

1. 製 鉄

1.1 製鉄技術および理論の進歩

1.1.1 製鉄技術の進歩と展望

(1) 概 説

わが国の鉄鋼業は最近の10年間に飛躍的な発展をとげた。昭和35年のいわゆる所得倍増計画といわれた長期計画では、10年後の昭和45年の粗鋼生産高を4,800万tと想定していたが、この水準は早くも41年には突破され、その後も急激な拡張をつづけて、昭和48年には1億1,930万tとなり、米ソと並んで世界三大製鉄国となつてい

で、10年間に4.5倍に増加した。

この急成長の背景には、内外の鉄鋼需要が旺盛であつた事の他に資源を持たないわが国が、独特の臨海製鉄所方式を確立し、長期契約のもとに新規の原料炭、鉄鉱石資源の大規模開発と、大型専用船による輸送合理化を積極的に行い、新鋭大型製鉄所における操業技術の進歩と相まって、製造原価についても、先進製鉄国を凌駕する成果を収めた推移がある。

生産量の増加は、ほとんどが新立地の一貫製鉄所の建設によつて行われた。すなわち、39年名古屋、40年堺、41年福山、42年水島、43年君津、45年加古川、46年鹿島、47年大分と次々に稼働を開始し、引続いて増強が行われた。これらはいずれも純酸素転炉と、大容量の圧延

表 1.1.1 わが国および主要国の出鉄量の推移 (昭和38~47年)

(単位: 1,000M. T)

昭和年	日 本	アメリカ	西ドイツ	フランス	イタリー	ベルギー	オランダ	イギリス	スペイン
38	19,936	65,659	22,909	14,297	3,770	6,958	1,708	14,825	1,896
39	23,778	78,213	27,182	15,840	3,513	8,122	1,948	17,551	1,900
40	27,502	80,584	26,990	15,766	5,501	8,436	2,364	17,740	2,328
41	32,018	83,605	25,413	15,584	6,273	8,302	2,209	15,962	2,095
42	40,095	79,505	27,366	15,692	7,312	8,994	2,579	15,392	2,679
43	46,395	81,043	30,305	16,414	7,842	10,448	2,821	16,692	2,779
44	58,147	86,619	33,764	18,128	7,795	11,313	3,461	16,653	3,333
45	68,048	83,295	33,627	19,128	8,354	10,955	3,594	17,672	4,164
46	72,745	74,111	29,990	18,323	8,554	10,525	3,759	15,416	4,825
47	74,055	81,293	32,004	18,989	9,446	11,895	4,289	15,317	5,640
構成比%	16.5	18.2	7.2	4.2	2.1	2.7	1.0	3.4	1.3

昭和年	ソ 連	ポーランド	チェコスロバキア	中 国	インド	オーストラリア	カナダ	ブラジル	世界合計
38	58,691	4,993	5,254	12,000	6,603	3,682	5,366	2,323	272,400
39	62,377	5,268	5,716	13,000	6,593	4,049	5,934	2,487	308,200
40	66,200	5,375	5,869	14,000	6,952	4,292	6,409	2,538	325,700
41	70,264	5,611	6,269	14,000	7,041	4,741	6,543	2,889	336,800
42	74,812	6,327	6,822	15,000	6,889	5,056	6,296	2,963	353,400
43	78,788	6,554	6,921	15,500	7,295	5,628	7,605	3,349	378,600
44	81,635	6,734	7,009	15,500	7,388	6,108	6,769	3,717	408,500
45	85,933	6,984	7,548	16,500	6,990	6,148	8,282	4,205	427,500
46	89,254	7,186	7,961	19,000	6,672	6,128	7,816	4,686	423,200
47	92,400	7,423	8,361	21,000	7,250	6,501	8,495	5,299	447,600
構成比%	20.6	1.7	1.9	4.7	1.6	1.5	1.9	1.2	

表 1・1・2 世界の大型高炉

火 入	国	名	工 場	No.	炉床径 (m)	内 容 積 (m ³)
1964. 9	日	本	名 古 屋	1	9.8	2,021
1965. 3	日	本	千 葉	5	10.0	2,142
12	ソ	連	ジ ダ ー ノ フ	4	10.3	2,300
1966. 8	日	本	福 山	1	9.8	2,004
1967. 3	日	本	和 歌 山	4	11.0	2,535
4	"	"	水 島	1	10.0	2,156
6	"	"	名 古 屋	2	10.3	2,166
7	"	"	堺	2	11.2	2,620
11	ソ	連	ク リ ボ イ ロ グ	8	11.0	2,700
11	オ	ラ	ア イ モ イ デ	6	10.0	2,150
1968. 2	日	本	福 山	2	11.2	2,626
10	フ	ラ	ダ ソ ケ ル ク	3	10.2	2,100
11	日	本	君 津	1	11.5	2,705
1969. 1	日	本	水 島	2	11.5	2,857
2	"	"	和 歌 山	5	11.0	2,630
4	"	"	名 古 屋	3	11.7	2,924
4	ソ	連	チ エ レ ボ ベ ツ	4	11.0	2,700
5	日	本	戸 畑	3	10.5	2,338
7	"	"	福 山	3	11.8	3,016
10	"	"	君 津	2	11.6	2,884
11	ソ	連	ニ ー ズ ニ タ ギ ール	6	11.0	2,700
11	ア	メ	バ ー ン ズ ハ ー バ ー	1	10.6	2,427
12	日	本	和 歌 山	2	10.0	2,147
12	イ	タ	タ ラ ン ト	3	10.6	2,475
1970. 4	ソ	連	西 シ ベ リ ア	2	11.0	2,700
6	日	本	広 畑	4	11.0	2,548
7	西	ド	ル ー ロ ル ト	8	10.0	2,200
8	日	本	加 古 川	1	11.6	2,847
10	"	"	水 島	3	12.4	3,363
1971. 1	日	本	鹿 島	1	12.4	3,159
3	ソ	連	西 シ ベ リ ア	3	—	3,000
3	"	"	カ ラ カ ン	2	11.0	3,700
4	日	本	福 山	4	13.8	4,197
9	"	"	君 津	3	13.4	4,063
1972. 4	日	本	大 分	1	14.0	4,158
7	"	"	戸 畑	4	13.5	3,799
11	オ	ラ	ア イ モ イ デ	7	13.0	3,667
1973. 1	日	本	加 A.T.H. 古 川	2	13.2	3,850
2	ド	イ	ル シ ュ ベ ル	1	14.0	4,084
3	日	本	鹿 島	2	13.8	4,080
4	"	"	水 島	4	14.4	4,323
5	フ	ラ	ダ ソ ケ ル	4	14.0	4,526
11	日	本	福 山	5	14.4	4,617

設備を中心として構成されており、大量の溶鉄の確実な供給が工場運営の不可欠な条件であつた。設備調整下のシェア競争もあり、また合理化の有力な手段として、設備の単位生産能力の拡大が追求され、従つて高炉の新設に当つてはそのときの技術水準で自信のある最大の高炉が常に要請された。

