

表 1・2・16 鉄鋼各社および関連各社 400mm 幅コークス炉稼働率

年(昭和)	40	41	42	43	44	45	46	47	48
各社平均稼働率 [%]	147.2	143.2	151.8	160.5	163.8	166.3	155.4	135.9	155.0
最高稼働率(炉) [%]	163.8	155.0	169.0	179.4	180.0	184.0	184.0	148.4	171.0

出典 燃料協会誌

立、石炭、コークス品質把握の迅速化自動化、などを達成するための真剣な努力が必要であろう。

コークス炉操業関係の昭和40年代における特筆事項は、コークス炉の大型化と操業技術向上に伴うコークス炉稼働率向上にある。前者は設備の項で詳細が述べられているので省略する。コークス炉の稼働率は昭和30年代の顕著な上昇に引続き、昭和40年代も表1・2・16に示すように400mm幅炉の全国平均稼働率では昭和45年に166.3%を示し、炉別の最高稼働率では180%と驚異的な実績を記録した。昭和30年代の最高稼働率は長期的操業としては150%稼働が可能とされていたことと比較すると実に、20~30%の向上となつている。これは、コークス炉の燃焼管理および炉操業技術の進歩から生まれたものであるといえよう。すなわち燃焼管理面については、燃焼室の垂直、水平温度分布の稼働率に見合った調整、燃焼室列間の温度差の減少、端フリー温度の向上方策、ガスアクション管理の標準化などが挙げられる。また炉操業技術面では、高温操業時の付着カーボン除去対策、ブロック装入法の採用、稼働機械の改善による窯出サイクルタイムの短縮と、それに伴う1チーム当りの窯出本数の増加、ガス切替サイクルタイムの短縮、炉体手当技術の進歩などが挙げられる。

コークス炉操業とコークス品質の関係については、1)乾留炉温 2)置時間 との関係について検討され、コークス炉の最高、最低稼働率は煉瓦面からくる最高、最低許容温度にコークス品質問題から捉えた条件も加味して考慮されてきている。

一方コークス炉燃焼管理における計装管理では燃焼ガスのカロリーコントロール、総熱量制御 CO₂、O₂ メーター活用、およびコンピューター導入による炉体燃焼管理の実施などにより、炉温変動の減少、消費熱量の低減がはかられている。

炉手当モルタル材、および補修法の改善も顕著であり、炉令15年経過のコークス炉も新鋭炉と同レベルの稼働率、消費熱量を維持している。

(4) おわりに

過去10年間の高炉用コークス製造技術の進歩は、高炉技術のめざましい進歩と大幅な出鉄増に対応して、従来の概念を一変させる大型コークス炉の建設、順調な操業を可能とすると同時に、世界各国の多数にのぼる銘柄の石炭を有効に配合、調整することにより質、量ならびにコスト面で十分その要請に応え、わが国鉄鋼業の発展に大いに寄与した。加えて公害防止の点においても労働環境の改善も含めて、技術上の種々の困難さをのりこえ着

々と設備改善が進められ顕著な効果を上げるに至っている。

世界的にみても鉄鋼の需要は今後さらに増大することが予測されているが、一方原料炭の需給は採掘条件の悪化、労働力の不足などによりさらに逼迫するとともに価格の高騰、品質の劣化がより進むものと考えられ、原料炭問題こそ高炉用コークス製造技術の最大の検討課題であり、高炉製鉄法を規制する大きな要因といえよう。したがって利用度の低い石炭の活用により原料の選択幅を拡大し、コスト面からの選択も可能とするような新しいコークス製造技術の開発が強く要請されるところで、その有力な候補として成型コークス製造技術があげられるが、さらに室炉式コークス製造法においても、資源対応力を持つためにはいかにあるべきかを今一度原点にたち、これを中心に環境改善、生産性向上などを含め総合的に技術の発展が進められるものと考えられる。

そして成型コークス法が非粘結炭を、室炉式コークス製造法が粘結炭を主原料とし、かつおのおのが原料選択に柔軟性をもつことにより広い範囲にわたる石炭が有効に活用されるような方向に今後の技術開発は進むであろう。

文 献

- 1) G. E. BALCH: コークスサーキュラー 20 (1970), p. 206
- 2) 菅沢他: 燃協誌 51 (1972), p. 668
- 3) 桐谷他: 燃協誌 51 (1972), p. 639
- 4) 菅田 : 燃協誌 52 (1973), p. 715

1・3 高炉操業技術

1・3・1 操業技術

昭和30年代における高炉操業技術は、調湿・酸素富化・燃料吹込みなどのいわゆる複合送風技術がほぼ確立し、これに装入原料の改善すなわち焼結鉱の品質向上とその増配合ならびに鉱石の整粒強化が加わって同年代末には、出鉄比 1.5 t/m³・day、燃料比 540 kg/t が達成されていた。高圧操業は37年に始めてその技術が導入され、38年に入つて3基の高炉で操業試験が始まった段階であつた。

このような技術的な背景を基礎とした最近10年間の高炉操業技術の進歩は、大型高炉の設備ならびに操業技術が確立したこと、生産性が大幅に向上し、一方燃料比が低下したことの3点に集約され、また技術的には高圧操

表 1-3-1 大型高炉の建設推移

昭和	稼働基数	2,000~ 2,999m ³	3,000~ 3,999m ³	4,000m ³ 以上	その年に 建設された 最大高炉
39年	44	1			名古屋 1BF 2,021m ³
40	46	3			千葉 5BF 2,142m ³
41	50	4			福 山 1BF 2,004m ³
42	52	8			堺 2BF 2,620m ³
43	55	10			君 津 1BF 2,705m ³
44	60	16	1		福 山 3BF 3,016m ³
45	62	18	2		水 島 3BF 3,363m ³
46	58	18	3	2	福 山 4BF 4,197m ³
47	58	19	4	3	大 分 1BF 4,158m ³
48	60	17	5	6	福 山 5BF 4,617m ³

