

© 1982 ISIJ



高炉操業技術の最近の進展

飯塚元彦

Recent Development in Blast Furnace Technology

Motohiko IZUKA

1. 結 言

近年、製鉄技術の進歩には目覚ましいものがあるが、昭和 48 年における高炉の年間出銑量 9 126 万 t の達成をピークとしてその後は経済情勢の激変によりまた新たな対応に迫られているように見られる。高炉技術の進展を 10 年 1 区切りで見ると、昭和 20 年代は戦後の復興期、昭和 30 年代¹⁾は複合送風、自溶性焼結鉱の導入及び性状改善、装入原料の整粒強化、高圧操業の導入等次の時代に必要とされる技術の導入期と規定されよう。昭和 40 年代はこれらの技術をバックとして、高炉の大型化、高操業度化、低燃料比化が積極的に進められ、内容積 4 000 m³ 以上の超大型、超高圧高炉が出現し、操業度 2.4 t/d・m³、日産出銑量 10 000 t 以上の記録も見られた。1 300°C の超高風熱操業、装入物分布制御、脱湿送風、高処理鉱配合により、燃料比は一貫して下がり続け、昭和 53 年には 461 kg/t となっている(図 1)。

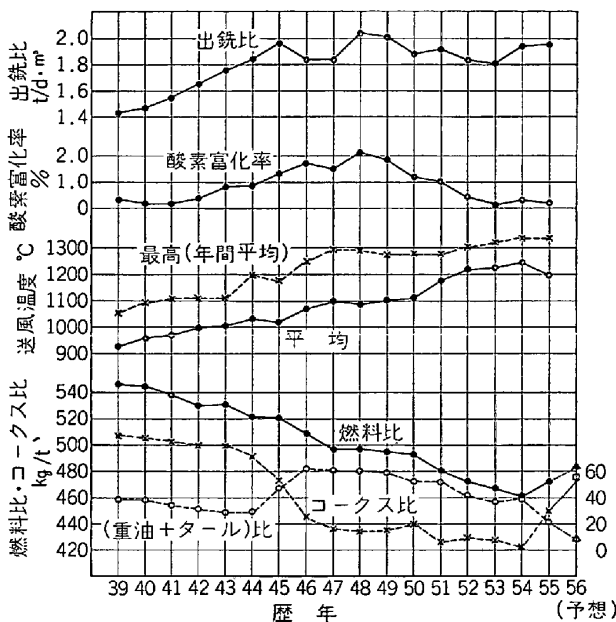


図 1 高炉操業成績推移

しかし、このような超大型化、高操業度、低燃料比化の技術指向も昭和 50 年代に入ってから大きく様相が変わって来ている。出銑量は昭和 48 年で頭をうち、その後二回のオイルショックを経て、一転して低操業度、省オイル、省エネルギー重視した操業形態に移行している。すなわち、昭和 50 年代に入ってから、過去において確立された各技術の再検討及び取捨選択を行い、伸ばすべきものは伸ばして、新たな高炉操業技術を模索しているのが現状である。

昭和 50 年代に入ってからの高炉技術の特徴を列挙すると、

- (1) 高炉大型化の終了、低操業度操業、炉体寿命延長
- (2) 製鉄所のトータルエネルギーバランスを重視した操業法、オイルレス操業
- (3) 高処理鉱配合
- (4) 装入物分布技術の確立
- (5) 低 Si 操業、中間脱珪
- (6) 高炉計測技術の進展
- (7) 計算制御技術の進展

2. 高炉大型化の終了及び低操業度操業、炉体寿命延長

戦後、一貫して進められて来た高炉、焼結機、コークス炉の大型化は、昭和 40 年代の後半にピークに達し、

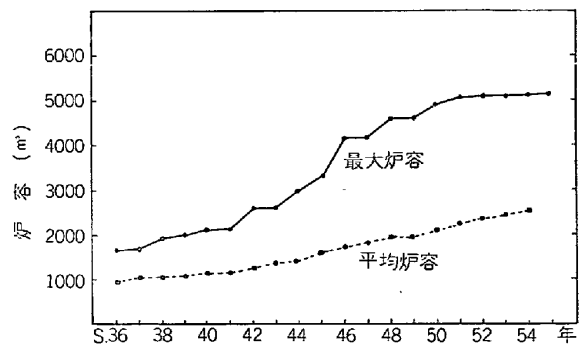


図 2 我が国における高炉々容の推移

昭和 57 年 4 月 3 日受付 (Received Apr. 3, 1982) (依頼解説)

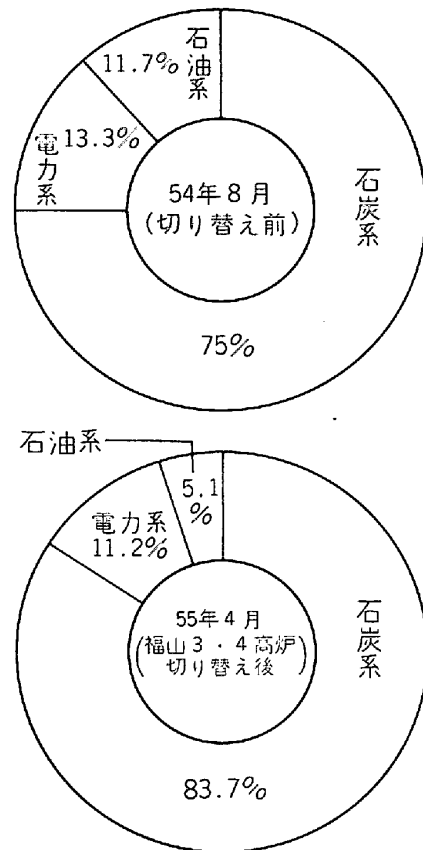
* 日本鋼管(株) (Nippon Kokan K. K., 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku 100)

