

解 説

UDC 669.168(52)

日本におけるフェロアロイ製造の現状と諸問題*

成 瀬 亘**

The Current Situation and Problems of the Production of Ferro-Alloys in Japan

Wataru NARUSE

1. ま え が き

わが国では 1900 年に製鉄所が自家使用のフェロマンガンの高炉による製造を開始したが、1914年に始まった第一次世界大戦の影響により、フェロアロイ価格の暴騰とその活発な需要が、あらたに電気炉によるフェロアロイ事業を発生せしめた¹⁾。大戦終結による不況でこれらの生産者は激減したが、これに耐えた生産者は、昭和初期には、低廉な不定時余剰電力を利用して各種フェロアロイを生産し、海外にも輸出を行うに至った。

つぎに、数次の戦争でフェロアロイ工業も当時可能な限りの増産を続けた。1945年第二次大戦の終結により、以後数年間わが国の鉄鋼生産は極度に抑圧され、従ってフェロアロイの需要は皆無となり空虚の状態であつた。

1950年朝鮮事変による世界の緊張により、わが国鉄鋼生産の枠も外れフェロアロイの需要もまた急増した。そして若干の波瀾はあつたが、1960年前後には世界でも屈指のフェロアロイ生産国となつた。

さらに、鉄鋼生産の急激な伸びからフェロアロイ供給体制の安定化が要求され、過多の企業による多品種少量生産の業態では貿易自由化による国際競争の激化にも耐えられぬことから、1963年日本フェロアロイ協会に企業合理化対策委員会を設け将来方向の検討が行われた²⁾。このようにして、1965年前後にかけて大幅な企業統合が行われた。そして例えば、マンガン系フェロアロイを製造する会社は 20 社から 9 社に、クロム系では 11 社から 5 社に減少し、少品種多量生産が可能になつた。

企業統合、集中生産志向はスクラップアンドビルド化を促進し、新たに臨海に立地して量産工場を建設してコスト低減を画るものも数社におよび、電気炉も画期的な大容量化をとげた。従って 1970 年前後はわが国フェロアロイ工業が目覚ましい発展をとげた歴史的な時代であり、その製造技術の進歩も一躍世界の指導的地位に立つに至つた。また、その生産量も自由諸国中最大の米国に比肩するに至り、量・質ともに躍進の時代であつた。

しかるに、1973 年末のオイルクライシスの影響による景気後退、さらに資源産出国のフェロアロイ生産拡大とその輸出攻勢により、わが国フェロアロイ工業は極めて困難な立場に立つている。以下これらの事情について述べる。

2. 生 産

わが国のフェロアロイ生産は、わが国鉄鋼生産の目覚ましい伸びによる需要増に伴い、自由諸国中一、二を争う生産を行うようになった。1974 年度には 267 万 t を生産したが、以後前述の理由から生産は低下し、1976年度の生産は 243 万 t にとどまり、今後さらに低下が予想されている。最近の粗鋼生産量とフェロアロイ生産量の推移の関係を図 1 に示し、またフェロアロイの品種別生産量の推移を表 1 に示す。

3. 電力と資源

マンガン、シリコン、クロム、ニッケル系など、量的にそのほとんどを占めるフェロアロイは電気炉によって製造されるので、フェロアロイ工業の消費する電力はわが国産業用使用電力量の 4.4% を占め、アルミニウムとともに電力多消費産業である。その他のバナジウム、ニオブ系などのフェロアロイは、アルミニウムを還元材とするアルミノテルミット法により製造されるが、電力多消費製品であるアルミニウムを多量に消費するので電力多消費製品である。原油を海外に頼るわが国の電力の価格は、他のフェロアロイ生産国に比して著しく高く、わが国フェロアロイ工業の国際競争力を奪う大きな原因となつている。

わが国フェロアロイ工業はフェロシリコンを除き全ての原料鉱石を海外に依存し、また世界のフェロアロイの鉱石資源は地域的に偏在している。現在業界の直面する諸問題はこの資源問題に起因するので、改めて第 5 章において述べる。

* 昭和 52 年 10 月 6 日受付 (Received Oct. 6, 1977) (依頼解説)

** 日本電工(株) (Nippon Denko Co., Ltd., 2-11-8 Ginza Chuo-ku Tokyo 104)

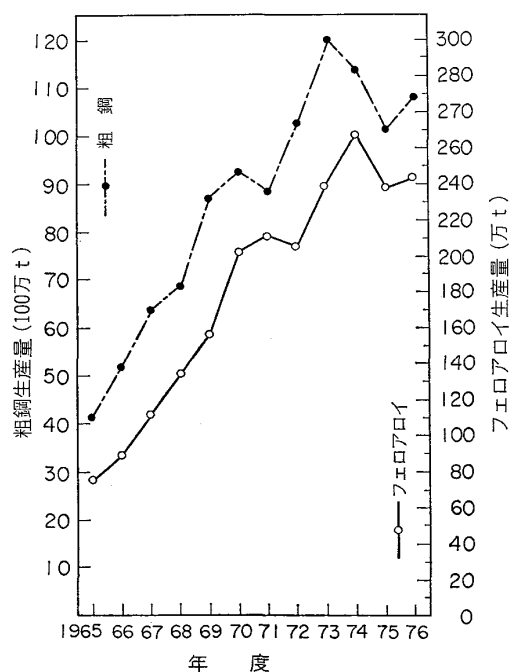
表1 フェロアロイ生産の推移

(単位: t)

