり大量にある。しかし自然公園法、森林法、文化財保護法などの法規制やその他の制限を考慮するとこの可採鉱量はせいぜい 100 億 t ともいわれている。

#### (b) 我が国の石灰石生産量の推移

現在我が国における石灰石鉱山は全国各地で稼働しており、昭和 25 年頃は 1000 万 t 台であったものが、その後年々増産し、44 年には 1 億 t を突破した。昭和 48 年の第一次オイルショックにより生産は低下傾向を示したが 51 年以降再び上昇し、52 年には 1 億 6000 万 t となり 54 年には史上最高の 1 億 8000 万 t を越すに至った。しかし 54 年の第二次オイルショックの到来とともに建設、鉄鋼業などの不況により減産の傾向をたどっている。

#### (c) 高炉・焼結における石灰石および生石灰の使用実績の推移

図 2・2・6 に示すように高炉・焼結における石灰石の使用量は第一次オイルショック以降鉄鉄生産量に対応して低下してきている。すなわち昭和 48 年には石灰石使用量は 1800 万 t 台にあつたものが 57 年には 1300 万 t にまで低下している。一方、生石灰は焼結用粉鉱の微粉化 (近年ペレットの代替として輸入されたペレットフィードが焼結用粉鉱として使用されるようになった) 対策として、造粒強化のため焼結で使用されはじめ、その使用量が 53 年以降急激に増加している。しかし 55 年以降も特に焼結鉱生産の伸びはなく、むしろ若干低下気味で、生石灰使用量も飽和状態と考えられる。

### 2・2・2 焼 結

#### (1) 概説

最近 10 年の焼結技術の特徴を列記すると次のようになる。

- ① 焼結機新設の終了と経済の低成長化にともなう余剰生産設備の休止を含めた効率的稼働態勢への移行。
- ② 燃料価格の高騰をカバーし、さらに高炉装入物として優れた性状をもつ高被還元性焼結鉱 (低  $\text{SiO}_2$  低  $\text{FeO}$  焼結鉱) 製造技術の開発。
- ③ 省エネルギー技術の積極的開発と設備投資。
- ④ 鉱物特性と焼結品質の関係に関する基礎研究の進歩とその成果の実操業への適用。
- ⑤ 計測・制御・数式モデルの進歩と計算機導入による操業管理のシステム化と制御性の向上。
- ⑥ 環境改善対策の確立。

これらの技術の特徴をささえる技術のこの 10 年にわたる経緯を図 2・2・7 に示す。

今後の焼結技術改善の基本課題は、鉱石の特性を生かした配合理論の確立およびプロセス改善による鉱石配合自由度の拡大、エネルギー消費量のいつその節減、高炉通算最適品質焼結鉱製造技術の追求であろう。

#### (2) 基礎研究

最初の数年間の中心的課題は、焼結鉱の①軟化溶融性評価法の確立であつた。これは以前からすでに開発が進められていたものであるが、高炉解体調査の刺激を受けて精力的に取り組まれることになつた。1600°C までの昇温過程において、焼結鉱の性状を表すものとして軟化開始、50% 収縮、滴下開始、滴下終了などの特性温度が選り出され、また充てん層の通気抵抗総和量を示すと考える S 値、 $\Sigma R$  値なども提案された。同時にくり返し測定に耐える反応容器の材質、構造など装置上の困難な問題を解決して、今日の軟化溶融試験法が完成した。

ヤード	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
焼結製造・品質特徴	高生産率 溶融型焼結鉱	低生産率(高層厚化)	低熱量・低スラグ焼結鉱	高被還元性焼結鉱造りこみ						
配合	生石灰配合	副原料微細化	配合設計(2層構造セミベレット・選択造粒他)							
混合・造粒		擬似粒化強化(ミキサー増強他)	コークス分割添加・粉コークス整粒強化							
装入		偏析装入法・2段装入法								
焼成	一点火炉機能改善	予熱焼結法	ヒートパターンコントロール強化							
環境改善		NO <sub>x</sub> 転換抑制法								
モデル・システム		品質予測モデル・操業予測モデル	焼結総合管理システム							
焼結機関係	パレット改善 ダイレクトチャージ		2段装入装置・装入装置改善	漏風対策						
計測・制御		品質自動測定(FeOメータ他)	焼成状況計測(層内温度・風速測定)システム	画像解析	自動運転					
省エネルギー	クーラ顕熱回収	一点火炉改造	クーラ顕熱回収	主排ガス顕熱	主排ガス循環					
環境改善設備	粉じん・SO <sub>2</sub> 対策確立(千葉)	脱硝設置	ボイラ	脱硝設置(扇島)	回収ボイラ					

図 2.2.7 焼結この 10 年の技術の進歩 (▲は設置時期を示す)

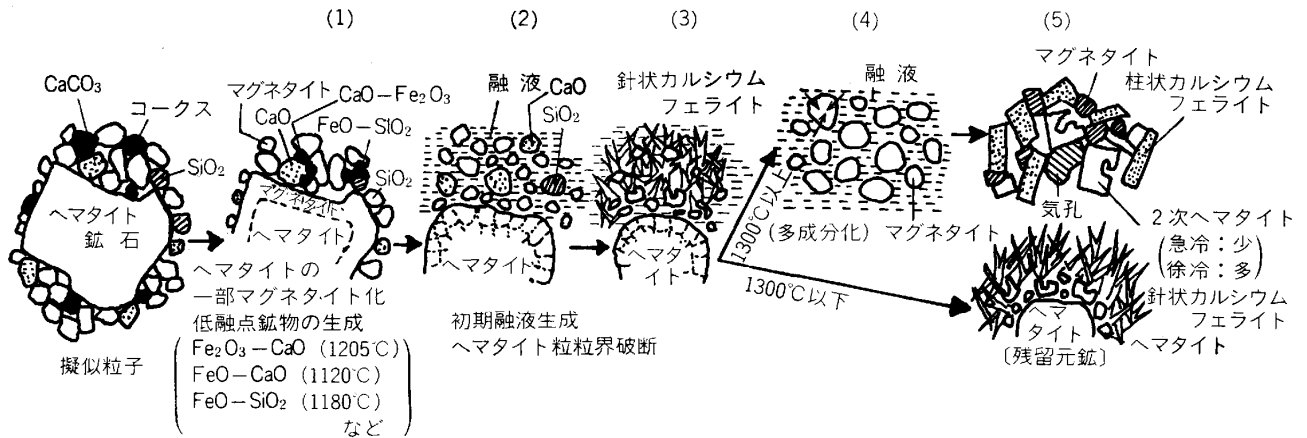


図 2.2.8 焼結反応過程の模式図 (佐々木ら：鉄と鋼, 68 (1982), p. 570)

現場では原料パイルの変更時や高炉の試験操業時に使われている。学振 54 委ではワーキンググループを編成し、現用各装置の仕様、試験条件などを整理して昭和 57 年 11 月に報告した。さらに昇温条件については学振推奨法を提案した。諸外国においても、わが国の研究成果をとり入れた装置の製作が進んでいる。

この方法と②X線透視法を組み合わせた装置も開発された。大学の研究機関でまず試作され、やがて鉄鋼各社の研究所に広まった。本装置により軟化溶融現象が肉眼的に観察された意義は大きく、高炉解体調査結果と合わせて、操業中の高炉でその現象を直接に観測しようという気運を強める要因となった。

焼結プロセスの問題としては、この期間に環境対策の面から③NO<sub>x</sub>の生成機構が究明され、NO<sub>x</sub>は粉コークス中の窒素分由来すること、ならびに生成を抑制する基本的原理が明らかになり、抑制技術の確立につながった。

さて後半の 5～6 年間は、大会の講演数にも現れてい

るように、基礎的研究は飛躍的に拡大した。これは褐鉄鉱質赤鉄鉱の多量使用と省エネルギー焼結法の推進を背景にしている。この期間の研究成果をもとに、擬似粒子から始まって焼結鉱の組織形成に至る過程を模式的に表したのが、図 2.2.8 である。原料鉱石の④鉱物特性と擬似粒化性の関係は、代表的な銘柄鉱石について核、粉となる鉱石粒子の表面性状とミキサー内での粒子の運動が重点的に検討され、のぞましい粒度分布、銘柄鉱石の組み合わせ、ミキサー運転条件などが明確になった。しかし実際のプロセスでは、輸送、装入、さらに充てん層内の湿潤・乾燥帯で擬似粒子の崩壊がかなりの程度まで進むことがわかり、省エネルギー型の高層厚操業ではそれを防止する効果的な結合材が求められた。そして生石灰、消石灰が、湿潤状態では Ca(OH)<sub>2</sub>、乾燥状態では CaCO<sub>3</sub> を生成して最適の結合材であることが明らかになり、広く使われるようになった。しかしそれも最近ではコスト低減の立場から、使用が見直されつつある。

褐鉄鉱質赤鉄鉱の多量使用は、従来の操業条件では焼

結ベッドの通気性が悪化し、しかも成品焼結鉄の品質を低下させるため、鉄石の鉄特性にもとづいて核粒子にはどのような銘柄の鉄石をどのような粒度で用い、附着粉には副原料も含めてどんな組み合わせにして擬似粒子をつくるべきかという⑤配合設計法の確立が強く要請されるようになった。理想化した擬似粒子による焼成実験も含めて多くの研究が行われた結果、核粒子は焼結過程で一種の骨材の役割を果たし、かつ焼結後には多孔質の残留元鉄として残るべきこと、一方附着粉は1300°Cを越えない温度域で容易に融体化するとともに微細なカルシウムフェライトを生成すべきこと(図2.2.8(2)~(4)参照)などが明らかになり、これらの知見にもとづいて核粒子となるべき鉄石粒子の溶解性、附着粉となる微粉の反応性が銘柄ごとに評価されるようになった。この配合論は今後も充実、発展していくものと思われる。

⑥焼結反応の研究の中で特筆すべきは、石灰焼結鉄中のカルシウムフェライトが  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  と  $\text{CaO} \cdot 3(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_3$  の間で制限された固溶範囲をもち(図2.2.9)、

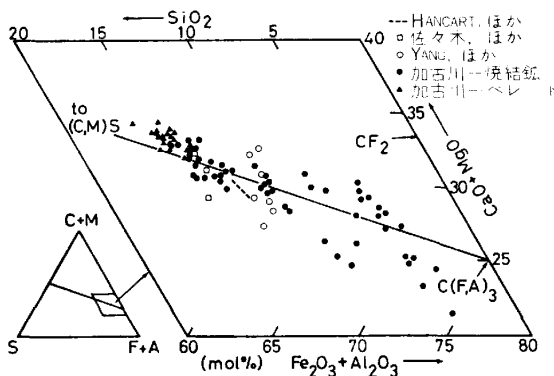


図 2.2.9 ドロマイト添加ペレット，石灰自溶性焼結鉄中の多成分系カルシウムフェライトの化学組成 (従来の研究結果も比較のためプロットしたもの) (井上ら：鉄と鋼，68 (1982)，p. 2190)

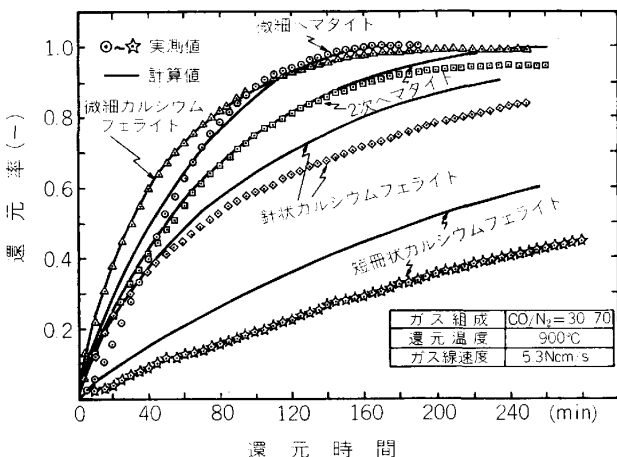


図 2.2.10 各種単一鉄物相の被還元性の比較 (坂本ら：鉄と鋼，70 (1984)，p. 504)

その結晶系も明らかにされたことである。これが理論的基礎となつて、カルシウムフェライトを最大限に生成させ、さらにはのぞましい針状のものを作り出すための研究は大いに進んだ。

省エネルギーの要請の下では、焼結鉄の品質としてくに⑦被還元性が重視された。被還元性に影響する組織、構造要因が詳細に検討され、焼結鉄単一粒子の還元反応の解析に加えて、種々の形態のカルシウムフェライトあるいはヘマタイトを主体とする組織のタブレット試料を作つて還元速度を調べる(図2.2.10)など、各要因の定量的な検討も行われた。また FeO を減らすと高温域での被還元性がよくなるだけでなく、充てん層の圧力損失総和量の S 値を小さくする効果のあることが明らかになった(図2.2.11)。

⑧還元粉化の研究も新しい展開を見せた。被還元性の向上が耐還元性を悪化させるという従来の操業経験があつたので、最初両方の品質を満足させる焼結鉄を安定して製造するのは危ぶまれていたが、省エネルギー型焼結法ではむしろ還元粉化の引き金になる特異なヘマタイトが生成しないヒートパターンがとられたことによつて、一応の解決を見た。しかしながら省エネルギーが極限まで追求されている現在の焼結条件下では、ヘマタイトからマグネタイトに還元される際の正常な膨張さえも抑えきれないような弱い生地も現れはじめ、高炉内採取焼結鉄の粉化が著しいという調査結果とあいまつて、還元粉化機構は新しい角度からの検討がなされつつある。