高炉内容積は昭和 51 年に火入れした 5 050 m³ が最大である (図 2)。今後、既存の旧型設備のスクラップアンドビルドによる大型化の余地は残されているが、大型高炉の建設はほぼ一段落したと言える。これは、昭和 50 年代初頭において既に粗鋼 1.3~1.4 億 t に対応した高炉設備を有していることにもよるが、本質的にはこれ以上大型化しても、巻き替え時の運営、経済性、生産に対する弾力性を考えると大きなメリットは期待し難いと思われることによる。昭和 56 年央において、設置高炉基数 64 基中稼働基数は 43 基に過ぎず、稼働高炉の平均操業度も 1.8 t/d・m³ 程度にとどまっている。超大型高炉は適正操業度の範囲が狭く、経済変動に応じた生産量に応じた弾力的運営が難しく技術開発がまたれる。生産量の低減、操業度の低下に伴って、高炉の炉体寿命を延長することによってコストダウンをはかることが主要な課題となっており各社共鋭意検討を進めている。昭和 40 年代においては大型高炉の炉体寿命は、5~6 年が普通とされて来たが、設備、操業技術の進歩によって、最近では寿命 10 年、累積出鉄量 3 000 万 t が一つの目標となり、現に 1, 2 の高炉ではこの目標に達しつつある。

3. 製鉄所のトータルエネルギーバランスを重視した高炉操業法

3.1 オイルレス操業法

鉄鋼業、特に一貫製鉄所のエネルギー消費内訳における石炭の使用比率はもともと高く、図 3³⁾ に示すように日本鋼管 福山製鉄所の例では、石炭系 75%、石油系 11.7% であつた。しかし、第 2 次石油ショックの到来に伴う石油系燃料の石炭系燃料に対する大幅な価格上昇によって、製鉄所で使用されている石油系燃料をでき得る限り石炭系燃料に代替しようとする努力が払われて来た。製鉄所において、石油系燃料の約 50% は高炉用の重油が占めて来たが、この重油をすべてコークスに代替しいわゆるオールコークス操業を行い、増発生した高炉ガス及びコークス炉ガスを発電所、ボイラー、加熱炉に供給し石油系燃料の一層の節減をはかろうとするものである。先にあげた福山製鉄所においては、高炉のオールコークス及び高燃料比操業によって、石炭系燃料の比率は 75→83.7%、石油系は 11.7%→5.1% となっている。特に、自家発電所の比率の高い製鉄所においては発電所使用の石油系燃料をほとんどガスに代えた、事実上のオイルレス製鉄所となつている例もある。高炉の高効率化、安定化、コスト低減を目的として、重油吹き込み技術等によって低燃料比を追求して来たが、昭和 55 年以降においてはコスト高となる重油吹き込みを中止し、再び昭和 36 年以前のオールコークスの時代に戻つている。表 1 に⁴⁾、高炉の重油吹き込みとオールコークス操業の比較の一例を示す。昭和 52 年 1 月、我が国にお



(注) 電力系は自家発電、購入電力のうち、石油系のも
のだけを示し、ガス系電力は石炭系に含める。

図 3 オールコークス操業前後の所内消費エネルギー構成の比較³⁾

表 1 日本鋼管におけるオールコークス操業のデータ⁴⁾

期 間	福山第 3 高炉 (3 223 m ³)	同 左	岡島第 1 高炉 (4 052 m ³)	
	54年3/4期	55年6月	55年6月	
出 鉄 量 (t/d)	6 411	6 950	7 513	
操 業 度 (t/m ³ ・d)	2.00*	2.16	1.85	
コークス比 (kg/t)	412	459	493	
重油(タール)比(%)	30	—	—	
燃 料 比 (//)	442	459	493	
送 風 量 (Nm ³ /min)	4 743	5 222	6 320	
送 風 圧 (kg/cm ²)	—	3.44	3.63	
送 風 温 度 (°C)	1 319	1 269	1 052	
送 風 湿 分 (g/Nm ³)	9	16	17	
B ガス発生量 (Nm ³ /t)	1 256	1 285	1 378	
熱 炉 消 費 熱 量 (10 ³ kcal/t)	526	512	426	
鉄 中	Si%	0.34	0.38	0.40
	S%	0.034	0.030	0.035
備 考	重油吹き込み 操業の一例	オールコーク スで高操業度 を目標	オールコーク スでBガス発 生増を目標	

* 出鉄増が要求されなかつたので、低出鉄比

る稼働高炉 53 基中、重油使用 40 基、重油とタールの併用 12 基、オールコークス 1 基であつたが、昭和 55 年 5 月現在では、全稼働高炉 43 基中、重油 1 基、タール 8 基、オールコークス 34 基となつておりこの間の急激な操業形態の変化がうかがえる。