(注) 稼働基数は12月末日現在の稼働をもつて数えた。

業から超高压操業への移行が特筆される。

表 1-3-1 および図 1-1-2 に高炉炉内容積の変遷を示すが昭和40年においては日本の最大高炉は、川鉄・千葉5高炉 2,142m³ で 2,000m³ 以上の高炉は3基に過ぎなかったが、44年には17基となり、48年末では稼働基数の47%に相当する28基に達した。この中には、世界最大の鋼管・福山5高炉 4,617m³ を含む 4,000m³ 以上の高炉が6基あり、これらのなかには日産 10,000t を越す出鉄を行なっている高炉もある。

こうした大型化を支えた技術、または大型化に伴って発展した技術としては、

1. 高压操業から超高压操業への移行
2. ムーバブル・アーチャーを用いた装入物分布の改善
3. 羽口先条件の厳密な管理による炉熱の維持
4. 多量の鉄・滓処理に対する管理の強化

また大型化と独立した技術としては、

1. 酸素富化と重油の多量吹込みとの組み合わせ
2. 1,200°C を越す高温送風技術

などが挙げられ、これらの操業技術および設備が相まって図 1-3-1 に示すような出鉄比の向上、燃料比の低下が達成された。

(1) 高压操業および超高压操業

1944年アメリカで、1950年ソ連ではじめて実施された高压操業は、好成績をあげ、その後両国ともに急速な発展をとげた。わが国では昭和37年アメリカから技術が導

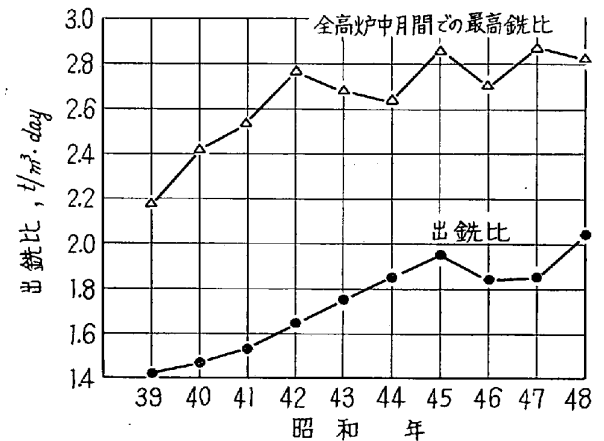
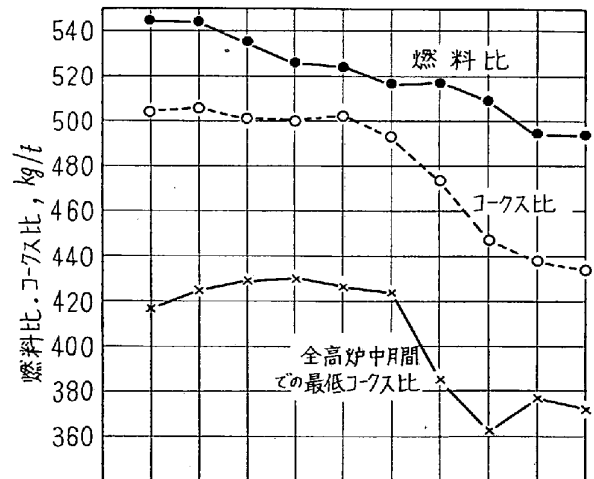


図 1-3-1 燃料比・コークス比・出鉄比の推移

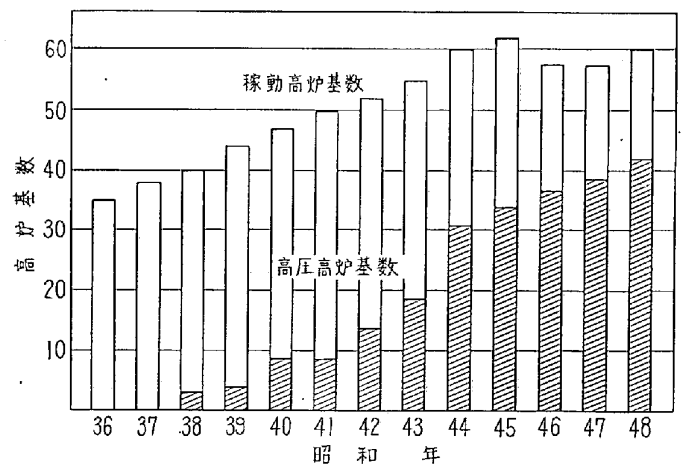


図 1-3-2 稼働高炉および高压高炉基数の推移

(注) 高压高炉：12月平均で炉頂圧 300 g/cm² 以上の高炉数をもつて数えた。

入され、はじめて高压高炉が火入れされた。以後新設された高炉は、ほとんどが高压高炉であり、既存高炉も改修時に高压高炉に改造されるケースが多く、稼働高炉基数に対する高压高炉基数の推移をみると図 1-3-2 に示すように急激に増加している。

当初 0.5~0.7 kg/cm² の炉頂圧から出発した高压操業は、前述の図 1-1-2 に示されるように、高炉の大型化

とともにその圧力が上がり、 $1.0 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ になったが、さらに前述のごとく、新日鉄・名古屋第3高炉の建設を契機に 2.5 kg/cm^2 前後の超高圧操業に進み、その後火入れされた、 $3,000 \text{ m}^3$ 以上の高炉は、ほとんどすべて $2.5 \sim 3.0 \text{ kg/cm}^2$ の炉頂圧を採用している。ちなみに昭和48年12月における実績炉頂圧でみると、稼働高炉60基中 0.5 kg/cm^2 以上の高圧高炉は40基、 1.0 kg/cm^2 以上は30基、 2.0 kg/cm^2 以上の超高圧高炉は5基となっている。

高圧操業の利点は以下に述べる2点に集約される。炉内ガス速度がある限界を越すと、スリップ、棚吊り、吹抜けなどの通風異常をおこすが、高圧化することにより炉内ガス速度が低下するので、これらの現象が防止されるとともに通気性が確保される点と、炉内ガス圧の上昇によつて還元反応およびガスと固体との熱交換が促進され、その結果、燃料比が低下する点とである。これら二つの利点のうち、通風性の確保およびガスの流れの均一化の点で、高圧操業は高炉の大型化を可能とした操業技術上の最大のものといえよう。

