

エネルギーの高炉への直接利用も検討されたが、結論として、原子力製鉄の基本型式を直接還元—電気炉方式とすることが決定された。

この結論にもとづき、利用可能な直接製鉄法の調査がなされた。表 1-5-3 に示すように、もつとも利用可能性のあるプロセスはシャフト炉法であると結論され、装置を大型化するための基礎データを得るため、500 kg/day 規模の実験炉を用い、共同実験を行なった。また、この方法では冷却材出口温度が 1,000°C 以上ある高温ガス原子炉が必要であると結論された。しかし流動層法も還元温度が比較的低いという点で、高温ガス原子炉の開発負担を軽くする利点があり、すてがたいプロセスであるとして、引き続き検討されている。

原子力製鉄システムでは原子炉と製鉄系を結ぶ高温熱交換器が必要になる。この熱交換器では、1,000°C で長時間の使用に耐える超耐熱材料の開発の必要性と還元ガス加熱時に起る He ガス中への水素透過に問題があると指摘され、実態の把握と He ガス中の水素除去実験が行なわれた。

還元ガス原料としては、検討の結果、重質油が最適であるとして、これの熱媒体循環方式による分解ガス化実験を行なった。とりわけ各種重質油のうち高硫黄含有減圧缶残油は将来有力な低廉炭化水素源となることが予想されるので、これを原料とした安価な製造プロセスの開発が必要であると結論された。

これらの検討結果をもとに大型プロジェクト発足前の総合的検討として 10~15 年後に実現を期待される新製鉄パターンの集約ならびに経済性の比較を行ない、されに今後開発を要する重点項目を摘出した。選択されたパターンでは、安全性を配慮して、原子炉と製鉄系の接続にはすべて間接熱交換方式が採用され、還元炉の配置については遠隔立地も考慮している。また、還元ガス原料の炭化水素の種類は今後のわが国の石油精製のありかたと密接に結びつく問題であり、重質油に加えナフサもとあげている。

同時に、原子力製鉄所の適正規模についても検討がなされた。還元炉を原子炉に近接して設置する場合は、その下限は圧延工程における最小経済規模によつて決まり、上限は、1 基の原子炉に付属する還元炉の基数がスペース上制限を受けるので、その単基容量に依存すると考えられる。1 基の原子炉に付属する還元炉の基数は 5~6 基が限度であり、現時点での世界の最大設備は 1,000 t/day 程度であるが、将来 2,000 t/day 程度に増加するとすると、原子炉 1 基あたり原子力製鉄所の規模は粗鋼生産量 300 万 t/year 程度になると結論された。還元炉を原子炉と遠隔に設置する場合は還元炉基数に制限を受けないので、現行製鉄所程度の規模も可能であるとしている。

(3) 大型プロジェクトによる研究

昭和 48 年度政府予算内に当研究のための予算が認められ、研究が開始された。研究開始に先だち、通産省内に製鉄クローズドシステム化委員会が設立され、研究開発目標が審議された。目標は最終と第 1 期計画に別れており、第 1 期計画として 6 年間の研究を計画している。

最終目的としては、稀少資源たる原料炭への依存脱

却、エネルギー効率の向上ならびにエネルギー源の多様化などのエネルギー構造改革と現行製鉄方式にともなう公害問題の抜本的対策として、多目的高温ガス炉の熱エネルギーを製鉄プロセスに利用する技術を開発し、クローズドシステム化した一貫製鉄所をかかげている。この一貫製鉄所の規模は粗鋼生産 300~350 万 t/year を最低ユニットとし、これに必要な還元鉄は日産 2,000 t の直接還元炉を 6 基整備し常時 5 基稼働することによつて得る。システム概念および各項目別の研究開発目標は図 1-5-5 および表 1-5-4 に示されるとおりである。

当研究は研究実施機関が多企業にわたり、相互間の連絡を密接にしながら研究を進める必要があるため、鉱工業技術研究組合法にもとづき、原子力製鉄技術研究組合が設立され、研究が進められている。