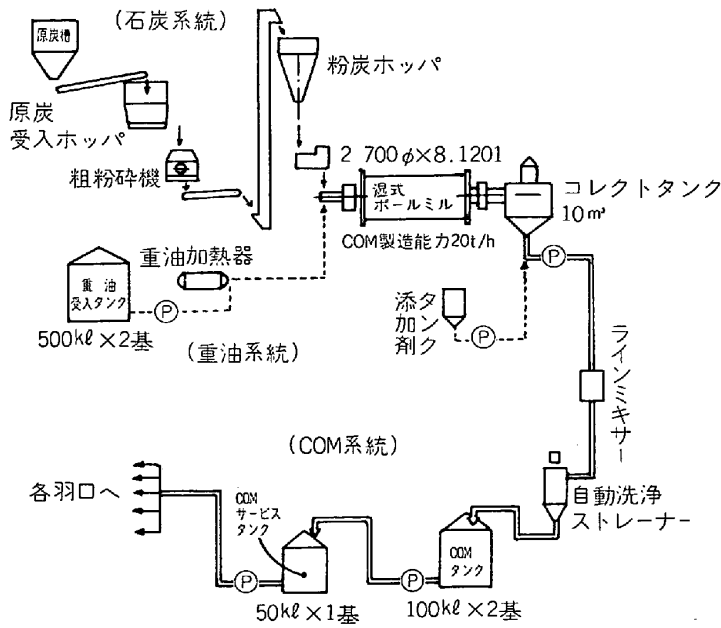
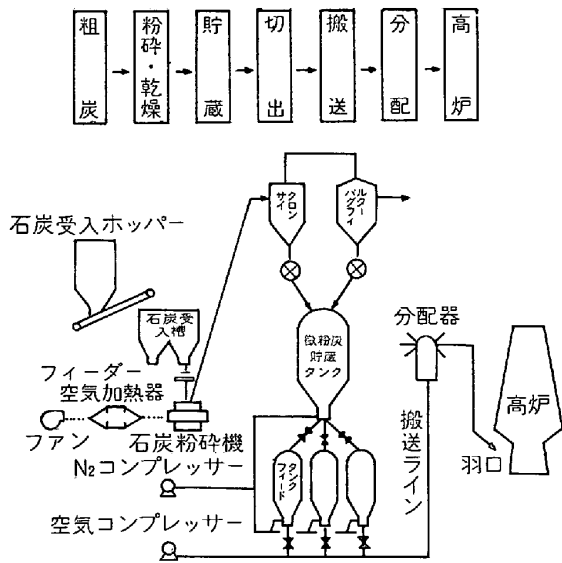


図 4 COM 20 t/h デモプラントフローシート 4)



○大分第1高炉内容積 4158 m³, 羽口本数 38 本, 出鉄能力 10,000 t/d
 ○微粉炭吹き込み能力 1000 t/d
 図 5 新日鉄大分第1高炉 P. C. I. システム 7)

3.2 非重油、省重油系燃料吹き込み

高炉から重油を放逐するため、取りあえず大多数の高炉はオールコークス操業、タール吹き込み操業を採用したのであるが、高炉の長期安定操業、製鉄所の立地条件等によつては、重油に代え何らかの補助燃料を吹き込もうとする考え方もある。重油と微粉炭の混合燃料、COM (図4 住友金属⁵⁾, 神戸製鋼他), タールと微粉炭の混合燃料、TCM (日本鋼管⁶⁾), 微粉炭, PCI, (図5, 新日鉄⁷⁾, 神戸製鋼他) 等が研究され一部では実炉

操業が行われている。微粉炭吹き込みは、米国、ソ連、中国等において比較的長い歴史があり、なかんずく米国アームコスティール、アッシュランド製鉄所⁸⁾の例が有名である。日本においては、重油と比べ採算性、石炭の搬送及び防爆のはん雑さゆえ採用されることは無かつたが、昭和52年度以降重油と石炭の価格差が拡大するにつれ、注目されるようになり、我が国においては新日鉄大分がアームコ法を導入し、昭和56年5月稼働させている。一方、神戸製鋼も米国ペトロカーブ社の技術を導入し、近く稼働予定と言われている。置換率コークス/微粉炭は1.0程度と言われているが、今後詳細な検討がなされる。微粉炭吹き込みを中心とした非重油など省重油系の補助燃料吹き込みは、高炉操業の安定性、採算性によつてはオールコークスとならび将来導入されることが期待される。

4. 高処理鉬配合

処理鉬配合は、図6に示すように、昭和50年代に入

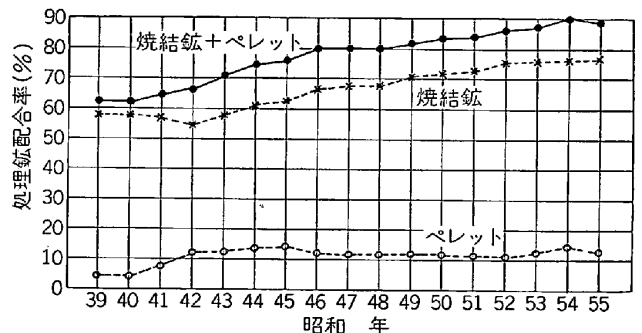


図 6 処理鉬配合の推移

つても漸増し、全国平均で 90% に達している。処理鉱としての焼結ペレットの優劣の論争はほぼ結論が出、輸入ペレット 12~13% に対し焼結鉱は増産の傾向にある。しかしながら、処理鉱配合 90% の内訳を見ると、低 Si 操業、高炉の安定操業を重視し塊鉱破碎を導入し 100% 近い処理鉱配合を実施している製鉄所と、塊鉱を 15~20% 併用している製鉄所があり、適正処理鉱配合の問題は今後における重要な課題の一つであろう。

5. 装入物分布技術の確立

高炉の大型化に伴い、安定操業、低燃料比及び炉壁の温度制御を目的として、ムーブルアーマ、ベルレス等の分布制御器機が昭和 40 年代の中頃より積極的に導入され使用法の開発が行われて来た。しかし、装入物の分布制御技術が実践的ないし理論的に確立されたのは、各種分布測定技術が開発された昭和 50 年代に入ってからと言えよう。ベル高炉においては、各種のムーブルアーマが採用され、最近では、複雑な装入シークエンス (C↓O↓, C↓C↓O↓O↓, C↓C↓C↓, O↓O↓O↓等) を組み合わせ微細な分布制御を実施することができるようになった。一方、ベルレス高炉では巡回シュートの回転数と角度によりさらに自由度の高い分布制御が行われている。装入物分布制御の適否の判断には、従来、半径方向温度分布、ガス測定分布という間接的手段がとられていたが、最近ではそれに加え機械的サウンディング⁹⁾、マイクロ波¹⁰⁾、レーザ波¹¹⁾等による表面形状の直接測定法、あるいは磁気センサー¹²⁾による装入物内の層厚測定法の実用化により飛躍的な向上を遂げつつある。図 7 は操業中の表面形状測定例を示す。これらの実炉測定と同時に、模型実験等による分布の研究も盛んに行われ 研究結果の実炉への適用がはかられている。図 9¹³⁾は福山第 5 高炉実物大模型による分布実験の結果を示す。装入物分布制御の効果の一例として¹⁴⁾、図 9 にベルレス高炉 (川鉄千葉第 6 高炉) における低燃料比操業時のガス分布を示す。また、分布制御をより積極的に行うため装入物分布予測モデルの開発も行われている。従