高圧操業により高炉の高効率化をはかる際の制約条件がどこにあるかを見出すために、大型高炉での高圧操業実績にもとづくデータの解析、および理論的検討が積極的に行なわれた。それはシャフト部での圧損、および吹抜け限界、ポッシュ部における Flooding 限界などに関する検討が主なものである。

これらについての各社の研究の多くは、大型高炉における通気性の制約条件が高炉下部における通気抵抗にあり、炉頂圧の高圧化は、下部通気性の改善に有効であるとしている。高圧操業の出鉄量およびコークス比（重油比は一定）におよぼす影響、また高圧操業の限界につい

ての解析結果の一例を新日鉄の資料から図1・3・3に示した。この図によると出鉄量に対しては、炉頂圧 2 kg/cm^2 程度までは 0.1 kg/cm^2 あたり約2%増、コークス比に対しては 0.1 kg/cm^2 あたり約 1.7 kg/t の低下である。また炉頂圧を $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ まで上げる超高圧操業は有効であり、その効果的な限界は 3 kg/cm^2 であるとしている。

このような理論的研究および操業解析によつて、高炉炉内現象を支配する要因が基礎的に解明されつつあり、高炉の設計および操業に役立っている。日本鋼管では、高炉の内容積と、出鉄比 $2.3 \text{ t/m}^3/\text{day}$ の操業を維持するのに必要な炉頂圧との関係を解析し、炉頂設計値と実績値が図1・3・4に示すようになり一致することを明らかにした。

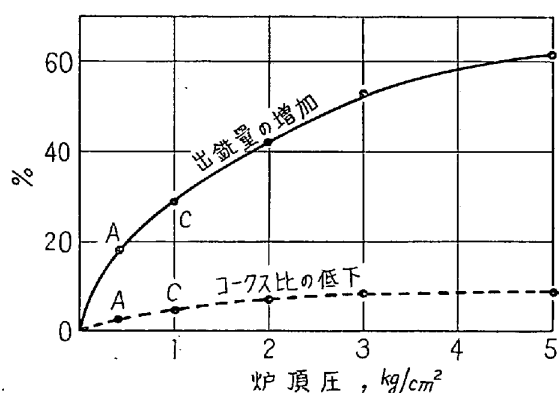


図 1・3・3 出鉄量増および燃料比減におよぼす炉頂圧の効果

(若林, 他: 鉄と鋼, 55 (1969) 10 p.872)

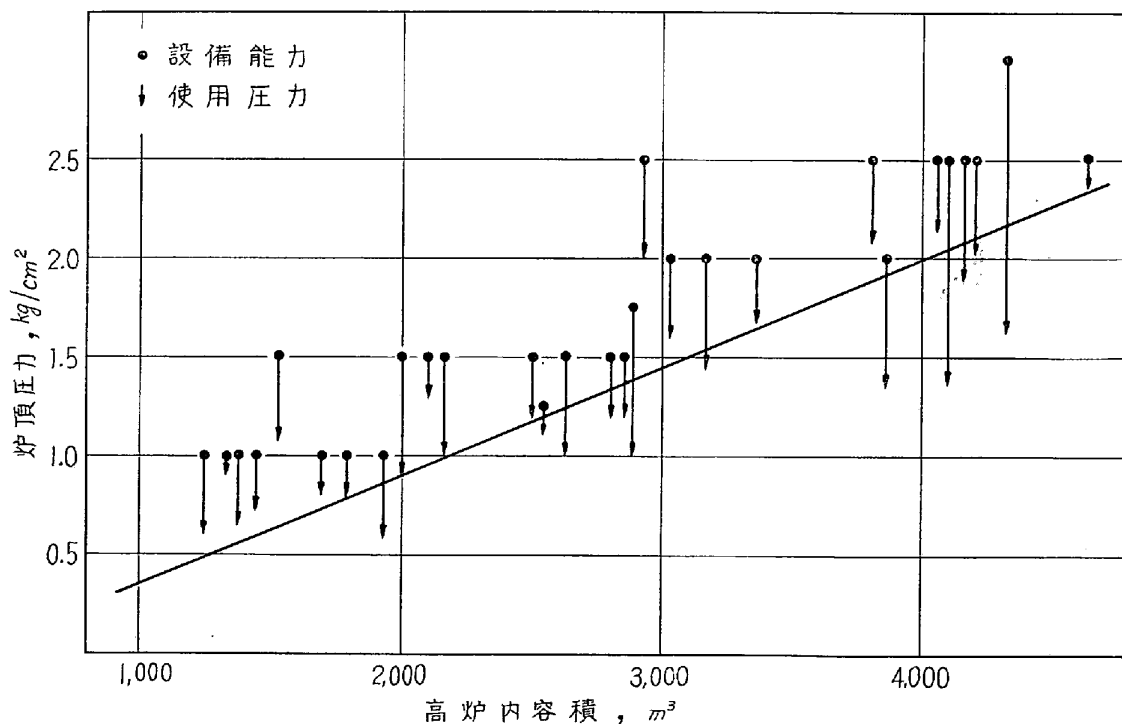


図 1・3・4 高炉内容積と炉頂圧との関係

(山下: 鉄鋼界, 47年11月 p.73)

表 1-3-2 ムーバブルアーマー設置状況

高 炉 名	火入れ年月日	内 容 積 (m³)	ムーバブルアーマー 型 式	備 考
君 津 1 高炉	昭和43.11.27	2,705	新 日 鉄 式	
呉 1 "	44. 8. 2	1,540	同 上	
君 津 2 "	44.10. 1	2,884	同 上	
加古川 1 "	45. 8. 7	2,847	G H H 式	
鹿 島 1 "	46. 1.20	3,159	同 上	
福 山 4 "	46. 4.26	4,197	N K K 式	
君 津 3 "	46. 9.13	4,063	新 日 鉄 式	改良型
洞 岡 4 "	46.10.16	1,540	同 上	同 上
大 分 1 "	47. 4.19	4,158	G H H 式	
戸 畑 4 "	47. 7. 4	3,799	新 日 鉄 式	改良型
加古川 2 "	48. 1.29	3,850	G H H 式	
鹿 島 2 "	48. 3.20	4,080	同 上	
水 島 4 "	48. 4.25	4,323	G H H 式	
戸 畑 2 "	43. 4.20	1,909	新 日 鉄 式	改良型 48. 3. 6~48. 7.31 操業中に設置
福 山 5 "	48.11. 8	4,617	N K K 式	