年 度		1972	1973	1974	1975	1976
品 種						
フ エ ン ガ ン ロ ン	高 炭 素	468 721	530 142	575 214	513 894	525 436
	中・低 炭 素	140 782	141 700	156 727	137 198	175 824
	小 計	609 503	671 842	731 941	651 092	701 260
シ リ コ ン マ ン ガ ン		482 368	521 747	608 017	555 239	523 062
フ シ リ コ ン ロ ン	2 の 号	250 849	284 410	327 641	260 065	279 664
	そ の 他	52 648	57 509	61 921	48 205	52 360
	小 計	303 497	341 919	389 562	308 270	332 024
フ ク エ ロ ム	高・中 炭 素	280 981	417 643	485 527	431 888	427 488
	低 炭	78 970	91 187	96 757	88 295	93 330
	小 計	359 951	508 830	582 284	520 183	520 818
シリコクロム(販売用)		32 126	36 070	27 691	*80 423	*68 959
フェロタンダステン		676	919	726	424	473
フェロモリブデン		2 340	3 310	3 490	4 458	4 302
フェロバナジウム		2 883	2 957	3 400	3 368	3 496
フェロニオブ		1 332	1 571	1 749	2 010	1 276
カルシウムシリコン		9 793	7 107	7 144	5 399	3 867
フェロホスホル		2 882	2 483	1 914	1 368	2 359
フェロニッケル		175 876	222 091	242 933	191 968	212 258
計		1 983 227	3 320 846	2 601 851	2 324 202	2 374 154
金 属 マ ン ガ ン		12 370	9 043	8 821	7 479	7 107
金 属 け い 素		38 822	44 294	52 440	42 629	46 809
酸 化 モ リ ブ デ ン		8 690	12 913	11 875	6 933	8 412
合 計		2 043 109	2 387 096	2 673 987	2 381 243	2 436 482

日本フェロアロイ協会資料(フェロニッケルは鉄鋼統計)による

(注) * 印シリコクロムは原料用を含む

図1 粗鋼ならびにフェロアロイ生産量の推移
(鉄鋼統計および日本フェロアロイ協会資料による)

4. 技術進歩の概要

既述のように、わが国のフェロアロイの製造技術は、1970年前後に量・質ともに飛躍的な進歩を遂げた。ここでは、それらの内容を総括して述べる。

4.1 工場立地

従来、わが国のフェロアロイ工場は、当時の豊富低廉な余剰の水力電気および余剰労働力を利用するため東北および北陸地方に集中していたが、電力は火主水従となるほか労働事情も変化し、さらにフェロシリコンを除くすべてのフェロアロイ原料鉱石を海外に依存するため、原料輸送費および需要家への製品輸送費の低減が切実な問題となつてきた。このため、企業の合理化を機に臨海地域に工業立地を計るようになった。そして、これは大容量炉の建設あるいは新しい製造工程の採用にまたない機会を与えた。

これらの工場立地の形態はつぎのように分類することができる。(1)臨海製鉄所に隣接するもの(岡山県水島への水島合金鉄、茨城県鹿島への中央電気工業、兵庫県加古川への神戸製鋼所)。(2)独立して臨海地区に建設して専用の港湾施設を備えるもの(徳島県阿南への日本電工)。以上はいずれもマンガン系フェロアロイの集中量産工場である。(3)臨海製鉄所に直結してフェロクロ

表 2 フェロアロイ製造電気炉設備の現状 (1977年 3 月)

品 種	型式別基数				電気炉 (kW)	変圧器 (kVA)	年 間 生産能力 (t)	内 最 大 設 備		
	開放	密閉	半 密閉	計				電気炉 (kW)	変圧器 (kVA)	型式
高炭素フェロマンガ	3	11		14	208 300	301 700	755 700	26 000	40 000	密閉
中・低炭素フェロマンガ	12	3		15	27 870	51 200	213 600	3 100	6 000	密閉
シリコマンガ	22	14	1	37	378 640	550 040	791 800	33 000	51 000	密閉
フェロシリコン	38	3		41	532 010	741 200	474 780	50% 42 000 75% 31 500	60 000	密閉
高炭素フェロクロム	22	5		27	262 530	390 500	632 400	26 000	40 000	密閉
低炭素フェロクロム	5		3	8	39 800	51 450	139 700	9 000	10 000	開放
シリコクロム	7			7	60 900	75 600	83 000	14 000	20 000	半密閉
カルシウムシリコン	3			3	12 800	19 250	6 600	6 000	6 700	開放
金属けい素	14			14	104 150	154 550	63 000	17 000	34 000	開放
合 計	126	36	4	166	1 627 000	2 335 490	3 160 580			

日本フェロアロイ協会資料による。

なお、フェロニッケルの最大設備は、電気炉容量 32 000kW、変圧器容量 40 000kVA、密閉型である。

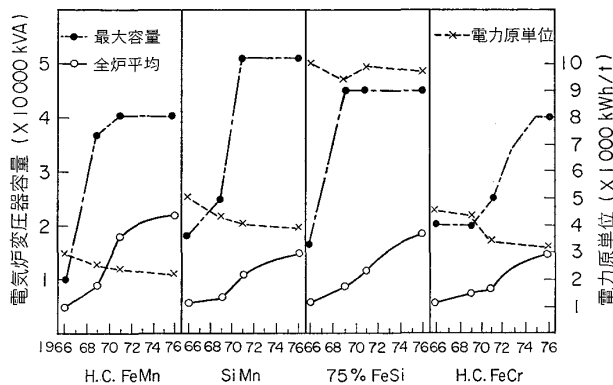


図 2 おもなフェロアロイの電気炉変圧器容量 (全炉平均および最大) ならびに電力原単位 (加重平均) の推移

ムの溶湯を供給するもの (山口県周南への周南電工, 北九州八幡への日本重化学工業)。

4.2 電気炉の大容量化

貿易自由化による国際競争の激化に備えて企業の統合が行われ, 集中生産, スクラップアンドビルド, 新工場立地などの条件がそろつたので, 年々大型化しつつあつた電気炉も 1970 年前後には飛躍的な大容量化を遂げた³⁾。その推移を図 2 に示す。

