

図 2-5-5 川鉄溶融還元製鉄法

験操業を行い、1984年には移動層炉を完成させて、予備還元-溶融還元直結の本格的な試験操業に入る予定である。なお同社は別途、鉄浴式石炭ガス化炉の開発も行っている。

川鉄溶融還元製鉄法は、図 2-5-5 に示すように、溶融還元炉にコークス充填層炉を用いている。同炉には特徴のある 2 段羽口を設置してあり、上・下羽口間の距離や、各羽口より吹き込む微粉炭、送風中 O_2 や湿分などのコントロールにより、炉内高温領域（例えば $1450 \sim 1550^\circ C$ ）の長さを変えることができる。予備還元は流動層で行う。試験段階は不明であるが、川鉄としては製鉄以外のフェロアロイ製造などへの応用も考えているといわれる。

その他の活動として CIG (Coal Iron Gasification) プロジェクトが挙げられよう。これは IEA の鉄鋼業省エネルギーに関する共同研究の一環として、主に日本とスウェーデンで鉄浴石炭ガス化溶解炉と予備還元炉を組み合わせたプロセスによるプラント建設の FS を行つた。日本側は新日鉄、鋼管、神鋼の 3 社が活動の主体で、1982 年から約 2 カ年間にわたり作業を行つた。

このように溶融還元製鉄については、日本各社も積極的な開発を進めており、今後の成果が期待される。

2.6 フェロアロイ

2.6.1 概説

電力多消費を特徴とするフェロアロイ産業は、石油危機の影響をもつとも強く受けた産業の一つである。石油危機後の 10 年は、①第一次石油危機による電気料金値上げが、比較的緩やかに影響した前期と、②第二次石油危機による電気料金の大幅再値上げが急激に作用した後期の二つに大きくわけられる。

この間のわが国のフェロアロイの生産量の推移は、図

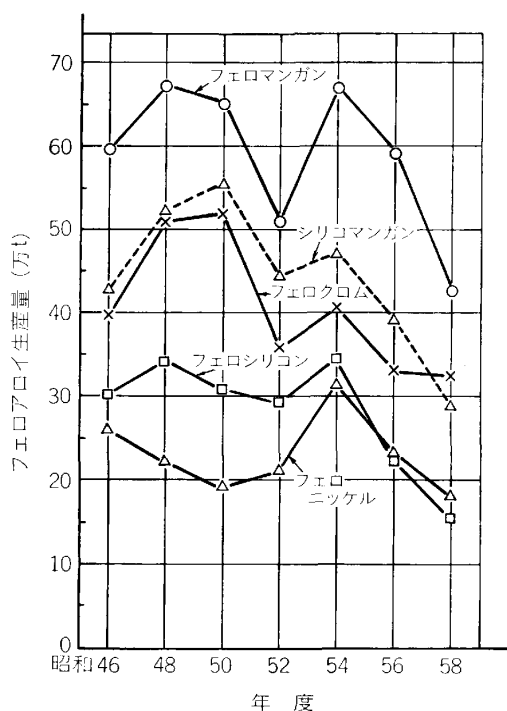


図 2-6-1 日本フェロアロイ品種別生産量の推移 (日本フェロアロイ協会資料)

2.6.1 に示すとおり、粗鋼生産の伸びの停滞、製鋼技術の進歩によるフェロアロイ使用原単位の低下、及び安価な輸入品の攻勢などによつて、減少の傾向にある。

(1) 電気料金の影響

電気料金は石油危機に伴い、前期では二度にわたり値上げが行われ、第二次石油危機後の昭和 55 年度には、さらに大幅な値上げが行われた。こうして最終的には、電気料金が石油危機前の約 5 倍に高騰した。フェロアロイの電力原単位は生産品種によつて異なるが、前述の電気料金の値上げにより、製品 t 当たり約 4 倍の電力コストのアップとなつた。フェロアロイ産業では、この大幅なコストアップを吸収するため、あらゆる経営努力が払われた。

(2) 合理化対処

コスト低減のため、前期は、①不採算生産設備の整理・統合、②危機前に建設した最新鋭の大型近代化設備の効率的な生産技術の確立、③電力原単位の切り下げを狙つた技術の改善、などが鋭意推進された。しかし、後期の電力コストアップは、こうした努力も力およばず、昭和 55 年度以降、金属けい素、フェロシリコン、フェロクロムの順にコスト競争力が弱体化し、輸入の増大を招いた。昭和 58 年度の輸入比率は、図 2-6.2 に示すとおり、金属けい素は 100%、フェロシリコンで 67.0%、フェロクロムで 51.7% になつた。このため、操業度の低下と市況の低迷により企業収益は悪化し、企業縮小・撤退を余儀なくされた。こうした環境の中で、わが国の