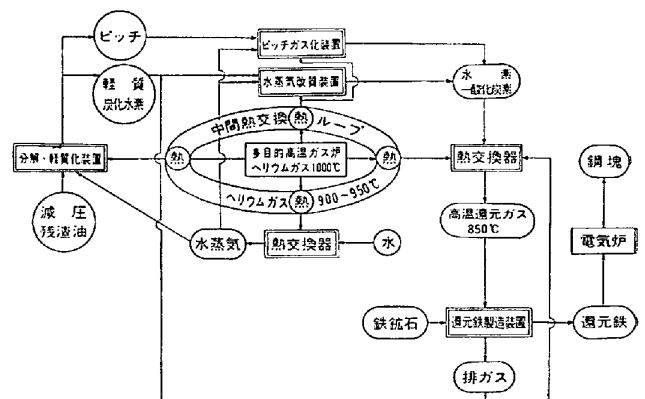


図 1-5-5 大型プロジェクトで目標としている原子力製鉄のシステム概念

1.6 フェロアロイの製造技術

1.6.1 概 説

わが国のフェロアロイ工業は鉄鋼生産の伸びとともに順次発展し、過去 10 年間にその傾向はとくに著しく、その生産量については近年アメリカ、ソ連と世界の一、二位を競うまでに至っている。また生産設備および技術水準はきわめて高く、世界においても認められているところである。

今日のこの高いレベルに達するまでの過程を見ると、フェロアロイ製造技術は昭和 30 年代初期までは冶金技術面での研究開発が主として進められ、同後期から昭和 40 年代にかけては鉄鋼景気の好況に伴う急激な需要増に対し、安定供給体制の確立と環境保全上公害防止の必要性も含めて電気炉の大型・密閉化、集じん装置の設置、加えて労働、資源問題、国際競争力などの立場からくる合理化、事前処理設備など、従来になかった多分野について急テンポの技術開発が進められ、昭和 40 年代に入つて飛躍的な進歩発展を遂げた。

(1) 生産推移

フェロアロイの生産は、粗鋼生産とはほとんど併行して伸びており、昭和 46 年におけるいわゆるニクソンショックで一時的に不況に見舞われて、昭和 47 年度は昭和 45 年度の生産を下回つたが、再び鉄鋼景気の回復によつて昭

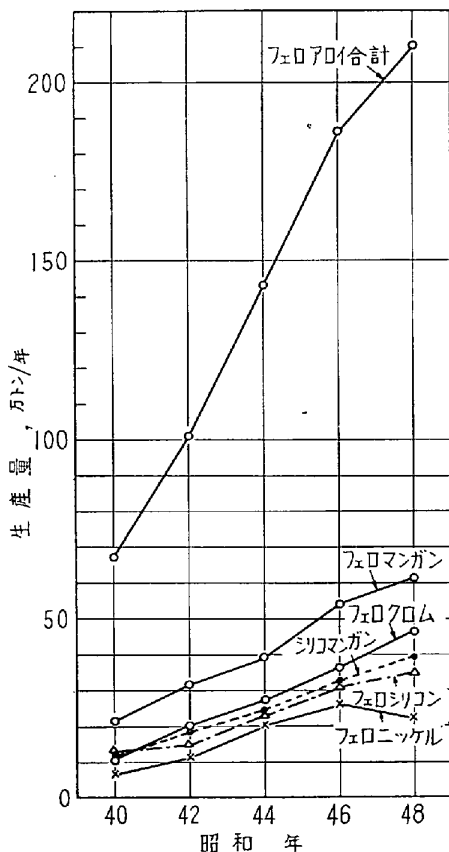


図 1-6-1 フェロアロイ生産量推移
(日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計時報)

和48年度には200万t台に達した。これは昭和40年度の3倍強に当るものである。

図1-6-1に昭和40年度から昭和48年度までの2年ごとの主要フェロアロイの生産推移を示した。生産の伸びのとくに著しいものはフェロクロムであり、これはフェロクロムを多量に使用するステンレス鋼の大幅な伸びによる需要増大の影響がきわめて大きいことを物語っている。

(2) 電気炉設備能力推移

フェロアロイ工業における企業統合、集中生産および省力化などの方針が急速に具体化・進展するにともなうて、電気炉設備の大容量近代化が進められ、1基当りのトランス平均容量は図1-6-2に示すように、昭和40年代4,000～6,000 kVAであつたものが昭和48年には10,000～22,000 kVAと飛躍的に大容量化するに至っている。とくに高炭素フェロマンガンとフェロシリコン用電気炉の大型化が目立ち、急テンポでスクラップアンドビルド化が促進されてきた。一方公害問題がクローズアップされはじめ、集じん機の設置と作業環境の改善、発生ガスの有効利用などの関連から電気炉の密閉化について真剣に考えられるようになり、その後マンガン系とクロム系フェロアロイの新設大型炉はすべて密閉式が採用されるに至った。