焼結鉄の⑨組織定量法は、現在の光学測定システムでは各鉄物相の反射輝度レベルが接近して自動的分離

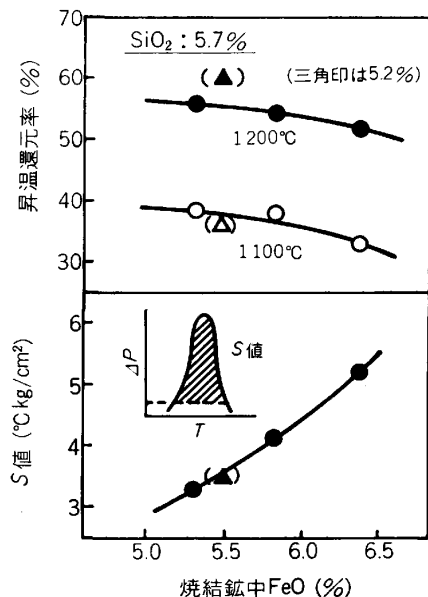
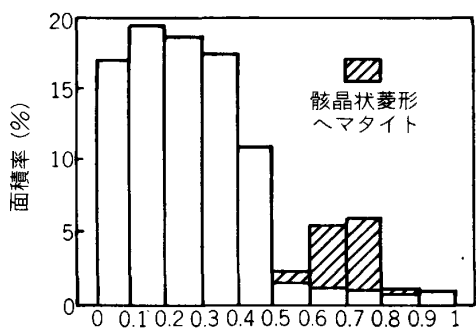


図 2.2.11 低 FeO 焼結鉄の軟化溶解性状 (日本鉄鋼協会共同研究会：第58回製鉄部会(1981年5月)新日本製鉄(株)(私信))





形状係数:  $4\pi(\text{面積})^2/(\text{周辺長})^2$

図 2.2.12 散晶状菱形ヘマタイトの分離定量 (樽本ら: 鉄と鋼, 69 (1983), S 751)

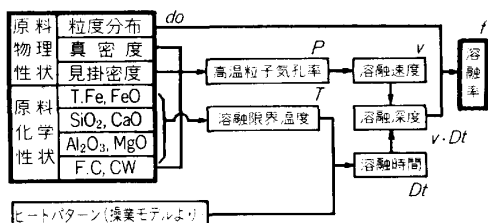
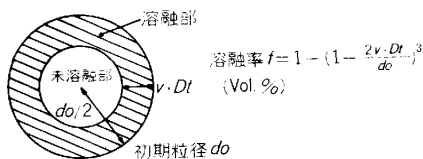


図 2.2.13 溶融モデルの概念とフロー (佐藤ら: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 657)

が難しく、分離レベルの設定は測定者の判断に頼っているのが現状である。しかし自動分離法の開発が進み、また鉱物相の形態別定量法も検討されているので、現用の装置が自動化されるのも間近と思われる。これまでに得られた成果としては、被還元性におよぼす気孔率とカルシウムフェライト量の影響の定量化、還元粉化の原因

となるヘマタイトの分離定量 (図 2.2.12) などがある。

最後に⑩プロセスの数学モデルは、前の 10 年間の成果の上に立つていくつかの改良が行われ、たとえば代表的配合組成の原料を焼結鍋で焼成し、焼結ベッド各層の圧力損失を測定してその値をモデルに取り入れ、ヒートパターンや風量分布を計算する方法などが開発された。さらに新しい発展としては、焼結トータルモデルとでもいべき方法が挙げられよう。これは原料配合の変更在先立つて原料鉱石の特性値を測定し、つぎに溶融率を計算して (図 2.2.13)、数学モデルで焼結ベッドのヒートパターンを求め、最終的には成品焼結鉄の品質を予測しようとするものである。今後この方向でのモデルの開発が盛んになると思われる。

以上最近の 10 年間の基礎研究の成果を概説したが、つぎの期間の技術開発に貢献する内容も非常に多いものとする。

(3) 操業技術

(a) 焼結鉄に求められる性状および操業技術

かつて焼結鉄に求められた品質は常温強度、粒度構成、-5 mm 等の常温性状および鉄品位の安定であつたが、高炉シャフト部での装入物挙動が明らかになるにつれ、耐還元粉化性、被還元性が重視されるようになった。また昭和 45 年以降の高炉解体調査により軟化溶融性状が注目され、昭和 48 年石油危機以降はさらに被還元性を向上させ、低スラグ化する等、高炉でのエネルギーコストミニマムに対処した品質要求が一段と強くなつた。図 2.2.14 は焼結設備とそれに関する技術項目を示したものであるが、この 10 年間に製造コストを低減しながら、省エネルギー型の操業技術の研究開発がなされ多くの技術的進展をみている。

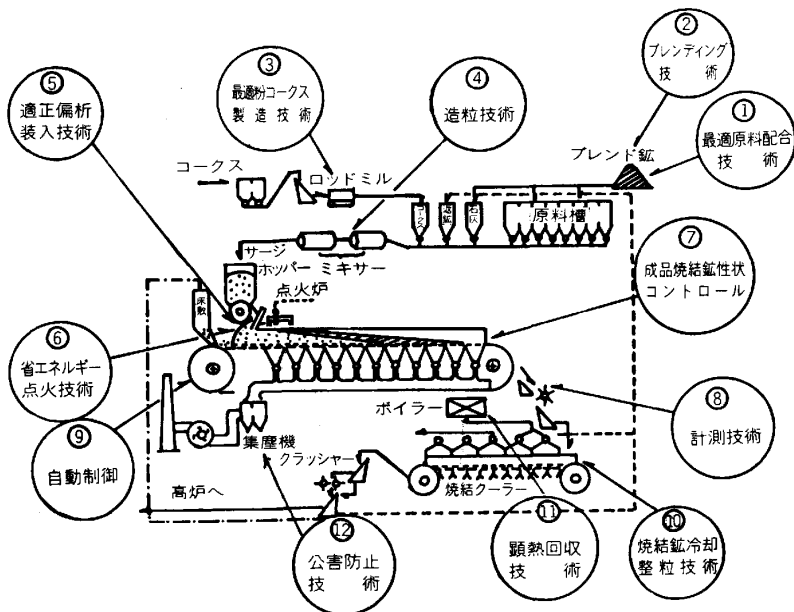


図 2.2.14 焼結設備概要とそれに関連する技術項目 (吉永ら: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2158)

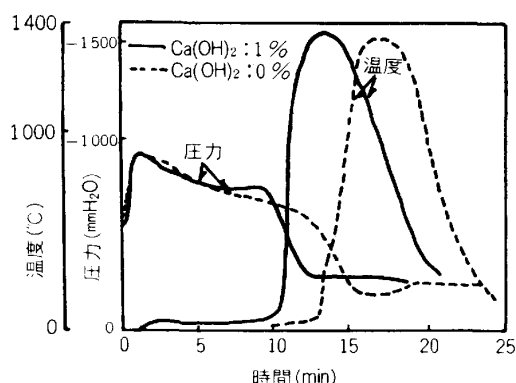


図 2-2-15 消石灰添加無添加時の焼結層内の圧力・温度変化  
(奥山ら：鉄と鋼，66(1980)，S 673)

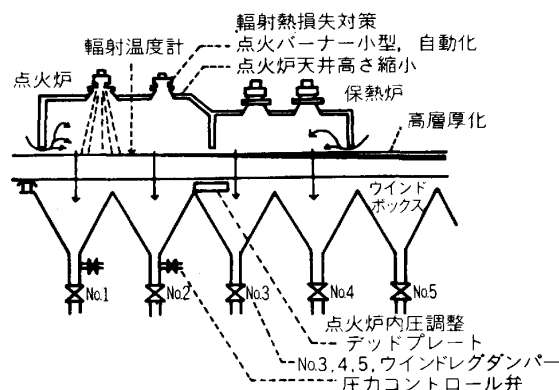


図 2-2-16 点火炉燃料原単位低減対策  
(日本鉄鋼協会共同研究会：第58回製鉄部会(1981年5月)(株)神戸製鋼所(私信))

### (b) 低熱量焼成

#### (i) 造粒強化，装入方法改善による高層厚化

投入熱量の低減および歩留向上をはかるため高層厚化を志向し，全国平均で昭和51年400mmのものが58年には600~650mmにまで順次高められてきた。高層厚化には通気性を確保するため，可能な限り造粒をはかりベッド空隙率の増加および擬似粒子の崩壊率を減少させなければならない。さらに核，付着粉の割合および鉱石の特性を考慮した造粒が必要である。造粒の構造研究がなされ昭和51年頃から造粒の指数化が行われるようになった。あわせてミキサーの増設，機能の向上，温水添加等による造粒強化，生石灰あるいは消石灰のバインダー添加による崩壊率減少の方策がとられてきた(図2-2-15)。一方原料装入では高層厚化に伴うベッド上下方品質のばらつき低減およびコークス低減を目的に各種の偏析装入装置(ペルトシュート，2段シュート等)が開発された。その代表例として新日鉄若松では2段装入を実機化し効果をあげている。

#### (ii) コークス燃焼効率の向上

コークス賦存形態の改善および粒度構成の安定化を目的に昭和51年頃から円筒型分級機等の導入・破碎の閉回路化による整粒強化・粒度調整が行われるようになった。また昭和50年頃からコークス燃焼をさらに容易にするためコークス分割添加法が実用化された。燃焼効率の向上および高層厚化によりコークスは昭和51年51kg/t-焼結鉄が58年43kg/t-焼結鉄に順次低減されている。

#### (iii) その他の省エネルギー

省エネルギー，合理化は徹底推進されてきた。点火炉では昭和53年頃から保熱炉の消火，燃焼装置・燃焼管理の改善が行われ，点火炉燃料は昭和51年34Mcal/t-焼結鉄が昭和58年11Mcal/t-焼結鉄と大幅に低減されてきた(図2-2-16)。さらに代替燃料として微粉炭燃

焼も試験されている。冷却機・主排ガス顕熱はボイラー等で蒸気・電力に回収，また新日鉄室蘭では冷却機排ガスを原料予熱に利用し，水分凝縮・乾燥ゾーンの通気抵抗等の減少を狙った予熱焼結法が開発・実用化された。その他高層厚に対処した漏風防止対策，主排風機等の高効率ファン，回転数制御の採用も行われ効果をあげている。

### (c) MgO 焼結鉄製造

高炉内でのスラグ流動性の改善をはかるため含MgO原料を焼結に使用し始めた。昭和40年代後半に焼結鉄中MgOがマグネタイトを安定化し還元粉化を抑制する効果のあることが基礎研究で明らかにされた。以来，焼結では含MgO原料の使用は定着し，さらに反応性向上のため微粉碎する手段もとり入れられ，高温性状の改善・高炉溶鉄の低Si化に効果があることもわかり焼結鉄中MgOは昭和52年以降1.4%台になっている。

### (d) 低SiO<sub>2</sub> 低FeO 焼結鉄製造

#### (i) 高温性状の改善

還元粉化抑制については，骸晶状2次ヘマタイトの抑制，還元前のき裂・結合強度の改善が有効であるとの研究報告がなされ，実操業では通気性の改善，最高到達温度の低下および副原料の細粒化が行われ効果をあげてきた。その後さらに被還元性の向上・低スラグ化・軟化熔融性状の良好な焼結鉄の要求が増してきた。一方高温性状の測定，評価方法が整備され焼結鉄中SiO<sub>2</sub>，FeOの低下，MgO，CaO/SiO<sub>2</sub>の増加が効果的であることが確認された。操業ではこれらを重要管理指標に積極的に高MgO 低SiO<sub>2</sub> 低FeO 焼結鉄の製造に取り組んできた。FeOは昭和51年7.2%から58年5.3%に低下してきている。SiO<sub>2</sub>は原料事情に左右されるが低SiO<sub>2</sub>原料配合時，SiO<sub>2</sub>5.0%の焼結鉄製造の技術も確立され高炉低燃料比記録更新にも寄与してきた。

#### (ii) 原料成分変動の抑制

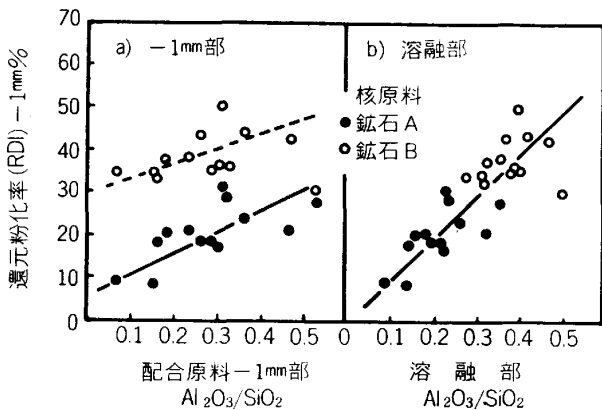


図 2.2.17 配合原料-1mm部および溶融部の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> と低温還元粉化の関係 (神坂ら: 学振 54 委-No. 1667 (昭和 58 年 11 月))

表 2.2.6 鉱石のグルーピング (日本鉄鋼協会共同研究会: 第58回製鉄部会 (1981年 5 月) 新日本製鉄(株) (私信))

特性	微粉成分	特徴	銘柄	備考	
核粒子溶融特性	易溶解性	HiAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> LoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	高 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> リモナイト 脈石に アルカリ 含有	豪州系 アフリカ系	元鉱は脆弱化
	中間溶解性	HiAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> LoSiO <sub>2</sub>		ゴア系	
	難溶解性	LoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	低 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 緻密質 ヘマタイト	ブラジル系	元鉱は堅固
		LoSiO <sub>2</sub>		インド系	"
擬似粒化性	難擬似粒化性 擬似粒子核鉱石	鏡鉄鉱	破碎, 篩下粉		

ヤード管理では大型均鉱の採用, 積付方法の改善およびモデル化, 自動化により原料成分, 粒度の均質化をはかり焼結鉱中の SiO<sub>2</sub> を 0.13% 以上のものから 0.05% 程度まで減少させる実績をあげている。

