



焼結技術の最近の進歩

吉永真弓*・一伊達稔*²

Recent Progress in Iron Ore Sintering

Mayumi YOSHINAGA and Minoru ICHIDATE

1. 結 言

我が国の鉄鋼生産は、昭和 35 年以降増加の一途をたどり、高炉炉容も漸次拡大し、5000 m³ 級の超大型高炉が稼動されるに至った。同時に、焼結鉱製造設備も飛躍的に大型化し、図 1 に示すように、昭和 46 年日本鋼管福山 4 号焼結機が焼結パレット面積 400 m² として建設されてのち、新日鉄君津 3 号焼結機では 500 m²、昭和 50 年から翌年にかけて稼動を開始した住金鹿島 3 号焼結機、新日鉄若松 1 号焼結機、新日鉄大分 2 号焼結機の 3 機は 600 m² と世界最大級の焼結機となり高生産性を有している。

しかるに、2 度にわたるオイルショックを経験する中で、昭和 48 年以降、鉄鋼生産量はほとんど増加せず、今後ともこの傾向は大きくは変化しないと予測されるこ

とから、各製鉄所では徹底的なコスト合理化が計られ、製鉄部門においても、高炉への COM (石炭重油スラリー)、微粉炭等の石油代替燃料の吹き込み、オールコークス操業等が実施されるとともに、燃料比の低減、放散熱の回収を含む省エネルギーに多大の努力が払われるに至った。

このような状況下で、高炉装入物も相応の適正化が求められ、ペレットは製造コストの大幅な上昇から製造休止工場が相つぎ、焼結鉱も高生産指向型の製造方法から、還元率を向上させ、低スラグ化するなど高炉でのエネルギーコストのミニマム化に対処する方策が取られている。

このため、焼結鉱の製造コストをミニマムにしなが、省エネルギー型の操業技術の研究開発が活発になされ、ここ数年格段の進歩を遂げた。

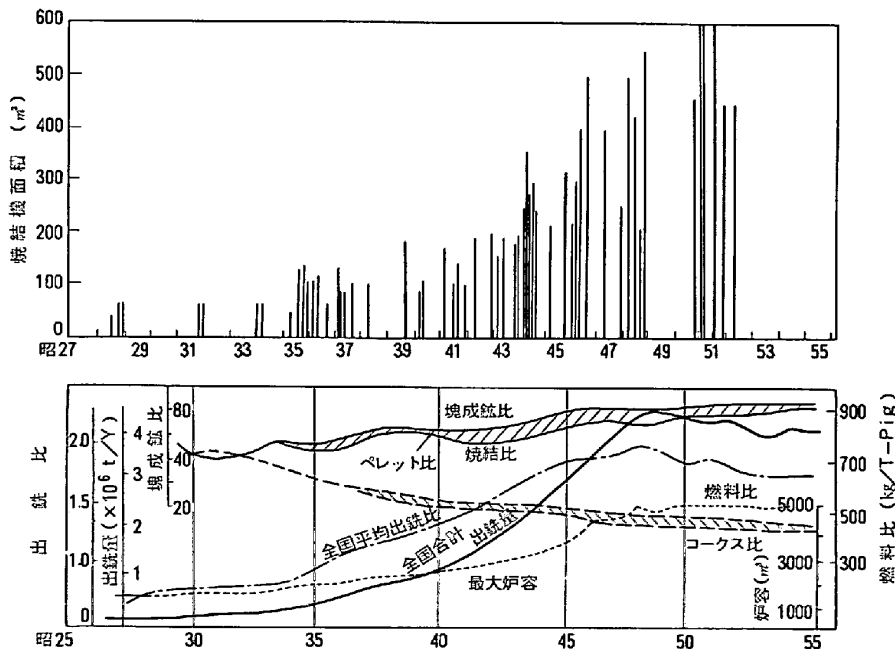


図 1 焼結機大型化と全国合計出鉄量の暦年推移¹⁾

昭和 57 年 4 月 1 日受付 (Received Apr. 1, 1982) (依頼解説)

* 住友金属工業(株)中央技術研究所 波崎研究センター 理博 (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*² 住友金属工業(株)中央技術研究所 波崎研究センター 工博 (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun 314-02)

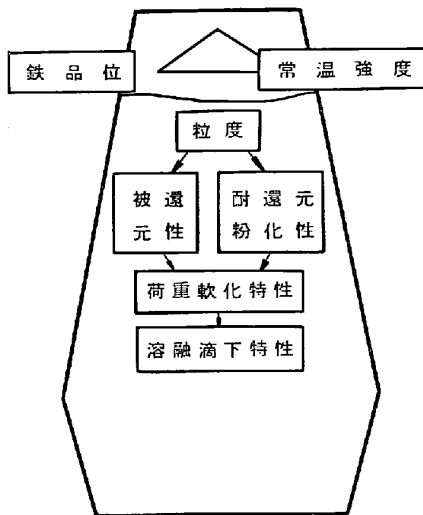


図 2 高炉各部位と必要性状

本稿では、これらの焼結鉱の製造技術の変化を俯瞰し、今後の方向について述べてみたい。

2. 焼結鉱に求められる性状

鉄鉱石を焼結することは、本来、高炉装入鉱石の篩下粉を余剰の粉コークスで焼成塊成化する事前処理手段であつたが、我が国では技術改善を重ねて焼結鉱を超大型高炉にも適する塊成鉱に仕上げ、現在の優秀な高炉操業技術の一環として多大の成果を上げてきた。

したがつて、現在焼結鉱に要求される基本的条件は、

- 1) 焼結鉱製造後の搬送時あるいは高炉装入時に粉化しないような常温強度を有すること。
 - 2) 鉄品位ができるだけ高く、安定していること。
 - 3) 高炉炉内での通気確保のため、適当な粒度構成であること。
 - 4) 高炉シャフト部での著しい還元粉化がないこと。
 - 5) 高炉装入物として還元率が良好であること。
 - 6) 高炉下部における通気確保とメタル化促進のため軟化性状（荷重軟化開始温度が高い）が良好で、熔融滴下温度幅が狭いこと。
- などであるとされている。

表 1 焼結鉱管理基準例

会社 (事業所)	常温強度		粒度	熱間性状
	落下強度(S.I) (+10mm%)	回転強度(T.I) (+10mm%)	成品粒度 (-5mm%)	還元粉化指数(R.D.I) (-3mm%)
A	1	≥88	—	≤6.5
	2	—	≥74	≤4
B	3	≥88	—	≤5
	4	≥91	—	≤4
C	5	—	≥67	≤6
	6	—	≥71	≤6
D	7	—	≥65.5	≤5
	8	—	70~80(実績)	—