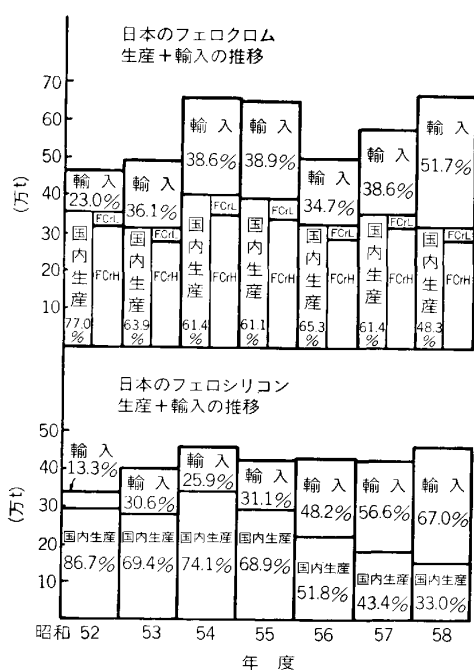


図 2.6.2 日本のフェロクロム、フェロシリコンの生産+輸入の推移
(日本フェロアロイ協会資料)

フェロアロイ産業は、今後需要の伸びや、輸入攻勢の鈍化が期待できないとの認識のもとに、①低操業体制を前提とした人員の再配置・整理等の雇用調整、②電力の需給調整契約の枠拡大による電力コストの低減と、それに対応した操業形態の見直し、③廃熱・廃ガス等のエネルギー回収の強化と有効利用、④きめ細かい品質規格の多様化と高級化、に努力している。昭和59年度から、電気料金制度に関して需給調整契約制度の拡充が実現し、従来の深夜料金を一部修正した第二深夜料金が創設された。これは、深々夜の料金を著しく割安に設定し、操業を深夜時間帯に集中することにより電力コストを低減する方策である。

フェロアロイ産業は、今後共非常に厳しいものがあり、さらに徹底した合理化を図ることが重要である。他方では、新規分野への進出により、企業の活路を見出す必要性がますます強くなっている。

(3) 操業技術の改善

前述のように第一次石油危機後は、大容量電気炉の効率的な操業技術の改善が積極的に取り入れられた。

特に、電気炉の電極径の大型化に伴う高負荷安定操業が、きめ細かい電極焼成の管理による電極折損防止、電極先端位置制御の操作方法の改良などで確立された。これらの技術の進歩と並行して、電極焼成機構の解明、電気炉補修時の炉内解析による還元反応の考察など技術的探索が進められ、電力原単位は過去10年間で、平均5%前後の低減となり生産性の向上に著しい成果が得ら

れた。

しかしながら、後期は、電気料金の高騰に対処するために、電力コストの大幅な切下げが必須となり、このため昼・夜間の電力負荷格差操業方式が導入され、従来の高負荷安定操業に比べて、高度な操炉技術が必要となった。さらに最低操業管理にコンピュータコントロールシステムが取り入れられ、電気炉の複雑なトータルプロセス制御の発展にかなりの効果をあげている。

2.6.2 各論

(1) マンガン系フェロアロイ

マンガン系フェロアロイの需要は、この10年間粗鋼生産の伸びなやみや製鋼技術の革新によるマンガン系フェロアロイ原単位低減等により減少の一途をたどっており、この傾向は今後当分継続することが予想される。

一方マンガン系フェロアロイは海外からの輸入攻勢に対して、唯一の対抗品種と考えられてきたが、最近ブラジル、メキシコ等より相当量の輸入が行われており、マンガン系フェロアロイといえども今後楽観は許されない。

これらの困難な環境を克服するため、各社とも生産工場の集約化、合理化を始め、各種の製造プロセスの改善・合理化に取り組んでいるが、その中で最も注目すべき点は高炉法等電気エネルギーによらない高炭素フェロマンガンの製造法が計画されていることである。海外では高炉法により数工場で生産されているが、日本では電炉法とのコスト差が大きくない等の理由から、今まで実現されることがなかつたが、電気エネルギーと石炭エネルギーとの価格差が定着したことと、大型製鉄所に隣接してコークスの供給、炉頂ガスの製鉄所エネルギーシステムへの組入れ面での有利さが確認されたことによるもので、今後の推移が注目される。このほか夜間電力の有効活用によるコスト低下と昼夜間格差操業の安定化を計るため、プロセスコンピュータの導入がなされている。特に、電力負荷の変化によつて、①炉内製錬ゾーンの変動、②電極先端位置の変動、③電極の焼成帯変動と既焼成部の温度変動、などが大きくなつたことである。これらの操炉管理上きわめて重要な問題を解決するため、原料鉱石の選択基準の変更、コークス配合量の調整と装入時期の変更、精緻な電極管理等が実施され、電力コストの低減に顕著な効果が得られ、操業の安定化が確立された。