高圧操業の進展とともに炉頂装入装置のガスシール性および装入物分布に対して各種改善がはかられたが、詳細については 1-4 高炉設備の節に述べる。

(2) 装入物分布の改善

高炉の大型化は主として径方向の増大によつて行なわれ、それに伴ない炉口径が増大した。そのため炉口部の装入物分布が変化し、高圧化による通気性の確保およびガスの流れの均一化にもかかわらず、全体としてはガスの利用効率の低下することがさけられず、これの解決策としてムーバブルアーマーが採用されるようになった。

表 1-3-2 に示すように、昭和43年にはじめて新日鉄君津 1 高炉にムーバブルアーマーが設置されて以来、超大型炉はもちろん、中小高炉にも設置されるようになった。ちなみに昭和48年末におけるムーバブルアーマー設置高炉は15基である。

ムーバブルアーマーの使用により、炉中心、中間および周辺における鉱石、コークスの層厚をコントロールすることが可能となり、これがガスの流れに微妙に影響している。

ムーバブルアーマーを設置している高炉は、炉口部またはシャフト上部のガス温度および組成を測定するためのゾンデあるいは赤外線 ITV などを設置しており、これらから得られる情報を基にして、ムーバブルアーマーの使用法すなわち鉱石およびコークスに対するアーマーノッチの設定を決め、装入物分布およびガス分布の改善を行なっている。

現在使用されているムーバブルアーマーの型式は、1-4 高炉設備の節で述べるごとく、GHH 式、新日鉄式、NKK 式がある。これらの操作法は、装入方式、アーマーノッチの選択など、各所で異なり、それに伴いガス分布も異なるが、いずれにしてもムーバブルアーマーの使用によつてガス分布はかなり変化している。炉径径方向におけるガス温度分布およびガス利用率に及ぼす影響

の一例を図 1-3-5 および 図 1-3-6 に示す。ムーバブルアーマーの適切なる使用によつて、ガス分布の改善をはかり、燃料比の低減をはかれることが各所から報告されている。

他方、填充時のムーバブルアーマー使用による分布調査によつても大幅な装入物分布の変化が確認され、また使用方法変更時の、ガス分布、炉壁温度、および送風圧などへの影響がきわめて大きいので、使用方法を誤り周辺流が大きくなりすぎるとスリップが発生したり、また炉壁温度の上昇による冷却面、またはクーリングスデー

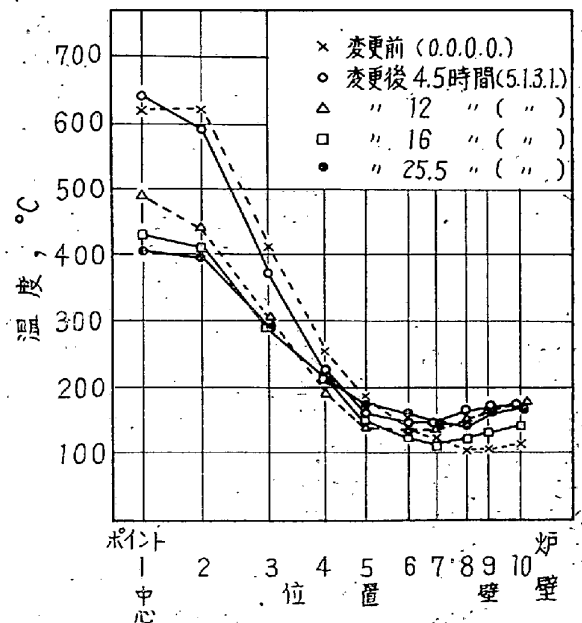


図 1-3-5 ムーバブルアーマーによる分布制御
開始後の分布パターン変化
(楢岡, 他: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, s.279)

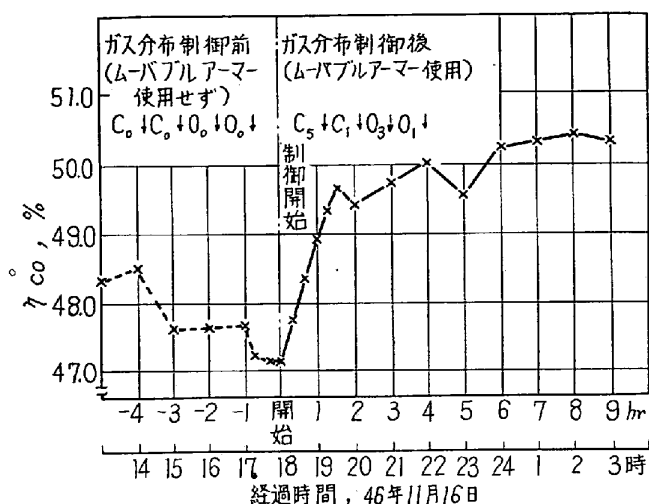


図 1-3-6 μ-バブルアーマーによる分布制御
開始前後のガス利用率変化
(新日鉄君津: 43回製鉄部会 (1973), 鉄43-講 p.11)

ブの破損も起こることがあり、各社ともその高炉に応じたきめの細かい使用方法の管理を行なっている。

(3) 複合送風および高温送風

昭和30年代に発展した複合送風技術は、40年代に入っても引き続いて活用され、図 1-3-7 に示すような推移をとげている。

酸素富化率についていえば、40年代半ばには1%以下であつたが、48年には2%を越え、46年以降は年間平均で4%以上吹き込んでいる高炉もあり、日新呉第2高炉のように5%以上富化した例もある。