最近10年間の製鉄関係で、特筆すべきことは、この要請にこたえて高炉は急速に大容量化に進み、今や日産10,000 tの炉も実現して、世界の大型高炉の上位をほぼ独占するにいたつたことである。操業成績においても世界の最先端にあり、大型高炉の設備、操業の技術を高く評価されて、欧米の鉄鋼先進国にすら技術輸出が行われるにいたつた。表1・1・3は39年と48年を比較して、10年間の進歩をいくつかの指標について対比したものである。これら進展の基礎となつた新技術は、すべて昭和30年代の後半までには出揃つていた。例えば、鉱石の整粒強化、自溶性焼結鉱の多量配合、ペレット配合、高温送風、高圧操業、複合送風などがかなり普及し始め、炉体構造、耐火物の選択、自動化設備、計算機の活用についてもいくつかの新機軸が出されていた。高炉の内容積は昭和37年火入れした戸畑3高炉の1,947 m³が当時最大であつたが、ソ連においては2,300 m³が実現しており、付帯のコークス炉、焼結機についても、大型化の機運が進められつつあつた。米炭をベースとした良質コークスおよび高品位鉱を基盤とし、上記新技術を採用して高炉の成績は安定しており、出鉄比2.5 コークス比300 kg台の例も見られる状況であつた。その後の10年間の進歩は、これら新技術を総合的に新設高炉に適用した成果であるといえる。高炉が大型化するにつれて、その故障、不調の影響するところきわめて大きいので、設備計画は慎重に行われた。図1・1・1で見るとおり、2,000 m³前後での横ばいがしばらくつづき、急速な炉容拡大が行われたのは40年代に入つてからであるが、新技術の総合活用による高炉大型化の可能性が実証されたためと考えられ

表 1・1・3 10年間の高炉操業指標の対比

	39年	48年
内 容 積 m ³	1,150	2,140
出 鉄 量 T/日	1,445	3,561
出 鉄 比 t/日/m ³	1.38	2.04
F. R kg/t	547	494
C. R "	508	434
*最大出鉄比 t/日/m ³	2.18	2.82
*最低燃料比 kg/t	484	434
処理鉱配合 %	62.8	80.1
送 風 温 度 °C	928	1,085
*最高炉頂圧力 kg/cm ²	0.688	2.485

* 月間平均

る。表1・1・4は福山1高炉～4高炉における火入れ後1年目の月平均実績を示したもので、ほぼ同一の原料事情のもとで、炉の大小にかかわらず操業成績はほぼ同様であることが示されている。

高炉の傾向に伴つて、コークス炉、焼結機も大型化が進み、また原料荷役設備から、溶鉄滓の搬出にいたるまでの製鉄地区における一貫した、レイアウトの設定と輸送体系の合理化について、著しい進歩が見られたのも、この時期の特長としてあげることができよう。

(2) 製鉄技術の進歩

次にこの10年間製鉄関係の各分野における技術の進歩について、簡単に振り返ってみよう。

(a) 原料炭

鉄生産量の増大に伴つて、原料炭の需要は急増し、長期的にこれにいかに対処するかが40年代に入つてからの大きな問題であつた。原料炭の消費量は38年1,690万tから、48年には6,400万tまで増加し、輸入依存度は

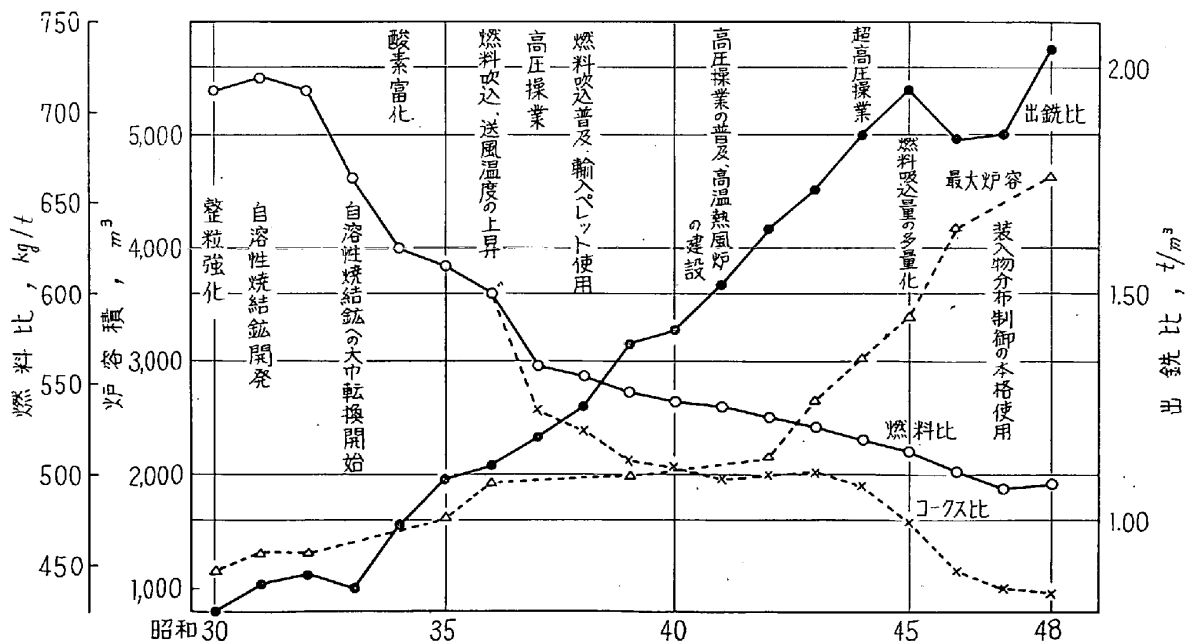


図 1・1・1 わが国の高炉操業成績推移図(出鉄比, 燃料比, 炉容) 昭和30～48年

表 1・1・4 福山高炉の操業実績 火入後1年の月間値

	1BF	2BF	3BF	*4BF
火入月日	'66. 8. 26	'68. 2. 15	'69. 7. 25	'71. 4. 26
内容積 m ³	2,004	2,626	3,016	4,197
炉床径 m	9.8	11.2	11.8	13.8
出鉄量 t/日	4,639	6,064	6,834	10,017
操業度 t/日/m ³	2.32	2.31	2.27	2.39
コークス比 kg/t	469	469	465	437
重油比 "	34	26	40	52
燃料比 "	503	495	505	489
焼結配合率 %	70	64	76	80
高滓比 kg/t	253	260	274	290
送風量 Nm ³ /min	4,073	5,309	5,842	7,722
送風圧 kg/cm ²	2.24	2.61	2.93	3.61
炉頂圧 "	0.59	0.99	1.36	2.10
送風温度 °C	1,112	1,146	1,159	1,200
酸素富化率 %	0	0	0.6	1.4
鉄鉄 Si "	0.71	0.69	0.66	0.71
S "	0.038	0.037	0.038	0.032
高滓塩基度 CaO/SiO ₂	1.23	1.17	1.16	1.13
コークス灰分 %	9.2	9.1	10.6	10.5
強度 DI _{30/15}	92.4	93.2	91.8	92.0