(iii) 副原料の細粒化および配合管理

結合強度の改善, 被還元性の向上を狙い SiO<sub>2</sub> 源である副原料 (珪石, 蛇紋岩) の細粒化と配合原料微粒部 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>) 管理によりバインダーとして有効な融体量の制御が行われてきた (図 2.2.17)。また低熱量焼成では鉱石特性が顕著に現れることから核粒子溶融特性, 擬似粒化性, 磁鉄鉱系鉱石など特性の異なる鉱石を組み合わせ, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 結晶水を制限し適度な造粒・反応性となる配合設計が行われている。

(iv) ヒートパターンコントロール

ベッドの風量分布, ヒートパターンの測定方法が各社で開発され焼成挙動がかなり把握できるようになった。最近では従来の溶融型から原料事前処理の改善などにより昭和 51 年当初新日鉄君津で志向された低温型, さらに低 FeO 型の焼結法に変遷しつつある (図 2.2.18)。

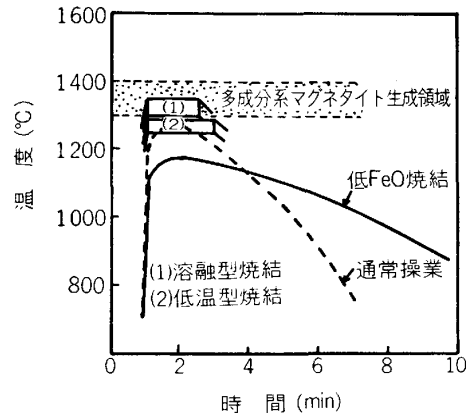


図 2.2.18 ヒートパターンからみた焼結法の違い (佐々木ら: 製鉄研究 (1976) No. 288; 山田: 鉄と鋼, 66 (1980), A 127)

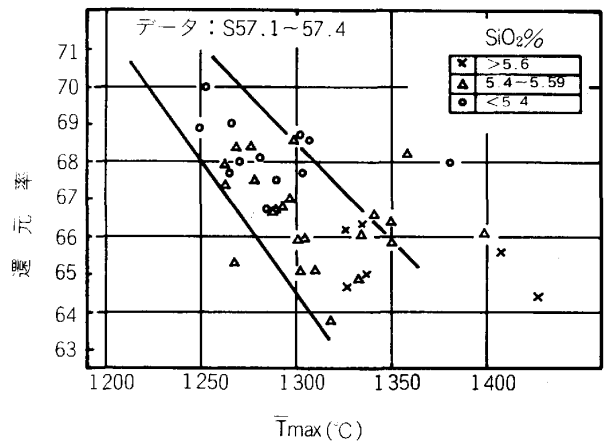


図 2.2.19 最高到達温度と JIS 還元率の関係 (加瀬ら: 学振 54 委-No. 1632 (昭和 58 年 2 月))

の特徴はヘマタイトの解離によるマグネタイトの生成が起これないよう, 最高到達温度を抑え, 高温保持時間・冷却速度を適性にし被還元性を向上させている (図 2.2.19)。

(e) 計測技術および自動制御

(i) 操業の自動化

品質・操業の安定化を目的に各種センサーの導入および自動化がはかられてきた。還元粉化管理強化のため昭和 52 年頃住金と歌山で全自動還元粉化測定装置, 昭和 55 年結晶質 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> も測定可能なマグメータが開発・実用化され普及してきた。また通気度計, ヒートパターン測定装置等のセンサーも開発され, 品質と操業の関係が明らかにされ品質操業予測モデルが作成, システム化されてきている。一方操業機器の制御でも新鋭機の導入がはかられ, 川鉄水島では昭和 57 年 DDC (Digital Direct Control)・焼結プロセスコンピュータ・中央計算機の構成によるプロセス制御, データ管理, 操業管理を行う総合管理システムに進展させてきている。

(ii) 焼結鉱画像処理解析

画像処理装置が導入され, 代表性の検討により不均質

な焼結鉱組織の定量化は急速に進み、現在では組織と品質の関係およびこれら組織の制御手段が明確になりつつある。また導入初期は明度差による判定であつたが昭和54年頃から二種の顕微鏡によるマクロ・マイクロ組織判定も行われ日常管理用に普及してきている。

(f) ダスト処理

製鉄所のダストは資源有効利用から各所各様に使用、廃棄処理されていた。石油危機以降、還元ペレット製造の中止、将来の埋立用地不足も予想されダスト処理の方法および焼結での使用技術について見直された。鋼管京浜では昭和54年に所内ダストを1カ所に集積、脱亜鉛・脱水するダスト処理設備を稼働させほぼ全量焼結で再利用しているが他の工場でも同様な再資源化が進められている。

(g) 環境対策

焼結排ガス中には粉塵、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が含まれる。特にNO<sub>x</sub>については昭和50年前半にその原因究明が精力的に行われ、発生的主因はコークス窒素の変換であることが確かめられた。また雰囲気条件によつてはNO<sub>x</sub>の転換率を減少しうる等が示され実業にも反映するようになった。一方脱硝脱硫技術についても開発が行われ、昭和50年前半には各所で湿式石灰-石膏法、一部アンモニア硫安法の排煙脱硫設備が稼働した。脱硝についても昭和51、54年にアンモニア選択接触還元設備が稼働した。

(4) 設備

この10年の焼結設備の進歩の特徴を列記すると、

- ①大型焼結設備の安定した高稼働率達成
- ②計算機・センサーの活用による制御・システムの向上
- ③省エネルギー設備の積極的開発
- ④環境改善対策設備の改善・開発

であり、特に省エネルギー技術についての目覚ましい進歩が特記される。

(a) 焼結機関係

焼結設備の大型化対策として、ダクタイトル鑄鉄等の採用や3分割化などによるパレット材質・構造改善や1次クラッシャーのシングルロール化、クラッシャーの寿命延長対策(肉盛・水冷)が実施されたが、これらに加えダイレクトチャージの採用をふくめた熱間篩の改善等によつて稼働率の向上をみた。図2.2.20に示されるように、1973年頃からダイレクトチャージが積極的に採用されるとともに技術的にも確立された。

また、ドラムミキサーの改善、回転円筒コークス篩の設置・装入偏析装置設置等の造粒および装入関係設備の改善は品質改善や原単位向上などに寄与した。

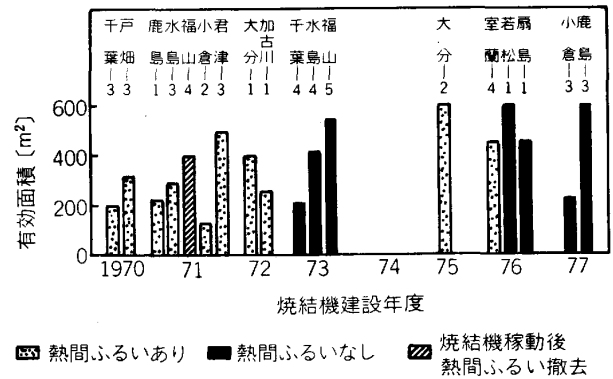


図 2.2.20 ダイレクトチャージ方式採用状況 (鉄鋼便覧(日本鉄鋼協会編)(1979) [丸善])

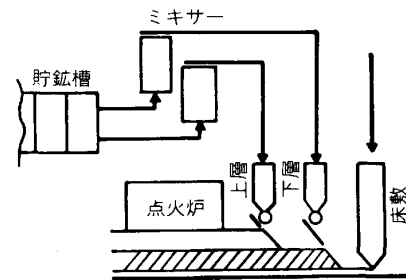


図 2.2.21 2 段装入設備 (石川ら: 鉄と鋼, 61 (1979), S 518)

(b) 計測・制御関係

焼結鉱品質変動に対する焼成ヒートパターンコントロールの重要性が強く認識され、焼結層内温度計測、焼結層内通過風量・風速計測装置が開発された。これらは成品品質測定装置の自動化(FeOメーター等)、計算機の進歩とあいまつて焼成制御技術、焼結機自動運転化、焼結総合管理システム等の進展を促した。また、ヤードと焼結工場を結んだ焼結鉱成分安定化のための諸制御システムの開発は焼結鉱品質の安定に寄与した。

(c) 省エネルギー設備

消費エネルギー低下のために、点火炉については炉形状変更・新型バーナー開発・炉内圧制御が実施され点火炉熱量原単位は10 Mcal/t-焼結鉱まで低下した。排風機については、回転数制御・ランナー高効率化が実施され、集塵機については間歇荷電等の改善をみた。

また、排熱回収エネルギーの増大のために、気-固熱交換特性調査や品質との関係等の基礎検討が行われ、冷却機排ガス顕熱回収や主排ガス顕熱回収、さらに主排ガス循環法などが開発され蒸気・電気に転換され回収された。表2.2.7に昭和51年以降の排熱回収設備の概要を示す。排熱回収効果は図2.2.22に示す設備フローの場合、回収熱量は約80 Mcal/t-焼結鉱に達する。また、予熱焼結法などのように自己循環回収されたものもある。

今後いつその熱回収向上をはかるため、回収ゾーンの漏風防止対策や主排ガス中のCOの酸化熱回収が検

表 2.2.7 排熱回収設備

(日本鉄鋼協会共同研究会：第72回熱経済技術部会 (1983年5月) 合同製鉄(株)(私信))

事業所	対象設備	稼働年月	利用・回収方法
室蘭 No.6	成品クーラー	51.1	燃焼用空気
千葉 No.4	主排排ガス	52.1	脱硫脱硝装置用ガス昇温
室蘭 No.6	成品クーラー	53.2	予熱空気
釜石	"	53.6	燃焼用空気
加古川 No.1	"	53.6	燃焼用空気
京浜	"	53.12	強制循環式排熱ボイラーMax 73 t/h
和歌山 No.4	"	54.4	2胴水管式排熱ボイラーMax 20 t/h
中山船町 No.1	"	54.4	点火炉燃焼空気
京浜	"	54.7	"
八幡(若松)	"	54.12	熱水タービン+フラッシュ蒸気タービン発電出力5 700 kW
鹿島 No.3	"	55.3	強制循環式排熱ボイラーMax 59 t/h
福山 No.5	"	55.7	点火炉燃焼空気
"	"	55.7	強制循環式排熱ボイラー 40 t/h
神戸 No.1	"	56.6	単胴形排熱ボイラー 4.5 t/h
小倉	"	56.9	強制循環式ボイラー横多段衝動単流排気タービン出力5 000 kW
和歌山 No.5	"	56.9	強制循環式ボイラー1 6.5 t/h
君津 No.3	"	56.10	単気筒多段式(11段)発電出力12 500 kW
小倉	主排排ガス	56.11	2胴自然循環式排熱ボイラー 11.5 t/h
鹿島 No.2	成品クーラー	56.12	強制循環式ボイラー 4.37 t/h
"	主排排ガス	56.12	強制循環式ボイラーMax 14.8 t/h
八幡 No.3	成品クーラー	57.5	予熱燃焼
堺 No.1,2	"	57.7	予熱燃焼
名古屋 No.3	"	57.9	予熱空気
釜石	"	57.10	強制循環式ボイラー 24.5 t/h
大分 No.2	主排排ガス	57.12	強制循環式フィンチューブボイラー 33 t/h
千葉 No.4	成品クーラー	57.12	強制循環式ボイラー 2.0+9.9 = 29.9 t/h
中山船町 No.1	"	58.2	点火炉 保熱炉
小倉 No.3	主排排ガス	58.3	排ガス循環使用 90 000 Nm <sup>3</sup> /h

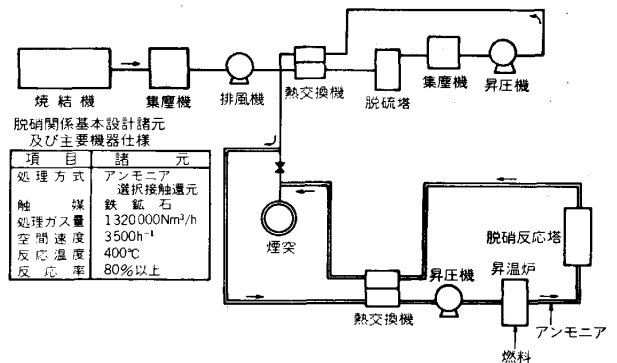


図 2.2.23 鋼管扇島焼結排煙処理のフローシート (日本鉄鋼協会共同研究会：第55回製鉄部会 (1982年10月) 日本鋼管(株)(私信))

討されている。

(d) 環境対策設備

粉塵・煤塵対策は電気集塵機の装置および荷電制御の改善などによつて確立された。窒素酸化物対策については、NH<sub>3</sub>を還元剤とする種々の触媒を用いた選択的接触還元法が研究され、川鉄千葉第4焼結機(昭和52年)、鋼管扇島第1焼結機(昭和54年)に設置され稼働中である。図2.2.23に扇島の排煙脱硝プロセスのフローを示す。安定した脱硝率の維持、安価な触媒の開発などに力が注がれた。

今後の焼結設備改善の課題は、エネルギー消費量の低下とエネルギー回収の増大であり、焼結機・クーラー等の漏風防止対策や未燃CO、中低温排ガス顕熱の回収などについての積極的技術開発が望まれる。

2.2.3 ペレット

(1) 概論

1970年後半に起こつた第2次石油危機は、焼成燃料を石油系に依存するペレットの製造コストを引き上げ焼結鉄との価格差を拡大した。そして80年代の経済低成長下での鉄鋼生産量の減少も加わり、オーストラリア、インド、南米などで、ペレット工場の休止または操業短縮を余儀なくされている。その対応としてペレット工場の省エネルギー、燃料転換などが鋭意進められた。それらの対策例として生ペレット水分の減少、鉱層アップによるグレートでの熱効率の向上、またブリーズ、木炭などの炭材内装、主燃料に微粉炭の使用があげられる。これらの対策の結果、焼結鉄と製造コストがほぼ同等になった。

一方、品質面においても70年代の後半から大型高炉に適したペレットへの改質が国内で進められた。それまでの石灰自溶性ペレットの持つ還元性状の欠点を改善したMgO自溶性ペレットが開発された。さらに還元性状の向上を図つた多孔質ペレットの製造もされた。形状の改善は、大粒径ペレットを2~3分割に破碎した破碎ペレットによつて大きく前進した。