酸素富化率と出鉄増の関係は高炉により若干異なるが住金と歌山1高炉の試験結果では、送風量一定で酸素を上積みした場合の増産率は約5.6%/1% O_2 、ボッシュガス量一定の場合は1.7~2.4%/1% O_2 である。

通常、送風量一定の状態酸素富化を行なうと、鉄鉄トン当りボッシュガス量が減り、富化の程度によつては羽口先温度の過上昇により荷下りが不順化したり、またシャフト部の温度が下りこの部分での鉱石還元の前進行が著しく遅れることになる。酸素富化率の鉱石還元の前進行に及ぼす影響の一例を図 1-3-8 に示す。このためシャフト部での熱交換の程度を判定するものとして熱流比(装入物の熱容量/ガスの熱容量)の考え方が操業に導入され、その限界値0.80を越えない範囲で操業されている。さらに最近では、炉内装入物の降下時間がある限度以下になると熱交換が不十分になり、操業に支障が出てくること鋼管福山の操業解析から出された。酸素富化には以上のような特徴がある。

一方重油吹き込みについては、44年以降原料炭の不足から各社ともにコークス比低減に努め、重油への転換を強力に進めた。

重油の多量吹き込みは、羽口先温度の低下および還元ガス量の増加という特徴があり、これらが、前述の酸素富化による羽口先温度の上昇および還元ガス量の減少という特徴と相補つて、酸素富化の併用による重油の多量吹き込みがはかられた。そして従来の置換率を維持したまま

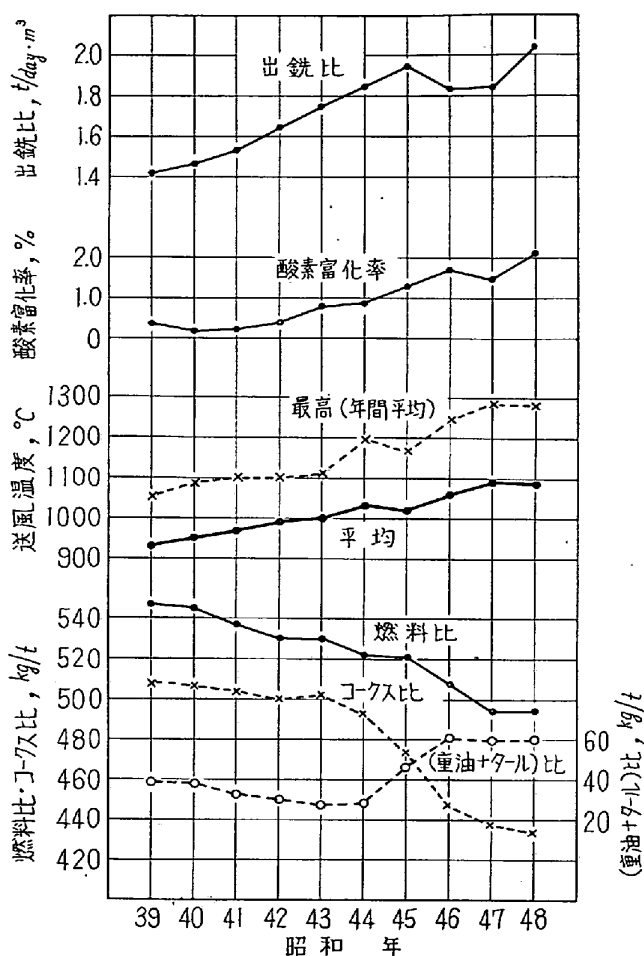


図 1-3-7 出鉄比・酸素富化率・送風温度・燃料比・コークス比(重油+タール)比の推移(全国平均)

多量の重油吹き込みを行なう技術が確立された。

この結果44年には全国平均で28 kg/tの重油比であつたのが、45年頃から急激に増加し46年には60 kg/tを越え、100 kg/t以上も吹き込む高炉も出てきた。

重油比のコークス比低減に与える影響は様ではないが、置換率は1.0~1.5程度でその一例として新日鉄戸畑2高炉の操業結果を図 1-3-9 に示す。

重油の多量吹き込みの際の問題点として

- (a) 重油の完全燃焼
- (b) 羽口先理論燃焼温度の限界
- (c) 熱流比の上限および限界滞留時間の下限

が挙げられる。

(a)の問題については、各社ともに酸素富化を併用し吹き込みバーナーの改造を行なった。酸素アトマイズバーナー(各社)、トロイダルバーナー(日新呉)などがその例である。

(b)および(c)の問題については高炉によりその許容範囲は異なるが、酸素富化、送風温度、通気性改善などにより適正範囲に操業条件を維持することで解決された。図 1-3-10 は鋼管福山3高炉の例で、図中の $u=0.8$ は熱流比の限界、 $\theta=4.9$ は装入物降下時間の限界、 $Tt=2,400^{\circ}C$ と $Tt=2,200^{\circ}C$ は羽口先理論燃焼温度の上下限、 E_{x0} は重油が完全燃焼するための酸素過剰係数の