1969 年に建設された日本電工徳島の 36 400kVA (27 000 kW) のフェロマンガ炉は当時世界最大の 39 000 kVA 炉をはるかにしのぐ生産実績を示し⁴⁾, 引き続き 40 000kVA 級の電気炉が各社によつて続々と建設されて, わが国は世界のフェロアロイ電気炉大容量化のさきがけとなつた。電気炉の大容量化は, レイアウト, 原料事前処理, 制御管理の自動化, 公害防止などあらゆる面での総合的進歩を必要とするので, フェロアロイ製造技術の画期的な進歩を示すものである。現在の電気炉設備の状況は表 2 のとおりである。

わが国の実績に刺激されて, 海外諸国の電気炉大容量化も促進された。現在, 世界最大の電気炉の変圧器容量

はマンガ系フェロアロイおよびフェロシリコンでそれぞれ 75 000kVA, フェロクロムで 48 000 kVA, フェロニッケルで 40 000kVA となつている。

しかし, 実際操作において, その生産能力を現わす電力負荷, すなわち電気炉容量 (kW) は表 2 に示されるわが国の最大級電気炉のそれを, フェロシリコン炉以外は超えていない。このことは, わが国の最大級電気炉の生産能力は依然として世界で最大であることを示している。

電気炉の大容量化は, 電気炉の型式にも変化を与えた。従来は炉内熱分布の均一化を図るために炉床回転炉が普及したが, 炉の大容量化により炉内熱分布は均等に行なわれるようになったので, クラストが生成しやすく製錬温度も高い 75% フェロシリコンおよび金属けい素を除いて, 新設炉は固定炉となつた。

また, 電気炉の大容量化は公害問題の進展とあいまつて炉の密閉化を促進し, 前述シリコン系以外のフェロアロイ炉はほとんどが密閉炉となつた。フェロシリコン炉の完全な密閉化は日本の 1 社だけが実施している⁵⁾。また, スウェーデンではフェロシリコンの半密閉炉で排ガスの熱交換によつてボイラーを運転し, さらに発電を計画している。密閉炉においては, 電気炉の排ガスを化学原料あるいは燃料として, ほとんどの工場がその CO ガスを活用している。

4.3 原料の事前処理

世界のフェロアロイ資源供給国は埋蔵量の多い少数の国に限定されている。過去においては塊鉱のみで需要が充足され得たが, 需要量の増大に伴い, 粉鉱石の占める割合は急激に増大してきた。なんらかの形でその塊成を行なわなければ, 通気度の悪化による炉内装入物の噴き上げ, およびこれに起因する電極折損等の事故を生じ, 炉の安定な操作が行われないので, 粉鉱の塊成が必要である。特に大容量炉においては, これらの支障の結果は重大であるので, 粉鉱の塊成は必須の条件である。また, 塊鉱整粒の際発生する粉鉱の塊成ももちろん必要である。そのため, 種々研究されてきた原料の事前処理は

炉の大容量化に伴い急速に進歩し実用化された。

従来、事前処理には原料予熱を目的とするものを始め幾多の提案が行われたが、現在は、事前処理が第一の目的を粉鉍の塊成におき、しかも電気炉の運転と直結して、ひとつのシステムとして考えられるようになり、いくつかの方式に集約され、完全に実用化されてきたところに特徴がある。

その結果、現在実施されている代表的なものには、マンガン鉍石においては焼結法⁶⁾⁷⁾、クロム鉍石においては焼成ペレット法、還元材内装ペレット方式の予備還元法⁸⁾⁹⁾および焼結法⁶⁾¹⁰⁾がある。いずれも日本において開発されたものである。

4.4 公害防止の技術

公害問題の進展により、1970年の国会で公害関係法案が成立し厳格な諸規制が実施されるに至った。従来規模の電気炉に公害防止設備を完備することは経済的にも困難であるので、最初から公害防止設備との関連を考慮した大容量炉の建設に力が注がれた。公害防止技術の進歩も著しく、1973年には稼動するすべての電気炉に集塵設備が設置され、わが国のフェロアロイ工業は海外諸国にさきがけて完全な公害防止の体制を整えることができた。

公害防止には、現在一般にはつぎのような方法がとられている。開放型電気炉においては、排ガスと多量の空気を含む気体を冷却後バグフィルターによる乾式集塵を採用している。密閉式電気炉においては、ベンチュリースクラバーおよびタイゼンウォッシャーにより湿式集塵され、排水はシックナーによる沈殿、フィルターによるろ過を経て清浄水として排出される。電気炉のみならず、事前処理工程にはバグフィルターあるいは電気集塵機、炉前出湯および製品整粒処理にはバグフィルターが用いられる。

このように、大気汚染、水質汚濁等の公害防止の技術は、やはり1970年前後に急速な発達をみて、現在確立された状態にある。

4.5 操業技術の進歩

絶え間なく厳しくなっていく業界の環境と競争の激化は、電気炉大容量化のうせいを招来した。電気炉の大容量化は操業制御の複雑な手段を必然的に要求する。電気炉が効率よく経済的に運転されるためには、単に炉が大容量化するだけでなく、炉能力一杯の電力負荷(kW)をもつて、しかも安定な操業を順調に継続して操業率の向上を計らなければならない。