図 2 は焼結鉱に求められている性状を高炉各部位と対応させて示したものである。

参考までに、現状の管理基準の一例を表 1 に示す。

3. 焼結に關係する技術

焼結鉱の製造は、前述のように、高炉の操業方針、目標を達成するための事前処理と位置づけられることから、高炉での銑鉄生産量あるいは高炉炉況に応じた性状に対する要求を満足することが必要である。したがつて、焼結鉱の製造の立場からは、可能な限り少ないエネルギーで、効率よく、いかなる要求にも耐え得る技術の組み合わせ法を確立しておくことが具体的な課題である。

図 3 は焼結設備の概要とそれに関する技術項目を示したものである。

原料鉱石は、ヤードに荷上げされ、①鉱石の性状、操業方針に見合った最適配合技術により組み立てられた配合計画に基づいて、②ブレンディングヤードで成分変動を最少とするブレンド法で混合され、しかるのち、③最適の粒度構成に粉碎された粉コークス、造滓剤としての副原料の石灰石（生石灰）、蛇紋岩等とともに④ミキサーにより焼結ベッド上での通気を確保すべく適当な水分で擬似造粒される。

その後、焼結機装入部上のサージホッパーから、床敷鉱上に、内装粉コークス燃焼時の熱伝達が最適となり、目標の性状の焼結鉱が得られるように、⑤偏析装入、あるいは二段装入等が行われ、⑥最少の燃料原単位で点火炉で着火され、ブローで吸引焼成される。

焼成では、⑦焼成完了点が最適となるヒートパターンにすべく、パレットスピード、ウィンドボックス風量の制御が行われるが、⑧種々の計測手段と併用して⑨自動制御が可能な限り実施される。さらに、成品焼結鉱は、⑩クレーンにおいて冷却後、最適粒度に整粒され、高炉へ搬送される。

一方、⑪主排ガスあるいは焼結鉱の持つ莫大な顕熱を回収し、蒸気、電力に変換される。

また、⑫粉じん、SO_x、NO_x の発生防止のため公害防止対策が実施される。

以上のように、焼結の操業は、自然に産出した千差万別の鉱石を、高炉の炉頂に至った時点では可能な限り元の鉱石の性質が相殺された加工物に仕上げることであるが、変動要因が極めて多岐にわたっている。したがつて、それぞれの要因が焼結鉱の性状にいかなる影響を与えるかの因果関係を定量的に明らかにし、その結果を実操業に反映することが焼結技術の研究開発の大きな目標の一つとなる。

表 2 は、過去 4 年に鉄鋼協会の講演大会で発表された題目を技術項目別に分類したものである。

表から明らかのように、昭和 52 年から昭和 54 年に

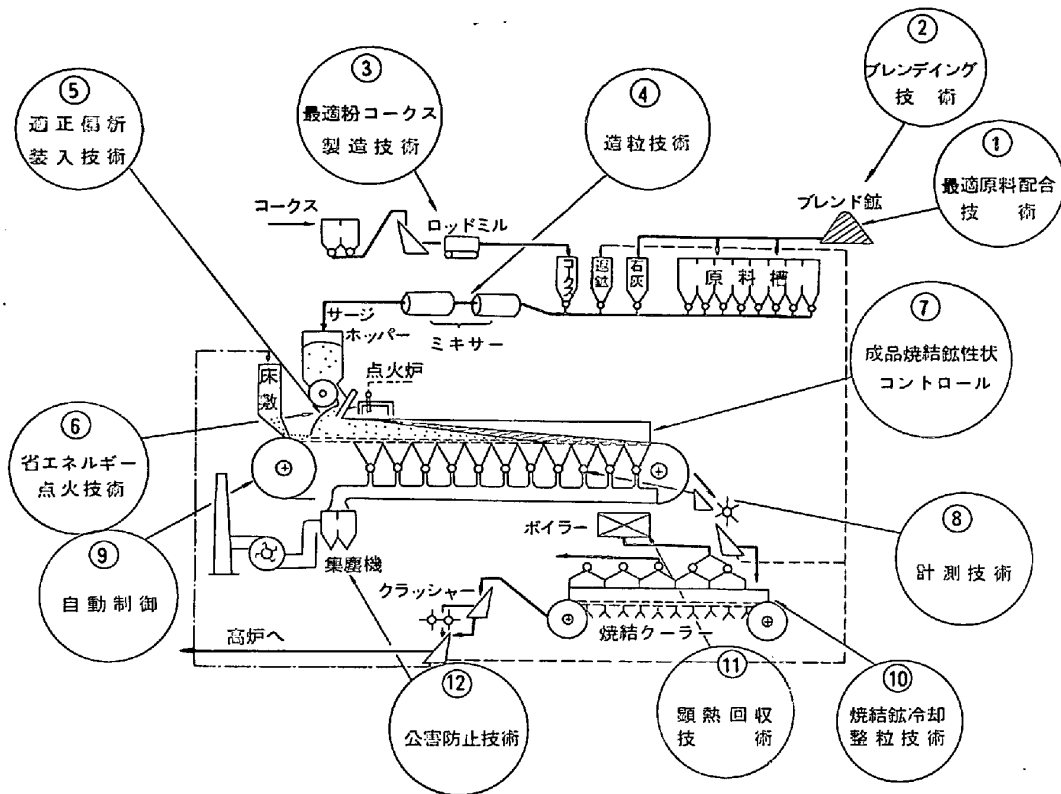


図 3 焼結設備概要とそれに関連する技術項目

表 2 過去 4 ケ年間の鉄鋼協会講演大会発表論文における焼結関係項目と推移

項 目	1978		1979		1980		1981	
	春	秋	春	秋	春	秋	春	秋
原料	ブレンディング							
	配合技術							
	造粒技術							
操業(省エネ)	操業法, 実績							
	排ガス循環							
	省エネルギー熱回収							
	ヒートパターン							
	冷却条件							
	高層厚操業							
品 質	還元粉化と濁造							
	還元粉化と鉱物組織							
	高温性状							
公害	集塵, Sox, Nox							

かけて公害防止技術に関する発表が主体となり、昭和54年から昭和56年にかけては省エネルギー技術が、さらに、昨今では焼結鉱の品質の見直しに多大の精力が注がれていることが認められる。

次に個々の技術の現状と進歩について述べる。

2.1 原料配合技術

我が国では、鉄鉱石は 98% 以上を海外に依存してお

り、その産地も世界各地に分散している²⁾。このため、鉱床の賦存状態³⁾、鉱床の成因³⁾、鉱物組織⁴⁾、脈石の鉱物組織と成分⁵⁾、鉱石の粒度構成⁶⁾等の特性を評価し、焼結操業要因との関係あるいは成品焼結鉱の性状との関係を調査し、これまで経験的に実施されてきた配合計画に理論的根拠を与え、同時に配合計画にフィードバックする努力がなされている。たとえば、鉱石銘柄ごとにそ

均 並 使 用 比 率 %	Sinter SiO ₂ σ _T (×10 ⁻²)	Sinter CaO/SiO ₂ σ _T (×10 ⁻³)	B.F.Slag CaO/SiO ₂ σ _T (×10 ⁻³)	B.F.Pig Si σ _T (×10 ⁻²)												
					5	10	15	10	30	50	10	30	50	5	10	15
					A 所				B 所				C 所			
0																
~50																
~85																