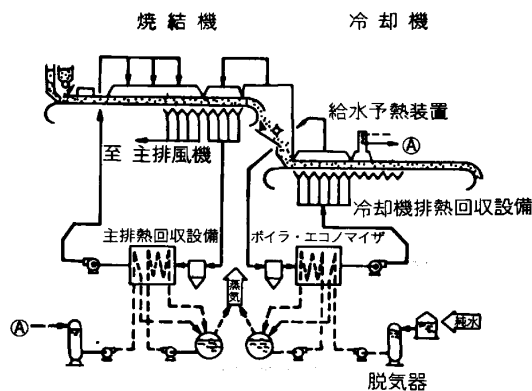


図 2.2.22 小倉第三焼結機 主排ガス循環・主排熱回収・冷却機排熱回収設備フロー (二口ら：住友金属, 134 (1982) 4, p. 142)

わが国に輸入されるペレットも 70 年後半頃から消石灰を添加した自溶性が主体となっている。

常温で硬化される コールドボンドペレットは、80 年前半に製鉄所発生ダスト類の再利用のため工業化されており、資源の有効活用のみならず環境保全の面でも利点がある。

中東や中南米などの産油国では、豊富にある天然ガスを利用した直接還元製鉄法による小規模製鉄所の建設が盛んになっている。その原料として還元用ペレットの生産量が増加してきている。還元用ペレットの性状の特徴は鉄品位が高いこと、還元過程でペレット同志の融着が少ないことであり、強度、還元性などの性状については高炉用ペレットと同じである。大型高炉の装入原料としてのペレットは省エネルギー、燃料転換による製造コストの低減および破碎ペレットによる形状改善によつて焼結鉱と比較しても製造コスト、品質ともに同等になるまで大きく前進した。

(2) ペレットの改質

石灰自溶性ペレットは、自溶性焼結鉱に比し軟化溶融

温度が低く、かつ還元停滞を起こしやすいという欠点があった。これは還元中に内部で生成したウスタイト系スラグが、ペレット表面のメタル層にしみ出し気孔を閉塞する結果である。その対策の一つとしてスラグ融点の上昇を図るため MgO を添加し、結果として液相スラグの生成および金属鉄の凝集が抑制され耐軟化性を向上させる。MgO 源としてドロマイトやオリビンが用いられている。

その軟化溶融特性を図 2.2.24 に示す

また別の対策としては気孔率を高く、かつ気孔径を大きくして還元停滞を無くするため生ペレット原料中に可燃物(おが屑、ブリーズ、ピートモスなど)を混合し焼成過程で燃焼させた、いわゆる軽量ペレットすなわち多孔質ペレットが製造された。図 2.2.24 に軽量ペレットの軟化溶融特性を示す。

ペレットはその形状から安息角が低くしかも高密度が高いことにより高炉で使用の際に安定した装入物分布が維持し難いという問題があり、この対策として破碎ペレットが開発された。破碎ペレットは粒径 10 数 mm の大きい焼成ペレットを 2~3 分割破碎し、5 mm 以上に整粒したものである。この成品は安息角が焼結鉱と同じであり、また内部の気孔径の大きい破碎面により被還元性に優れ還元停滞が少ない特長がある。破碎ペレットの軟化溶融特性を図 2.2.24 に示す。

ペレットを焼成せず常温で硬化させるコールドボンド法は、国内において製鉄所発生ダスト類の再利用に新日鉄等で工業化されている。その処理工程を図 2.2.25 に、

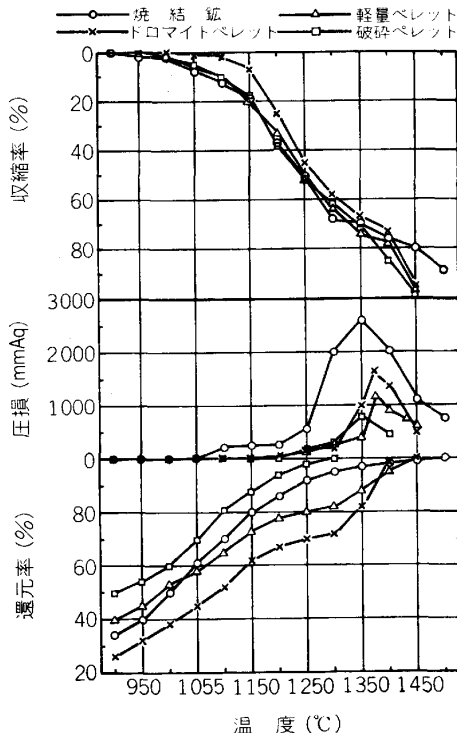


図 2.2.24 各種ペレットの軟化溶融特性

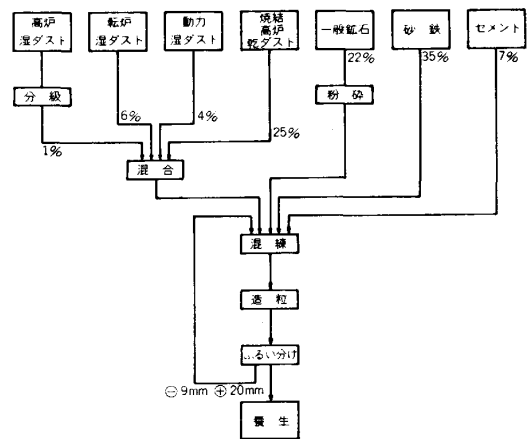


図 2.2.25 コールドボンド法の処理工程

表 2.2.8 発生ダストの種類と性状

ダストの種類	T.Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	S (%)	Zn (%)	C (%)	粒度-44μm (%)
高炉乾ダスト	32.2	6.9	3.1	2.5	0.7	0.2	0.2	45.0	5
高炉湿ダスト	32.5	6.1	2.7	3.0	0.7	0.3	0.5	40.8	59
焼結ダスト	49.7	8.6	13.0	3.5	1.5	0.2	0.01	3.5	60
転炉湿ダスト	64.8	1.7	1.8	0.1	0.1	0.03	0.2	—	90
含油ミルスケール	59.4	2.6	3.0	0.6	0.1	0.01	0.1	—	90

発生ダストの種類と性状を表2.2.8に示す。常温での硬化のための養生期間は、約10日で130~170kgの圧潰強度となる。この方法では、通常コールドボンド法の得失のほかに発生ダストの処理という見地から、資源の有効活用、環境保全などの利点がある。直接還元鉄用の原料としては一般にペレットが主に用いられるが、直接還

元炉で還元されたあとのペレットは製鋼用炉に直接使用されるため、原料のペレットも高炉用とは異なつた成分特性が必要となる。その例を表2.2.9に示す。また国内では製鉄所内で発生する高炉ダスト類を脱亜鉛処理して利用する目的で、グレートで乾燥・予熱、キルンで脱亜鉛のための還元焼成を行う方法が実施されている。

(3) 設備および操業

(a) 炭材内装の操業

鉄鉱石原料にブリーズ・木炭などの可燃物を混合して生ペレットを製造し、焼成工程でこれらの可燃物を燃焼させてバーナでの燃料を減少させる燃料代替を行った。

この例ではこの配合を製鉄所内で発生するブリーズをペレットに内装し0.3%から漸次増加し現在0.8%を続けている。この間のペレットの品質を図2.2.26に、キルン燃料原単位推移を図2.2.27に示す。成品品質としては内装ブリーズ比が高くなると開気孔率が上昇し、これに伴う還元率・収縮率は内装比1.0%以上で顕著になる。また代替率(キルン燃料の減少量/内装可燃物量)は0.9~1.2でありカロリー換算で効果が高い。ニブラスコ社のグレート炉では、ブラジル国内に豊富にある木炭を内装した操業を82年から実施している。このニブラスコ社においても内装比1.0%までの成品品質の変化は認められていないが、1.0%を超えるとふくれ指数の上昇がある。ここでも代替率は1.2程度であり燃料コストの低減に寄与している。一般的に炭材内装の操業では、内装比と焼成過程におけるペレットの昇温速度に注意を払う必要がある。炭材の燃焼と共にペレット温度が急上昇し爆裂現象を起こしやすく、また炭材の燃焼が一時に進行するとペレット内部に部分的な還元雰囲気ので

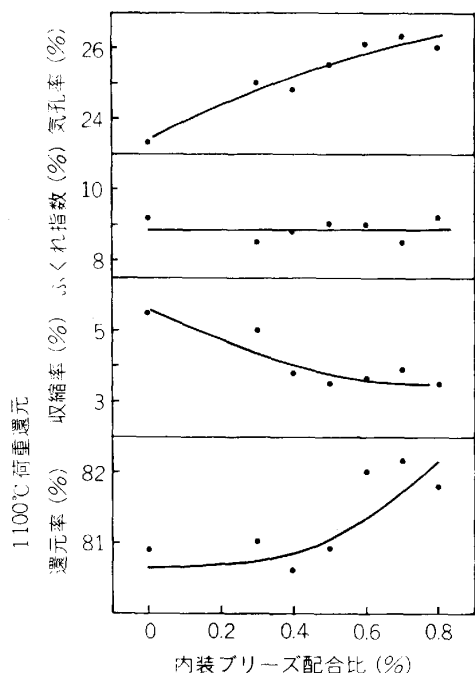


図 2.2.26 ブリーズ内装比と成品ペレット品質

表 2.2.9 直接還元プロセス用ペレットの化学及び物理性状

項目	グレートキルン方式で製造するペレットの予想値
1 化学成分	
T. Fe	66~66.5%
SiO <sub>2</sub>	3.0%以下
$(\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{T. Fe}) \times 100$	5.45以下
CaO	2.3~1.5%
CaO/SiO <sub>2</sub>	1.4以下
P	0.04%以下
S	0.015%以下
2 圧壊強度	平均 : 250 kg以上 -100kg : 3%以下
3 回転強度	+5 mm : 9.6%以上 -1 mm : 3.5%以下
4 粒度分布	9~16 mm : 9.2%以上 -5 mm : 2%以下
5 還元率	: 9.2%以上
6 クラスタリング傾向	クラスタリング温度 : 830℃

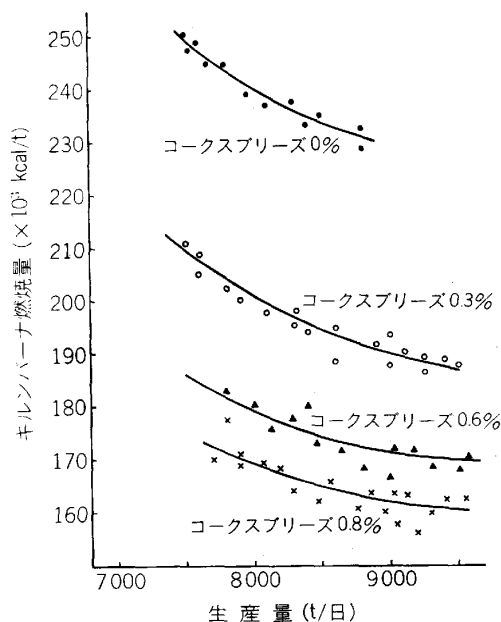


図 2.2.27 ブリーズ内装比とバーナ燃焼量推移

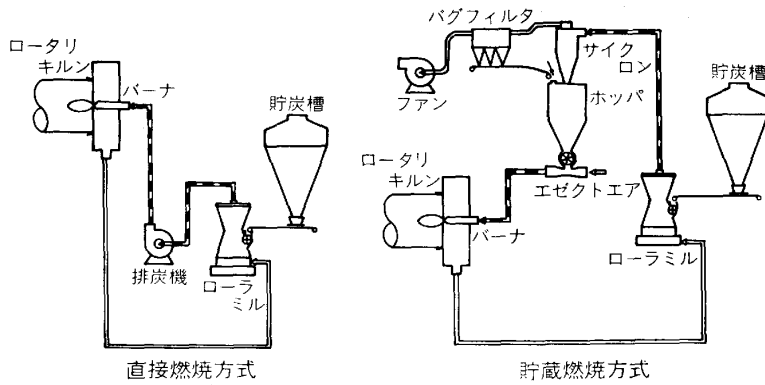


図 2.2.28 石炭燃焼設備フロー

表 2.2.10 石炭種の選定基準

区分		A	B	C	D
神鋼 パラメータ	W <sub>A</sub>	<0.6	0.6~1.6	1.6~2.3	>2.3
	W <sub>D</sub>	<0.6	0.6~1.3	1.3~2.0	>2.0
	RP	<0.69	0.69~1.45	1.45~4.42	>4.42
灰分		<8	9~10	9~12	9~12
灰融点		>1400	1400~1350	1350~1300	<1300
粉碎性		>90	90~70	70~50	<50
揮発分		20~30	30~34	34~40	>40
アリスチャ ーマズ ラメータ	DP	<200	200~500	500~1000	>1000
	RP	<50	50~100	100~120	>120

W<sub>A</sub>: 灰分補正付着指数 W<sub>D</sub>: 微粉鉱補正付着指数  
 RP: 高温帯付着指数 DP: 中温帯付着指数

き成品性状への影響がでる。

(b) 石炭燃焼での設備と操業

燃料コストの低減策として主燃料を石油系から安価な石炭系へ転換した。燃料種としては石炭、木炭、チャコールなどが対象となる。石炭燃焼の場合、燃焼残渣(灰分)の操業・成品品質に与える影響および燃料としての取扱いが石油系に比べ複雑であるという問題がある。一般的にグレート方式ではクーラから回収する熱風ダクトに微粉炭バーナを設置し、バーナの2次空気温度を上昇させて、その分バーナの燃料を減少させる方法が採られる。グレート・キルン方式ではキルンバーナを微粉炭焚に転換する方法が採用される。燃料方式には粉碎された微粉炭を直接バーナに送り燃焼させる Direct Firing System がある、前者は設備費が安く、微粉炭取扱い上、防爆などの安全性に優れ、後者は燃焼制御性が良く、燃焼設備の稼働率が高いという特長がある。図 2.2.28 に燃焼工程の例を示す。