このためには、合理的に設計された大容量炉、有効な原料処理および進歩した制御管理が必要である。

大容量炉の設計に当つて同一の装入原料であつても、従来の炉と比較して、炉内電気抵抗は低下し力率が悪くなること、炉内の熱分布状態が異なることなどが十分に考慮されなければならない。

炉の装入原料は適切な品質、事前処理、および管理が要求される。すなわち、高い炉内抵抗と良好なガス通気度を与える手段が冶金学的にとられなければならない。大容量炉においては、装入原料は均一にしてしかも電気抵抗の高い装入物とするために破碎、分級、および塊成されなければならない。ある場合には電炉装入前に予熱あるいは予備還元も行われる。

炉の制御管理は、原料配合、電極昇降、炉内ガスの圧力および組成などに適切な自動制御が行われて、炉操業の安定化と炉の電力負荷の向上が計られなければならない。

従つて、炉の大容量化は、これらについて著しい進歩を促した。フェロアロイ生産技術者の今後の課題は、炉の制御管理をさらに改善追求し、つぎに起こるであろう変化あるいは事故の予測とその対応をより精緻にすることである。

わが国は、その国民性と教育の普及が寄与していると思われるが、フェロアロイ生産において電力負荷は安定して高く、生産効率も高く、従つて電力原単位の低減も顕著である。電力原単位の推移を前掲図2に示した。電気炉容量、電力原単位ともに、1970年前後を境とした著しい変化は興味深いものがある。

おわりに、コンピューターコントロールの事情について付言すれば、Elkem社では、このような複雑な制御は将来人間の判断力ではできなくなり、コンピューターによつて監視さるべきであろうとし、コンピューターコントロールを提案し自社の工場では実施している¹¹⁾。現状では、まだ管理の範囲が一部に限られているので、日本のような熟練度の高い制御管理が広範囲に行われている工場では著しい経済効果は期待し難いとみられている。しかし、コンピューター制御は将来無視できない傾向であり、記憶させるべき条件の十分な追求と解明が必要であろう。

5. 各種フェロアロイの現状と諸問題

これまで、フェロアロイ製造技術の進歩と現状について総括的に述べてきたが、以下品種ごとに特徴あることを述べたい。現在わが国フェロアロイ工業の直面する諸問題は資源問題に起因している。技術は資源を活用する手段であるともいえると思うが、技術と資源の問題は境界が不明瞭であるので分け難い。よつて併せて述べることにする。表3に国別の鉍石輸入量を、図3に各種鉍石輸入先および合併開発プロジェクトの分布図を示す。

5.1 マンガン系フェロアロイ

5.1.1 製造

マンガン系はフェロアロイのうちで最も量産品種であるので既述の進歩も他品種にさきがけて行われた。例えば、40000kVA電気炉1基は年間10万tのフェロマンガンを生産し、これは粗鋼2500万t生産のための需要

表 3 1976 年度国別鉱石輸入量 (単位: t)

国 別	マンガン鉱石	クロム鉱石	モリブデン鉱石	五酸化バナジウム	ニオブ鉱石
中 華 人 民 共 和 国	3 779				
タ イ	1 957				
マ レ イ シ ア	43 159				
フ イ リ ビ ン	4 368	134 345			
イ ン ド ネ シ ア	5 760	1 715			
ソ ン ド	13 309	275 522			
ヴ ィ エ ト 連 邦	5 110	71 958			
メ キ シ コ	111 306				
ブ ラ ジ ル	61 215				561
ガ ー	8 559				
オ ー ト	7				
ガ ー	164 953				
コ ン	14 858				
ザ ン	750				
南 ア フ リ カ	521 078	453 469		2 195	
オ ース	733 140				
ニ ュー	34 581				
パ キ		14 451			
イ ン		78 000			
フ ィ		6			
ア ー		19 654			
ア ー		62 755			
ア ー		7 838	8 808	631	126
ス ー		14 077			
モ ー		45 052			
マ ー		132 032			
ニ ュー		10 238			
大 韓 民 国			93		
ベ ー			355		
ド ー			230	375	51
カ ー			7 274		656
チ ー			740		
イ ー			61		
オ ー			20		
ナ ー					367
合 計	1 727 889	1 321 148	17 581	3 201	1 796

通関統計による

量に相当する。その安定量産効果によつて、マンガン系フェロアロイは、苦難のフェロアロイ業界のなかで将来とも国際競争に耐えうる唯一の品種といわれている。

製造技術の進歩については第4章に述べたが、中・低炭素フェロマンガンについて付言すれば、その脱珪方式は従来のスエーデン法のほかに、原料焙焼によるもの、シリコマンガン溶湯によるもの¹²⁾、および揺動取鍋によるペラン改良法¹³⁾が用いられている。

5.1.2 資 源

マンガン鉱の年産出量は、ソ連が800万t台で35%を占め、南ア500万t、ブラジルおよびガボン各200万t台、オーストラリア150万tで、これらが主な産出国である。インドは140万tでこれにつぐ産出国であるが、1973年から政府が高品位鉱の輸出禁止をしている。中国は100万tでこれにつぐがその90%を内需にむけている。