図4 焼結鉱 SiO₂, CaO/SiO₂ のσのばらつきと鉄鉱中 Si のσのばらつき比較¹¹⁾

の溶融特性が調査され⁷⁾、鉄鉱石でも緻密堅硬質へマタイトは溶融性が悪く、リモナイトは反応性が良く、リモナイト-へマタイトの混合組織では両者の特性をそれぞれ示すことが明らかにされている。また、鉄鉱石の湿潤性⁸⁾、気孔率の割合と焼結性状⁹⁾、還元性状との関係も調査され、鉱石の評価手段の基礎資料を与えている。しかし、鉱石の特性を定量化する技術は、製造現場では焼結鉱製造の前提条件として極めて重要視されているにもかかわらず、いまだ十分ではなく、早急な確立が望まれている。

焼結鉱の成分変動の抑制は、鉱石のブレンディング技術に基づいてなされており、多くの工場ではヤードブレンディングを実施している。しかし、ヤードにおいては多銘柄の、しかも性状の異なる鉱石を多量に扱うため、管理が不十分となりがちで理想的なブレンディングを実施するのが困難なことが多い。そこで、問題解決に積極的に取り組み、特殊銘柄（造滓剤等）の一層当たりの積付量のコントロール、パイルの外側への集中積付などを実施し、またモデル化および自動化を計って、図4に示すようにσ_{SiO₂}（標準偏差）を0.13%以上のものから、0.04~0.08%にまで減少させる実績を上げ、成分安定化に寄与している¹⁰⁾¹¹⁾。

2.2 擬似造粒技術

鉱石が焼結ベッドへ供給された後で焼成の状態をコントロールする手段はごく限られているため、焼成ベッドに装入される以前に可能な限り焼成に有利になるよう事前処理する必要がある。

その有力な手段の一つが造粒である。これは鉱石が微粉のままであると鉱石が焼結ベッドに給鉱されたとき充填密度が高すぎ圧損が大で焼結時に粉コークスの燃焼に要する空気の供給が不足し、十分な温度上昇が計れないばかりでなく、下層部への熱の媒体としての空気の機能が失われるため、可能な限り造粒して空隙を作り、風量と酸素の供給を確保するため実施するものである。すなわち、鉱石と粉コークスと副原料に適当な水分を与えて毛管付着力を利用して回転ドラム内で造粒し、鉱石類の集合体を形成するものである。

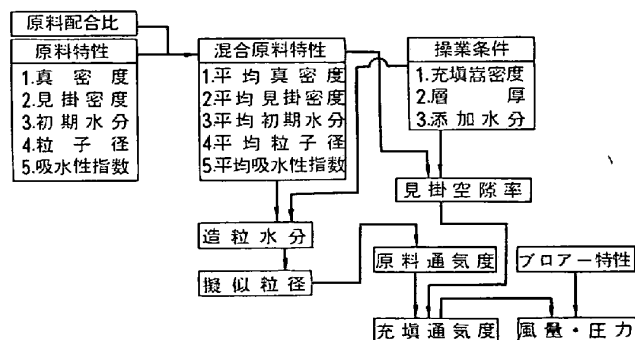


図5 造粒通気モデルフローダイアグラム¹⁷⁾



図6 実機通気度（実測）とモデル計算値の対応¹⁷⁾

造粒現象については、これまで種々の検討が行われ、基礎的には、SEM 観察結果による鉱石表面の凸凹と造粒性⁹⁾、-1mm 粒径粒子の含有率と造粒性との関係¹²⁾ 擬似粒子の評価法等^{13)~16)}の検討があるが、実操業との対応において総合的にベッド通気との関係を明らかにしたものはほとんどない。

しかし、図5、図6に示すように、原料特性、操作条件、機械特性を考慮した造粒通気モデルを組み立て、実機の充填通気度と焼結層の風量、圧力を予測する検討もなされるようになってきた¹⁷⁾。

造粒された擬似粒子の強度の向上は、焼結ベッドの通気確保の上からも、焼成時に融体が発生する上からも望ましいことであり、乾燥帯での崩壊を防止しうる造粒剤の開発が必要とされていた。

とくに、最近の低生産率、高層厚、省エネルギー型の焼結法においては、焼結層の負圧の増大は、ブローの電力負荷の増大を招くため重要な問題である。そこで、水による造粒ばかりでなく、積極的に造粒効果を向上させる生石灰（あるいは消石灰）の使用が見直され、多くの工場で使用されるに至った^{18)~20)}。

たとえば、ある工場²¹⁾²²⁾では生石灰が乾燥帯における擬似粒子の崩壊防止に役立つことを確かめ、また、還元粉化の改善にも有効となる条件を見出し、焼結鉱性状の改善にも効果を上げている。焼結製造時の排熱を利用した温水を生石灰とともに添加して造粒効果を上げ、生産性向上も計られている²⁰⁾。

さらに、ペレット工場の休止に伴い焼結鉱に適さない粒度構成の原料が輸入されているが、その処理手段として生石灰あるいは消石灰の使用が有効であることが明らかにされている²³⁾ (図7)。

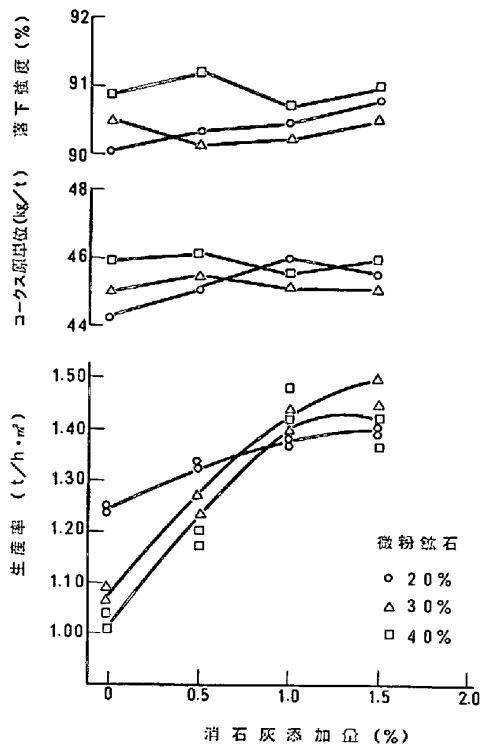


図 7 微粉鉄石高配合実験結果²³⁾

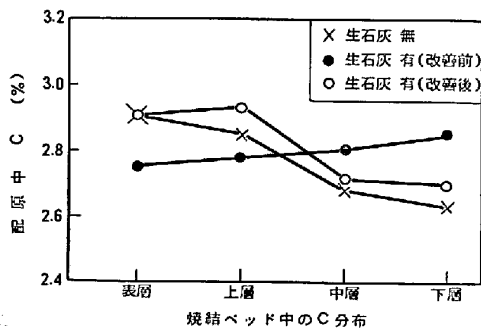


図 8 生石灰添加効果の例²¹⁾

2.3 原料装入技術

通常、パレット上への鉄石の供給は、サージホッパーからの落差を利用してなされるが、この供給の手段が焼結ベッドの通気度、内装粉コークスの上下方向の量比のコントロール手段の1つとなっている。