トランス容量規模別の電気炉数の推移は、図1-6-3に示すように昭和40年から昭和48年までの間に炉数は約3割減少しているにもかかわらず、トランス容量規模は次第

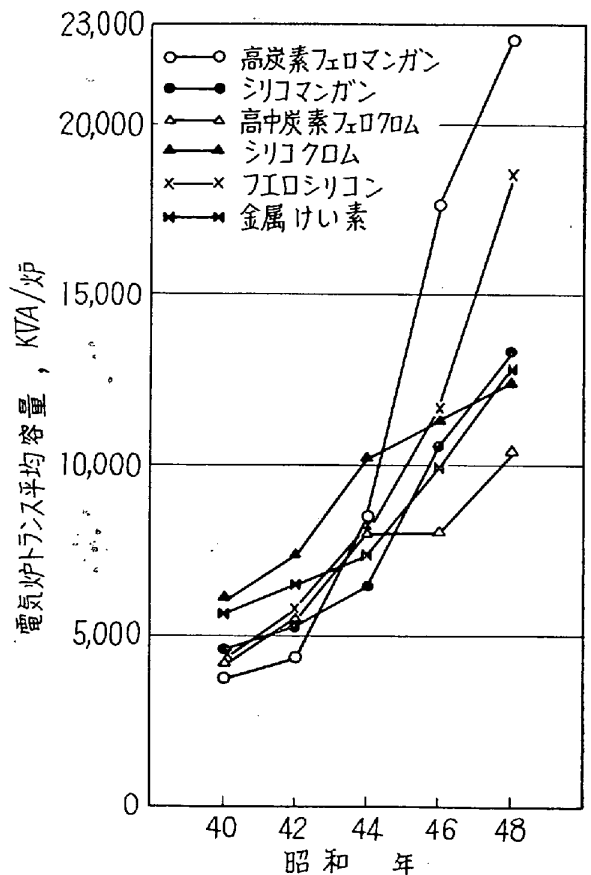


図 1-6-2 フェロアロイ生産主要電気炉トランス平均容量の推移
(日本フェロアロイ協会資料)

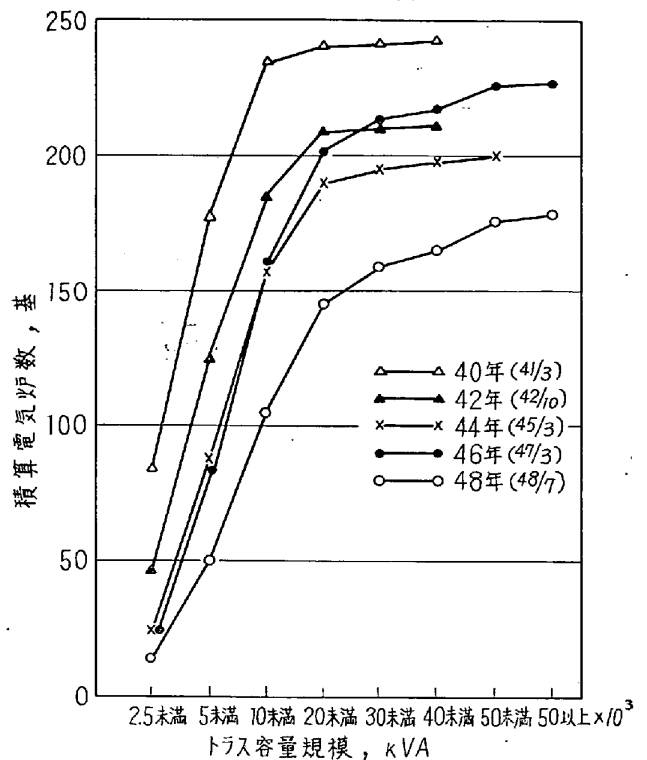


図 1-6-3 フェロアロイ用容量規模別保有電気炉数推移（表2の品種を対象）
(日本フェロアロイ協会資料)