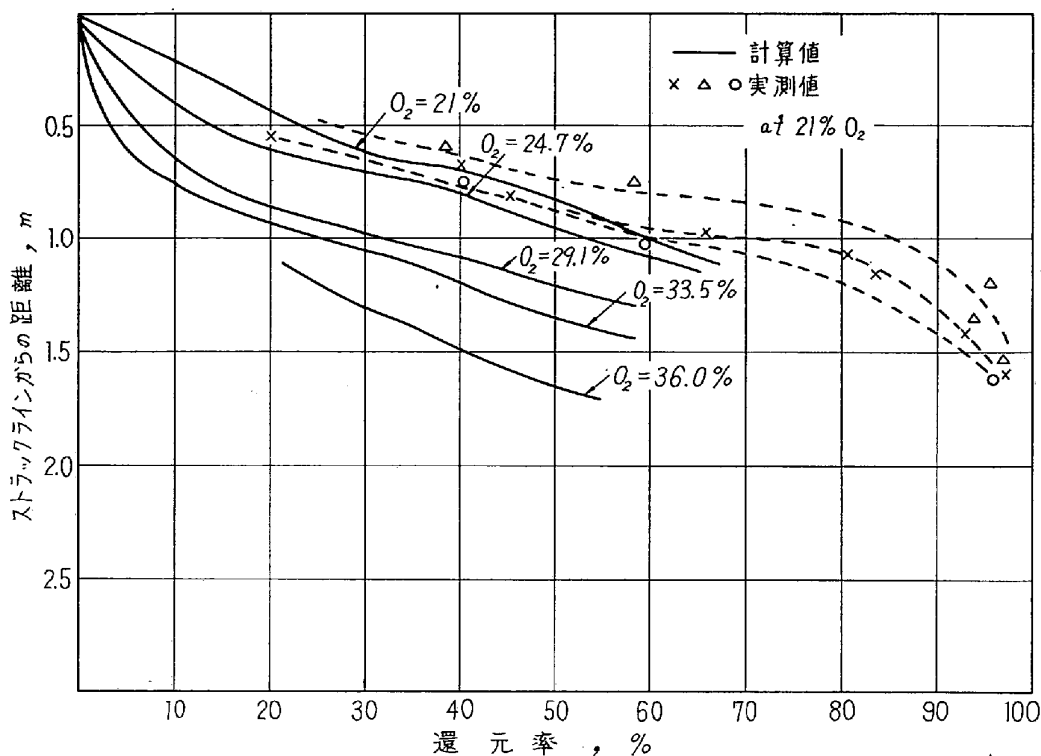


図 1-3-8 シャフトにおける鉱石還元プロセスにおよぼす酸素富化の影響
(鋼管技研：39回製鉄部会 (1971), 鉄39-6-自1 p.11~12)

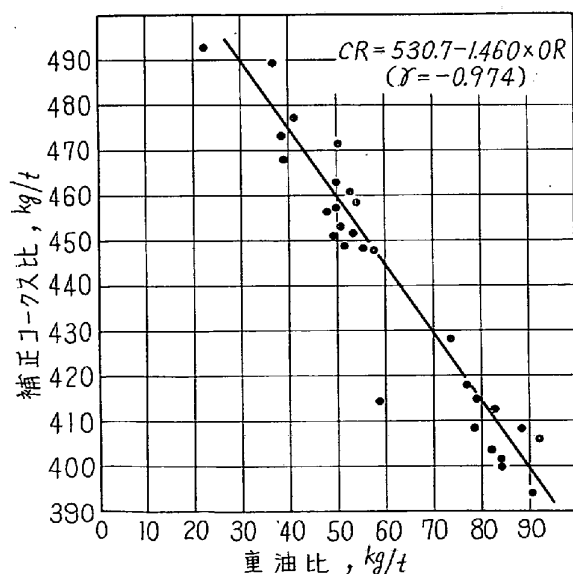


図 1-3-9 新日鉄・戸畑2高炉における
重油比と補正コークス比
(新日鉄八幡：鉄38-1-共1 p.13)

限界を示し、これらの条件を満足する範囲が適正操業範囲であるとしている。

羽口からの燃料吹き込みは、設備的にも簡単であり、置換率も高く優れた方法であるが、以上に述べたような制約があり、突発休風などの異常時に対する不安もある。これに対し新日鉄広畑で45年から本格的プラントで操業が始められた F.T.G. 法に代表される還元ガス法は、現時点では経済的に問題が残るが、さらにコークス比をさげるため、また将来の核エネルギーを含め多様化

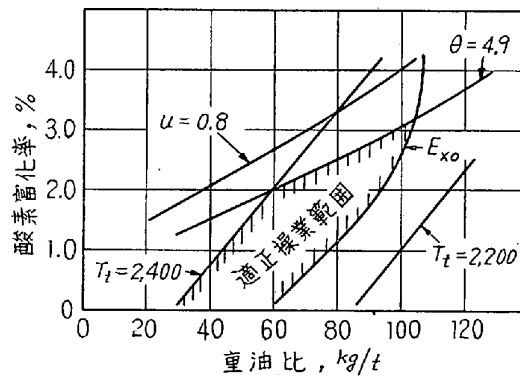


図 1-3-10 福山3高炉の適正操業範囲
(樋口、他：鉄と鋼、60 (1974) 8, p. 1,082)

するエネルギーを利用するためには、非常に有望な方法と考えられる。図 1-3-11 に鋼管技研で行なつた還元ガス吹き込み時の還元ガスを重油比に換算した場合のコークス比、および置換率に対する効果を示す。

送風温度に関しては、図 1-3-7 に示すように年々上昇し、44年には $1,000^{\circ}\text{C}$ を突破し、47年には $1,090^{\circ}\text{C}$ にまで達した。特に46年以降は年間平均で $1,200^{\circ}\text{C}$ を上まわる高炉が出てきており、高炉の大型化に伴い熱風炉も新しい型のものが取り入れられ、送風温度も高められてきた。

新設以外の高炉でも

- (a) 燃焼ガスのカロリーアップ
- (b) 燃焼用空気の予熱
- (c) 熱風炉切替方法の改善

などが行なわれ、送風温度の向上がはかられた。

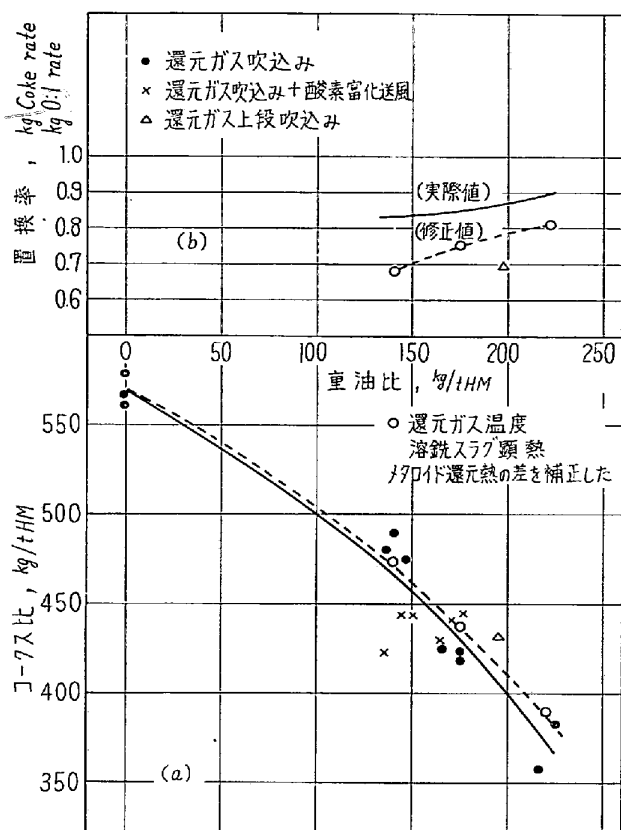


図 1-3-11 還元ガス吹込みのコークス比(a)と置換率に対する効果(b)
(鋼管技研: 39回製鉄部会 (1971), 鉄39-6-自2 p. 12~13)