* 火入後7カ月の月間値 (最高出鉄量達成時) 〔鉄鋼界〕昭和47年11月号 p. 74

82.3%に達している。これに対し、濠州炭、カナダ炭の開発が行われ、48年には、濠州炭43.2%、カナダ炭19.1%となり、米炭の比率は38年の54.6%から30.5%まで低下した。しかしながら新しい開発は消費量の増大に追いつかず、依然として需給の調整は米炭のスポット買に依存している上、全世界的なエネルギー事情の変転から、欧州の米炭需要増、米国内の需要増、労働事情による減産などが重なって、45年以降原料炭事情切迫が継続している。米国低揮発分原料炭をベースとする優良コークスが、戦後のわが国の高炉操業を支え、大型高炉を発展させた基本条件の一つであつたが、その配合率の低下によつて、コークス品質の劣化が避けられない事情になりつつあり、これの対策として石炭の適正配合、原料炭の予備処理に関する研究が進み、成型炭装入、石炭乾燥などの新しい技術が実用化されている。また複合送風の強化として、酸素富化による燃料吹込増も行われ、さらに重質油から変成した高温還元ガスのシャフト部よりの吹込により、大幅にコークス比を低下させる実験が広畑で実施された。いわゆる FTG プロセスである。鋼管技研の試験高炉においても、高炉ガスの循環使用によりコークス炉ガス中のメタンなどを熱分解して高温の還元ガスを得、これのシャフト吹込によりコークス比を374 kgまで引下げること成功した。これらは原料炭にかえて多様なエネルギーを活用することができ将来性のある技術である。たまたま48年10月の石油危機以来、石油系燃料のコスト上昇により、経済性を失つたが、今後の原料

炭供給および価格の推移からこれが再考されることも十分予想される。原料炭確保はわが国の製鉄関係の基本的な問題であり、購買、資源開発、コークス製造技術、高炉操業技術などあらゆる面からのアプローチにより、早急な対策確立が要請されている。

(b) 鉄鉱石およびその予備処理

鉄鉱石の消費なども急テンポに増加し、輸入鉄石は38年2,460万tから、48年には1億2,870万tまで増えた。公害問題から硫酸滓の多い硫酸滓、国内鉄がカットされ、輸入鉄の比率は99%に達している。しかし在来ベース鉄石であつた東南アジアが枯渇の一途を辿つたにもかかわらず、チリー、ペルー、濠州、ブラジル、アフリカ、インド、ゴアなど、大規模な新規開発が相次いで、急増する需要を確保し、48年には濠州鉄50%、インド、ゴア15%、ブラジル10%その他となつている。専用船は33年より就航を始めたがその後急増し、かつ大型化され、受入側の港湾も整備されて各製鉄所とも10～15万tの大型専用船の着岸が可能

となつている。これにより高品位鉄が安定して購入されているが、とくに割安の粉鉄を使用した自溶性焼結鉄の大量配合が、40年代の新鋭製鉄所の配合パターンとなつ

表 1・1・5 鉄鋼関係専用船竣工量(昭和38年～48年) [隻数]

年 末 現在	3 万 未 満	3 4 万	5 6 万	7 8 万	9 10 万	11 12 万	13 14 万	15 16 万	17 18 万	19 20 万	21 万 以上	合 計
昭38以前	9	3	5									17
39		2	3									5
40		2	4									6
41			5	16	2							23
42	2	8	4	7	2							23
43		2	6	2	7							17
44		2	6	1	5	1						15
45			4	3	1	7	1					16
46					1	8	2	4				15
47						1		9	2		2	14
48年6月末						3		5			1	9
計	11	24	48	15	16	20	3	18	2	—	3	160

鉄鋼統計要覧 p. 283

ており、溶鉄コストの低減に大いに寄与している。39年にはペレットの輸入が始まり、40年代には本格的に使用されるようになった。42年以降は輸入鉄の10%を占めている。将来、資源保有国の政策および微粉鉱石の増加により、ペレットの購入は増加が見込まれている。従来の原料条件のもとでは焼結鉄の増配合により、適正な炉内ガス分布を維持し、これによつて炉壁を保護し高操業度を維持しながら燃料比を下げるという操業法が主流を占めていた。しかし今後の焼結鉄製造における公害問題およびペレット購入増を考えると、ペレットを有効に用いた操業技術の確立が必要であり、同時に経済的な得失も検討される必要がある。

鉄石の整粒強化は、新製鉄所のみならず既設工場の設備増強も行われて、8~25 mm の粒度範囲が標準となり、ブレンディングによる均質処理も大いに普及した。ここ2~3年来は処理鉄の配合比は80%前後に達し、焼結鉄は粒度管理を強化して二次クラッシャー、コールドスクリーンの増強が行われ、さらに庫下篩の設置も進んで、装入鉄石の装入時の-5 mm は、3~5%に減少している。一方熱間性状の研究が進み、熱割れや還元粉化が日常操業の重要な管理項目となつている。

(c) 高炉操業技術

高炉操業における新技術はほとんど30年代の終りには出揃つており、40年代は新設の大型高炉がこれらの技術の総合的な採用により目覚ましい成果をあげた。4.5 倍の生産増の大部分がこれら新設高炉の寄与であつたために、全国平均の操業成績も飛躍的な向上をとげたことは前にものべたとおりである。また40年後半には、原料炭事情の切迫から、複合送風の強化、炉況改善対策の進展によりコークス比低下が推進された。これらの成果は図

1-1-1 に示すとおりであり、高炉の大型化、高出鉄比、燃料比、コークス比の低下がこの10年間きわだつた特色といえよう。

高炉炉内反応の数式モデルの検討はますます進展し、実操業の面においても、複合送風の最適範囲、生産性および燃料比の限界予測が行われ、また種々の計測手段の導入により炉況の定量化、最適化の検討が進み、あるいは炉壁付着物の爆破除去も定常作業として実施されるようになって、炉況の維持に有力な手段が確立された。高炉の炉容拡大は慎重な検討のもとに進められたことは前述したが、その際いくつかの問題点がクローズアップされた。第一には大型の高炉において、果して安定した通風状況、あるいは、適切な装入物、ガスの分布が達成されるか否かという問題である。内容積は径の2乗に比例し有効なガス通過面積は、炉下部においては径に比例するという大雑把な推論によつても、同じ出鉄比($t/m^3 \cdot day$)を達成するためには、特に炉下部におけるガス流速は内容積に比例して増加する。これを克服し安定した通風状況を維持するための具体的な対策として、炉内容積に対応した炉頂圧の選定が検討され、その後の実績によつても、内容積一出鉄比一炉頂圧の関係が実証された。44年には、名古屋3高炉がソ連式の超高压操業を技術導入し、炉頂圧 2.5 kg/cm^2 で45年11月、月平均 $8,362 \text{ t/day}$ で出鉄比 2.86 の記録を達成し、さらに46年以降は、超高压 $4,000 \text{ m}^3$ 時代に突入し、11月には福山4高炉 $4,197 \text{ m}^3$ が月平均 $10,017 \text{ t/day}$ の出鉄記録に到達した。図1-1-2はこの間の高炉内容積、炉頂圧の推移を示したものである。