(2) シリコン系フェロアロイ

シリコン系フェロアロイは、フェロアロイ中もつとも電力原単位が高いため、わが国の電気料金では国際競争力が弱い。輸入品の急増に対処するためコスト切下げが

必至となつたが、その一環として「高能率フェロシリコン製煉炉」が新技術開発事業団の援助のもとに昭和 53 年に建設された。本製煉法は、炉内侵入空気を低減して炉内温度を上げ、原料の予熱効果により電力原単位を約 10% 引き下げると共に、その排ガスをボイラーに導いて炉用電力の 20% を発電回収し製造コストの低減に寄与してきた。しかし、本操業法では、炉内温度を約 800°C に保持する必要上、安定操業にはきめ細かな操炉管理が必要となつてきたので、昭和 56 年にプロセスコンピュータを導入して着実に効果を挙げている。

カルシウムシリコンについては、パイプ材製造時にこれをインジェクションで添加し、鋼中の非金属介在物の清浄化をはかり、圧延材における横方向の靱性改善を目的として最近その使用量が増加している。

(3) クロム系フェロアロイ

クロム系フェロアロイは、シリコン系フェロアロイとともに輸入攻勢にさらされている品種であり、この面で抜本的な製造法の見直しを迫られてきた。

昭和 57 年度に、電気エネルギー依存からの脱却を目指して「製煉新基盤技術研究組合」を設立し、高炉大手 6 社特殊鋼 2 社とフェロクロムメーカー 3 社が加入してプロセスの開発に着手した。研究開発は次の 3 段階に分け行うこととした。すなわち、①マイクロリアクター試験、②パイロット試験の 2 段階で行い、これと並行して、③トータルシステム技術に関する評価・検証を行っている。第 1 段階としてのマイクロリアクター試験は、溶融還元製煉の要素技術の開発を目的として、上・底吹転炉型溶融還元炉、横型回転溶融還元炉および流動層予備還元炉試験を行い、昭和 59 年 7 月に上記 3 方式のうち、上・底吹転炉型溶融還元炉を選定しパイロットプラントを建設する運びとなつた。

(4) 特殊フェロアロイ

フェロバナジウム、フェロニオブ、フェロモリブデン、フェロタングステン、フェロボロン、フェロチタンなどの添加剤を総称して特殊フェロアロイという。

日本における特殊鋼生産は、着実な成長をしており、同時にこれらの特殊フェロアロイの消費量も現在まで増加の傾向にある。

しかし、これらの資源は偏在しており、世界的に安定供給に問題がある。一方、これら特殊フェロアロイ間には技術的及び経済的代替性があり、過去いくつかのレアメタル価格がさまざまな理由から高騰した時には、その都度ほかのレアメタルとの代替が行われてきている。

この代替様式は各社各様であるが、例えば、パイプ材用厚板の例では、従来 Mo-Nb 系であつたものが、昭和 54 年以降 V-Nb 系に変わり、さらに Ti 系及び Mn

系へと移行している。また、Cr-Mo 鋼が主体であつた構造用合金鋼は、主として自動車用部品に使用されるが、Mo の暴騰を契機に、Mo の添加率は削減され、さらに B への転換が急速に進められている。ステンレス鋼の一部では、Mo から Nb へと完全に脱 Mo しているものもある。このようにして Mo においては強度付与の目的で、他のレアメタル、例えば、V, Nb, Ti, B などへ代替し得るものについては、ほぼ代替が完了したといえよう。従つて、現在 Mo が使用されているのは、Mo の技術的優位性—高温時の脆化防止効果及び低温時の強度、靱性の確保に優れている—から代替ができないものに限られている。

このほか、最近電磁鋼板用アモルファス合金の原料としてのフェロボロンが脚光を浴びており、各社ともその開発に努力している。

(5) 新技術の開発

最大の需要家である鉄鋼・特殊鋼業界の高級品種指向により、フェロアロイの品質もより高度なものが要求され、付加価値の高い高級品種の製造技術の開発が行われている。その中でも、注目されるのは不純元素の低減技術である。原料選別法や鉱石還元時の混入防止等の従来の技術に加え、炉外精錬法による不純元素除去方法が、生産性およびコストの面から見直されるようになり、漸次、新プロセスの導入がはかられている。たとえば、中低炭素フェロマンガ製造工程において、溶湯シリコンマンガと熱鋳使用による揺動取鍋反応方式が採用されていることである。