燃焼ガスのカロリーアップは、一般的にはCガスの混焼によつて行なわれるが、これができない場合、またはCガス量を節減したい場合は、燃焼用空気の予熱を行なつてフレイム温度の上昇がはかられる。神戸1高炉の実績によると、燃焼用空気の400°Cまでの予熱により約100°Cの送風温度の上昇がえられた。

また熱風炉の切替方法の改善として、熱風炉4基の設置によるスタカードパラレル操業が行なわれている。

通常は、熱風炉を通つた指定温度以上の熱風に冷風を混入して温度調節を行なうが、スタカードパラレル操業は、時間をずらせた2基並列送風を行ない、指定温度以下に下つた方の送風を混合冷風の代りに温度調節に使う方法である。これにより蓄熱を最大限に利用できるもので4基シングル操業と比較して、同一負荷で、高温送風ができるか、または同一送風温度で熱効率が上昇するというメリットがある。川鉄水島1高炉の実績では、同一送風温度で、約5%の熱効率の上昇を得ている。

送風空気中への湿分添加は、昭和30年代においては広く行なわれていたが、複合送風の発展、特に重油吹き込み量の増大に伴つて、羽口先燃焼温度維持および湿分添加による燃料比の上昇の観点から、湿分添加操業が見直された。現在、ほとんどの高炉が大気操業を採用している。さらに一部では除湿装置の設置が検討され、新日鉄広畑4高炉では、昭和49年6月除湿装置が稼働を開始した。

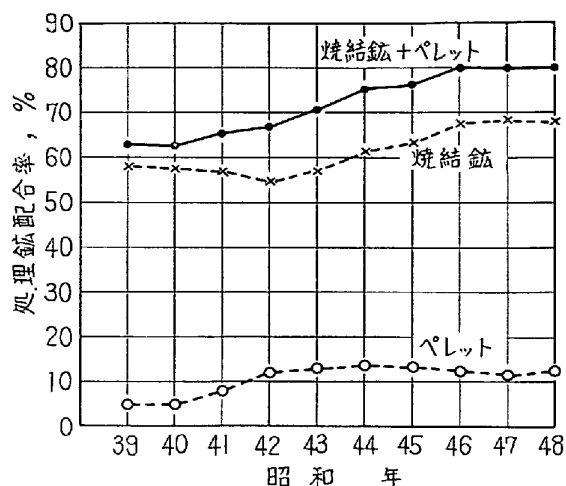


図 1-3-12 処理鉱配合率の推移 (全国平均)

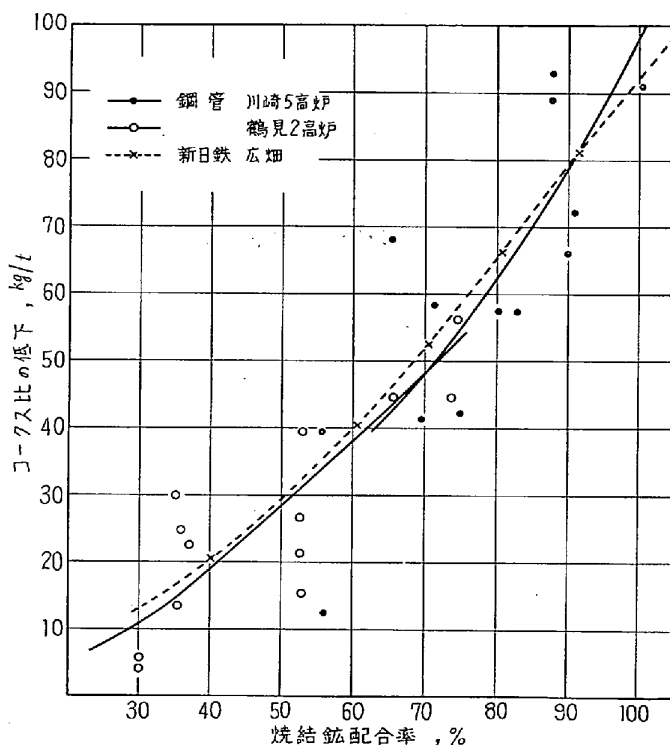


図 1-3-13 焼結鉱配合率のコークス比低下におよぼす効果

(鋼管京浜: 39回製鉄部会 (1971), 鉄39-6-自1 p. 3~4)

(4) 処理鉱の配合比の増加

図 1-3-12 の処理鉱配合比の推移図に示すように、40年代前半は60~70%であつた処理鉱配合が40年代末には約80%まで増加している。

処理鉱配合比のコークス比におよぼす影響については、各社から報告されており、処理鉱1%配合に対しコークス比が0.5~1.2 kg/t 下るといわれている。また42年頃からペレットがかなり使われるようになり、大きな問題もなく使用されている。焼結鉱との比較についてはその物理的、化学的性状にもとづく高炉操業上および経済性などの点について種々論議されているが、図 1-3-13 に処理鉱配合とコークス比の関係についての一例を示す。