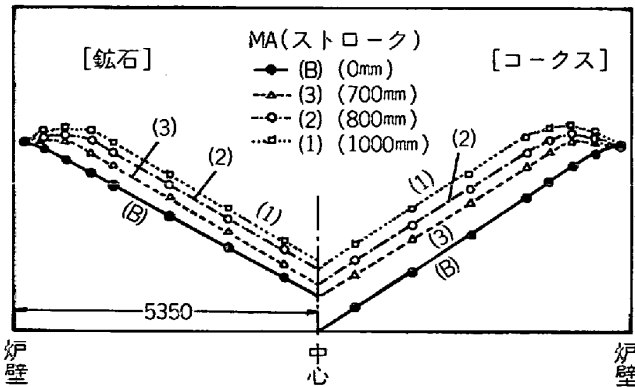


図 7 ムーブルアーマと装入直後の表面形状の関係 (福山 5BF)

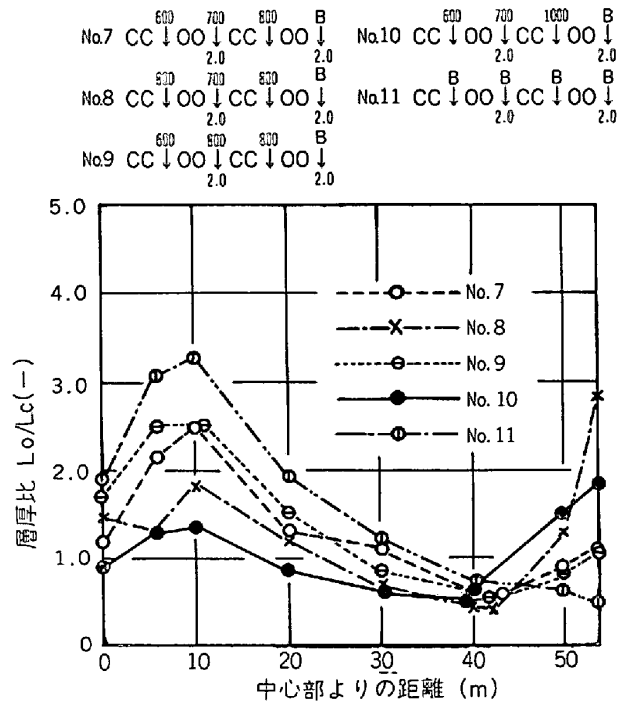


図 8 実物大模型装置における層厚比分布¹³⁾

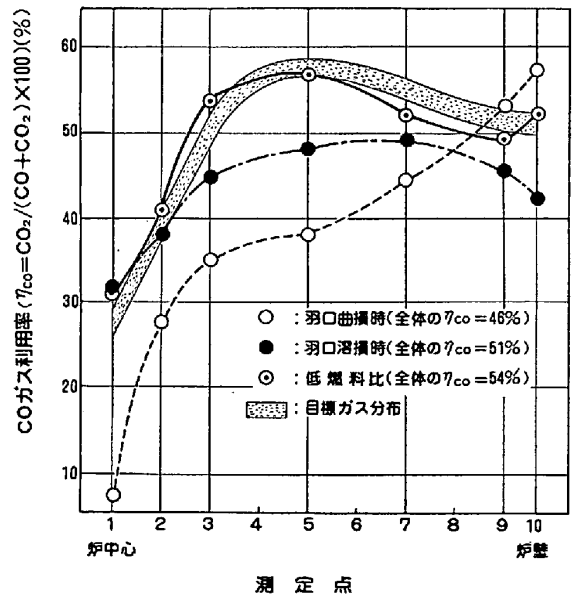


図 9 ベルレス高炉におけるシャフト上部のガス分布¹⁴⁾

来、装入物分布は、主に、操業に対する直接的アクションとしての位置づけがなされて来たが、最近ではさらに、炉内状況を表現する数式モデルの初期条件として精度良く把握することが要求されている。すなわち、今後は、より精度の高い層厚分布あるいは、粒度偏析、混合層などの計測が必要となるものと思われる。

6. 低 Si 操業、中間脱珪

高炉の鉄中 Si% は、従来炉熱管理の代用特性と考

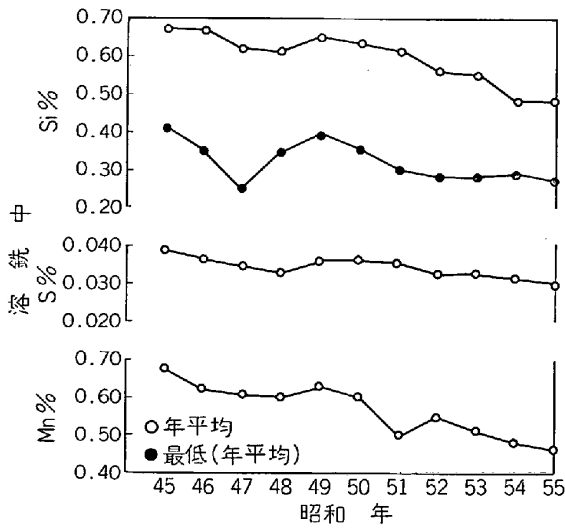


図 10 溶鉄成分の推移

られ、0.5% 程度で管理されて来た。しかし、近年、高炉の大型化による溶鉄温度の上昇、転炉での高溶鉄配合、溶鉄の予備処理技術の進歩により高 Si% が不要となつて来た。一方、高炉操業上も解体調査による融着帯機能の解明と総合制御技術の発展、原料の高温性状の改善により、炉熱とは別に、鉄中 Si% を低減させることが可能となつて来た。図 10 に鉄中成分の推移を示す。