Fig. 2 に示す方法で充填する場合、ディフレクタープレートと呼ばれる反射傾斜板が粒度偏析のコントロールに使用されるが、ベルトフィーダーを用いて、偏析度コントロールに使用して効果を上げている工場²⁴⁾もある。

一般に、上記のような装入方法を取ると、粗粒は下層部に、微粉は上層部に偏析する。したがって、内装粉コークスの粒度構成比もこの原則に従う。粉コークスの燃焼についての検討から、粉コークスの粒度は 1~3 mm がもつとも適正であるとされていたが、生石灰の使用により造粒効果が向上して、層内の粉コークス分布が図 8 のように均一化し、燃焼時に下層部の熱が過剰となつて

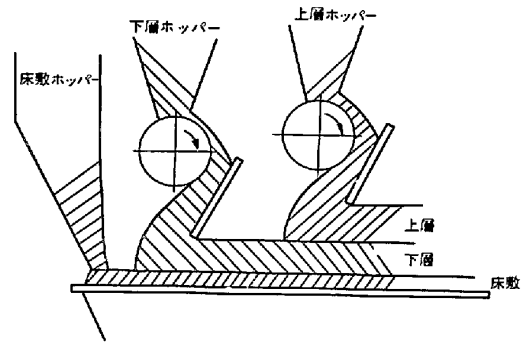


図 9 2 段装入法 の 概念

品質の低下を招いたことから、粒度は粗粒化し、平均径を 4 mm とすることにより、もとの粉コークス分布に戻すことで、良質の焼結鉄を製造することに成功している²¹⁾。

また、新日鉄、若松 1 号焼結機は上下方向の粉コークス量比をさらに人為的にコントロールするため、図 9 に示すように、装入装置を 2 段とした 2 段装入法を採用している²⁵⁾。この方法の特徴は上層のコークス量を増加させ、下層側の粉コークスの量を減少させて、上層部の性状の改善を計り、かつ歩留りを向上させるとともに、上層からの熱の伝達により下層部の粉コークスを節約しようとするものである。

今後、この方法は、高層厚焼結法の手段として注目されるであろう。

2.4 焼成技術と焼結鉄性状

焼結鉄の性状と成品中の鉄物組織との関係についてはすでにすぐれた他の解説²⁶⁾²⁷⁾があるので詳細には述べないが、しかし、最近の傾向として、高還元率、低スラグ化が指向されるに至つて重要なテーマとなり、生産現場では目標鉄物組成をいかに生成させるかという焼成技術の開発が積極的になされている。すなわち、高生産率を指向した段階では焼結鉄は歩留り向上を目標としたため、粉コークスを 50~60 kg/Sinter-T と高めにし、スラグ結合を基地とした常温強度の高い過溶融型であつたが、高炉が低燃料比指向となつて、焼結鉄に要求される性状に高炉シャフト部での還元率を高くすることが加わつた。このため、従来から還元粉化(指標としての RDI 値は 550°C×1 h, CO/N₂=30/70 条件下で還元後、ドラムで 30 rpm × 30 min 粉化させたときの -3 mm の重量割合で示す。)の原因についての研究は多数なされてきたが²⁸⁾、今一度粉化の基本となる鉄物組織について基礎に立ち帰り見直すとともに、その結果を生産現場で具現化する技術の検討が鋭意進められている。

従来は、還元粉化指数を維持するため、被還元性は犠牲にしても粉コークス量を増加し、焼結鉄中の FeO 量を増加させることが行われたが、この方法は省エネルギーに逆行するばかりでなく、必ずしも RDI 値と FeO 量とは一様には相関しないことも示されている²⁹⁾。一

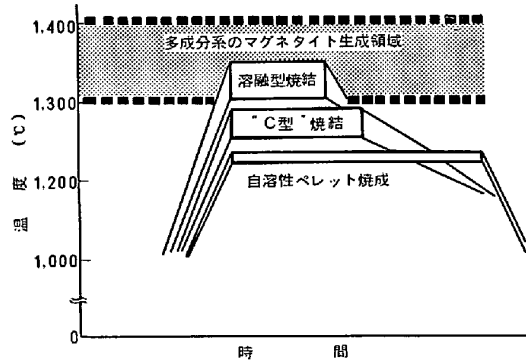


図10 ヒートパターンから区別される2種類の焼結法²⁷⁾

方、脈石成分である Al_2O_3 ³⁰⁾, TiO_2 , 造滓剤である CaO , MgO ³¹⁾, SiO_2 ³⁰⁾ 等と融体の発生機構, これらの成分と還元粉化の元凶とされている骸晶状2次へマタイトの生成機構との関係, カルシウムフェライトの構造と還元粉化との関係³²⁾などについても詳細な研究がなされており, 今後, き裂発生の力学的挙動の検討³³⁾とも組み合わせられて一層還元粉化のメカニズムが明らかにされるものと期待される。

このような基礎的研究を基に, 還元粉化を抑制する焼成法として, マグネタイトから骸晶状2次へマタイトへの転移を抑制するとは別に, 生成した骸晶状2次へマタイトから固液反応でカルシウムフェライトを生成するあるいは骸晶状2次へマタイトではなく, 斑状へマタイトの生成を促進するなどの方向が明らかにされてきた。そして, これらの鉱物組成を生産現場で具現化するため, 生石灰の使用による造粒の強化, 粉コークスの粒度調整などにより, 焼成温度の最高点を低下させて保持時間の延長を計る図10に示す焼成法が開発されている²⁷⁾。

また, これまでも焼結時に融体量を維持するため造滓剤として珪石, 蛇紋岩³⁴⁾, Ni 滓などが添加されてきたが, これらの造滓剤は, 詳細に調査すると粗粒のものは未滓化のまま残留している³⁵⁾。このことに着目し, 造滓剤の微粉化を試み, 未滓化造滓剤を減少させてその量だけ造滓剤を削減し, 同時にこれまで融体量を確保するため過剰に昇温していた温度を低下させる焼成法が実現され, 低スラグ化の有力な手段となつている。

これらのことは, 結局のところヒートパターンをいかにコントロールするかにかかっているため³⁶⁾³⁷⁾, 焼結ベッドを通過する空気流の風速, 風量を計測する手段の開発³⁸⁾あるいはヒートパターンの指数化が試みられ, さらに自動制御化のために総合的なシミュレーションモデルの開発³⁹⁾⁴⁰⁾とオンライン化も試みられつつある。

実操業においては, 成品焼結鉱の性状を可能な限り時定数の少ない状況で把握することが重要な問題である。このため, 日常管理指標を全自動で測定するシステムの開発がなされ効果を上げている。また, 最近では QTM とコンピュータとを組み合わせた画像解析装置システ