また炉内における装入物分布の炉口径拡大による影響も心配されたが、ムーバブルアーマーが採用され、きめ

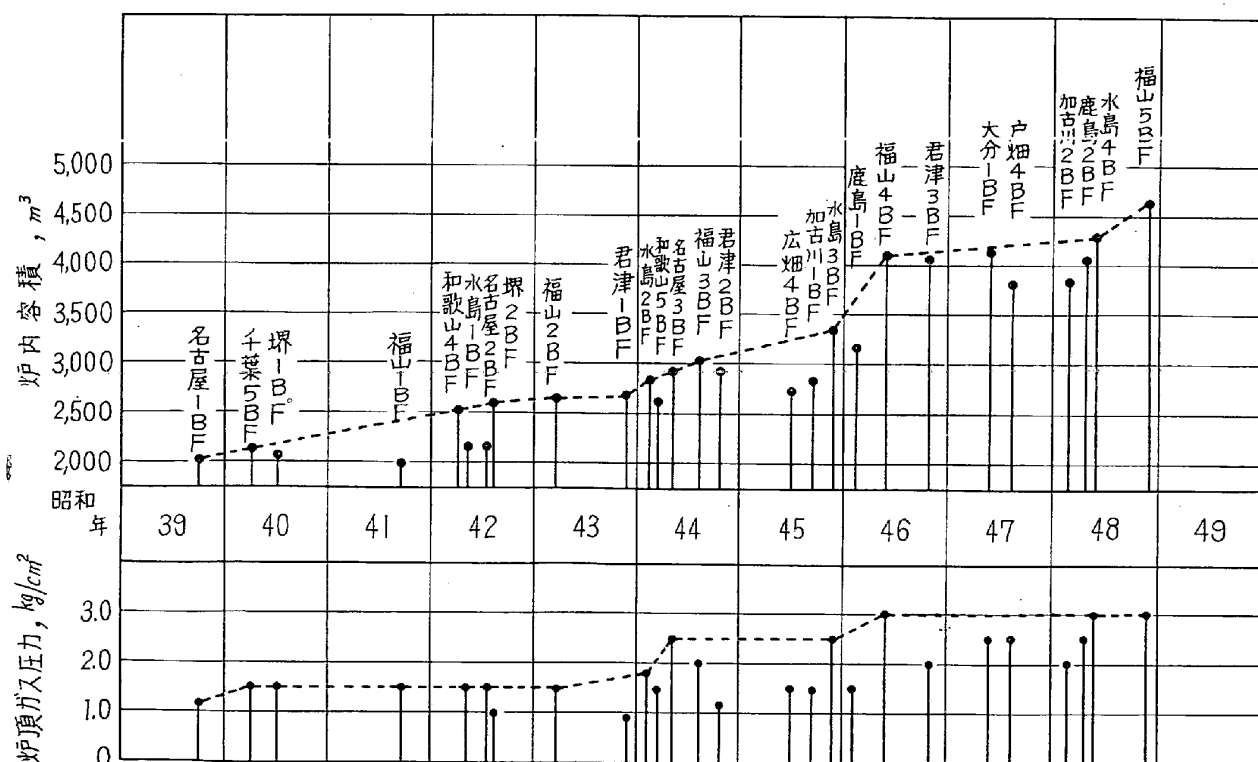


図 1-1-2 新設高炉の内容積 ($2,000 \text{ m}^3$ 以上) と炉頂圧力の推移

の細かい分布調整が行われて効果をあげている。

溶銑成分についていえば、高炉の大型化に伴い溶銑温度が上昇し、高塩基度操業も可能となつて炉況も安定し S が低下した。一部の高炉では低 Si, 低 S 操業技術も確立した。

第 2 に検討されたのは、出銑滓の処理である。1 万 t 高炉ともなれば、7 t/min 以上の溶銑生成速度であり、これの処理について、炉内貯留状況の推定、出銑スケジュール、銑床配置、大型溶銑鍋、混銑車などが検討された。今日一応の安定をみせた複数出銑口を設置するパターンが定着したが、環境改善を含め解決すべき問題がなお残されている。

(3) 高炉設備

当然のことながら高炉の大型により、その故障、炉況不調の影響するところは致命的であり、それをさけるための万全の対策が検討され実施された。特に少数の高炉に集約されることによつて、設計の安全度、材料および機器の選定、自動化省力化の採択に十分な配慮がはかられ、設備的にすぐれた高炉が次々に誕生した。わが国の機械工業の発展も著しく、大容量の送風機、運搬機器、計測機器が国内メーカーにより供給され、いくつかの新機軸が盛り込まれた。特に大型高炉設備の特長としてあげられるのは、第 1 に高圧操業に対応する諸設備であろう。送風機の大容量化はもちろんであるが、従来主力であつたマッキー式装束装置は、大ペルの摩耗およびガスシール部の脆弱により後退して、新工夫の装束装置と交替し、また炉体および冷却函などの気密に十分な配慮がなされ、ステーブクーラーも多く採用されている。第 2 に高炉熱風炉の耐火材料およびその構造設計について、種々検討された結果、設計方針がほぼ固つてきたように思われる。第 3 に自動化は大幅に進展したが、コンベヤ装束による全自動化、熱風炉切替、ガス清浄装置の自動運転などにその良い例をみることができる。また計算機を含む制御監視のシステム化も広く行われ、羽口破損の防止を始めとする設備保全対策も大きな成果を収めている。

(4) 公害防止技術

産業公害が大きく社会問題化してきたのは昭和 41 年頃からであり、政府は 42 年に公害対策基本法を公布制定した。その後大気汚染防止法、水質汚濁防止法、海洋汚染防止法、騒音規制法、廃棄物の処理法、立地規制法が次々に公布施行され年々公害規制は強化され厳しくなつた。鉄鋼業はこれ以前にも転炉集塵、焼結工場の集塵などに重点的な対策をとつてきたが、このような国の公害規制に対応して各種公害防止設備の設置、低硫黄系燃料への転換、あるいは独自の技術開発などを進め地域環境改善に努めてきた。以下鉄鋼業が現在までとつてきた対策のうち製銑部門について概観してみたい。

大気汚染関係では焼結機の亜硫酸ガス対策として原料の低硫黄化、高煙突集合化を行つてきた。さらに昭和 46 年日本鉄鋼協会に排煙脱硫試験委員会が設置され、鉄鋼 9 社の共同研究のもとに研究予算総額 16 億円で排ガス量 15 万 Nm³/hr の試験装置をつくり、47 年 2 月から 1 年半にわたつて工業的規模のテストを行い、脱硫率、稼働率ともに好結果が得られ成功裡に終つている。

次に NO_x に関しては、昭和 48 年鉄鋼業は NO_x 防除技術開発に総力をあげて取り組むこととし、48 年 8 月に日本鉄鋼連盟に「鉄鋼業 NO_x 防除技術開発本部」が設置された。同開発本部は、同本部の定める基本方針に基づき技術開発の推進を実施する機関として「財団法人鉄鋼設備窒素酸化物防除技術開発基金」を、続いて焼結機などの鉄鋼固有の設備より発生する NO_x の防除技術開発に関し、鉄鋼各社が主体となつて共同研究を実施する機関として「鉄鋼業窒素酸化物防除技術研究組合」を設立した。「技術開発基金」については昭和 49 年度の計画として、関連業界、大学その他の試験研究機関の応募申込みの中から 12 件を選び、約 1 億 4,600 万円の研究費を交付し研究開発の促進をはかっている。次に「技術研究組合」については 49 年度の計画として、電子照射法、選択接触還元法の 2 方式により、焼結排煙脱硝試験研究を実施することを決定している。