かつて、鉄中 Si は、スラグ-メタル間の反応で SiO₂ が還元されているとしたが、大谷ら¹⁵⁾は高炉の Si 移行を平衡論、速度論の見地から SiO (g) を介して移行することを理論づけた。この理論によれば、レースウェイ附近の高温、低酸素分圧下ではかなりの濃度の SiO ガスが発生しており、Si の移行に大きく寄与しているため、送風圧増加とか酸素添加を行い SiO の分圧を下げるにより、溶鉄中の Si% を抑制することができる。

羽田野¹⁶⁾らは高炉内の Si 移行は、SiO (g) の発生と SiO (g) を媒介とする溶鉄中 Si の移行の二段階によると考えて、後段については、溶鉄と SiO (g) との接触によると考え次式を導いた。

$$[\%Si] = k_f \cdot \frac{A}{M} \cdot P_{SiO} \cdot t$$

$\frac{A}{M}$: 比表面積 t : 滞留 (接触) 時間

$$\frac{A}{M} \cdot t = \frac{a_{eff} \cdot ML}{\rho_P \cdot H_d} \cdot \frac{ML}{V/H_d} = \frac{a_{eff} \cdot ML}{V \cdot \rho_P}$$

ML : 溶鉄の滴下距離

a_{eff} : 気液有効接触面積, V : 溶鉄滴下容量速度

ρ_P : 溶鉄の密度 H_d : ホールドアップ量

上式から、SiO から Si の移行を抑制するためには SiO ガス分圧を低下する他、融着帯の位置を下げなおかつ幅を短縮することが有効で、これを達成するには高融点で溶融滴下幅の狭い原料が適切であることが判明す

る。

樋谷ら¹⁷⁾¹⁸⁾は千葉第 3 高炉実際操業に適合させた高炉全体の一次元モデルで発生する SiO 源が、大部分コークス灰分にあることを示唆し、またグラファイトとコークスを用いた Si 還元実験の結果から SiO を含まないグラファイトを用いた場合は鉄中への Si の移行がほとんど見られないことを示した。

以上、溶鉄中 Si の移行理論とおおのの要因の効果について述べたが、操業では既にそれらを総合的に応用している。嶋田ら¹⁹⁾²⁰⁾は名古屋第 3 高炉で、高塩基スラグによる通気性悪化を高炉々頂圧によつて補償し、焼結鉱中に蛇紋岩を添加して軟化溶融帯幅を狭くし、0.2% までの低 Si を達成したと報告している。また、栗原、早瀬、才野^{21)~23)}らは千葉第 6 高炉、水島第 2 高炉で (イ) 羽口前温度低下による羽口先での P_{SiO} の抑制、(ロ) 熱流比を上げない。(ハ) 低 FeO 焼結鉱 (FeO < 5%) の使用、H₂ の還元強化による溶融帯レベルの低下を行い、炉況管理 GO-STOP システムの使用、炉内装入物管理により安定した操業を得て低 Si 操業を可能とした。

将来、達成可能な Si 濃度については溶鉄温度を 1450 °C 程度とし、可能な限り炉下部への入熱量を下げるにより、0.1% 以下の Si 濃度に挑戦することになる²⁴⁾。一方、製鋼では新製鋼法 (スラグレス、スラグミニマム、極低 P, S 鋼の製造等) の開発が進められており、これに対応するため溶鉄中の Si% を 0.1% 以下にすることが要請されている。このため、高炉々前樋に直接ミルスケール等の酸化鉄を投入して脱珪をはかる連続溶鉄脱珪処理技術が最近開発されつつあり製鉄所のニーズに応じては適用されることになろう^{25)~27)}。

7. 高炉計測技術の進展

7.1 測定点数の増加と技術的特徴

高炉の大型化、操業技術の高度化などにより、センサ

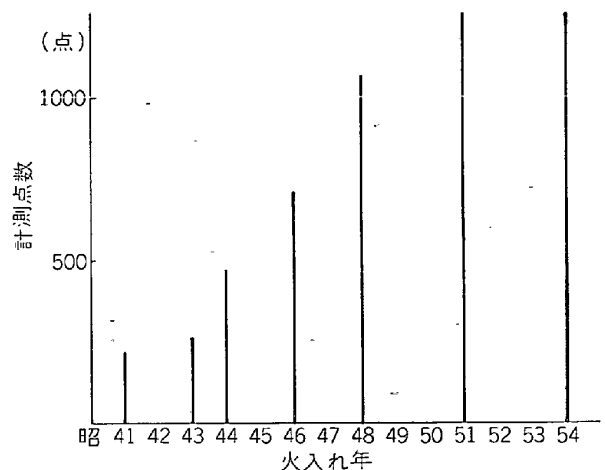


図 11 新設高炉計測点数 (炉体・熱風炉)

一 装備点数は増加の一途をたどり図 11 に示すように、昭和 44 年から 54 年の 10 年間に 2.5 倍に増大した。最近の技術的進歩の特徴は、①計測技術全般の技術的向上に伴う既存汎用センサーの精度、信頼性などの性能の向上と②高炉専用の新しいセンサーの開発の進歩が挙げられる。

7.2 汎用センサーの性能向上と高炉への適用

既存センサーの性能向上の例では、ガスクロ分析計があげられる。多成分の同時分析が可能のために、赤外線分析計に代わって高炉ガスの分析用として定着して久しいが、最近では間欠測定であるという短所も、分析周期が 1 min のものが開発され、精度面でも、大気圧補正、合計値補正等により大幅に向上した。更に、ガスクロより多成分を同時に高精度で連続的に分析可能な質量分析計の導入が試みられている。秤量では、放置スペースが小さいロードセル型の精度が向上したことから普及しはじめ、出銑中の溶銑の測定など、大質量測定が簡単にできるようになった。温度計ではシース熱電対の性能、耐久性の向上と普及は、ゾンデ類による炉内温度分布やれんが内部の温度分布の測定が容易になった。装入原料のオンライン分析に用いられる中性子分計では、 γ 線による嵩密度補正と組み合わせて、大幅に精度が向上したのも開発された。電磁流量計やカルマン流量計の精度向上は、給排水の流量差による羽口冷却水漏洩検知を可能とした。I.T.V. 技術と画像処理技術は、炉内温度分布計測をはじめ、炉内の挙動を解析するツールとして、炉口部や羽口部の計測に積極的に活用されている。