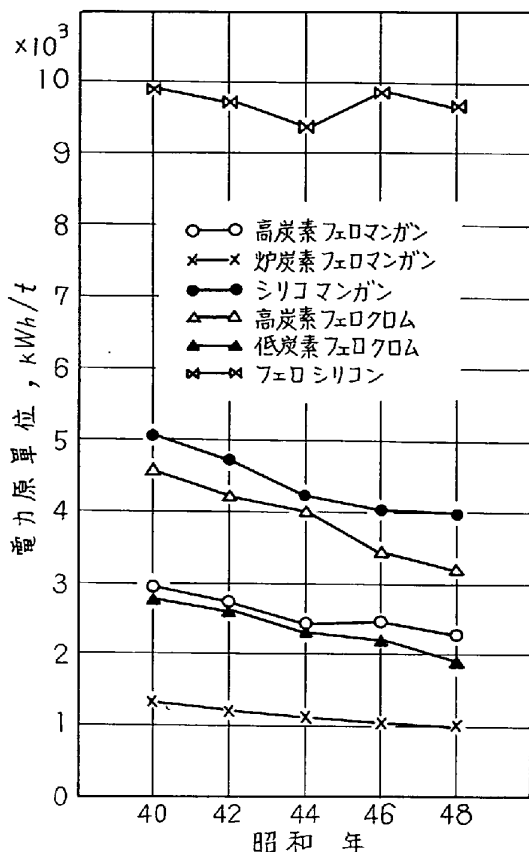


図 1-6-4 主要製品電力原単位の推移
(日本フェロアロイ協会資料)

に大型化しており、昭和46年からその傾向が著しくなっている。

昭和44年以降各フェロアロイメーカーにおいて大型炉の建設が進められ、昭和45年から昭和46年にかけて14基の新規稼働炉がみられた。これら新設大型炉はマンガン系 51,000 kVA、クロム系 40,000 kVA、シリコン系 60,000 kVA がそれぞれ最大のものであるが、これらはいずれも今日世界のトップレベルである。

(3) 電力原単位の推移

粗製品 t 当りの電力原単位の推移は図 1-6-4 のとおりである。昭和40年度にくらべ昭和48年度の原単位低下率は高炭素フェロマンガン21%、シリコマンガン20%、高炭素フェロクロム30%、低炭素フェロクロム22%である。

(4) 公害防止対策の状況

産業公害問題としてフェロアロイ工業でもつとも問題となるのはばい煙による大気汚染の問題である。

この防止対策として各種集じん装置の集じん効率と経済性の両面からの研究・検討の結果、昭和48年6月末までには完全な集じん機が稼働全炉について設置されるに至った。密閉炉の集じんには湿式のベンチュリースクラパー、タイゼンウオッシャーなどが主として採用され、開放炉の集じんは乾式のバグフィルターと一部サイクロン類が採用されている。

(5) 原料資源問題

わが国は天然資源に乏しく、フェロアロイの原料資源

のほとんどは海外に依存している状態である。

従来生産規模も小さくかつ鉱石の選択など比較的自由であつたため原料事前処理などの必要性が少なかったが、電気炉が次第に大型化し多量生産方式に移行するにつれ、高能率生産と品質の安定化をはかるため原料の事前処理や、新しい製造方式の技術開発が積極的に進められてきた。

一方海外では鉱石産出国が次第に資源ナショナリズムの方向と製品化への意図が強くなりつつあり、われわれが必要とする銘柄と数量の確保も容易でなくなっている。このようなさう勢下で、多様化する鉱石を十分使いこなせるための事前処理方法およびその設備、ダスト・廃棄物の活用などの研究開発も急テンポで進められている。

(6) その他

以上に述べた事項のほかの特記すべき技術研究は、電気炉の大型化にともなう操業上の問題として電極についての解明、炉内解析がある。また電気炉によるフェロアロイのヒートバランスの調査検討など各種の研究活動がきわめて積極的に推進された。

1-6-2 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生産は昭和40年度 34 万 t、昭和48年度 101 万 t でフェロアロイ全品種生産量の半分以上の数量を占めている。したがって過去10年間における技術的進歩、設備の大型・密閉化などの合理化は他のフェロアロイの先導的役割を果たしてきた。