粉塵、ばい塵関係では、原料処理、コークス、焼結および高炉工場の各発塵場所に広範囲に集塵機、あるいは撒水装置を設置し発塵防止に効果をあげている。高熱粉塵の典型的職場であつた高炉炉前、焼結工場に建屋集塵、環境集塵、遠隔自動方式が大幅に採用され労働環境が著しく改善された。焼結機の排ガスの集塵対策として、マルチサイクロンなどによる集塵機に代つて、電気集塵機が全面的に採用されている。なおコークス工場の消火塔の蒸気放散を止めるべく乾式消火法の採用が検討されている。

水質汚濁関係では、高炉ガス洗淨水、その他湿式集塵機からの廃水中の浮遊物はシックナーで沈でん除去され、浄化された排水はほとんどが循環使用されている。またコークス炉の安水は活性汚泥処理により、その中に少量含まれているシアン、フェノールの分解無害化が行われている。

廃棄物関係では、高炉滓に関しては従来から製品としてバラス、水滓が製造されているが、将来コンクリート用骨材、路盤材として利用の拡大をはかるための JIS 化が進められている。また集塵ダストや沈でんスラジについては極力回収するため、脱亜鉛処理方法としてロータリーキルンによる還元ペレットの製造を行つているところもある。なお所内発生ガスはクリーンガスとして、所内で広く活用されており、コークス炉ガスの脱硫も一部採用されている。また最近の製鉄所は競つて製鉄所全体の大規模な緑化を行ないつつある。製鉄所で最も公害発生源の多い製銑地区においても、環境保全の要望に対し、多少遅ればせながら技術的対策の開発が実施に移されつつあり、今後とも地域の環境保全と大規模製鉄所の操業の両立は技術的にも十分可能であろう。

(5) 将来の展望

以上昭和 40 年代の製銑技術の発展の推移をみてきたが、これらの操業、設備に関する諸対策、ならびに豊かかつ優秀な人材の投入による日常の作業管理の努力によつて、大型高炉の技術が確立され現在 5,000 m³ 級の超大型高炉の建設も進められている。

反面、生産規模の拡大は公害問題および資源エネルギー問題などいくつかの歪をひき起し、大規模な高転炉一貫方式の再検討が唱えられはじめており、世界的な視野

における製鉄方式の見直し、次の10年の大きな課題になろうと思われる。

環境問題については、多くの努力が払われ相当の成果があがっているが、NO_x 対策に関してはこれが未踏の技術であるだけに今後解決されねばならない多くの問題が残っている。これに対しては関連業界、大学その他試験機関も含めて鉄鋼業全体の共同研究や技術交流をはかりつつ、脱硝技術の開発を進めていく必要がある。

次に資源エネルギー問題、特に原料炭については、米国低揮発分炭および国内炭の供給に限界がきており、供給ソースの範囲を広げることが必要である。また予想される供給源では、粘結性・流動性ともに不足で、現在のコークス強度維持がかなり困難になる。

使用可能な炭種を拡大しうるコークス製造法、高炉でのコークス比の低下、コークスを使用しない製鉄法への転換、原子力など新エネルギーの利用法の検討などが重要な課題となってくる。コークス製造法については、成型炭装入法および成型コークス法があり、わが国を含めた世界各国で製造法の開発、高炉への使用試験が行なわれており、近い将来大規模な実施が可能になると期待される。またコークス比を下げる新技術として前述のように還元ガスのシャフトへの吹込みがあり、還元ガス製造のために将来原子力、核エネルギーが利用される可能性もある。

一方原料炭によらない製鉄法として、直接還元法と原子力製鉄がある。直接還元法については、電気炉との組み合わせにより、原料立地であれば、小規模の場合高炉一転炉法より経済的であることから、発展途上で積極的に採用される動きがある。現在のようなスクラップ事情が続けば還元鉄の需要が強まるとみてよい。原子力製鉄に関しては、原料炭依存からの脱却、エネルギー源の多様化、効率化および脱公害の面で将来極めて有望なかつ重要な技術として、48年度の通産省の大型プロジェクトに選ばれ、本格的な開発に着手され、その成果が期待される。

最後にわが国の海外への技術協力であるが、今後ますます盛んになると思われる。今後世界の鉄鋼需要は増加の傾向をたどり、これに対して発展途上国は経済、資源政策あるいはナショナリズムにより自国の鉄鋼業を発展させる気運が強い。例えば1975年から1985年の10年間で世界全体の鉄鋼消費量は7億5,070万tから11億4,440万tに拡大し、このうち途上国は6,200万tから1億2,300万tに増加する。この増加分は鉄鋼先進国の輸出余力がないことから途上国自身が新規設備でまかなわざるをえないと推定されている¹⁾。このような背景からも今後これらの国の要請に応じて、わが国が経済援助とともに技術協力を行なうことが盛んになるであろう。このように増大する鉄鋼の需要に対処してその供給責任を果たすためには、公害問題の解決による新立地の選定、エネルギー源の多様化と確保、新製鉄プロセスの発展、海外

協力の推進などに関して早急な政策決定が望まれる。

(6) 電気製鉄

わが国において電気製鉄法がはじめられたのは、昭和15年頃からである。戦後国内の未利用資源としての砂鉄が重視され、電気炉によるいわゆる砂鉄製の製造研究が非常に活発になった。従来、電力原単位は約2,600 kWh/tで砂鉄のコストに占める電力費の割合が30%と高かったが、酸化ペレットによる方法あるいはロータリーキルンを使つて砂鉄を予備還元する方法により、電力原単位は1,800 kWh/t以下に下がることがわかり、一部この新しい方法が実用化された。しかし国内砂鉄資源の減少、電力費の上昇により、電気鉄の生産量は昭和36年をピークとし、ここ2~3年は最盛時の約1/3の18万t/year程度まで落ちこんでいる。このように現在生産量は低くなっているが、不純物のきわめて少ない高級特殊鋼、ダクタイル鉄などの鉄源としてその特性が生かされることは期待されてよい。

1.1.2. 製鉄理論および研究の発展

(1) 過去10年間における研究のすう勢

高炉プロセスにとって装入物柱の通気性は第一義的な意味をもち、とりわけコークスと鉱石の性状とそれらの分布によつて規定される。過去10年の間に次第に顕在化してきたエネルギー問題への対応を契機として石炭・コークスに関する研究が復活したのも、この10年間焼結鉱やペレットの製造条件ならびにそれらの冷間・熱間性状に関する研究が、前の10年間にもまして盛んに行なわれたのも、この故というべきであろう。いわゆる成形コークスの製造法を含めて、優良な原料炭をいちだんと節約し、原料炭の範囲を拡大しつつ、しかも高炉の要求をみたすようなコークスの製造法の研究が行なわれたが、情勢の要求するようなテンポで進んでいるとはいえない。またこれに関連して、コークスに対する「高炉の要求」をより具体的に規定する必要に迫られているように思われる。原料の事前処理については、自溶性焼結鉱の還元粉化やある種のペレットの還元時の異常膨張の機構に関する研究が行なわれ、その対策の追求に寄与した。還元性と強度のいずれの点でも高炉の要求をよく満たすものとしての高塩基度焼結鉱の製造と使用が定着した一方、塩基性ペレットの製造に関する研究が結実してその多量使用が実現した。これとともにかつて塊成鉱として等価とみなされていた自溶性焼結鉱と自溶性ペレットについて、それらの低温性状や分布挙動の相異だけでなく、軟化・溶融などの高温挙動の異同が注目されるようになった。

適気性そのものについては、圧損がガス流速の1.7乗に比例するという実験的關係に依拠して、粒度とその分布・形状・充填率さらには軟化収縮の効果などを抱括する「通気性指数」によつて、これを定量的に評価することが行なわれた。半径方向ガス分布制御の必要性和関連して、炉頂における原料の分布特性の調査が行なわれ、またガス分布を温度や組成などの計測可能な情報によつて評価し、さらには流速分布を推定する試みが行なわれるにいたつた。いわゆる吹抜け送風限界や flooding 限界の推算から進んで、試験高炉や生産高炉の調査に基づき

1) International Co-operation in the Planning, Financing, Construction, and Operation of Iron and Steel Plants. John W.P. Jaffe
Third Interegional Symposium on the Iron and Steel Industry.