加古川では直接燃焼方式を 81 年に完成させた。キルンでの微粉炭燃焼では、石炭中の灰分がキルン内壁に溶融付着し操業が不能となることに留意する必要がある。

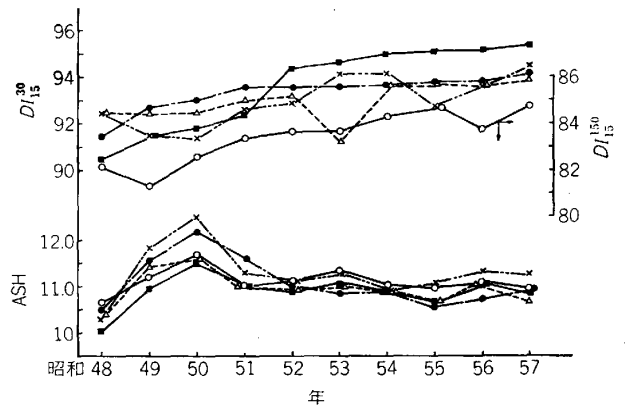
石炭種を決める場合、価格・燃焼性(揮発分)・灰分・粉砕特性を加味した選定が必要である。表 2.2.10 に石炭種の選定基準の例を示す。表中の区分 A は灰分付着の少ない良質炭で区分 D は付着の多い燃料炭には適さない石炭である。石炭燃焼での操業の場合、成品の圧潰強度が低下する傾向を示す。これは微粉炭燃焼の最高火炎温度が重油の場合より低いことによる。また窒素酸化物はガス燃焼に近いためサーマル NO<sub>x</sub> が増し重油燃焼に比べ多い。硫黄酸化物は石炭と重油の含有硫黄分がほぼ等しく、SO<sub>x</sub> への転換率も同じであることから変わらない。

2.2.4 高炉用コークス

(1) 概説

最近の 10 年間は、その前の高度成長時代から低成長時代へ転換の時代であり、コークス炉の生産能力と需要量は大幅なギャップを生じ、コークス炉の約集化、休廃止が相次いだ。表 2.2.11 でわかるように、新鋭製鉄所では、17 炉団が昭和 50 年代初期の間に稼働している一方で、25 炉団のコークス炉が休止している。

かかる状況のもとで、昭和 49 年をピークにコークス需要が低下したこと及び成型炭配合法等の原料炭対策が



○新日鉄 ●住金鹿島 ■鋼管京浜 ×川鉄千葉 △神鋼加古川

図 2.2.29 コークス品質の推移

(燃料協会誌, 62 (1983) 675, p. 509 など)



表 2.2.11 コークス炉の稼働及び休止状況

	新日鉄	鋼管	川鉄	住金	神鋼	その他	
新 設 炉	昭和 48	君津No.5	福山No.5	千葉No.6 A 水島No.5 A	鹿島No.1 D No.2 A, B	加古川No.4	三菱坂出No.3 A 三井・北九州No.1
	49			水島No.5 B 千葉No.6 B	鹿島No.2 C		
	50						三菱坂出No.3 B
	51	大分No.3 No.4	福山No.1 福山No.5 C				
	52						三井・北九州 No.2 B
	53						
	54	室蘭No.6	扇島No.2				
	55			千葉No.7			三井・北九州 No.2 A
	56				鹿島No.2 D		
	57						
休 止 炉	昭和 48						
	49		扇町No.1	千葉No.1 S			
	50	洞岡No.4	扇町No.2, 3	千葉No.1 N		大浜No.2, 3	
	51						
	52	室蘭No.2	福山No.1				大ガス北港
	53	洞岡No.3 戸畑No.1	水江No.1				三菱黒崎 No.5, 6, 7
	54	広畑No.2 釜石No.4 室蘭No.3					
	55						
	56						
	57			千葉No.2	和歌山No.1 A		
58	室蘭No.4 戸畑No.3 釜石No.2	福山No.2		和歌山No.1 B			

広く採用されてきたこと等によりコークス品質は図 2.2.29 に示すように高位に安定している。

一方、オイルショックによるエネルギー価格の高騰により、コークス乾式消化設備 (CDQ 設備) の普及やコークス炉燃焼管理の自動化、その他の省エネルギー技術が大きく発展した。

これらの合理化や技術の進歩は、日本鉄鋼業の競争力維持に大きく貢献した。

(2) 基礎研究

この 10 年間におけるコークス製造技術の発展に対し、理論的側面からもつと大きく貢献したのは、顕微鏡を用いる石炭組織学的手法によつて原料石炭の特性を判定して配合条件を決め、さらにコークス品質を予測する方法が普及したことであろう。その結果、原料石炭の選択範囲が拡大し、これら多様化した原料石炭の有効使用条件が確立され、製鉄エネルギーの削減に貢献できた。また、石炭の液化、ガス化研究、炭素材料科学など、関連分野の進歩の波及効果として、新しい研究方法や解析方法が導入されたことは、今後の進歩を期待させる要因

表 2.2.12 配合パラメータの組み合わせ

No.	石炭化度パラメータ	粘結性パラメータ
1	揮発分 (VM)	粘結力指数 (CI)
2	" ( " )	最高流動度 (MF)
3	" ( " )	全膨張率 (TD)
4	ビトリニット平均 反射率 (R <sub>0</sub> )	最高流動度 (MF)
5	強度指数 (SI)	組織平衡指数 (CBI)

表 2.2.13 原料炭特性と配合パラメータ

No.	時 代	原 料 炭	特 徴	適性パラメータ
1	昭和 21~25	日本炭主原料	石炭化度不足	VM-CI (石炭化度の若い劣質炭に検出力がある)
2	昭和 26~40	米国炭主原料	ほぼバランスのとれた配合炭	VM-MF, R <sub>0</sub> -MF (粘結炭に検出力がよい)
3	昭和 41~50	多銘柄輸入炭	同 上	SI-CBI (多銘柄特性化に有利である)
4	昭和 51~	不活性成分の多い多銘柄輸入炭	粘結性不足	SI-CBI, VM-CI などの総合化されたもの、または新しいパラメータ

として見逃せない。

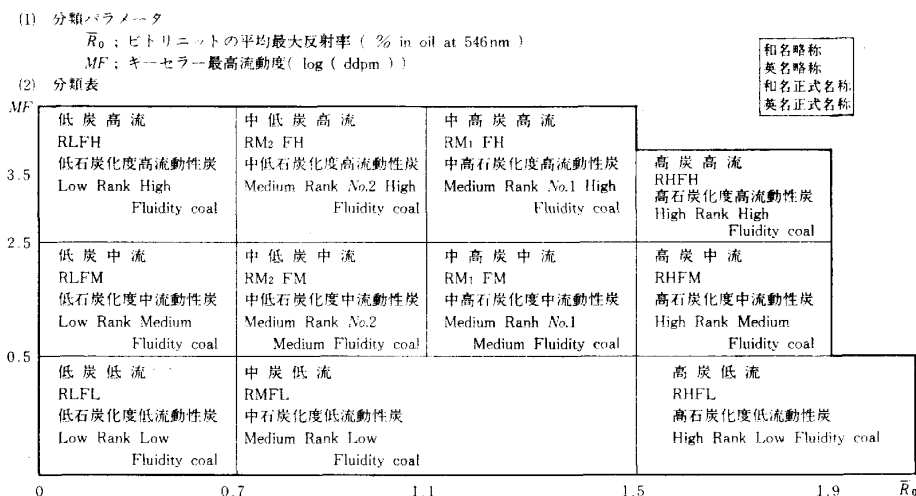
(a) 石炭の配合理論

わが国ほど多種類の石炭を世界各国から輸入して使用している国はほかに例がなく、そのため、これら多種類の石炭をいかにうまく配合して良質のコークスを製造するかが、コークス技術者に与えられた最大の使命の一つであつたし今後もそうであろう。

原料石炭は、経験的に石炭化度と粘結性の二つの特性パラメータで記述し分類されてきた。石炭を配合する場合も、これら 2 種類のパラメータの組み合わせを配合パラメータとして使用しており、表 2.2.12 に第 2 次世界大戦後わが国で使用されてきた代表的なものを示した。またこれらの配合パラメータは、それぞれ検出感度、簡便性、物理的意味に差異があり、したがつて原料石炭の粘結性の程度によつて適用されるパラメータが異なつている。

以上のことを考慮して、わが国におけるこれまでの原料炭事情を振り返つてみると、各時期に対応して適正とみなされるパラメータを考えることができ、表 2.2.13 に整理して示した。この表の中で、第 1 次石油危機直後の原料石炭入手難時代には、性質のかなり異なつた石炭を区分して使いわける必要があつたため、その目的に適うものとして有機鉱物としての石炭を鉱物学的方法すなわち顕微鏡を用いる石炭組織学的方法で分析する方法が導入された。この方法は、ヨーロッパでは戦後早くより研究され、わが国でも一部の会社などでは昭和 20 年代より研究されていたが、とくに組織成分を定量するのに時間がかかりまた個人差も大きかつたのであまり普及していなかつた。しかし、昭和 48 年頃より新日鉄では自動測定装置を開発してこの要請に対処した。その後、第 2 次石油危機後になると自動測定装置は国内各社 (住

表 2・2・14 原料炭新分類法 (大分類)



金、鋼管、三菱化成)でも開発され、石炭品質の評価や配合決定に用いられるようになった。組織学的方法による石炭の品質パラメータの代表的なものは、石炭化度を表す  $\bar{R}_0$ (石炭の主成分であるビトリニットの平均反射率) および  $TI$ (石炭中の全不活性成分量) であり、鉄鋼協会共同研究会コークス部会においても、これらの新しい品質パラメータを用いた原料炭分類法を昭和 58 年 2 月に制定した (表 2・2・14 参照)。また、昭和 54 年には組織分析方法に関する JIS (M8816) が制定されている。

組織学的パラメータには、このほかに、石炭中の活性成分 (加熱した場合に軟化溶融し粘結する成分) から形成されるコークスの強度を表す指数 ( $SI$ , 強度指数) と、不活性成分量を、最高コークス強度をうるために必要な最適不活性成分量で割った値 ( $CBI$ , 組織平衡指数) の二つがあり、それぞれ顕微鏡で測定した組織分析値と実験的に求めたコークス強度値に基づく係数を用いて算出される。 $SI$  と  $CBI$  を用いてコークス強度を推定する方式は、*I. I. AMOSOV* ら (1957) および *N. SCHAPIRO* ら (1961) によつて提案された方法であり、わが国でも昭和 46 年頃から各社で検討され種々問題点が指摘されたが、48 年頃より前述の自動測定装置の開発とあいまつて一部ではこの方式を修正し原料炭の購入、作業所間の配分、配合決定などに利用されている。

このようにして、石炭組織学的方法の導入により、多種類にわたる原料石炭の特性がかなり明確に把握されてきた。その結果、豪州炭、カナダ炭など不活性成分の多い石炭を主体とした配合炭からでもすぐれた品質のコークスを製造しうる事が理解されるに及んで、従来一部でいわれていたいわゆる L 米信仰 (低揮発分米国炭がないと良いコークスとはできない) は完全に崩壊したといつてよい。

昭和 40 年代後半において必要であつた石炭の量の確

保と、その後の選択範囲の拡大の観点から、一般炭 (非粘結炭) および粘結材 (石油系 PDA, ASP, 石炭系 SRC など) 利用研究および実用化が行われた。これに関連して、品質評価や配合パラメータについて各種の研究が行われたが、いまだ十分な結論がえられたとはいえない。今後、成型コークスの開発研究など一般炭利用技術の展開とともに、さらに信頼性の高い配合基準設定方式の開発が期待される。

石炭の配合理論は、昭和 40 年代までを第 1 世代、組織学的方法の導入以後を第 2 世代とすると、今後は一般炭、粘結材なども含め、次項でのべる乾留モデルへ取り込める機能をもつたいわゆる第 3 世代の配合理論の確立へ向かつて研究が進められつつあるといつてよいであろう。

(b) コークス炉の乾留モデル

コークス製造工程の各種要因の相互関係がトータルシステムとして数式モデル化され、指定された品質のコークスの必要量を製造するため、コンピュータを使用した無人運転ができるようになることが将来の理想であるが、現状は技術的困難が多いため他の工業分野に比べかなりおけている。これは、石炭が非常に複雑な化合物であり、またコークス化過程が多くの変因を含んだプロセスであるからである。コークス炉炭化室の伝熱モデルは、これまでも省エネルギーの観点などからすでに検討されていたが、上述のような目的に用いる数式モデルでは、伝熱のみでなく乾留反応や生成コークスの品質指数を取り込んだものが必要である。その基本となるのは、石炭の乾留機構の解明であり、このために昭和 50 年代になつてコークス生成機構に関する研究が次第に活発になつてきた。この中で、石炭粒子の結合機構に基づいたコークス強度推定法 (川鉄) や、炭化室における伝熱と品質の状況を炉幅方向の 1 次元モデルとして計算す

表 2.2.15 成型炭設備設置状況

会 社	対象コークス炉	成型炭製造能力		結 合 剤	稼 動 開 始
		日産〔t/日〕	成型機〔t/h〕		
新 日 鉄	戸 畑 No. 3, 4	1 100	30×2	ソフトピッチ	昭和46年11月
"	" No. 2, 5	1 200	30×2	"	50 8
"	大 分 No. 3, 4	2 400	40×3	"	52 4
新 日 鉄 化 学	君 津 No. 4, 5	2 900	40×4	"	51 10
鋼 管	福 山 No. 3, 4	3 000	25×6	PDA	50 9
"	扇 島 No. 1, 2	2 000	35×3	PDA	56 2
住 金 化 工	和 歌 山 No. 3, 4, 5, 1, 2, 6	1 700	60×3	ロードタール	50 5
"	鹿 島 No. 1, 2	4 700	50×5	ASP+コールタール	50 10
関 西 熱 化 学	加 古 川 No. 1~4	3 000	60×3	PDA	51 11