わが国へのフェロアロイ用マンガン鉱石供給国は、南ア、オーストラリア、ガボンの3国で総輸入量の約80%を占める。消費者としては当然、価格・数量・品位・供

給の安定性を求めるが、これが供給源をさらに偏在化する結果となつている。

5.1.3 問題点

1973年のオイルクライシス以後鉱石の値上がりが激しいが、供給源の世界的な偏在も価格つり上げの原因となつている。しかもそれぞれ内陸輸送や労務問題で市場の緊迫もまれではない。このように資源の豊富な埋蔵量にもかかわらず安定ソースは限られ、偏在資源のひとつとして対策が焦点となつている。

このため、わが国業界としては安定鉱山の開発が必要となつた。その主要なものにオートボルタのタンバオ鉱山開発がある。業界メーカー9社と1商社1鉱山会社で日本側窓口会社として設立したタンバオ・マンガン開発(TAMCO)が、オートボルタ政府、西ドイツ、アメリカ、フランスと合併でタンバオ鉱山会社(SOMITAM)を1975年に設立(日本側出資30%)した。1980年代には出鉱量年間68.7万t、うち対日供給量年間42.1万tが予定されている。

また一方においては、資源産出国は将来のフェロアロ

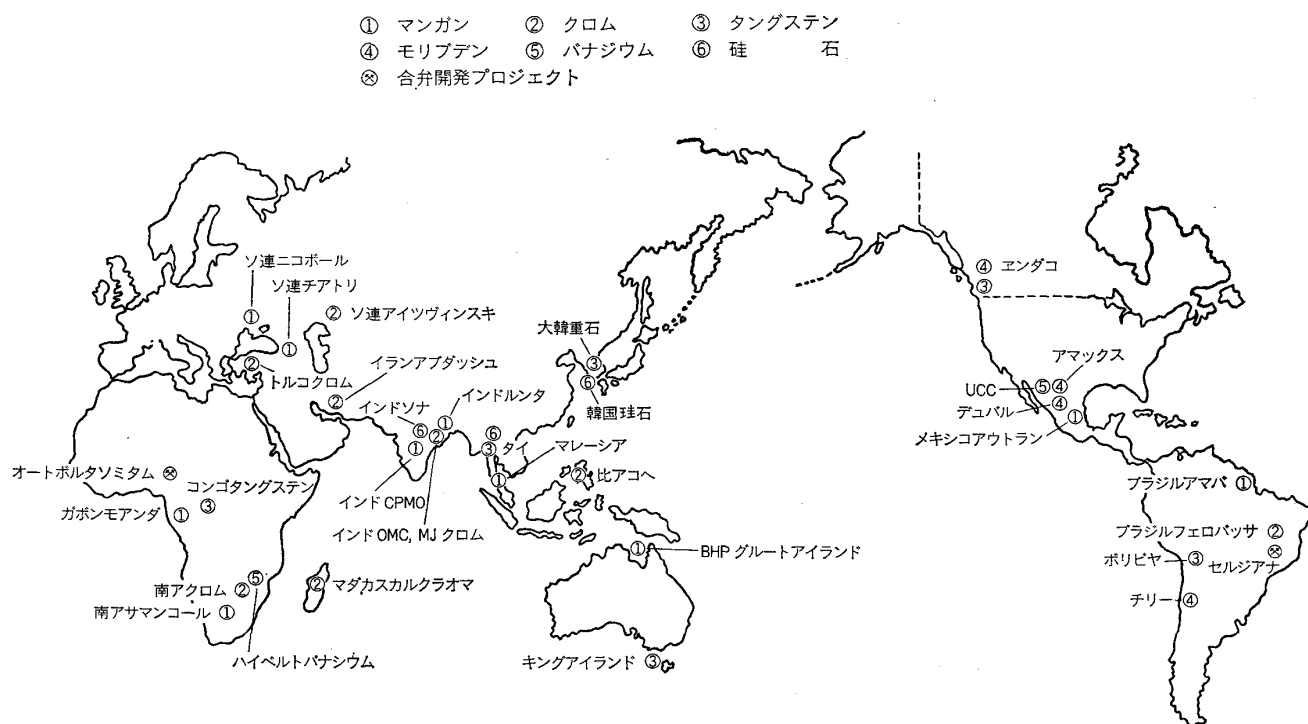


図3 フェロアロイ用各種鉱石の主要輸入先及び合併開発プロジェクトの分布図

イ生産国を志向している。一例を挙げれば、ガボンのコミログ社の北部鉱床開発計画に関連して、コミログ社、ガボン政府ほか8社（うち日本からは2メーカー、1商社）が合併でガボン合金鉄製造（SOGAFERO）を設立（日本側出資25%）し、1980年からのフェロマンガン生産を計画している。

世界的に、既存鉱山の生産拡大、新規鉱山の開発は活発であるが、問題は、如何にしてこれらの鉱石を安定確保し、供給源の多角化を画かということである。

5.2 シリコン系フェロアロイ

5.2.1 フェロシリコン

フェロシリコンは、わが国フェロアロイ工業のなかで原料鉱石を国産でまかなえる唯一の品種であるが、電力消費の大きい製品であるために、わが国の電力価格の-highことが競争力を弱くしている。