微圧振動を手段として限界規定要因を解明しようとする研究が行なわれた。半径方向に分布を有する移動層、安息角によつて定まる傾斜を有する層状装入物層、cross flow の存在する充填層などにおける圧損と流速分布に関する実験的・理論的研究も行なわれた。

通気性に関するこれらの研究の多くは cold model を主要な実験手段としているが、この手法は次元解析の手法とともに、シャフトから吹込まれる（還元性）ガスの半径方向の拡がり、燃焼帯付近や炉床における気・液の流れの諸問題などにも適用されて成果をあげた。

高炉プロセスのもう一つの重要な側面である炉内反応についても多くの研究が行なわれた。1 界面または多界面の未反応核モデルによる酸化鉄粒子またはその層の CO および H_2 還元速度の定式化、コークスのガス化反応速度式の確立、ならびにこれらに関する速度パラメーターの決定、をめざす諸研究が引続いて行なわれた。炉熱代表値としての Si の還元について、スラグ・メタル反応の速度とならんで、 SiO を経由する反応の熱力学的・速度論的研究が行なわれて、その重要な役割が確認された。同じく銑鉄中の重要成分である S についても、その気相からの鉍石および融体への移行の速度や、スラグ浴を降下するメタル滴からスラグへの移動の速度などに関する研究が行なわれ、脱硫に関する認識の深化がみられた。これらの実験室的基礎研究とならんで、付着物の生成機構や耐火物の浸食機構の解明を意図して、付着物試料や使用後耐火物試料に関する鉍物化学的調査研究も行なわれた。

総じてプロセス解析の範疇に属するというべき諸研究としては、総括的な物質・熱収支および部分熱収支や操作線による操業の解析、とくに複合送風の効果の理論化、さらには炉熱判定モデルの提起などがあげられる。これらはいずれも現実的有効性を示したが、この分野で最も画期的というべきものは、高炉を分布定数系として取扱った鞭のモデルの提出であろう。事実このモデルは種々の操業の予測や炉熱制御モデルの構成部分として利用されただけでなく、他の研究者によつて提出されたモデルにたいして、先導的な意義をもつた。

以上の諸研究のほかに、頻発した羽口破損に対応して行なわれた水冷効果に関する伝熱工学的研究をあげる必要がある。

こうして過去10年間の研究は製鉄理論の発展に多くの寄与を行なつたが、この期間における進歩の最大の特徴は、いわゆる解体調査によつて、これまで久しくブラックボックスとして放置されてきた高炉の内部、とくに高温域の探求が始まり、多くの知見がえられたとともに、新しい諸問題が提起されたことであろう。

(2) 炉内調査によつてえられた知見と新しい課題

日本鋼管の試験高炉の N_2 急冷一樹脂注入一切断法による装入物柱の観察と調査(A)、新日鉄東田5高炉(B)および広畑1高炉(C)の注水冷却後の解体調査、ならびに日本鋼管川崎4高炉の注水冷却後のボーリング調査(D)などが相ついで行なわれた。これらの調査結果と稼働中高炉・試験高炉の観測と試料採取、ならびに休風中の試料採取などを総合して、えられた知見と提起された課題を総括すれば以下のとおりである。

(a) 装入物の降下運動の特性

解体調査によつて鉍石層が溶融にいたるまで明確に保存されることがみとめられた。稼働中の羽口温度の変動や羽口先への生鉍落下と装入周期との強い相関をみとめた報告もあり、装入物の溶融にいたるまでの成層降下、すなわち巨視的なピストン流れ性には疑う余地がなくなつたといえる。ただし鉍石層の厚さ、径方向への拡がりや傾斜、鉍石種の存在比率などの高さ方向の変化もみとめられており、鉍石層の径方向への運動とそれによる混合の可能性は否定できない。なお生産高炉では炉底出銑の影響もあつて層の傾斜の高さ方向変化の真相を把握しにくい。A調査では羽口近傍での荷下がりか幾分速いとしている。cold および hot model による燃焼帯の実験によれば、コークスの降下が燃焼帯（とくに羽口先端）直上部でだけおこるとされており、装入物の降下特性にとつてこの帯の役割が大きいことは明白と思われるが、高炉そのものにおける降下特性の真相の究明は、燃焼帯付近での固・液体の運動とその上部への影響の解明をまたねばならない。

(b) 装入物の性状変化(1)―鉍石の粉化

部位の相異は炉による原料性状や分布などの相異によるものであろうが、シャフト上部ないし中部までの間での鉍石の著しい粉化ないし粉率の漸増がみとめられた。このさい焼結鉍の粉化は「体積粉化」であつて、生鉍石やペレットの「表面粉化」ないし「近表面粉化」とは粉碎機構の異なるものと推定された。焼結鉍のこの粉化が、炉の上部でおこするという事実やダスト中鉍試料の鉍物組成分析の結果から、いわゆる還元粉化、すなわち hematite の低温還元のさいに発生するクラックに帰因するものであることは確実と思われる。しかし試験高炉ではクラックの発生や脆化はみられても、粉化そのものはみられないという報告例もあり、粉化を可能ならしめる原因のほかに、それを実現する機構の寄与を考えるべきか、あるいは粉化を不可避免的にひきおこす特殊な hematite の寄与を考えるべきかは明らかでない。

(c) 装入物の性状変化(2)―アルカリの循環

鉍石、コークスのいずれについても、下降につれてアルカリ (Na_2O および K_2O) 含量が増大し、約 $900^\circ C$ で最大に達した後減少するという事実、すなわちアルカリの循環が確認された。アルカリが還元を促進するという実験結果もあり、この事実が還元過程にどのような影響を及ぼしているかは興味深い問題である。またアルカリの吸着によつてコークスの反応性が顕著に向上し、反応性の向上が強度の低下をもたらしという実験結果からみれば、アルカリの循環は高炉プロセス全体に無視できない影響を及ぼし、コークスのあるべき性状の規定をも左右しかねないと思われるが、この影響の程度と対策についてたちいつた研究が必要と思われる。循環と壁つきとの関係も解明を必要としよう。

(d) 軟化、融着、融着層の通気抵抗

A～D各調査は鉍石層の溶融に先行する軟化・融着をみとめた。融着開始部位について、A、Bは全断面一様にシャフト下部、Cは中心部で装入レベルの4m下、外周部で羽口水準近くの「切り立つた逆V型」配置、Dは周辺で朝顔部、中心部で羽口レベルないしそれ以下と