7.3 新しい高炉専用センサーの開発

計測技術全般のレベル向上によつて、各種の新しい高

炉専用センサー開発が行われて来たが、最近では

(1) 高炉のインプット、アウト量や炉体表面の計測から、直接、炉体内部のしかも分布またはパターンとしてとらえるセンサーの開発。

(2) 高炉操業目標の変化(省エネルギー、脱オイル、炉体寿命延長、スラグの積極的利用)に伴つて必要となつたセンサーの開発

高炉内部計測のうち、塊状帯では装入物分布、ガス流分布とその経時的变化が課題である。表 2 に示すように、装入物分布の測定が最も進んでおり、各種プロフィールメーターによる層厚分布や赤外線 TV による温度分布測定が可能となつた。最近、シャフト部に差し渡しゾンデを設置し、マグネットメーターによる方式が開発され、表面形状の変化及び混合層を含めた層厚分布、降下速度分布の測定が可能となり注目されている。ガス流分布は、流量、温度、成分、圧力分布等に分けられ開発が進んでいる。融着帯については、位置形状測定について各種測定が試みられているが、連続測定については今一步の感がある。炉下部では羽口輝度計や I.T.V. と画像解析によりコークスの粒径や運動状況を観察するに留まっている。省エネルギーの目的で熱風炉廃ガスの酸素制御が普及しているが、これは酸素計の精度と信頼性向上の寄与するところが大きい。脱オイルで微粉炭吹き込みが注目され、固気二相流量計測に差圧式や静電容量式密度計を用いたものが開発された。炉体寿命延長では炉体耐火物の侵食と壁付附着物の把握、冷却機器の保護と破損の早期発見、高炉周辺機器保護のための炉体管理計測として表 3 のものが考案された。スラグの積極利用の拡大に伴い、相関流量計とレベル計の組み合わせによる

表 2 塊状帯融着帯における計測技術

計測対象	計測方法		備 考		
装入物分布(層厚分布)と荷下り	①接触式プロフィールメータ		装入物表面形状の計測であり装入による表面形状の変化、混合層の計測ができず、測定誤差が大きく、装入物分布を乱すなど問題がある。		
	②非接触式	マイクロ波プロフィールメータ	①に比べ装入物分布を乱さない点は有利		
		レーザプロフィールメータ			
③マグネット・メータ方式		①に比べ装入物中の計測であり、装入による表面形状の変化混合層の測定ができる点は有利			
ガス流分布	流速分布	①フルイド流速計	ガス温度、圧力、組成がわかればガス流量への換算が可能		
		②ピトー管熱線式ガス流速計			
		③タービン流速計			
		④加熱熱電対法			
ガス流分布 融着帯位置・形状	⑤ガストレーサー法	装入物分布を乱さないが瞬時の測定である	推定計算を行うことにより、ガス流量分布、融着帯位置・形状の推定が可能であるが、仮定とパラメータを必要とする		
	温度・組成分布	水平ゾンデ法			瞬時の測定である
	圧力分布	炉壁ガス圧力測定法			装入物分布を乱さず、連続測定である
融着帯位置・形状	直接法	①挿入式垂直ゾンデ法	温度以外、圧力・組成等のデータも得られる点有利であるが瞬時の測定である		
		②RI 装入法	瞬時のデータであり、滴下帯以下の通過時間に仮定が必要		
		③TDR 法	連続測定が行える点は有利		

表 3 炉体管理計測

計測の目的	計測方法	備 考	
耐火物の侵食壁付着状況の把握	熱電対法	測定法は確立しているが、測定点が限られ、炉内温度に依存する	
	赤外線サーモカメラ法	温度をパターンとしてとらえる方法。炉内温度に依存する	
	熱流計法	測定点が限られ炉内温度に依存する	
	熱電対応答法	壁厚の測定が行える	壁厚の増加はとらえられない 1点計測である 通常操業時の測定は困難
	電位パルス法		
	RI埋め込み法		
	ポーリング		
冷却機器の保護と破損の早期発見	冷却水溶存CO量測定法		
	冷却水差流量測定法	水の汚れに敏感	
	冷却水給排水温度測定法	冷却機器への熱負荷がわかる	
	炉頂ガス中H ₂ 測定法	破損部位が不明	
周辺機器の保護	炉頂ガス温度測定法	ガス清浄設備の保護	
	炉頂ガス圧力測定法	"	
	羽口支管吹込燃料流量計測法	羽口、ブローパイプの保護	
	羽口支管風量計測法	"	

熔融スラグ流量計が開発され、添加水流量の比率制御により水砕スラグの品質向上等に貢献している。

8. 計算機制御

高炉操業における計算機制御は、我が国では昭和30年代後半から物質収支、熱収支をもとにして高炉下部の熱的変動を制御しようとする試みから始まった。しかしながら、このコントロールは、高炉の限られた重要な因子のみをとりあげているため、原料性状やその他の操業因子が変わってくると制御しきれない問題があった。そこで昭和40年代中頃には、炉況を主に、シャフト部の通気性モデルと炉下部の炉熱モデルの2つの組み合わせで総合判定する制御モデルが提示され、さらに昭和50年代には、高炉の上部から下部の反応、伝熱、ガス流れを考慮した非定常の制御モデルも開発された。