原料面では、マンガン鉱石は昭和40年度は40万 t 輸入され、海外依存度は64%であつたが、生産の増大とともにますますその依存度は高まり、昭和48年度には輸入量 180 万 t で海外依存度は94%に達している。マンガン鉱石はインド、南アフリカ、ソ連、ブラジル、オーストラリアなど豊富に賦存し、良質の塊鉱石が潤沢に得られるので、ほとんどそのまま電気炉に装入されることが多かった。しかし山元で発生する粉鉱石に着目してこれに焼結技術を適用し、炉操業の安定とコストの引下げをもたらす技術が開発された。

また近年電気炉の大型化につれ原料の整粒は安定操業上ますます不可欠となり、プラント内で発生する鉱石のふるい下も併せて焼結するための設備を持つところが多くなった。

冶金技術面での進歩は、マンガン鉱石の性状および還元性に関する研究などが数多くなされ、これらの結果が操業面にとり入れられ技術的進歩に大きく貢献した。

(2) シリコン系フェロアロイ

わが国におけるフェロシリコンは Si 75% 品 (JIS 2 号) が主体で全量の80%を占め、残り20%が Si 50% およびその他である。

フェロシリコン用電気炉の密閉化は、発生ダストの性状により導管ならびに排煙系統に目づまりなどの支障をきたす関係から開放炉が採用されてきた。

昭和43年に Si 50% 品製造用電気炉の密閉化技術が確立、実施されるに至り、次いで従来困難視されていた Si 75% 品製造電気炉の密閉化がわが国において始めて実現

した。これら一連のフェロシリコン用電気炉の密閉化に関する技術の開発ならびに確立は、世界的にもきわめて高く評価されるところである。

金属けい素の用途は軽合金用が最も多く、電磁鋼板と珪素樹脂用を合わせて33%程度である。用途によってはAl, Ca, Feなどの不純分の要求がきびしくなった。

その対策の一つとして、溶湯の段階で種々の精製処理を行なつて、これらの不純分を除去する技術が開発され、大きな技術進歩をもたらしている。

研究分野での発展は、炉内反応の解析と理論づけや、とくにシリコン系フェロアロイの効果的な生産に重要な影響を及ぼす還元剤の反応についての研究などがなされて操炉技術の向上に大いに役立った。

原料面では、フェロシリコン用のけい石はほとんど国産でまかなえるが、金属けい素用の良質なものは国産品がすでに枯渇状態で、現在では主として韓国からの輸入に依存している状況である。

還元剤については、フェロシリコン用はコークス、石炭などを使用しているが、金属けい素ではその選択がきわめて重要な条件で、通常木炭、オイルコークス、低灰炭、ウッドチップなどが使用される。

(3) クロム系フェロアロイ

クロム系フェロアロイ製造用電気炉はマンガン系フェロアロイにくらべ、図1・6・2に掲げたように大型化のテンポが遅れている。これはマンガン系が主として普通鋼用に使用されるが、クロム系品種はほとんどが生産規模の比較的小さい特殊鋼用に向けられることが主因で、またその上要求される成分規格も複雑多岐にわたりいわゆる少量多品種の生産となるためであつた。

フェロクロムの用途は、その約83%がステンレス鋼用

(耐熱鋼を含む)である。昭和43年以降 Witten, AOD らの相次ぐ新しい製鋼法の開発によつて、使用するフェロクロムを高炭素系(炭素飽和系)に切替へつつある。図1・6・5に示すように、昭和40年度におけるクロム系フェロアロイの生産は高炭素品47%に対し低炭素品は39%であつたが、昭和48年度は高炭素品75%、低炭素品16%とその構成比率が大きく変つている。

このことが、クロム系電気炉の大型化を推進させるに至つた。また電気炉の大型化、操炉の安定および資源確保の面から原料の事前処理が不可欠となり、鉬石の整粒、低品位の粉鉬を主体として炭材内装ペレットを造りロータリーキルンで予備還元をして半還元ペレットとするSRC法、およびクロム鉬石の焼結法などが開発された。

また低炭素品から高炭素品への転移にともなつて、品質面で含有S分についての要望がシビアとなつてきたために統計的手法によるS管理やDMコンバータによる高炭素フェロクロムの脱硫などが行なわれている。