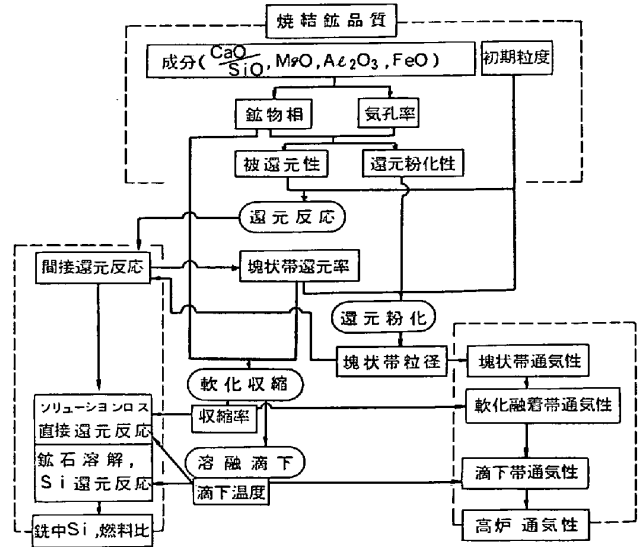


図11 高炉操業におよぼす焼結鉄品質の影響⁴²⁾

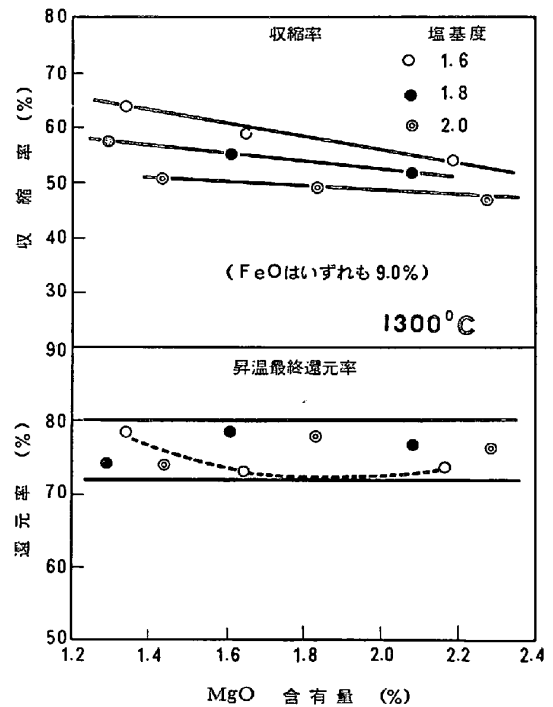


図12 収縮率および還元率におよぼす塩基度, MgO の影響⁴⁶⁾

ム⁴¹⁾が開発されて, 容易に鉱物組織の分別が可能となつたことから, 生産現場に導入されて, 焼成条件と特定の晶癖を有するへマタイトの定量化とが組み合わせられて日常管理にも適用されれば, より一層良質の焼結鉄の製造が可能となると期待される。

焼結鉄の高温性状の高炉操業に及ぼす影響のフローは図11に示す通りである⁴²⁾。同図によれば, 軟化収縮はコークスのソリュージョンロス直接還元反応および軟化融着帯通気性に影響し, また溶融滴下温度は, Si 還元反応および滴下帯通気性に影響して鉄中 Si , 燃料比, 高炉通気性を決定する要因となると推定される。

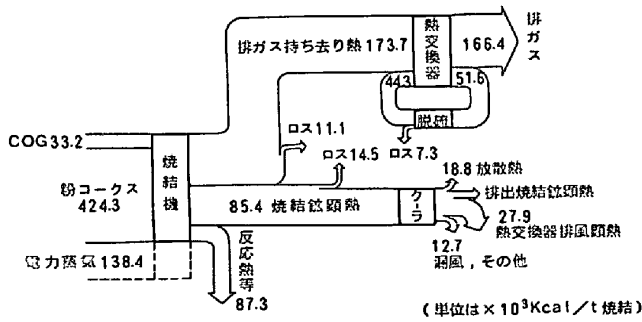


図13 焼結熱流れ図⁴⁸⁾

しかし、現状では荷重軟化特性、溶融滴下特性を生産現場の管理指標としているところは少なく、これらの特性と焼結鉱の性状との関係が詳しく調査されている段階である。

これまでも、焼結鉱中の SiO_2 ⁴⁸⁾, TiO_2 ⁴⁴⁾, MgO ⁴⁵⁾ あるいは CaO/SiO_2 ⁴⁶⁾ 等の影響が調査され、図12に示すように CaO/SiO_2 の上昇、 MgO の増加とともに収縮率は低下することが認められている。

また、溶融滴下開始温度と高炉でのガス利用率との関係においても、滴下開始温度の上昇によりガス利用率が向上することが確かめられている⁴⁷⁾。

一方、高炉内で焼結鉱が置かれる諸条件は、高炉解体調査により、かなり明確にされてきたが、今後とも高炉内現象を推定する諸センサーの開発が進むにつれて、一層確実に把握されて行くであろうし、その結果はより高炉内現象に近い条件の試験方法の開発、たとえば温度のみならず、鉱石に与える力学特性を十分取り込み還元粉化を考慮した荷重軟化・溶融滴下実験装置の開発に反映されるものと考えられる。

2.5 省エネルギー技術

省エネルギーは、内装粉コークスの削減はもとより、排熱の回収、他の使用燃料の削減でも行われている。

たとえば、ある焼結機の熱バランスは図13に示すとおりである⁴⁸⁾。図に見られるように、回収しうる顕熱は主排ガスと焼結鉱の持つそれが主要なものである。

そこで、焼結鉱の気-固熱交換特性の調査⁴⁹⁾、冷却条件と品質との関係等の基礎的な検討⁵⁰⁾⁵¹⁾がなされ、これらの設計基準に基づいて、熱水発電設備⁵²⁾あるいは蒸気回収ボイラー⁵³⁾、排熱タービンによる発電設備などが設計設備され、実機のエネルギー回収装置として多大の効果を上げている。図14はその一例を示している⁵⁴⁾。今後、より高度な熱交換システムの開発が進むにつれて、一層低温の排熱まで回収し、将来は創エネルギー工場となることが期待される。