最近の特徴としては、(a) 総合管理システムの開発、(b) 一次元非定常、2次元モデル等の数式モデルの開発、(c) 対話型データ解析システムの開発であろう。

(1) 操業管理における活用

高炉プロセスは非常に複雑であり、少数の計測センサー情報のみからの評価、判断では、誤まる確率が大いと考えられるので、これを制御するためには各種の計測センサー情報と各種数式モデルとを組み合わせる炉内状況を総合的に把握することが望ましく、各種の総括操業管理システムが²⁸⁾²⁹⁾進められている。図12³⁰⁾は、総括操業管理システムの概念を示すが、このシステムにおいては、種々の検出端から得られた炉内現象を直接的にまたは、数式モデルを介した情報として集約し、炉熱、通気性、荷下り性、ガス利用率、出鉄滓状況及び炉壁熱負荷等を総合的に判定、予測し制御手段として原料性状、原料装入条件、送風条件等のアクションを行わせるものである。一方、このように数式モデルを組み入れた方法は、急激な炉内状況の変化には、必ずしも十分適用できないことから、図13³¹⁾に示すように過去の炉況トラブルの経験から選んだ操業因子をあらかじめ定めた境界値と比較判定し、さらに各因子ごとに重みづけを加えて総合的に炉況判定を行い、いわゆる高度な操業の標準化を行つたシステムも開発された。設備管理については、図14³²⁾に示すような炉底侵食量管理、炉体温度管理、付帯設備管理等から構成される、主に炉体の長寿命化を目的とした総合的な設備診断システムが開発された。

(2) 操業解析における活用

時代のニーズにあつた柔軟性を持ち、計算機制御による精度の良い操業管理を行うためには、高炉プロセスのより深い解明が望まれる。そのための1つの手段として

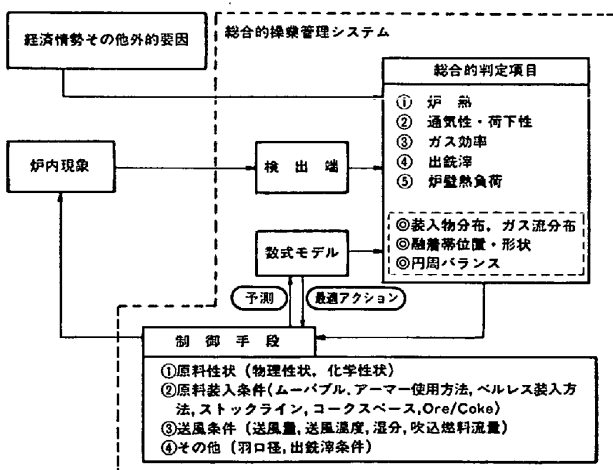


図 12 総合的操業管理システム

表 4 福山第 3 高炉低燃料比操業結果
(昭和 56 年 11 月)

項 目	
出鉄量 (t/d)	7 636
コークス比 (kg/t)	354.0
タール比 (kg/t)	42.1
燃料比 (kg/t)	396.1
送風量 (Nm ³ /min)	4 952
送風圧力 (kg/cm ²)	3.59
送風温度 (°C)	1 353
炉頂圧力 (kg/cm ²)	2.48
鉄中 Si%	0.27
鉄中 S%	0.045
塩基度 CaO/SiO ₂	1.28
焼結配合 (%)	96.6
炉頂ガス CO (%)	20.2
" CO ₂ (%)	24.5
" 温度 (°C)	73

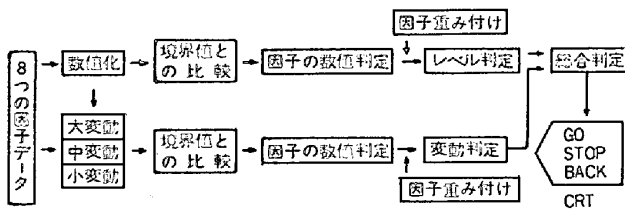


図 13 Go-Stop システム判定フロー³¹⁾

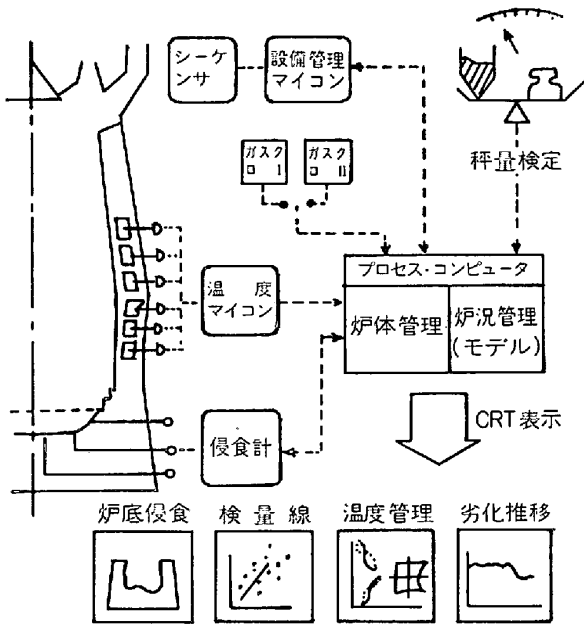


図 14 和歌山第 3 高炉々体管理システム構成³²⁾

原料情勢の変動に応じて大きく変わつてゆく可能性があり注意深く対処する必要がある。現状においては、ガス多量発生型の高、中燃料比高炉操業が指向されているなかで、二、三の会社では極低燃料比型の高炉操業試験を実施しているが、これも将来の一つの可能性を見込んでのことと思われる(表 4)。溶鉄の予備処理の問題は、製鋼部門の操業形態の変遷によつて、今後共、高炉の低 Si 操業、中間脱珪技術と真剣な検討が続けられよう。高炉の計算制御もプローブ技術の発展と相まつて一層の進展が望まれる。