ることによつて、コークス品質の推定を行う乾留モデル(住金)などがすでに報告されており、今後さらにこの分野の研究が加速されることが期待される。

#### (c) コークスの熱間性状

昭和40年代に実施された高炉解体調査結果によつて、コークスの熱間性状の重要性がクローズアップされ、各種の研究が活発化してきたのがこの10年間の特徴である。大別すると高炉内におけるコークスの挙動や炉内反応などの観点からの研究(これについては、2.1.2でのべられている)、およびコークス製造の立場からの研究にわけられる。

熱間性状の内容や試験法についても数多くのものが提案されているが、とくに高炉操業との関連で注目されているのはCO<sub>2</sub>反応後強度である。これは、高炉シャフト部のソリューションロス反応帯においてCO<sub>2</sub>反応を受けたのちの塊コークスの強度を測定するもので、新日鉄広畑より昭和49年に提案された試験法による指数(CSR†)が測定法の簡便なこともあつて各社で使用されている。

熱間性状の推定法や熱間性状のすぐれたコークスの製造技術開発についても種々試みられているが、いまだ普遍性のある結果はえられていない。

#### (d) 研究活動

コークス製造技術の発展のためには、これまでの経験主導型から理論主導型への脱皮が必要であり、各種の学協会における基礎的研究が活発化してきている。鉄鋼協会共同研究会コークス部会活動のほか特定基礎研究会の中に、昭和52年より原料炭の基礎物性部会、さらに57年には石炭のコークス化特性部会が設置され、石炭の基礎物性、乾留機構、コークスの反応機構などに関する研究が行われ、数々の新しい知見がえられつつある。また、燃料協会、炭素材料学会、応用石炭組織研究会、

学振117委、学振148委などにおいても、石炭、コークスに関連のある基礎研究結果が数多く報告されている。

石油危機後とくに活発化した石炭転換技術(液化、ガス化)や炭素材料科学の進歩による波及効果として、これら分野の新しい手法や解析法が、石炭やコークスの構造、性質、反応の研究へ導入され効果をあげていることも最近の特徴である。

また、ごく最近の動向として製鉄会社が化学事業分野へ本格的に事業拡大をはかりつつあり、その際の主原料となるコークス製造副成品(ガス、タール)の性質、収量や、生成機構について基礎的研究が開始されており、コークス炉を化学原料製造装置とみる認識論が生まれつつあり今後の発展が期待されている。

#### (3) コークス製造技術の発展

##### (a) 成型炭配合コークス製造法

昭和40年代後半、世界の鉄鋼需要の増大に伴つて原料炭の需給は極度に逼迫した。これに対応する技術として昭和46年に新日鉄八幡で実用化された本法は昭和50年代に入ると各社に広く普及し、石炭利用範囲を拡大する資源対応技術の主流となつた。表2.2.15に本法設備の設置状況を示す。本法によるコークス製造は高炉用コークスの約40%を占めるに至つた。

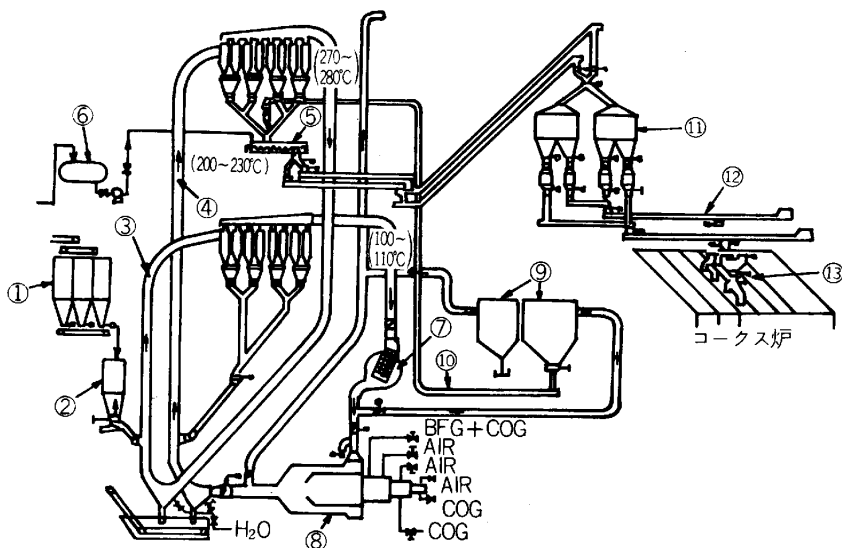
約30cm<sup>3</sup>/個の大きさの成型炭を装入炭中に30%配合することによつてドラム強度(DI<sup>150</sup>)で2~4%向上し、非粘結炭約20%の使用が可能である。

今後の課題としては、非粘結炭の成型炭への集中配合も含めて、装入炭性状に適合した配合技術の最適化と成型炭製造コストの低減が挙げられる。

##### (b) 予熱炭装入法

石炭の乾燥装入法については昭和43年に鋼管福山で実用規模で操業された経緯があつた。昭和40年代後半、欧米では、予熱炭装入法の実用化が進められ、注目を集めるところとなつた。すなわち、Coaltek法、Thermo-charge法およびPrecarbon法である。いずれも石炭を

† Coke Strength after CO<sub>2</sub> Reaction, 会社によつて呼び名は多少異なっているが、測定方法はほぼ同じである。



- ① 湿炭バンカー
- ② 湿炭フィーダー
- ③ 乾燥塔
- ④ 予熱塔
- ⑤ 混炭機
- ⑥ 添加物タンク
- ⑦ 循環ガスブロワー
- ⑧ 燃焼室
- ⑨ 電気集じん機
- ⑩ 微粉炭チェーンコンベヤー
- ⑪ 中間貯蔵槽
- ⑫ 炉上チェーンコンベヤー
- ⑬ バギー (装入車)

図 2.2.30 Precarbon 法工程図 (新日鉄室蘭 No. 6 コークス炉)  
(燃料協会: 第 69 回コークス特別会講演要旨, p. 9)

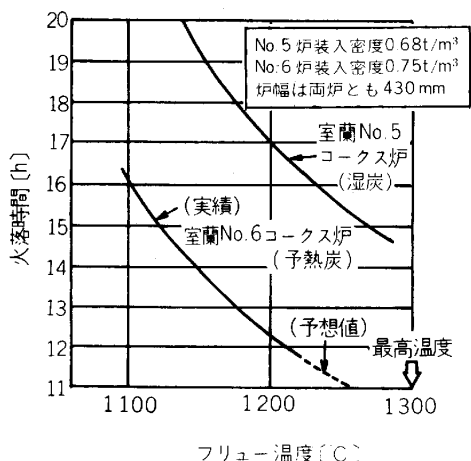


図 2.2.31 フリュワー温度と火落時間の関係  
(燃料協会: 第 69 回コークス特別会講演要旨, p. 13)

約 200°C に予熱してコークス炉に装入するもので、乾留速度と装入嵩密度が大幅に向上し、コークス強度と生産性の大幅向上が期待される。石炭のハンドリングは乾燥からコークス炉装入まで密閉構造の設備によって行われるため環境上の問題も解決される。

昭和 54 年新日鉄室蘭 6 コークス炉に西独 Bergwerksverband G. m. b. H と Didier Engineering G. m. b. H 両社によって開発された Precarbon 設備が稼働した。石炭は乾燥塔と予熱塔の 2 塔によって流動乾燥・予熱され、チェーンコンベアとバギー車によってコークス炉に装入される。図 2.2.30 に本法の設備フローを示す。

操業結果からコークスドラム強度 (DI<sup>100</sup>) が 4~6% 向上し、非粘結炭約 25% 使用可能であり、図 2.2.31 からうかがえるように火落時間が短縮され、装入炭密度向上と合わせ、生産性も 35% 以上向上するといわれている。

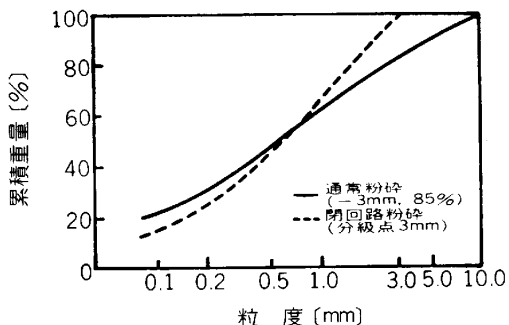


図 2.2.32 通常粉碎および分級粉碎装入炭の粒度分布  
(燃料協会: 第 68 回コークス特別会講演要旨, p. 26)

(c) 石炭分級粉碎法

装入炭粒度の均一化によってコークス強度の向上を図る選択粉碎法は古くは SOVACO 法として知られ昭和 46 年には住金化工和歌山で電熱篩を使用した選択粉碎法が稼働し成果を取めた。昭和 54 年新日鉄広畑では、それまで石炭篩分けのネックとなっていた湿炭での大型篩分機の開発に成功し、石炭分級粉碎法の実用化に成功した。本法によれば銚柄ごとの 2 段分級粉碎によって、装入炭粒度幅の縮小及びイナータ成分の細粒均一分散化が図られコークス組織が均質化し、コークス強度が向上する。ドラム強度 (DI<sup>100</sup>) で約 1.2% 向上し、非粘結炭を 5~10% 使用可能である。図 2.2.32 に装入炭粒度分布の例を示す。

(d) 石炭調湿法

本法は石炭乾燥の熱源にコークス炉の排熱 (上昇管での COG 頭熱及び煙道排ガス頭熱) から回収された熱を利用して点及び装入炭水分を一定水準にコントロールする点に特徴がある。昭和 58 年新日鉄大分で稼働した。本法はコークス炉の排熱回収技術と利用技術の組み

合わせ技術である。煙道での熱交換器で排ガス顕熱を回収した熱媒は上昇管立管部の熱交換器で発生ガス顕熱を回収し、ドライヤーにて石炭の調湿に使われる。

操業実績によれば、装入炭水分は9%から5%に調湿され、乾留熱量は約15%低減し、ドラム強度(DI%)は約1.5%、生産性は約10%それぞれ向上している。本法のプロセスフローを図2.2.33に示す。また表2.2.16に熱バランスを示す。

(e) 人造粘結材

原料炭対策の一つとして装入炭の粘結性を補填して、コークス強度を改善する目的で粘結材の研究が行われている。この粘結材は石炭系と石油系に大別される。石炭系は、特に近年盛んに研究されている石炭液化の第一段

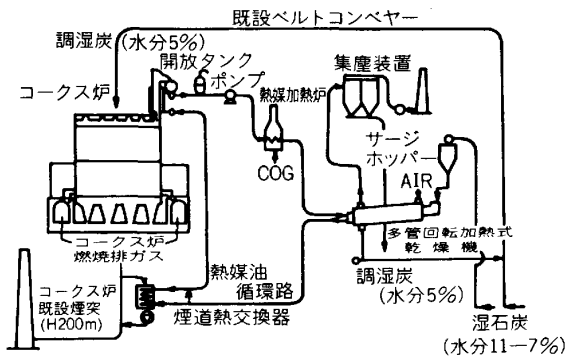


図 2.2.33 調湿プロセスフロー  
(日本鉄鋼協会共同研究会：第28回コークス部会 (1984年6月) 新日本製鉄(株)(私信))

表 2.2.16 熱 バ ラ ン ス

(日本鉄鋼協会共同研究会：第28回コークス部会 (1984年6月) 新日本製鉄(株)(私信))

(単位 kcal/h)

排熱回収量	No.1 CO 上昇管熱交	$3.90 \times 10^6$	乾燥機	水分11%	$18.07 \times 10^6$
	No.1 CO 煙道熱交	$4.95 \times 10^6$			
	No.3 CO 煙道熱交	$5.44 \times 10^6$			
	回収量計	$14.29 \times 10^6$			
熱媒加熱炉		$3.95 \times 10^6$	熱源合計		$4.37 \times 10^6$
熱源合計		$18.24 \times 10^6$			

階として産出されるものでSRC(溶剤精製炭)といわれている。SRCの生産ははまだパイロットプラントによる研究段階である。石油系アスファルトを原料とする粘結材の中ではユリカ法による特殊ピッチ(ASP)が昭和51年より実用化され住金化工和歌山、鹿島で使用され、特に和歌山では成型炭配合法との併用で非粘結炭26%使用の実績を出している。

粘結材添加法は、今後の資源状況によつて、粘結性が大幅に低下した場合にはコークス品質改善の有効な方法として注目されよう。

(f) 連続式成型コークス製造法

非粘結炭の多量使用(70-80%)が可能である成型コークス法は、従来から国内外で開発努力が払われてきた。それは本技術が、石炭資源対策のほか、省力化や作業環境対策あるいは生産弾力性等に対しても優れた技術と考えられてきたからである。

このような背景の中で、昭和53年「連続式成型コークス製造技術の開発」が国の開発プロジェクトとなり、それまで新日鉄で研究されてきたプロセスをベースに鉄鋼連盟として共同研究(4社)を進めることになった。55年から58年にかけて200t/日(コークス)のパイロットプラントを新日鉄八幡(戸畑地区)に建設した。59年度以降61年度まで操業試験と高炉での使用試験が行われる。パイロットプラントの建設、操業と平行して、石炭資源に関する調査、プロセスの改善に関する研究及び高炉使用面からの評価、研究が推進されている。

本プラントの特徴としては、①コークス炉は連続装入排出方式の直方型シャフト炉であること、②加熱熱媒体としてCOGを用いていること、③加熱ゾーンが低温、高温の2段加熱となつていること、④コークス炉は炉長を除き実機規模ディメンジョンであること、⑤成型炭は冷間成型であること等である。プロセスフローを図2.2.34に、乾留炉プロフィールの概念を図2.2.35に示す。次世代の新コークス製造技術として国内外各方面か