2.6 環境技術

焼結機は、燃料に粉コークスを使用して高温を発生し、しかも粉鉱石が原料であるため、排ガス中には粉塵、 SO_x 、 NO_x が含まれる。

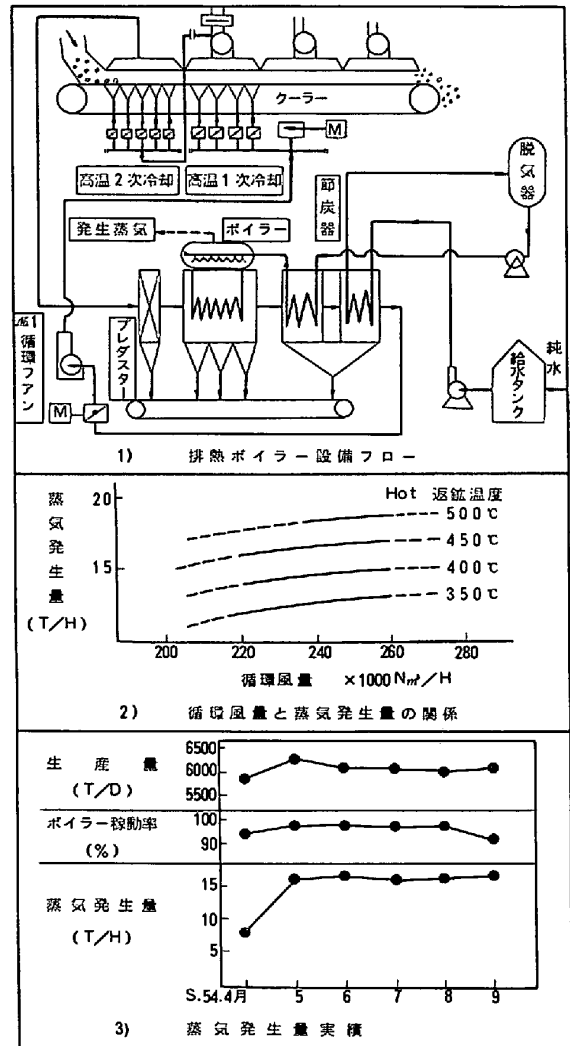


図14 クーラー排熱回収の状況⁵⁴⁾

とくに、 SO_x 、 NO_x については焼結過程での抑制技術の開発が必要であり、その原因究明のため多大の努力が払われ、とくに粉コークスの窒素分についてはそれが NO_x に変換することが確かめられた⁵⁵⁾⁵⁶⁾。また同時に、雰囲気条件によつては NO_x が還元されることが認められる⁵⁷⁾など抑制の技術の方向が示されてきたが、いままなお研究が続けられている。

一方、脱硫脱硝技術についても技術開発が活発におこなわれ、とくに脱硫については、排ガス中の SO_x を気-液、気-固接触反応で吸収除去する方法⁵⁸⁾等により目標を達成し、実機に設置されるに至った。また、排ガス自体を減少させる排ガス循環法の基礎検討も行われ、相応の減少効果を有する可能性⁵⁹⁾が認められている。しかし、 NO_x については種々その検討が行われているが、いまだ防除技術の完成は見えていない。