1977年度は、年間需要約35万tに対し、輸入約5万t、国内生産約30万tと見込まれているが、生産設備能力は約47万tであるので操業度は低い。

輸入先は台湾、韓国が主で、ほかにベネズエラ、ノルウェーなどがある。

業界では、効率の悪い生産設備を廃棄して操業度を上げ、かつ電力価格の低廉な工場を中心に生産を集中することによりコストの低減を計るべくつとめている。

なおフェロシリコンは、電磁鋼用には特にアルミニウムその他の不純物の少ない特殊品が使用され、これには厳格な規格の国産品のみが用いられる。

5.2.2 金属けい素

金属けい素の原料は主として韓国からの輸入けい石に

依存している。金属けい素は1973～74年の世界的な金属けい素不足から市況は3～4倍に暴騰したのに刺激され、またアルミニウムの伸びに期待した南ア、カナダ、スペインなどの大規模の新增設プラントが相ついで1976年頃に完成し、販売見通しの不明確なままに操業に入つた。このため自由世界の年間需要40万tに対し生産は45万tと供給過剰であり、しかも生産設備の能力は55万tである。従つて1976年からの日本への輸入攻勢は激烈である。

しかし、欧米では、自動車軽量化のためのアルミニウム合金、シリコン樹脂、半導体用高純度シリコンの伸びから、世界の金属けい素の需要は年率8～10%で増加し、1980年には逆に供給不足になるとの見方をしている。現在わが国の金属けい素の需要はアルミ添加用70%、鉄鋼用12%、シリコン樹脂および半導体用18%である。

5.3 クロム系フェロアロイ

5.3.1 製造

フェロクロムはほとんどがステンレス鋼製造に使用され、その生産もステンレス鋼製造技術の進歩発展に伴つて変遷してきた。従来低炭素フェロクロムの用途はステンレス鋼であったが、酸素製鋼法の普及により1963年度以降、高炭素フェロクロムの需要は低炭素フェロクロムを上回つて逐年急増を続け、さらに減圧脱炭法の出現進歩¹⁴⁾により1976年度には低炭素品の9倍を超えている。海外でも、これに若干遅れて同様な傾向をたどっている。

高炭素フェロクロムの生産は、これに追随急増を続け

てきたが、1975年度以降は高炭素品の生産が輸入に圧迫されて、この需要比率どおりに伸びていない。

また、従来高炭素フェクロムの生産には Cr_2O_3 48%以上、 $\text{Cr}:\text{Fe}$ 3以上の高品位塊鉍が重用されたが、世界の75%の埋蔵量を有する南アのトランスバル鉍は Cr_2O_3 44%、 $\text{Cr}:\text{Fe}$ 1.5の低品位鉍である。ステンレス鋼の進歩発展とフェクロムの需要構造の変化は、安価なトランスバル鉍を原料とする従来の高炭素フェクロムより低品位の Cr 52~55%のチャージクロムを使用するようになり、1967年国連の対ローデシア経済制裁決議はトランスバルの低品位鉍を圧倒的な主要鉍石とする結果となった。従って現在チャージクロムは高炭素フェクロムのほとんどを占める代表品種となり、わが国でも高炭素フェクロム5号としてJISに制定されている。

クロム鉍石はローデシア以外は粉鉍が多く、前述南アのトランスバル鉍も埋蔵量のほとんどは粉鉍である。フェクロムにおいて大容量電気炉が出現しなかつたのも粉鉍問題がおもな理由のひとつであつた¹⁵⁾。このためクロム鉍石の塊成は重要な問題であつたが、現在その塊成技術は4.3に既述のように定着した。

低炭素フェクロムの製造方法は、現在、日本および欧州ではペラン法を中心とするもの、米国ではUCC社の固体真空還元によるシンプレックス法も用いられているが、低炭素フェクロムは前述のような事情で凋落を辿りつつある。

5.3.2 資 源

全世界のクロム鉍石の推定埋蔵量は、南ア70%、ローデシア21%、ソ連7%といわれ、この3ヶ国で98%を占めることになる。このクロム資源の地域的偏在が種々のクロムに関する問題の原因となつている。

現在、世界のクロム鉍の産出は年間700万tを超え、ソ連、南ア、フィリッピン、アルバニア、ローデシア、トルコの6ヶ国で約85%を占めている。

わが国のクロム鉍石の1976年におけるクロム鉍の輸入量は120万tを超え、供給国は南アが最大で輸入量の約35%を占め、これとインド、フィリッピン、マダガスカル、ソ連で約81%を占める。

南ア鉍の主要積出港はモザンビークにあり、長期滞船など出荷面の不安定が問題となつていたが、現在改善の努力がなされつつある。インド鉍には、 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 40\%$ 、 $\text{SiO}_2 < 12\%$ の高品位塊鉍の輸出禁止、および粉鉍と低品位塊鉍の輸出割当制が実施されている。ソ連は鉍石輸出減少の方針をとつている。フィリッピンのアコヘ鉍は出荷は安定しているが、流通面と価格面に問題がある。

また、先般米国のバード法廃止により、同国向けフェクロムおよびクロム含有鉄鋼製品にローデシア・クロムの使用禁止問題に係る日米政府協定が結ばれた。これにより、わが国においては $\text{Cr}:\text{Fe}$ 2以上のクロム鉍石

および Cr 60%以上のフェクロムの南アからの輸入についても規制されることとなつた。

5.3.3 問題点

現在わが国のフェクロム工業はつぎのような重大な問題に直面している。

(1) 資源産出国の対日輸出攻勢

クロム鉍石産出国のフェクロム生産への進出が著しい。ソ連、南ア、ローデシアの鉍石大手供給国は、自国のフェクロム生産規模の拡大を計画、実施中である。トルコ、ブラジル、インドも生産規模の拡大を目指し、さらには、イラン、マダガスカルなどもフェクロム生産を志向している。これらの動きは既に世界の鉍石供給に影響を与えており、ソ連の鉍石輸出の減少、インドの高品位塊鉍の輸出禁止などはそれである。