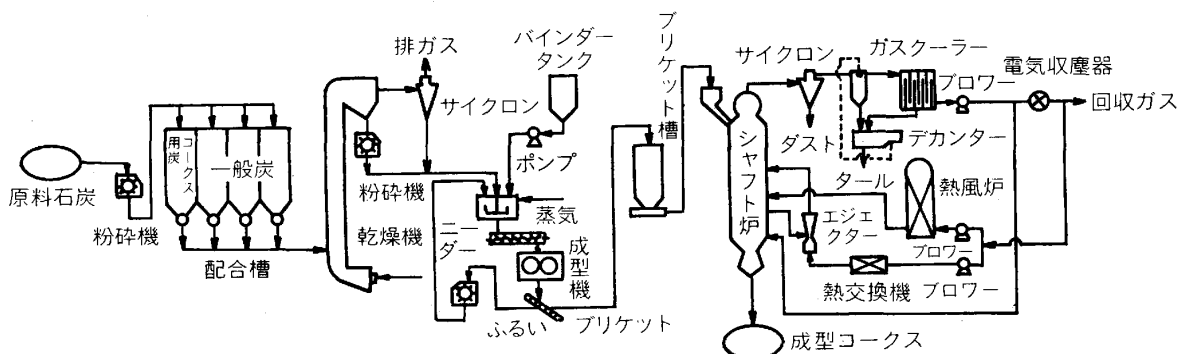


図 2.2.34 成型コークス製造プロセスの概略図  
(燃料協会：第68回コークス特別会講演要旨, p. 45)

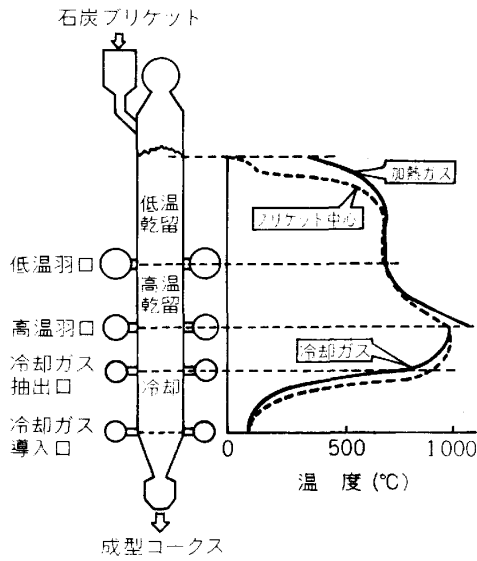


図 2.2.35 乾留炉プロフィールの概念図  
(燃料協会：第 68 回コークス特別会講演要旨, p. 44)

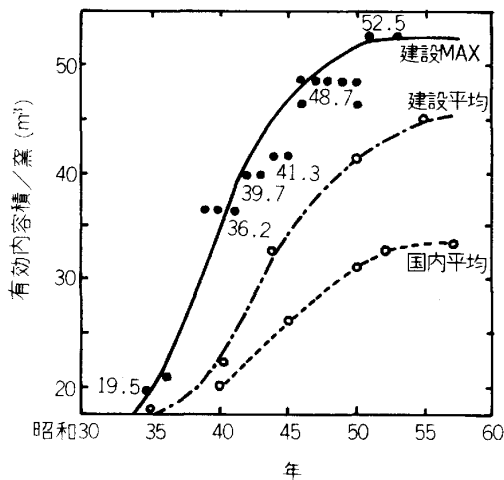


図 2.2.36 コークス炉窯有効内容積の推移  
(燃料協会誌, 61 (1982) 666, p. 837)

ら注目されている。

(4) 設備

設備面でのこの 10 年間の進歩は、前半期におけるコークス炉の大型化、コークス炉回り移動機械の自動化と作業の機械化及び燃焼管理の自動化等の省力化、システム化の進展、並びに CDQ 設備を中心に省エネルギー設備の急速な普及が特筆されよう。また第一次石油危機後の資源対策として成型炭設備が昭和 50 年代初めに集中して設置された。

(a) コークス炉

昭和 40 年代の高炉の大型化の歩みと同じくしてコークス炉の大型化も急速に進歩したが、石油危機による鉄鋼生産量の伸びなやみでコークス炉の建設も昭和 50 年代初期ではぼ一巡した。しかし、この時期に建設されたコークス炉は炉高 7 m を超え、51 年に稼働した鋼管京

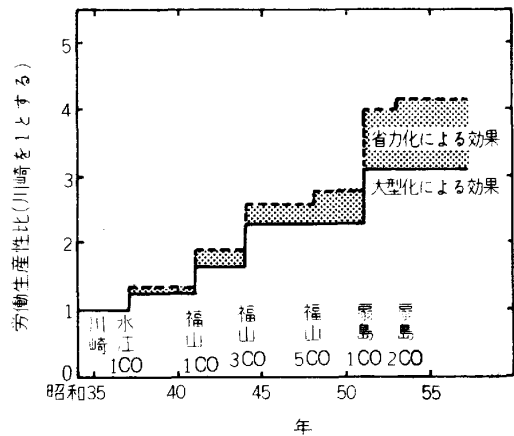


図 2.2.37 鋼管における新設炉の労働生産性の推移  
(C. D. Q. 要員を除く)  
(燃料協会誌, 61 (1982) 666, p. 838)

浜のコークス炉 (カールスチール式) は炉高 7.5m 有効内容積 52.5 m<sup>3</sup> であつた。これは現在稼働しているコークス炉の中では世界最大である。58 年度末に稼働しているコークス炉 66 炉団中 38 炉団が炉高 6 m 以上の大型炉となつている。図 2.2.36 にコークス炉の大型化の推移を示す。

コークス炉の大型化に伴つてコークス品質管理や燃焼管理の面から最も重要な点は炭化室の均一加熱である。とりわけ、炉高方向の均一加熱性が重要であり、上記コークス炉の大型化は多段燃焼や廃ガス循環等の燃焼室構造の改善と高密度珪石れんがの採用や炉壁壁厚のくふうで達成した。

(b) 設備の自動化とシステム化

コークス炉の大型化に伴つて、炉作業の負荷も増大し、その管理も困難となつてきた。一方で作業環境問題の解決、要員の確保あるいはいつその生産性向上等のニーズを背景として、周辺要素技術の進歩とあいまつて、コークス炉の移動機械並びに作業の自動化機械化が急速に進歩した。図 2.2.37 に鋼管における生産性向上の推移例を示す。

また、この 10 年の大きな特徴の一つにコンピュータを駆使した制御システムの導入が挙げられる。

自動化システムの一つはコークス炉燃焼管理の自動化システムである。本システムは昭和 48 年鋼管福山で最初の実用化に成功した (4.7.2 項図 4.7.4 参照)。以来、乾留熱量の低減という省エネルギー面からの強いニーズがあつて各社とも独自のシステムを開発し、実用化が急速に進められてきた。これによつて、従来の目視による炉温測定、火落時間の判定及び排ガス分析とこれらの測定結果に基づく手動調節による入熱量や排ガスの管理が検出端等の計装装置とコンピュータによる自動制御に替わつてきた。

すなわち、燃焼管理の自動化によつて、炉団単位の炉温一定制御あるいは火落時間（乾留時間）の一定制御が可能となり、窯単位にも窯ごとの情報にもとづく管理ができるようになってきている。また、窯内（フリー列内）温度分布も押し出し機の押し出しビーム先端に取り付けた温度計による炉壁面温度測定やコークガイド車格子部での通過赤熱コークスの温度測定によつて、把握することができ、窯内管理が行われる。

このシステムは燃焼管理のみに止まらず、コークス炉作業や操業全般の情報処理にも用いられており将来のコークス工場全体のシステム化の中核をなすものと思われる。表 2・2・17 に本システムの実施状況を示す。

自動化の二つめは、炉回り機械の自動遠隔制御化である。最新のコークス炉では、炉回り移動機械の自動走行、定位置停止、蓋脱着及びその他の諸操作工程の自動操作が中央制御室より統括制御される集中制御方式が採

用されつつある。これは、従来の各移動機械での作業の機械化、自動化技術を一步前進させたものであり、すでに、装入車、コークガイド車及び消火電車の無人化の域にまで到達しており、将来の中央制御室からのリモートコントロール化への発展が期待される(図 2・2・38 参照)。

コークス炉の自動化の今後の課題は、各機械の作動の精度と信頼性の向上、及び炉壁状況等の炉内情報を正確

表 2・2・18 コークス炉自動化・機械化状況(昭和 57 年)  
(日本鉄鋼協会共同研究会：第25回コークス部会(1982年11月)(私信))

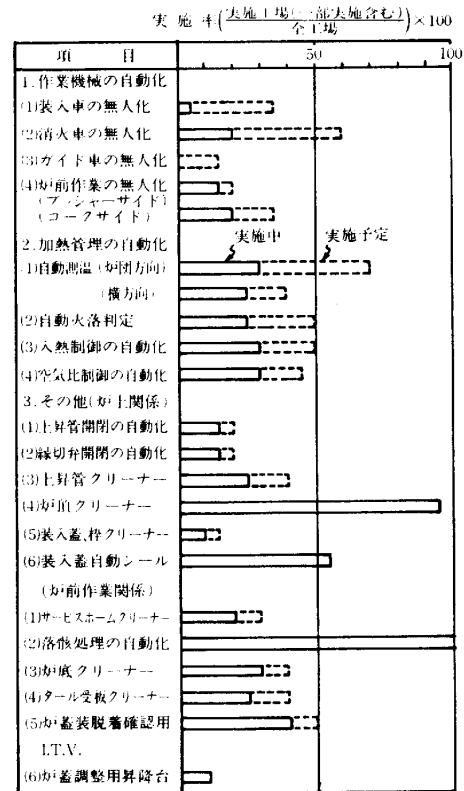


表 2・2・17 燃焼管理の自動化状況(昭和 59 年末)

会社	作業所	コークス炉	備考
新日鉄	八幡	全炉	
	広畑	"	
	名古屋	"	
	君津	"	
	大分	"	
	室蘭	"	(建設中)
鋼管	京浜	全炉	
	福山	No. 5	
川鉄	水島	全炉	
住金化工	鹿島	No. 2 D	
三菱化成	黒崎	No. 1, 2	

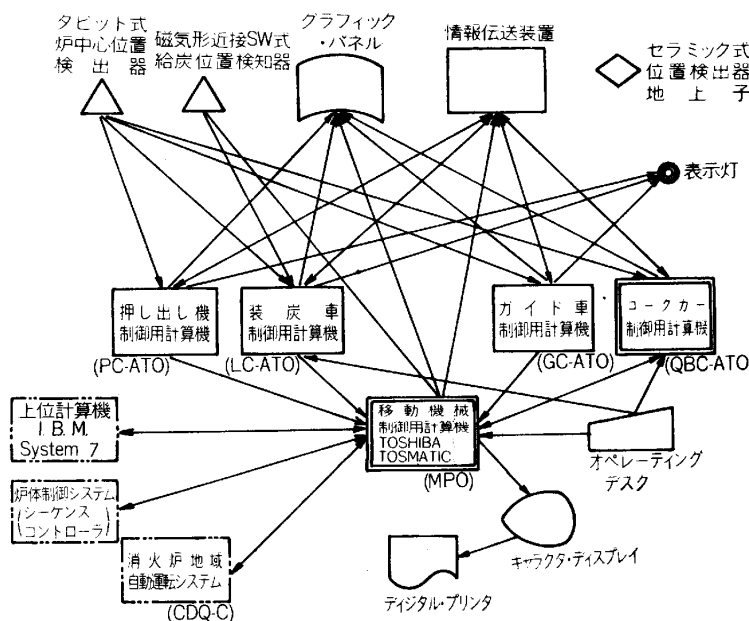


図 2・2・38 移動機械の総合自動運転システム(扇島)

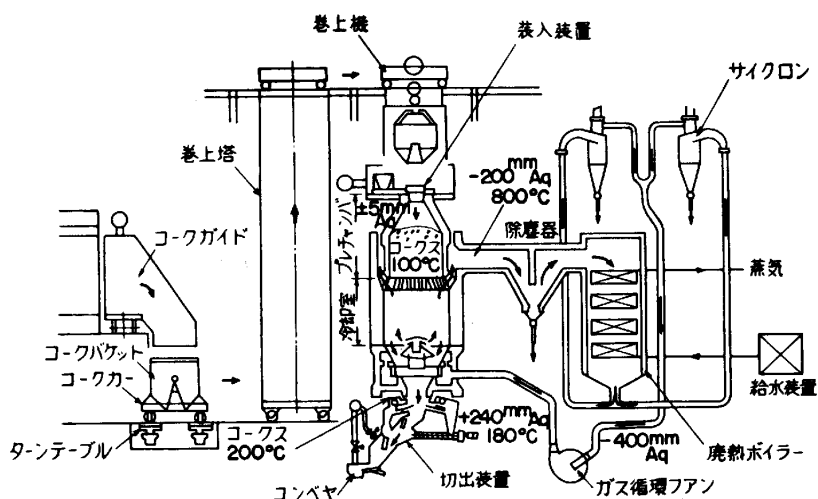


図 2.2.39 CDQ 設備のフロー (扇島)  
(桐谷：第 59・60 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編)(1979), p. 212)

表 2.2.19 日本における CDQ 設備一覧

(燃料協会：コークスサーキュラー, 31 (1982) 4, p. 264 等)