3. 焼結技術の今後の方向

これまで述べたように、焼結鉱の製造に関係する技術は、多方面からの研究開発と周辺技術の発展により、こ

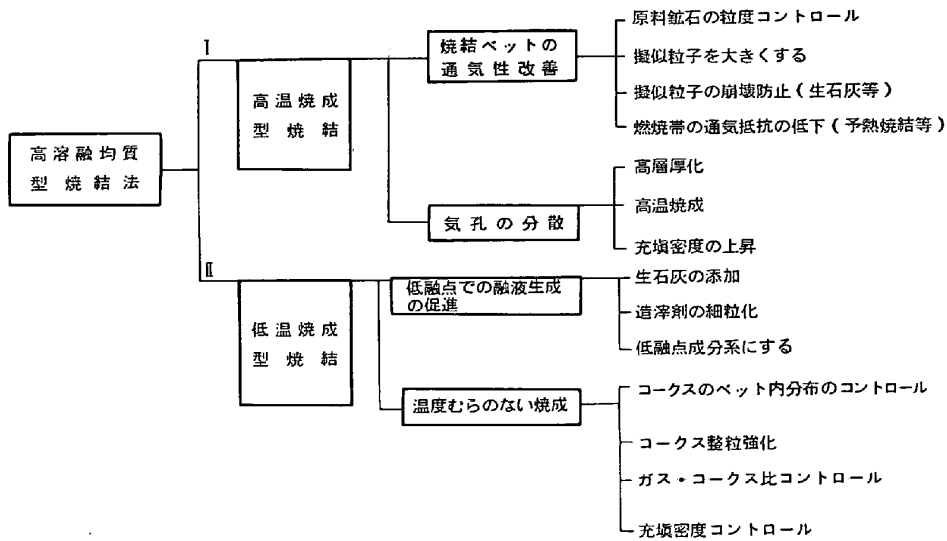


図15 常温強度向上方法の考え方

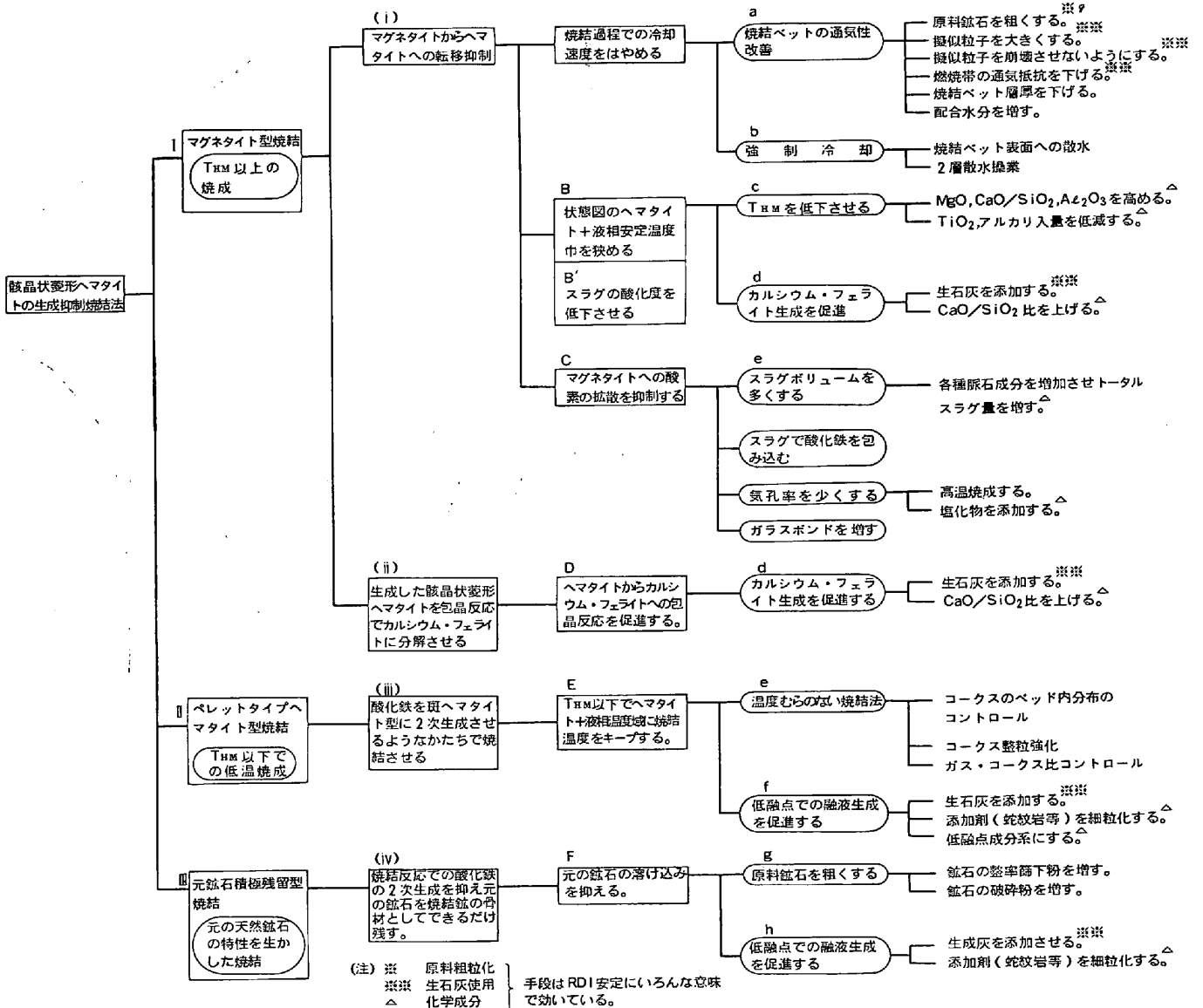


図16 骸晶状菱形へマタイト生成抑制方法の考え方⁶⁰⁾

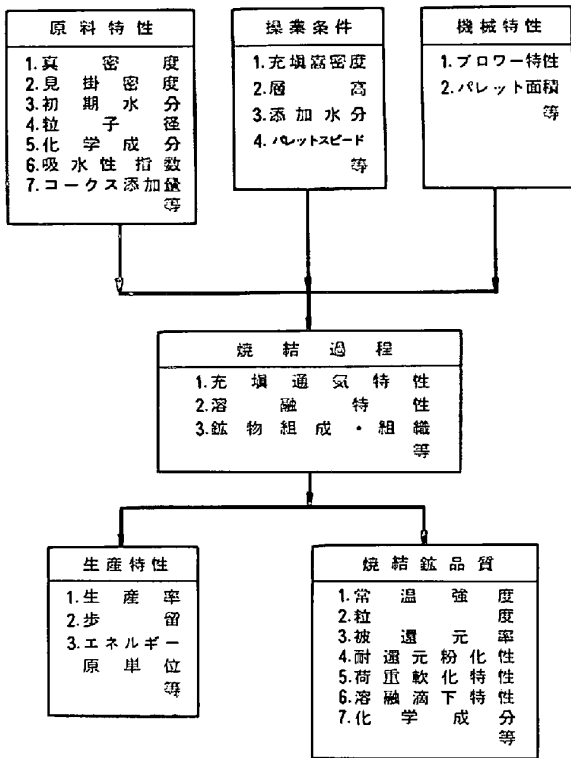


図17 焼結鉱品質を予測するフロー

こ数年の間に大幅に進歩している。

常温強度を向上させる要因は焼結鉱の基地の強度を向上させるとともに、気孔分布を均一にし、応力集中ができるだけ発生しにくい構造体とすることにある。したがって、図 15 に示すように、擬似粒子の崩壊を防止し、鉱物同志の溶融性を高め基地の強度を上げる必要がある。そのため、生石灰の使用は有用であるし、充填密度の上昇、造滓剤の細粒化も有効な手段であると考えられる。

また還元粉化については、抑制のためにはその引き金となると考えられる霰晶状 2 次へマタイトの発生抑制が必要であり、その方法として、図 16 に示すように焼結ベッドの通気性の改善、CaO/SiO₂ の上昇、焼成時の最高温度の低下と保持時間の延長、造滓剤の微粉化等が考えられる⁶⁰⁾。

焼結鉱の高温性状については、先に述べたように、焼結鉱性状と軟化収縮性状との関係、溶融滴下性状との関係が鋭意調査されている状況であり、今後、データの蓄積が増し、関係が明確になるにつれて焼結鉱製造へも反映されて行くであろう。

焼結鉱の製造にたずさわる関係者にとつては、千差万別の性状を有する天然の鉱石を高炉装入物としてもつとも有用な加工物に仕上げるためには、原料鉱石の諸特性と焼結過程の諸現象をよく認識した上で操業上の多数の変動要因を自由にコントロールする技術を持つことが重要である。したがって、今後の課題は鉱物組織などの基

礎研究成果を踏まえ、焼結過程をより明確にすることにより、図 17 に示すように原料条件、操業条件、機械特性が与えられれば、焼成後の成品焼結鉱の品質が予測できるモデルを完成させ、その結果を高炉装入物の評価に結びつけて高炉の安定操業に寄与することにある。その結果、原料ソースの選択幅の拡大、省エネルギー、無公害型の操業法が確立されて行くものと考えられる。

4. 結 言

昭和 48 年以降、ほとんど生産量の増加のない鉄鋼業において、有用な資源を無駄なく、かつ、最少のエネルギーで高付加価値化する技術の開発は、極めて重要かつ緊急な課題であり、多くの研究開発が行われ多大の進歩を遂げてきた。

しかしながら、発展途上国、中進国の追い上げと需要の停滞のため、より一層高付加価値化を達成する必要がある。製鉄部門でも強力に技術の改善が求められている。とくに、原料関係は、莫大な“量”を扱うため、わずかな合理化が多大の効果をもたらす。その意味で創意とくふうによる技術開発が極めて有効に作用する。

今後、原料関係の研究、技術開発はますます重要性を増すと考えられるのでこの分野の技術者の活躍はもとより周辺分野の方々の絶大なる支援が期待されるのである。

文 献

- 1) 中村直人: 第 59, 60 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 8
- 2) 鉄鋼界報 No. 1254 (1982)
- 3) 吉永真弓, 一伊達稔: 水曜会誌, 18 (1977) 9, p. 561
- 4) たとえば, 白岩俊男, 松野二三朗: 鉄と鋼, 59 (1973), S 309
- 5) たとえば, P. W. STENLAKE, M. D. PEPPER, and J. OSTWALD: Preprint of Third International Agglomeration Symposium (1981)
- 6) P. W. ROLLER, B. A. FIRTH: 鉄と鋼, 67 (1981), S 658
- 7) 野坂庸二, 磯崎成一, 菅原欣一, 鉄と鋼, 67 (1981), S 655
- 8) 佐藤勝彦, 鈴木 悟, 斧 勝也, 大野義文: 同上, 67 (1981), S 657
- 9) 肥田行博, 岡崎 潤, 佐々木稔: 同上, 67 (1981), S 95
- 10) 原田嵩試, 早瀬敏一, 佐藤幸男, 中村 勝, 高橋いづみ, 内山英夫: 同上, 67 (1981), S 654
- 11) 江崎 潜, 川辺正行, 金森 健, 小菅暲一, 福山繁一, 古宅英雄: 同上, 64 (1978), S 100
- 12) P. W. ROLLER and B. A. FIRTH: 鉄と鋼, 67 (1981), S 658
- 13) 研野雄二, 山口一成, 梅津善徳, 望月通晴: 同上, 64 (1978), S 50
- 14) 山岡洋次郎, 長野誠親, 大関彰一郎, 古川和博: 同上, 66 (1980), S 674
- 15) 山形建男, 竹内正幸, 花田千昭: 同上, 63 (1977), S 509