資源に恵まれた南アフリカは、輸出品の付加価値を高めるため、フェクロム生産拡大に極めて積極的で、1976年頃から日本への輸出量の増加は著しいものがある。鉍石価格の上昇、電力価格の高騰をはじめ、公害投資の増大、労務費の上昇は日本のフェクロム工業の競争力を急激に低下せしめ、これがフェロアロイ業界最大の問題となつている。

(2) クロム鉍石の安定確保

クロム鉍石の埋蔵と産出の偏在を考えるならば、これら大手産出国の生産あるいは出荷に影響を与える政治的条件、あるいは鉍石輸出政策に大きな変動があれば、鉍石の需給バランスは一挙に崩れてしまうわけである。従って、業界ではクロム鉍石の安定確保のために、海外での探鉍・開発につとめている。

その主なものにブラジルクロム資源開発(BCRD)がある。これは6メーカー、2商社で設立され、BCRDはブラジルのFERBASAグループと合弁のSERJANA社を設立(日本側出資49%)し、1977年から船積みを開始した。年産12万tで全量対日供給の計画である。

このほか、7メーカー、2商社が、フランスと合弁(日本側出資35%)で、探鉍活動を進めてきた。マダガスカルはクロム鉍石開発計画は、マダガスカル政府が鉍山業の完全国有化の方針を打ち出したため、この程中止となつた。これによつて、わが国の数少ないクロム鉍石の開発プロジェクトのひとつが姿を消すことになつた。

南アフリカからのフェクロムの輸入の増加は著しいが、わが国ステンレス工業の安定な生産のためには、フェクロムの大部分が国産されることが必要であり、業界では、資源開発、安定供給鉍石の確保、およびこのための技術協力につとめている。

5.4 ニッケル系フェロアロイ

ステンレス鋼の伸長に伴い、フェロニッケルの需要はクロムと同様に著しく増加した。また、酸素製鋼の普及による需要構造の変化も同様で、高炭素品の消費は低炭素品に比して著しく増加し約9倍になつている。

酸化ニッケル鉍石は、低品位鉍で多量のスラグを発生し、結晶水や付着水も多いため、多量の熱量を消費し、また状況によつてニッケル歩留への影響も著しい。

このため各種の製錬法があるが、現在では電気炉法が主流をなしている。事前処理として、乾燥工程を経て、ロータリーキルンによる煅焼、あるいはロータリーキルン、アンニュラーキルンなどによる予備還元が行われる。電気炉における製錬は、普通は完全還元法が行われるが、鉄：ニッケルの比の高いラテライト鉍に近い鉍石については鉄の還元を抑制する選択還元法が行われる。そして事後処理として脱硫が行われる。

ニッケル資源は従来偏在資源とされていたが、ニッケル価格の高騰、製錬技術の進歩、および採鉍・輸送の合理化から、酸化ニッケル鉍石の採算品位が3% Ni 以上から1.5% Ni 程度にまで低下してきたため、世界各地で新規鉍山が採鉍開発されつつある。

現在フェロニッケル業界も、他のフェロアロイと同様の苦境にあり、製錬技術の開発改良とともに、資源産出国との協調および技術協力によつて、鉍石の安定確保につとめている。

5.5 フェロバナジウム

フェロバナジウムのほとんどは高抗張力低合金(HSLA)鋼用に消費される。構造用鋼・ラインパイプ・圧力容器・橋梁・自動車用鋼などの用途のうち、石油・天然ガスの大口径ラインパイプでの使用量は圧倒的に多く、大口径ラインパイプ受注の動向がバナジウム業界の景気を左右している。近年バナジウムの需要は著しく伸びたが、1961年からオーストリー、西ドイツなどからの輸入が急増して、国内生産量が伸びず、バナジウム業界での最大の問題点となつている。

自由世界のバナジウム鉍石は、南アが最大の生産国であつて約60%、米国が約30%を占め、特定国に集中している。わが国は原料を五酸化バナジウムとして輸入し、その90%は南アから、他は米国および西ドイツからによる。その他、国内では2社が火力発電所のオイルアッシュあるいは廃触媒から五酸化バナジウムを回収製錬してわが国消費量の5%程度をみたしている。

フェロバナジウムはアルミノテルミット法で製造される。米国では固体真空還元による UCC 社の Carvan、含バナジウムスラグの直接電気炉還元による Foote Mineral 社の Fero van など炭素還元によるものもあるが、欧州および日本では用いられていない。

バナジウム生産者19社(うち日本側4社)によるバナジウム国際技術会議(VANITEC)が南ア Highveld 社の提唱で組織され、HSLA 鋼に及ぼすバナジウムの効果を中心に、バナジウムの技術的用途開発を目的として活動している。1976年には第11回会議を東京で開催した。

5.6 フェロニオブ

フェロニオブはフェロバナジウムとともに HSLA 鋼の重要な添加合金で互いに競合関係にあるともいえるが、実際にはそれぞれの特質を生かして相乗効果を求めて併用されるのが通常である。

ニオブ鉍石の輸入は従来コロンバイトが中心であつたが、ナイジェリアの供給力と価格の面から、現在ではパイロクロアが主体である。世界最大のパイロクロア供給者ブラジル CBMM 社からはフェロニオブとしての輸入が増加している。カナダでは新しく生産を開始した NI-OBEC 社が1976年からパイロクロアを日本に輸出している。現在は不況のため需給は緩和しているが、本来は供給不足の資源事情である。