し、径方向分布の影響を強く受けることを示した。この結果同一鉱石層が塊状鉱石部—融着部—半熔融部（一熔融滴下により消失した部分）という異なつた状態を示し、各部の配置状況は分布の不均一性の様相と程度に応じて異なることになる。さらにD調査は羽口上部では羽口—羽口中間部より融着部位が高いとしており、円周方向不均一分布の影響をも受けることを示した。いずれにしても部位は機構と関係して定まるものであろうが、この機構についてA調査がスラグによる結合に始まり、金属鉄間の結合にいたるとするにたいし、C調査は両者の前後関係を論じていない。またC調査のように炉の上での融着層構造と下部でのそれとの間に相異がみられる例や、D調査のように融着部位が全体としてははだししく低くてやや特異性を感じさせる例などがあり、ただちに断定しがたい。

実験室的実験の結果によれば、融着により通気抵抗が著しく増大するとみられるが、この層が半径方向で不均一に分布し、しかも上下2層がコークス層で隔てられているため、上昇ガス流の遮断ではなく、closs flow がひきおこされることになる。こうして融着層の立体的配置状態が flow pattern や圧力分布を規定するものと推測されているが、実測によつてこのことを確かめた例はなく、稼働状態における融着の緊密性や強固性にも疑問がなくはない。融着の機構や高塩基度焼結鉱を主原料とする場合とそれ以外の場合との異同とともに今後解明を要する重要課題である。

(e) 熔融と炉芯

A調査とB調査は融着層で分離したメタルとスラグがほぼ $1,400^{\circ}\text{C}$ で同時に滴下するとしているが、C調査は熔融分離過程もまた不均一分布の影響を受け、温度の推定値には問題があるが、メタルの熔融温度は下部で約 $1,500^{\circ}\text{C}$ 、上部で約 $1,400^{\circ}\text{C}$ としている。またA、D調査ではスラグの低融点部と高融点部への分離を述べている。この点についてはまだ統一的な見解がないというべきであろう。

A～C調査は朝顔—炉床中心部にコークスと若干の滴下物のみの存在をみとめ、とくにC調査はこの部分の温度を $1,600^{\circ}\text{C}$ と推測しており、“toter Mann”の意味での炉芯が存在しないことを示したが、D調査はこの部分にコークスだけでなく未熔融鉱も多量に存在することをみとめ、著しい周辺流のもとでは「炉芯」が存在しうることを示唆した。

なおこれまでしばしば高炉の送風限界を規定する1要因と考えられてきた flooding は、熔融物存在域に現われるべき現象であるが、高炉のこの領域のように半径方向、円周方向の不均一分布のはなはだしきところでは、典型的にはおこりにくいとみられる。しかし燃焼帯付近における気・液流分布に関する最近のモデル実験の結果によれば、flooding は、この帯の上部でその出現条件がみたされる結果、液流を低抵抗部へ迂回させるという現象として現われるものとも推察されるが、燃焼帯の形状と大きさ、そこでコークスの挙動などの問題とともに、今後の究明が望まれる。

(f) 温度分布と熱保存帯

試験高炉における高さ方向数レベルの测温例は $1,000$

$^{\circ}\text{C}$ 付近に熱保存帯を有する典型的温度分布を示し、B調査におけるテンピルペレットによる测温値も、バラツキはあるが、類似の傾向を示した。しかし垂直ゾンデによる2,3の測定例では、保存帯温度が $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ と低いうえ、この帯の存在をみとめない場合もあつたと報告されている。最近多くの高炉で日常的に行なわれている炉頂付近径方向温度分布の測定結果は、中心流を一定程度発達させるという分布制御方針を反映して、中心部温度がかなり高いことを示している。したがつてC調査でコークスの黒鉛化度から推定した「逆V型」等温面分布は、かなり普遍性をもつものと考えられるから、保存帯が存在するとしても、その長さ（と温度水準）は径方向でははだししく異なる可能性があり、B調査におけるバラツキは当然の結果ともいえる。

保存帯温度の水準が solution loss 反応温度より低い場合が多いという事情については、試験高炉の外周部におけるこの温度が中心部におけるそれより明らかに低いという測定結果にかんがみ、まず第一に熱流比の水準（ないしその径方向分布）のなんらかの影響が推察される。多量の石灰石を装入する高炉では、その「分解反応が solution loss 反応と連続しておこる」ことを考慮せねばならないという指摘は当然であるが、アルカリのコークス反応性への影響をつきつめて検討する必要がある。保存帯の不在の原因にも2,3の所論があるが、まず熱流比の径方向の不均一性やガス流の径時変化などの効果を検討する必要がある。保存帯温度水準の問題や $1,200^{\circ}\text{C}$ をこえる高温域の测温法の確立の問題とならんで今後の研究課題である。

(g) 還元過程

A調査を含めて試験高炉による調査は、鉱石の降下過程における還元が Fe^{2+} の増加に始まり、 Fe^{2+} が最大に達した後 metallic Fe が生成されるという形で進行することを示した。内外の情報を総合すれば、生産高炉における還元過程もこの経過をたどることは確実といえるが、この場合には一般に鉱石単位量あたりのガス量が少ないために昇温が遅れ、還元が停滞する結果、還元率—高さ関係は下に凸の曲線を描くことになる。このような還元過程を未反応核モデルによつて忠実に表現するとすれば、多界面の存在を考えねばならないが、速度パラメータの値を含めて、還元の全過程を忠実に表現しうる速度式、とくに自溶性焼結鉱のそれは、固相域のみについても確立されたとはいえない。

解体調査を含めて、すべての調査は還元もまた径方向で不均一に進行することを示した。とくにC調査によれば、還元率は上部融着層で約70%にたいし、下部融着層では約40%と、不均一性が融着段階にまで及んでいる。このことは融着が炉の下部でおこるような部分では、上述した還元の停滞がおこることを示すものにほかならないが、その場合でも半熔融段階を経て融着層から分離する直前のスラグの FeO が2～3%にすぎないとされていることは、融着から分離までの間に還元を促進するなんらかの機構が働くことを示唆するもののように思われる。コークス層とは分離しており、かつ通気不良と考えられている融着層におけるこの還元の機構がどのようなものであるかの問題は、この層の形成機構や構造の問題

とともに、今後の研究の最も重要な課題である。なお、還元がガス分布に対応して不均一に進行する以上、間接「直接」還元帯の境界が複雑な曲面の形をとることは明らかである。

B 調査は同一鉱石層内での鉱石種による還元率の差異はみとめにくいと報じたが、C 調査は上部融着層においてペレットの還元がやや先行しているかのごとき結果を提出した。このことは実験室的な還元性試験の一定の有効性を示すもののように思われるが、他方自溶性ペレットの高温性状の問題とも関連して、下部融着層においても同様な傾向がみられるか否かは一つの問題であろう。

(h) 銑鉄の生成過程

すべての調査は熔融直前の金属の C 含量は 1% 未満であり、熔融滴下後ただちに 2% をこえ、ふつう羽口レベルまでに 3~4% に達することを示した。これは高炉内での固体還元鉄へのガスからの浸炭はわずかであり、熔融後コークスとの接触によつて急速に浸炭が進むことを示すもののように思われる。熔融直前の C 含量が 1% 未満とすれば、この金属の融点 $1,450^{\circ}\text{C}$ 以上と推定せねばならないが、この温度とスラグの融点との相対的高低の程度を確かめることは、熔融分離過程の理解にとつて重要と思われる。