- 16) 荒谷復夫, 児玉琢磨, 田中智夫: 同上, 67 (1981), S 659
- 17) 吉永真弓, 一伊達稔, 佐藤 駿, 川口尊三: 同上, 67 (1981), S 660
- 18) たとえば, 渋谷悌二, 丹羽康夫, 中尾亜男, 谷中秀臣, 黒沢信一, 竹元克寛: 同上, 67 (1981), S 92
- 19) 古井建夫, 川頭正彦, 菅原欣一, 藤原利之, 香川正治, 沢村 淳, 宇野成紀: 製鉄研究 (1976) 288, p. 1179
- 20) 山田孝雄: 鉄と鋼, 66 (1980), A 127
- 21) 研野雄二, 楯岡正毅, 梅津善徳, 香川正治, 望月通晴, 同上, 65 (1979), S 56
- 22) 川辺正行, 稲角忠弘, 富井良和, 安藤啓司, 北山順: 同上, 67 (1981), S 42
- 23) 奥山雅義, 近藤晴巳, 田中 周, 福留正治, 山崎信, 児玉琢磨: 同上, 66 (1980), S 673
- 24) 能美淳一, 山形建男, 村井達典: 同上, 64 (1978), S 103
- 25) 石川 泰, 菅原欣一, 野坂庸二, 仙崎武治, 津田勉久: 鉄と鋼, 65 (1979), S 518
- 26) 鋳物工学, 今井秀喜, 武内寿久彌, 藤木良親編 (1976) [朝倉書店]
- 27) 佐々木稔, 榎戸恒夫: 製鉄研究 (1976) 288
- 28) たとえば, 小島鴻次郎, 永野恭一, 稲角忠弘, 岸忠男, 品田巧一: 鉄と鋼, 56 (1970), p. 3
K. GREBE, H. KEDDEINIS, K. P. STRICKER :
Stahl u. Eisen, 17 (1980), p. 973
- 29) 蟹沢秀雄, 和島正巳, 相馬英明, 三国 修, 伊藤幸良: 鉄と鋼, 67 (1981), S 48
- 30) たとえば, 志垣一郎, 沢田峰男, 前川昌大, 成田貴一: 同上, 67 (1981), S 49
郷農雅之, 鈴木章平, 春名淳介, 高崎 誠, 佐藤勝彦: 学振 54 委-No. 5614 (昭和 57 年 2 月)
- 31) たとえば, 佐々木稔, 肥田行博: 日本金属学会会報, 21 (1982), p. 87, O. A. MOHAMED : Iron and Steel International (1980), p. 341
- 32) たとえば, 井上勝彦, 池田 孜: 学振 54 委-No. 5617 (昭和 57 年 2 月)
- 33) たとえば, 浅田 実, 大森康男: 鉄と鋼, 67 (1981), S 652
- 34) 安元邦夫, 小野啓雄, 山本一博: 鉄と鋼, 66 (1980), S 42
- 35) 田代 清, 須沢昭和, 相馬英明, 中川美男, 細谷陽三, 和島正巳: 同上, 67 (1981), A 1
- 36) 渋谷悌二, 丹羽康夫, 中尾亜男, 谷中秀臣, 黒沢信一, 野沢光男: 同上, 66 (1980), S 102
- 37) A. F. OGG, P. I. SEATON, and L. HODGSON : Preprint of AIME Annual Meeting (1980)
- 38) 安本俊治, 田中 周: 川崎製鉄技報, 13 (1981), p. 533
- 39) 吉永真弓, 久保敏彦: 住友金属, 29 (1977), p. 383
- 40) I. R. DASH and E. ROSE : Ironmaking and Steelmaking (1978), p. 25
- 41) たとえば C. L. CORRE, B. KAYSER, D. JAULIN, and J. C. CELESKI : Preprint of Third International Agglomeration Symposium (1981)
- 42) 宮崎富夫, 下田輝久, 岩永祐治, 山本一博, 清水郁夫, 片岡隆昭: 鉄と鋼, 67 (1981), A 13
- 43) たとえば, 清水郁夫, 島山恵存, 河合 晟, 安元邦夫, 山本一博: 鉄と鋼, 67 (1981), S 45
- 44) 山岡洋次郎, 増田裕久, 梶川脩二, 古川和博: 鉄と鋼, 67 (1977), S 44
- 45) 成田貴一, 前川昌大, 志垣一郎, 沢田峰男: 鉄と鋼, 63 (1977), S 510
- 46) 吉永真弓, 羽田野道春, 宮崎富夫, 岩永祐治: 学振 54 委-No. 1536 (昭和 55 年 11 月)
- 47) 加瀬正司, 梅津善徳, 山口一良, 飯田孝司, 斎藤元治, 石橋和人: 鉄と鋼, 67 (1981), S 716
- 48) 岩藤朝榮, 渋谷悌二, 谷中秀臣, 太田 昭, 栗原一博: 日本鋼管技報 (1980), 84 p. 25
- 49) 吉永真弓, 高島啓行, 播木道春: 鉄と鋼, 66 (1980), S 80
- 50) 吉永真弓, 一伊達稔, 佐藤 駿, 加藤和正, 山本一博: 同上, 67 (1981), S 700
- 51) F. W. KINSELY and D. W. SESTNER : Iron-making Proceedings Toronto, TMS AIME, 34 (1975), p. 85
- 52) 野坂庸二, 入江俊二, 井手康人, 岩田 実, 馬越逸雄, 磯部松郎, 福田征孜: 鉄と鋼, 66 (1980), S 629
- 53) 堤 一夫, 大関彰一郎, 北島一嗣: 同上, 67 (1981), S 89
- 54) 川沢建夫, 田中丸和男, 中原芳樹, 喜多村健治: 同上, 66 (1980), S 81
- 55) 吉永真弓, 久保敏彦, 西岡邦彦: 同上, 60 (1974), S 22
- 56) 鈴木驍一, 安藤 遼, 吉越英之, 山岡洋次郎, 長岡清四郎: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 2775
- 57) 肥田行博, 伊藤 薫, 佐々木稔: 同上, 67 (1981), p. 1934
- 58) 樋口正昭, 高崎靖人, 古川和博, 小泉哲人, 名取好昭: 同上, 62 (1976), S 56
- 59) 川本良正, 清水郁夫, 片岡隆昭, 長尾政治, 横山美利, 高瀬徳雄, 佃 利夫, 白石弘幸: 同上, 65 (1979), S 63
- 60) 川辺正行, 稲角忠弘, 品田功一: 学振 54 委-No. 5616 (昭和 57 年 2 月)