5.7 モリブデン系及びその他のフェロアロイ

モリブデンはフェライト系ステンレス鋼への用途が多いほか、HSLA 鋼にとつても重要な元素である。添加材には、製鋼のプロセスにより、フェロモリブデンまたはモリブデン酸化物が用いられる。

自由世界におけるモリブデン鉍石の最大産出国は米国で68%を占め、カナダの18%、チリーの13%を加えて、この3ヶ国で99%を占める。わが国の輸入もこの3ヶ国で95%を占めている。このようにモリブデン鉍石の生産は寡占状態であることが特徴である。

フェロチタンは、現在ではすべてチタンスクラップと鉄屑の誘導電気炉熔解によつて製造されている。

タングステンは、鉄鋼用ではシーライトクリンカーの消費がフェロタングステンの倍量になつており、この傾向はさらに増しつつある。

6. 結 言

わが国のフェロアロイ工業は、貿易の自由化による国際競争の激化に対処するために、1963年ごろより企業の統合および設備の合理化を積極的に図つた結果、臨海新立地における新鋭大型量産工場の出現、電気炉の大容量化、操業の制御管理の進歩、公害防止技術の進歩など著しい進歩発展を遂げた。製造工程においても、事前処理方式を開発して大容量電気炉の運転と一貫した総合的なプロセスとして完成した。

このように、1970年前後にわが国のフェロアロイ製造技術は飛躍的に進歩発展した結果、フェロアロイの生産量も自由世界最大の米国に比肩するに至つた。また、世界の1970年代のフェロアロイ製造技術進歩の特徴は、電気炉の大容量化、および事前処理を中心とした多様な製造プロセスが淘汰されて量産に適するプロセスに集約されたことである。なお、これらの進歩が、1970年前後におけるわが国フェロアロイ製造技術の目覚ましい進歩発展に刺激された結果であることは興味深いことである。

しかしながら、1973年末のオイルクライシスの影響に

よる景気後退を境として、目覚ましい発達をとげたわが国フェロアロイ工業にも暗いかげがさし始め、今や、エネルギーと資源の問題に起因する構造不況のなかに沈滞し、さまざまな困難な問題の打開に全力を集中せざるを得ない事態に直面するに至った。

第1にはエネルギー問題であり、エネルギー資源に乏しいわが国の電力価格は世界で最も高く、電力多消費産業であるフェロアロイ工業への影響は甚大で、国際競争力は本質的に低下した。

第2には資源問題であり、わが国のフェロアロイ工業はフェロシリコンを除きすべての資源を海外に依存し、また世界のフェロアロイ原料鉱石は地域的に偏在している。その供給は、資源産出国の輸送・労働事情、あるいは政治的意図により容易に左右され、その結果鉱石価格の高騰によつて、わが国フェロアロイ工業の国際競争力に極めて重大な影響を与える。

第3には資源産出国によるフェロアロイ生産の問題である。南アフリカを始めとして資源産出国は、より付加価値の高いフェロアロイの輸出国としての発展を志向し、1975年ごろからのフェロアロイの対日輸出量の増加は急激である。かれらは低廉な電力、資源、および労働力に恵まれ、かつ政策的に原料高、製品安の輸出体制をとることが可能である。輸入量増加の結果、わが国のフェロアロイの生産量は需給量を下回り、さらにこの傾向は増大しつつある。

しかし、わが国は巨大な鉄鋼生産国であると同時に巨大なフェロアロイ消費国である。技術的に高度な進歩発展を遂げたわが国鉄鋼業は、使用するフェロアロイへの質的な要求に急速な対応を必要とするのみならず、量的にも安定な供給を必要とする。これらの要求を充たすためには、不安定な輸入に大きく依存することは危険であり、大部分は量・質ともに安定な国産フェロアロイに依

らなければならない。

従つて、わが国フェロアロイ工業は、国際競争力を強化してこの要求に応えるべく、製造技術の開発改良とともに、資源産出国との協調および技術協力によって、原料鉱石の安定確保につとめている。

このように、わが国フェロアロイ工業は現在極めて困難な事態に直面しているが、エネルギーにも資源にも乏しいわが国においては、これに携わる技術者の果たすべき役割は極めて重大である。

文 献

- 1) 東馬三郎: 鉄と鋼, 21 (1935) 6, p. 413
- 2) 那須重治: 鉄と鋼, 59 (1973) 12, p. 130
- 3) 成瀬 亘: 鉄と鋼, 58 (1972) 8, p. 124
- 4) 成瀬 亘: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, p. 23
- 5) 堀部幸一: フェロアロイ, 21 (1972) 2, p.83
- 6) W. NARUSE: Metal Bulletin, Ferroalloys Special Issue, 1971, p. 87
- 7) W. NARUSE: Proceedings of INFACON 1974, p. 69
- 8) Y. KANO: Metal Bulletin, Ferroalloys Special Issue, 1971, p. 83
- 9) Y. OTANI and K. ICHIKAWA: Proceedings of INFACON 1974, p. 31
- 10) 成瀬 亘: 鉄と鋼, 57 (1971) 4, p. 26
- 11) A. G. ARNSEN and B. ASPHAUG: Proceedings of INFACON 1974, p. 115
- 12) 生駒輝夫: 日本鋼管技報, No. 48, p. 103
- 13) 奈古屋嘉茂: フェロアロイ, 18 (1968) 1, 2, p. 13
- 14) 青山芳正: 鉄と鋼, 63 (1977) 5, p. 1
- 15) S. SELMER-OLSEN: Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, May 1971, p. 210