また、同時に、微量元素の定量、精度の向上のため、分析手法の開発や高度な分析機器が導入される傾向にある。

クロム系フェロアロイの項で述べたように、昭和 57 年度からは、抜本的な価格競争力のあるプロセスとして、エネルギーを石油や電力から酸素ガスと石炭系への転換を試みる溶融還元法の研究が開始されている。他方、電力のより効果的利用法の一つとしてプラズマトーチの利用が考えられ、例えば、南アフリカ連邦共和国では工業規模実験も行われており、わが国においても重要技術として注目されている。

最近の注目すべき動向は、水素貯蔵合金や非晶質合金等の特殊合金分野への進出である。これらは将来、膨大な需要が期待され、技術的にもフェロアロイメーカーの保有技術の周辺にあるとされているが、基本的には新技術分野に属すると言えよう。長年にわたつて蓄積してきた還元、溶融技術に加え、精製、鑄造という、より川下の領域に技術を広げる必要にせまられている。このことは、従来の単なる第一次素材メーカーから多角経営へ

の転身を図る業界の姿を現していると言える。

2-6-3 今後の課題

過去 10 年間における日本のフェロアロイ産業は、前述のごとく、二度にわたる石油危機により大きな衝撃を受けながらも、幾多の技術革新や合理化をはかり経営基盤を維持してきた。

しかしながら、今後の道はなおいつそうの険しさを増すことが予想される。したがって、次にあげる項目が今後の日本のフェロアロイ産業の大きな課題である。

① 既存設備・装置での徹底した自動化、省電力化、および省力化は無論のこと、エネルギー源を電力にのみ傾倒しない低コストのフェロアロイ新プロセスの早期開発をめざす。

② フェロアロイの需要家である鉄鋼・特殊鋼業界との連携をいつそう密接に行い、需要側の新技術に即応した最適品質の確保と安定供給に徹する。

③ フェロアロイの保有技術・周辺技術を駆使し、新素材、新規分野への進出をはかり、新製品の開発をなおいつそう進展させる。

2-7 スラ グ

2-7-1 概 説

鉄鋼スラグ資源化の経過の概要は、2-1-1(5)に述べられているとおりであるが、主な項目について年次別にまとめると表2-7-1のとおりである。

2-7-2 基礎研究と開発研究の推移

鉄鋼協会に設置された基礎研究部会（表2-7-1参照）を中心にしてスラグの基礎性状に関する研究は大いに進み、その成果は昭和 57 年「鉄鋼スラグの性質と利用」（特定基礎研究会スラグの有効利用に関する基礎研究部会編）として刊行された。

表 2-7-1 鉄鋼スラグ資源化にかかわる主要経過（年表）

	組織及び業界の動き	研究関係	公的認知及び業界指針関係	海外との技術交流
昭和50年以前	昭47 立地公害委員会に「高炉滓 JIS 化推進委員」*	昭49 建材試験センターにおける「高炉スラグのコンクリート用骨材としての JIS 化研究」		昭50 欧米諸国におけるコンクリート用高炉スラグ骨材に関する調査
51年	○「スラグ資源化委員会」* ○「日本鉄協協会」が「日本スラグ協会」と改称			○ヨーロッパにおける廃棄物再資源化に関する調査
52年	○日本鉄鋼協会「スラグの有効利用に関する基礎研究部会」 ○コンクリート用水砕スラグ細骨材使用規準作成研究委員会*	○高炉徐冷スラグの黄色水の解決、水砕スラグの緻密化と固結防止 ○転炉スラグの膨張崩壊原因解明とその抑制法、エージング処理法の確立	○JIS（コンクリート用高炉スラグ粗骨材制定） ○土木、建築、土壌などの学協会や研究機関におけるスラグ利用に関する施工指針作成	○国際鉄鋼スラグ会議（フランス）
53年	○「鉄鋼スラグ協会」設立（日本スラグ協会を発展的解散）		○高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針（案）作成 ○JIS（レデーミクストコンクリート）改正 ○アスファルト舗装要綱改訂	
54年		○ユーザ団体における高炉スラグ細骨材標準化の調査研究	○JIS（ポルトランド、高炉セメント）改正	○国際鉄鋼スラグシンポジウム（オーストラリア）
55年			○JIS（道路用スラグ）制定	
56年			○JIS（コンクリート用高炉スラグ細骨材）制定	
57年		○高炉熔融スラグ顕熱の回収法 ○乾式粒化法		○製鋼スラグに関する調査（カナダ・米国）
58年			○土木、建築学会における高炉スラグ細骨材によるコンクリート設計施工指針作成	

*印は 鉄鋼連盟内に設置された委員会