公害対策に関しては、従来開放炉によつていた1段法のシリコクロムが昭和45年に世界で初めて密閉化された。さらに特記すべきことは、密閉炉についてはほかのフェロアロイと同様に湿式集じん法によつていたが、スラリーの処理、汚水などによる2次公害の防止などに問題があつたので、これを解決する目的で昭和47年に高炭素フェロクロム密閉炉においてはじめて乾式集じん法が開発された。

(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、フェロタンングステン、フェロボロン、フェロチタンなどの添加剤を便宜上特殊フェロアロイと称して述べる。

フェロバナジウム、フェロニオブは近年用途の面で大きな変化をきたしている。従来からこれらは主として特殊鋼用に使用されてきたが、現在ではとくに高張力鋼に多く使われるようになり、ラインパイプや高圧容器などには欠かせない元素となつている。製造技術面についてはアルミノテルミット反応を利用した基本プロセスには変りはないが、原料処理の機械化および反応速度のコントロールが十分に行なわれるようになった結果、1ヒート500kg程度の生産が1.5~3tと大型化され、生産性の向上と品質の安定について著しく向上をした。

フェロモリブデンは、酸化モリブデンがきわめて有効に使用されるようになってからは特殊用途のみに限られて、むしろ後者の量的伸びが著しく、昭和40年度に3,700tであつたものが昭和48年度には12,900tと大幅な伸びとなつている。

フェロタンングステンは主として原料資源対策が問題である。

フェロチタン、フェロボロンなどについては用途も限定され生産量はきわめて僅少である。なおこれら元素の複合効果を狙つた、例えばフェロチタンボロン、フェロシリコンジルコン、フェロアルミチタンなどのような多元合金が開発されている。

このほか複合脱酸剤としてカルシウム—マンガン—アルミニウム系などのフェロアロイが開発されている。

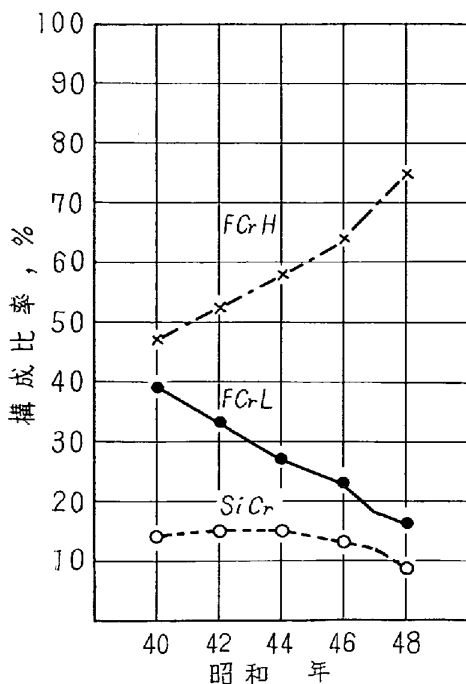


図 1・6・5 特殊鋼に使用されたクロム系アロイの構成比率
(日本フェロアロイ協会資料)

1・6・3 今後の課題

世界三大生産国である日本のフェロアロイ工業における技術動向の概要を述べたが、本工業が原料工業であるという前提に立つとき今後の道のけわしさを感じる。すなわち、

(1) フェロアロイの原料資源は前述のとおり海外に依存しており、それらの産出国のほとんどが発展途上国という現状から、資源の共同開発、あるいは原料前処理などの技術援助を含めた形で原料および中間品の確保をはかる。

(2) 省力化、装置化を意欲的に進める。すなわち生産設備の制御にコンピュータの導入を行ない、作業能率の向上を進めるとともに、原料前処理、製品処理などを

さらに進展させ、またこれらに付随して排ガス利用によるエネルギーの再活用を行なう。

(3) 需要家である鉄鋼、特殊鋼業界とのさらに密接な連携を持ち、技術的のみならず使用地点においていかに安定に供給するか、また鉄鋼生産の技術的发展に遅れることなくそれに最も適した品質を、かつ製造技術を追及する。

(4) 現状ではフェロアロイは主として製鋼原料となつている。このため製鋼技術の進歩に即応してフェロアロイの製造技術を追及してきたが、さらに一步進んで新しい用途に向つたフェロアロイの製造およびフェロアロイ製造技術を基礎とした新製品の開発も今後の課題であろう。