金属中 Si については、融着状態ですでに 1% 程度まで入り、羽口レベルまでにさらに増大するという調査例 (A, B) もあるが、C 調査では非水溶液電解法による分析値として、熔融前の Si は 0.01% 以下と報じている。Si の移行がスラグ—金属反応によるにせよ、もはやその重要な寄与には疑う余地のない SiO 経由反応によるにせよ、金属中 C の存在のもとに熔融状態で行なわれるとみられることから、 $\text{C} < 1\%$ の未熔融状態で 1% もの Si の存在は考えにくい。

解体調査はしばしば、Si が羽口レベルまでの間にいつたん過剰に還元された後、炉床部でなんらかの機構によつて再酸化されるかのごとき結果を与えているが、逆に稼働中採取試料の調査は、Si が羽口レベルまでに最終値に達せず、いわゆる“reaction hearth”部で追加還元されるかのごとき結果を示すことが多い。不活性ガス吹込によるにせよ、注水によるにせよ、「急冷」の速さには疑問があり、完全冷却までの間に Si の還元が進行する可能性があるという実験結果からみて、過剰還元—再酸化説には疑問が多い。他方稼働中採取試料には代表性に疑問があるうえ、溶解帯以下、とくに燃焼帯近傍における気・液流の分布やスラグ—金属接触機構は推測の域を脱しない。したがつてこの問題は“reaction hearth”仮説とともに今後の研究課題である。なお Si の還元移行機構の究明は「低 Si 操業」の解釈とも関連して完全な解明が望まれる課題であるが、移行の速度の検討にあつて溶解帯の位置や滞留時間の正確な情報が必要であることを強調せねばならない。

金属中 S については、それが熔融後羽口レベルまでの間に低下し、それ以下でも漸減する点ですべての調査が一致している。さらに A 調査は S が熔融直後からごく低値を示すとし、C 調査でも半熔融部の磁着分が 100 分の数%、非磁着分が 0.1~1% と報じた。これらをガスからの S の吸収に関する基礎研究で、(S)/S が溶融

とともに増大して「スラグ—金属反応相当値にまで達しうる」とされていることと併せて考慮すれば、脱硫は基本的には羽口レベルまでに完了するといえよう。しかし S が羽口レベルで最大になり、炉床で著しく低下するという調査例や、“reaction hearth”における脱硫を重視する仮説もあり、Si の還元の問題とともに今後の解明がまたれる。

終りに不均一分布の影響は次第にならされるが、はなはだしい場合には銑鉄の生成過程にも及ぶとする調査例があり、組成の最終的確定と均質性が炉床における混合の程度に依存することを付言する必要がある。

(i) スラグの生成過程

鉱石の軟化すなわち脈石成分の部分的熔融は初期スラグの生成開始ともみられるが、これが鉱石粒子の融着開始または融着層の形成開始の少なくとも一因をなすことは、多くの調査のみとめるところである。融着温度が $1,000 \sim 1,200^{\circ}\text{C}$ と推定されていることからみて、この初期スラグがごく低融点のものであることは確かであるが、その組成を述べた報告は少ない。休風中にシャフト下段から採取した試料中に FeO 34% の熔融物 (ないし半熔融物) がみられたという報告や、 $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系の初期スラグの存在をみとめたという報告があり、C 調査でも融着層中に残存するスラグのなかに FeO 換算で 20% に達する Fe を含むものがあつたとされているところから、高 FeO 初期スラグの生成の可能性は否定できない。しかし同じ C 調査で、やはり FeO 換算で 2% の Fe を含むスラグもみられ、「場所によつて大きな差がある」としていることから、初期スラグのすべてが高 FeO とはいえない。循環するアルカリの十分ありうる寄与のほかに、脈石成分の不均質性、SiO の形で上昇後酸化生成された SiO_2 、solution loss 反応生成物としてのコークス灰分、燃焼帯から吹き上げられたコークス灰分、さらには MnO や MgO などの造滓成分の気化上昇の効果などを含め、調査検討が必要である。

A (および D 調査) はスラグの金属からの分離が脈石成分の低塩基度・低融点スラグ「滴」と高塩基度・半熔融「付着」スラグへの分離の形で進行するとし、低融点部の塩基度を約 1.2、融点を約 $1,400^{\circ}\text{C}$ (D 調査ではコークス結晶子による推定温度として $1,200 \sim 1,300^{\circ}\text{C}$) と報じている。これは B 調査がメタル—スラグ分離時のスラグ組成には大きな幅があるが、融点は $1,350 \sim 1,400^{\circ}\text{C}$ と推定し、C 調査が「つらら」ないし滴下スラグの塩基度として 1.1~1.2 という値を示していることとはほぼ一致する。もつとも B, C 調査は高塩基度部の存在を報告しておらず、代つて石灰石の CaO の滓化が著しく遅れることを指摘している。しかし A, D 調査と B, C 調査のこの相異が、高塩基度自溶性焼結鉄を主原料とする場合と酸性鉄石を多量に配合する場合との相異であり、前者における高塩基度部の金属からの分離の遅れが、後者における CaO の滓化の遅れと対応するものとみることができる。こうしてスラグからの金属の分離が、まず低塩基度かつ低融点を特徴とするスラグの熔融として進行することはほぼ確実と思われる。なお A, B, C いずれの調査においても、熔融分離したスラグの FeO 含量が 2~3% と低いことも、このスラグが高 FeO スラ

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溶融ないし 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

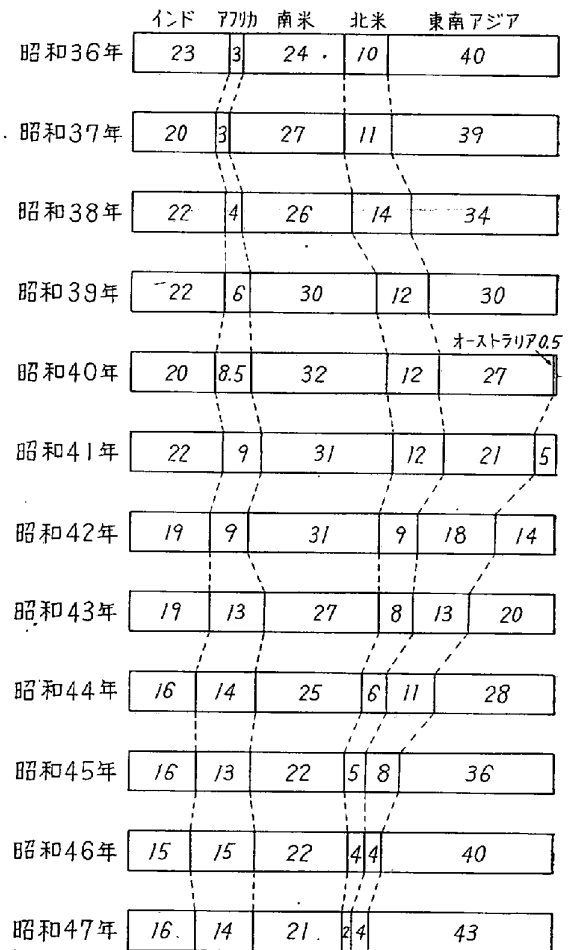


図 1.2.1 鉄鉱石の国別輸入推移

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