文 献

- 1) 鉄と鋼, 創立 60 周年特集号, 61 (1975), p. 472
- 2) 鉄鋼統計委員会: 鉄鋼統計要覧 1980
- 3) 飯塚元彦: 鉄鋼界 (1980. 9), p. 47
- 4) 社内資料より作成
- 5) 矢部茂慶, 小島正光, 宮崎富夫, 東海林泰夫, 倉重一郎, 射場 毅: 鉄と鋼, 68 (1982), A9
- 6) 渋谷佛二, 齊藤 汎, 丹羽康夫, 古川 武, 中野皓一郎, 柴田道康, 船曳佳弘, 大友 茂: 鉄と鋼, 68 (1982), A13
- 7) 川辺正行, 竹村頼二, 和栗真次郎, 梶原豊太, 馬場昌喜, 石川 泰, 長谷川 晟, 南 昭三: 鉄と鋼, 68 (1982), A17
- 8) S. A. BELL: Ironmaking Proceedings (1967), Coal Injection Bellefonte furnace, p. 180
- 9) 飯塚元彦, 梶川脩二, 中谷源治, 脇元一政, 松村勝己: 日本鋼管技報 (1980) 85, p. 1
- 10) 崎村 博, 楠 光裕, 岩村忠昭, 田宮稔士, 関正彦: 鉄と鋼, 67 (1981), S17
- 11) 浅野有一郎, 矢部 直, 栗田邦夫, 百瀬 惇, 平橋 明, 守屋 進: 鉄と鋼, 66 (1980), S681
- 12) 山本崇夫, 彼島秀雄, 高橋敏夫, 緒方 勲: 鉄と鋼, 67 (1981), S74
- 13) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 57 回製鉄部会 (1980. 11) 日本鋼管(株) (私信)
- 14) 栗原淳作: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 1574
- 15) 徳田昌則, 槌谷暢男, 大谷正康: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 219
- 16) 羽田野道春, 山岡秀行, 山縣千里: 鉄と鋼, 62 (1976), S391
- 17) 片山英司, 田口整司, 槌谷暢男, 岡部俠児: 鉄と鋼, 67 (1981), S77

長期間、多種類の操業データの解析を計算機を利用して行わせる対話型解析システムが^{33)~35)}開発された。このシステムは解析に必要な操業データを長期にわたつて計算機に蓄積させ、対話型式により必要に応じて任意の項目及び期間を検索し、作図・作表処理、技術計算処理等を行うことができ、これによつて解析効率の大幅な向上、質的な向上が可能となつた。一方、計算機の進歩により複雑な数値計算が容易になつたことから高炉プロセス解析のための数式モデルも、RIST モデルを代表とする一次元定常モデルから反応速度式に時間の項を入れた一次元非定常モデル、あるいは、炉内の半径方向分布解析を行う 2 次元定常モデルの開発が多数なされてきており、古くは解明不可能とされブラックボックスと考えられた高炉内部の状態がしだいに明らかにされつつある。

9. 結 言

昭和 50 年代の製鉄技術について概観したが、戦後一貫して進めてきた技術開発が一つの頂点に達し転換期をむかえていることは事実である。しかしながら、高炉の使用燃料の過半を石炭が占めていたことがまことに幸いであり、それ故オイルショックに機敏に対処することが可能であつた。高炉の操業形態は、今後共、経済情勢、

- 18) 田口整司, 槌谷暢男, 久保秀穂, 一藤和夫: 鉄と鋼, 67 (1981), S 728
- 19) 嶋田駿作, 阿部幸弘, 井上展夫: 鉄と鋼, 58 (1972), S 284
- 20) 嶋田駿作, 阿部幸弘, 井上展夫: 鉄と鋼, 59 (1973), S 31
- 21) 栗原淳作, 高橋洋光, 丸島弘也, 奥村和男, 高橋博保, 安野元造, 皆川俊則: 鉄と鋼, 66 (1980), S 102
- 22) 早瀬敏一, 安野元造, 河合隆成, 一藤和夫, 槌谷暢男, 田口整司: 鉄と鋼, 67 (1981), S 78
- 23) 才野光男, 藤森寛敏, 末森 昱, 佐藤政明, 野村真, 妹尾義和: 鉄と鋼, 67 (1981), S 727
- 24) 槌谷暢男, 田口整司, 河合隆司, 一藤和夫, 佐藤正明: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 4, p. 65
- 25) 丸川雄浄, 山崎 勲, 城田良康, 植木弘満: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 131
- 26) 上仲俊行, 高見満矩, 菅原孝幸, 小池幸造, 池田修, 堀 隆一: 鉄と鋼, 68 (1982), S 132
- 27) 阿部幸弘, 奥田康介, 梅津善徳, 久米正一, 中村展, 土岐正弘: 鉄と鋼, 68 (1982), S 133
- 28) 加瀬正司, 久々宮明, 林 洋一, 西納幾平, 田村健二, 山田武弘, 林秀次郎, 花房章次: 製鉄研究 (1976) 288, p. 70
- 29) 研野雄二, 加瀬正司, 須賀田正泰, 奥田康介, 田中紀之, 梅津善徳, 山口一良: 鉄と鋼, 67 (1981), S 81
- 30) 渋谷悌二: 鉄と鋼, 67 (1981), A 109
- 31) 長井 保, 田村 栄, 河合隆成, 才野光男, 岡部俠児, 福武 剛, 田口整司: 鉄と鋼, 64 (1978), S 51
- 32) 元重正洋, 石川純生, 前田幸穂, 若林正人, 小山朝良, 酒井俊彦: 鉄と鋼, 67 (1981), S 779
- 33) 大野二郎, 中村正和, 谷誠一郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S 555
- 34) 山田孝雄, 才野光男, 児子精祐, 山名紳一郎, 妹尾義和, 守谷正一, 芋谷暢重, 瀬川佑二郎: 川崎製鉄技報, 13 (1981)4, p. 610
- 35) 斎藤 汎, 炭竈隆志, 木村康一, 堀内好浩, 深澤修, 木村亮介: 鉄と鋼, 68 (1982)4, S 114