会 社	新 日 鉄					鋼 管		川 鉄			住 金		
	八 幡	室 蘭	名 古 屋	君 津	広 畑	京 浜	Na 2	千 葉	水 島	Na 3,4	鹿 島	Na 2A,B	
製 鉄 所	八 幡	室 蘭	名 古 屋	君 津	広 畑	京 浜	Na 2	千 葉	水 島	Na 3,4	鹿 島	Na 2A,B	
炉 団 No.	No. 2	No. 5	No. 4	No. 1~3	No. 3,4	No. 1	No. 2	No. 6,7 A	No. 3~5	No. 3,4	No. 2C,D	No. 2A,B	
稼 働 開 始 (年・月)	1976.2	81.2	82.2	(82.10 83.8 82.12)	83.11	76.9	79.7	77.1	81.2	83.9	81.12	84.1	
能 力 × 基 (t-コークス/h)	56×1	108×1	129×1	95×3	110×1	70×5	70×3	56×3	100×2	110×2	120×1	120×1	
CDQ 仕様	プレチャンバー容量 (m <sup>3</sup> )	150	180	220	200	220	280	280	120	280	299	500	480
	冷 却 室 容 量 (m <sup>3</sup> )	250	330	430	370	390	330	330	250	480	506	667	750
	ボ イ ラ ー 能 力 (t-蒸気/h)	25	50	63.5	50	55	38.5	46.5	30	54	65	54.5	54.5
	循 環 ガ ス 量 (×10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /h)	98	140.25	161.2	130	137.5	105	105	90	150	165	180	180
蒸 気	圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	40	68	115	93	35	20	16	21	52.5	99	100	100
	温 度 (°C)	440	490	530	520	425	280	260	228	436	330	545	545
	回 収 エ ネ ル ギ ー	蒸 気	電 力	電 力	電 力	電 力	蒸 気	蒸 気	蒸 気	電 力	電 力	電 力	電 力

(建設中のもの新日鉄名古屋-1,2 炉, 大分-3,4 炉, 鋼管福山-4 炉)

に検出し、制御にフィードバックすることである。表 2.2.18 にコークス炉の自動化状況を示す。

自動化の三つは、配合管理を中心とした選炭工程の自動化である。配合の計算、配合作業の自動化、ヤードの在庫管理、あるいはヤードからコークス炉までの輸送の遠隔自動運転が行われており、最近川鉄では石炭の性状に合わせた最適粒度管理のための粉碎機のコンピュータ制御も行われるようになった。

(c) 省エネルギー設備

石油危機後のエネルギーコストの上昇はコークス炉における省エネルギーのための設備化や技術開発を強力に推進するもととなった。主な省エネルギー設備としては第一に CDQ 設備が挙げられる。コークス炉全熱消費量の約 40% に相当する赤熱コークスの顕熱を回収するもので、鉄鋼業における最も効果的な省エネルギー設備

と言える。一方では、コークス品質の向上や環境対策にもなり、昭和 50 年代に最も普及し、顕著な効果を挙げた省エネルギー対策である。図 2.2.39 に設備フローを示す。

昭和 58 年度末で稼働している CDQ 設備は 24 基にのぼり、建設中のものを入れると 27 基にも達する。表 2.2.19 に CDQ の設置状況を示す。これらの CDQ コークスは高炉用コークスの約 35% に相当しており、その年間の回収エネルギーは約  $7 \times 10^3$  Tcal/年 (能力ベース) にも達する。

昭和 51 年にソ連 LIT から導入された CDQ 設備は、初期にはプロセス蒸気をつくるのが主であつたが、最近ではほとんどが発電用の高圧蒸気をつくっている。また、設備能力もソ連オリジナル 56 t/h (コークス処理) から順次大型化され、昭和 59 年度に稼働している設備



では、住金鹿島の 120 t/h 及び新日鉄名古屋の 129 t/h が世界でも最大である。また、建設中のものでは新日鉄大分の 150 t/h へと大型化による建設コスト低減が図られてきた。

一方、可燃分を含む放散ガスの回収、装入排出装置の改善あるいはボイラー後のサブエコマイザーの設置等々 CDQ 設備の効率改善努力が続けられ、コークス t 当たりの蒸気回収量も初期の概略 420 kg/t-コークス (780 kcal/kg-蒸気) から 510 kg/t-コークスへと大幅に向上してきてきた。

CDQ 設備で徐冷処理されたコークスは湿式消火の場合のコークス表面の水性ガス化反応による多孔化や急冷によるき裂の発生等が防止でき、さらに炉内でのスタビライズによりコークス品質は向上している。すなわち、ドラム強度 (DI<sup>100</sup>) で約 2%、熱間強度 (CSR) で約 2% の向上が見られる。一方では炉内での粉の発生は増加して、湿式法に比べ高炉前までで約 2% 粉率増となっている。

第二の省エネルギー設備としては、上記項で述べたコークス炉の燃焼管理の自動化である。この自動化システムによつて 20~25 × 10<sup>3</sup> kcal/t-石炭の省エネルギーが可能である。これは乾留熱量の約 4% に当たる。

第三の省エネルギー技術として今後注目されるものにコークス炉の赤熱コークス顕熱以外の排熱の回収とその利用がある。先に述べた石炭調湿設備もその一つであるが、排エネルギーの効率よい回収と利用技術の確立が今後の大きな課題であろう。

その他、集塵ブロワーの回転数制御による省電力を始め精力的な省エネルギー活動が展開されてきた。

### (5) 操業

昭和 50 年代における操業上の最大の特徴はコークス炉の低稼働率問題であった。低成長への鉄鋼環境の変化はコークス炉の能力の大幅な余剰をもたらした。コークス炉の稼働率は昭和 49 年の 128% から 57 年末の 110% へと未曾有の低稼働率へと低下し、57 年末には稼働率 100% 未満のコークス炉が 40% を占めるに至った。第 2 次石油危機以降の 55 年から現在まで 6 炉団のコークス炉が休止した。

昭和 40 年代がコークス炉の最高稼働率の限界について議論されたのとは反対に、50 年代はコークス炉の稼働率低下技術が重要な課題となった。これは、余剰コークスの積み上げ防止、炉温低下による乾留熱量の低減あるいは、傾斜生産による収益性の向上等々超低稼働率下におけるコスト切り下げへの挑戦であった。コークス炉端フリー温度の昇温、温度ばらつきの低減及び炉体補修技術の改善並びに作業の安定化等操業技術の向上によ

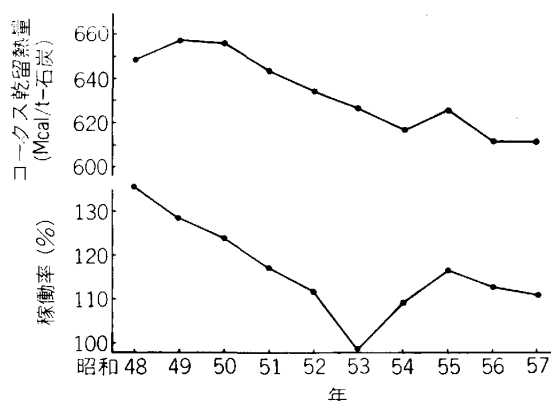


図 2.2.40 コークス炉の稼働率及び乾留熱量の推移

つて、コークス炉の最低稼働率の許容限界は従来の認識より 20~30% も低下した。コークス炉の稼働率の推移を図 2.2.40 に示す。この間、昭和 52 年~54 年には、新日鉄八幡で 6 カ月、名古屋で 1.5 年の保温バンキングも行われた。コークス炉は一度冷却すると再稼働は困難であり、また保温バンキングでも費用は高く、コークス炉の稼働率の低減を指向してきた。

このような情勢を背景に、コークス炉休止のタイミングに合わせて、従来の常識を超えた、超低稼働率 (超低温乾留) 試験が住金化工と歌山、鋼管福山及び新日鉄八幡、室蘭で実施された。その結果から、稼働率の下限は炉体管理の面から 75~80% (440~400 mm 幅) と考えられる。

その他、これらの試験結果からは炉体への炉温低下の影響のほか副産物品質やコークス品質への影響についても明らかにされた。

コークス乾留熱量は、コークス炉の燃焼管理の自動化の普及、石炭ヤードの防水コーティング並びに炉体補修を含む操業技術の改善で逐次低下し、昭和 58 年末には約 605 × 10<sup>3</sup> kcal/t-石炭 レベルとなった。

図 2.2.40 に乾留熱量の推移を示す。

一方、昭和 30 年代後半に稼働したコークス炉は炉令 20 年を超えており、いつその炉体維持技術あるいは炉命延長技術が必要となつてきている。従来の湿式モルタル吹付補修法に代わる熱間溶射補修技術が昭和 53 年新日鉄で開発され、実機化されている。

また熱間での炉壁れんが積替え補修については、新日鉄釜石において 17 窯に及ぶ奥行き 6 フリュー (3.9 m<sup>H</sup> × 3 m<sup>L</sup>) の大規模な補修が昭和 57 年に実施されている。

これらの補修技術や操業技術の進歩によつてコークス炉の炉命は 30 年あるいはそれ以上といわれるようになった。

コークス生産量の低下による原料炭需給のゆるみや成

型炭配合法等のコークス品質改善技術の大幅な採用によつて、コークス品質は良好に推移した。

原料炭の構成は米国炭中心から豪州・カナダ炭への傾斜を強める一方、銘柄の多様化によつて石炭の組織成分、流動性等の性状が大きく変わつてきた。

今後の原料炭の動向をみると、昭和 58 年より入荷してきたカナダ、オーストラリアの新規炭及び 60 年後半より入荷が予想されるソ連の新規炭の増加による配合炭性状への影響に十分留意していく必要がある。

#### (6) むすび

昭和 30 年代後半に建設されたコークス炉は次の昭和 60 年代後半にリプレースの時期を迎えることになり、次期の新しいコークス製造技術が期待されている。まず第一にコークス炉の大型化高性能化が挙げられよう。西独マンネスマン社ではすでに、炉容  $70 \text{ m}^3$  のコークス炉（従来の  $4 \text{ m}^3$  炉の 3.9 倍）が建設されており、炉幅は  $550 \text{ mm}$  である。また、西独ルーアコーレ社では炉幅  $600 \text{ mm}$  の大型炉が建設中であり、夜勤を割愛する 2 シフト生産が計画されている。

炉壁れんがの材質、薄壁化あるいは蓄熱室の高効率化等コークス炉は大型化とともに高性能化が図られていくものと思われる。第二には石炭資源の選択幅を拡大する、いわゆる資源対応技術としての石炭事前処理技術の進歩である。石炭の物性を十分に把握し、その特性を最大限に活用することが重要である。第 3 には石炭の加熱挙動の研究である。石炭の乾留メカニズムはいまだ十分に解明されていない。石炭の伝熱と物性変化及び石炭の溶融とコークス化等乾留機構の解明によつて、コークス性状の推定が可能となり、コークスの製造条件をも含む真の配合理論が確立されよう。これによつて、新しい製造技術のシーズも生じてくるものと期待される。第四には、コークス炉排エネルギーの高効率回収とその利用技術の発展である。CDQ による赤熱コークスの顕熱回収を除けばいまだ十分でなく、排熱の 60% が残されている。

一方、石炭乾留時に発生する COG やタール等の副産物は、総合素材産業を指向している鉄鋼業の化学事業分野における重要な原料としての役割を担いつつあり、今後この副産物評価を含めた総合的なコークス製造技術を指向していくものと考えられる。

未来のコークス炉として、室炉式コークス炉を超えて一般炭を主原料とする連続式成型コークス炉が鉄鋼連盟の共同研究としてパイロットプラントの操業を開始した。昭和 61 年度までに高炉使用評価も含めて研究されることになつており大きな期待が寄せられている。

## 2.3 高炉操業技術

### 2.3.1 概説

昭和 40 年代末期から 50 年代末期にかけての 10 年間にわたり、二度にわたる石油危機を契機とした経済変動に伴つて、高炉操業はそれ以前にはなかつたエネルギーの価値を主体とした大幅な操業形態の変遷を余儀なくされた。その時々ニーズに合った操業形態がとられるなかで、高炉操業技術もまた一段と進展した。これらの新しい技術としては以下に挙げるようなものがある。

### 2.3.2 低操業度操業

戦後一貫して進められてきた高炉の大型化は、昭和 50 年代初期にピークに達した（図 2.4.1）。 $4000 \text{ m}^3$  以上の超大型高炉の建設は、昭和 46 年の福山 4 高炉（ $4197 \text{ m}^3$ ）に端を発し、51 年鹿島 3 高炉（ $5050 \text{ m}^3$ ）、大分 2 高炉（ $5070 \text{ m}^3$ ）の出現を見るに至つた。しかし、これ以上の大型化は、巻き換え時の運営、経済性、生産に対する弾力性に大きなメリットは期待し難いと判断されたため、これらに続く大型化はなく、高炉の大型化は終了した。

昭和 40 年代末に総稼働基数中  $2000 \text{ m}^3$  以上の大型高炉は約半数の 46% であつたが、57、58 年には 70% 台となつた。また  $4000 \text{ m}^3$  以上では 40 年代末に約 10% であつたが、53 年には 30% 台に達した。一方、総稼働基数は 40 年代末の約 60 基から漸次減少し、58 年には 39 基となつた。これらは大型化とそれに続く大型高炉での操業の定着を示しており、高炉の大型化は生産性の向上と、各種原単位低減に大きく寄与した。

このような大型化の推進と大型高炉での操業の定着の中で生じた 2 度にわたる石油危機に伴う経済情勢の変化は、一転して減産操業を強いることになり、昭和 48 年には戦後最高の 2.04 に達していた出銑比も 58 年には 1.72 まで低下した。この間の高炉操業指標推移を図 2.3.1 に示す。

昭和 58 年までの 10 年にわたるこの長期減産は、当然、大型高炉での操業下における初めての経験であり、操業の弾力性に乏しいとされていた大型高炉における低操業度の維持に鉄鋼各社は多大の努力をはらうこととなつた。各社とも①トータルコストミニマム、②炉況安定化による銑鉄品質の確保、③健全な炉体プロフィールの確保、を共通の前提として低操業度操業に取りくんだ。操業度の低下に伴い、①ボッシュガス量の減少、②羽口先エネルギーの減少、③炉床熱の低下、④装入物滞留時間の増加、などに起因すると想定される各種の炉内状況