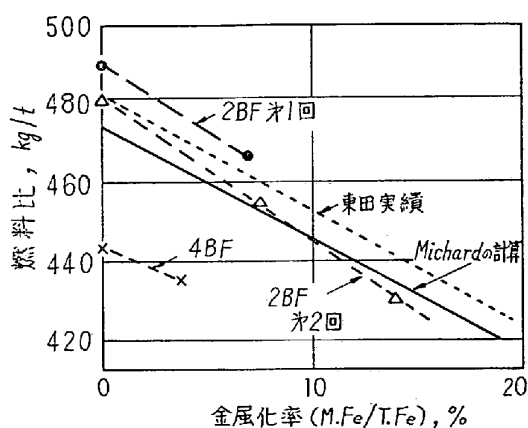


図 1.3.14 装入物金属化率と燃料比の関係

(新日鉄室蘭：42回製鉄部会 (1972)，鉄42-10-自 p.6)

ように両者ともその増配合はコークス比の低下に大きく寄与している。

川鉄千葉では、45年ダストを原料として製造した還元ペレットの使用試験を1高炉で行ない、還元ペレット10%の配合で、出鉄比8%上昇、コークス比50 kg/tの低下をみている。

また新日鉄室蘭では、47年春、3回にわたり光峰工業製の還元ペレット（金属化率 $M\cdot Fe/T\cdot Fe \approx 4 \sim 14\%$ ）を2, 4高炉で19%まで配合する試験を行ない、図 1.3.14に示すような金属化率と燃料比との関係が確認された。また金属化率とコークス比の関係については、鋼管技研の試験高炉での結果も報告され、金属化率10%上昇に対し、平均6%のコークス比の低下がえられた。この結果は室蘭の実用試験結果とほぼ一致し、またアメリカ鉱山局、STELCOの結果とも近似している。

(5) 稼働率の向上

高炉の高圧化、酸素富化による出鉄比の向上に伴い、逆に羽口破損による突発事故が頻発し、稼働率が低下した時期があつたが、各社とも羽口給水量および圧力を上げて、破損を防ぐとともに破損時の炉内からの吹き出しを防止した。

羽口構造の改善の主なものには、羽口外面への耐火物あるいは耐熱合金のコーティング、羽口材質の改善、羽口の二重構造化、羽口冷却水路の改造による冷却強化などがあり、さらには羽口の炉内への下向き角度なども変

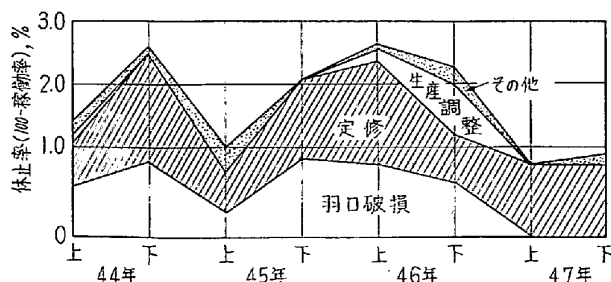


図 1.3.15 福山1高炉の休止率推移と羽口破損による休止率推移

(鋼管福山：42回製鉄部会 (1972)，鉄42-19-自 p.4)

えられた。

また一方では、高炉大型化に伴う羽口個数の増加に対処するため、破損羽口の早期発見機器の開発が進められた。

このような対策の結果、40年代後半になつて羽口破損に代表される突発事故は大幅に減少した。その一例として鋼管福山1高炉の休止率の推移を図 1.3.15に示す。

また一方、機械、電気、計装関係の設備技術の進歩および保全技術の発展によつて、故障率は年々低減し48年の全国平均の高炉休止時間は予定休風込みで、225 H/基年であつて休止率にして2.5%となつている。

(6) 操業管理およびその他の技術

操業管理の主たる点は、安定操業の維持と鉄滓処理をいかに行なうかの2点に絞られよう。

高炉の大型化に伴い高炉でのトラブルが製鉄所全体におよぼす影響はますます大きくなり、大型高炉では安定操業が従来以上に要求されるようになった。このような面から操業諸条件を多面的、科学的に検討し、それらを数値で把握することが行なわれるようになった。

① 送風条件：送風量、送風温度、湿分、酸素吹き込み量、重油使用量などにもとづき羽口先燃焼温度、送風エネルギーなどを算出し、目標条件に適合するように管理する。その他操業因子として、REICHARDTの段階別熱精算による高炉内900°C付近でのガス-固体の熱量差（熱余裕）、ガス利用率、通風性、装入物降下時間、過剰空気率などの把握もあげられる。

② 熱レベル、溶鉄成分条件：前述した溶鉄温度、鉄鉄中 Si、鉄滓中 SiO_2 、CaO、 Al_2O_3 、MgO、CaO/ SiO_2 などの管理を行なう。これらはその代表例であるが、今後とも各種の機器類を使用して、炉況を正確に把握し、異常を早期に発見するような管理面の強化がなされよう。

高炉の大型化、高圧化により多量に生産される溶鉄滓をいかに処理するかが、安定操業を行なう上での一つの大きな課題となつた。溶鉄滓が炉内にたまりすぎると、送風圧の上昇、送風量の低下、荷下りの悪化、スリップの発生など炉況の悪化があらわれる。また高圧化により出鉄速度が増大すると、炉内に鉄滓が残つていても出鉄口からガスが噴出する、いわゆる出鉄荒れ現象が起こり、炉内残液高さが増加する傾向がある。これらの問題の解決のため出鉄量予測値と実績出鉄量とをチェックして、炉内貯鉄滓量のある限度内におさえることが必要となり、出鉄時間、出鉄間隔、出鉄速度、出鉄回数などを調整し、必要に応じてラップ出鉄も行なつている。そのためには出鉄口の管理が特に重要であり、閉塞材の材質およびドリル径の調整、出鉄口深度の維持などについてのきめ細かい管理が行なわれてきた。また設備的には、出鉄口開孔機、マッドガンの強化、固定式樋から取替式樋への改良、傾注樋、ドライピットの普及、大型トールカー、溶鉄レベル計などの採用が行なわれた。

ダイナマイトなどの爆破による高炉の壁落技術はこの10年間に標準化され、今日ではかなり強固な付着物もほぼ100%除去することが可能となつた。わが国では昭和32年川鉄千葉で始めて試験的に爆破が行なわれ、その後39年新日鉄釜石で減尺休風による最初の爆破が実施され

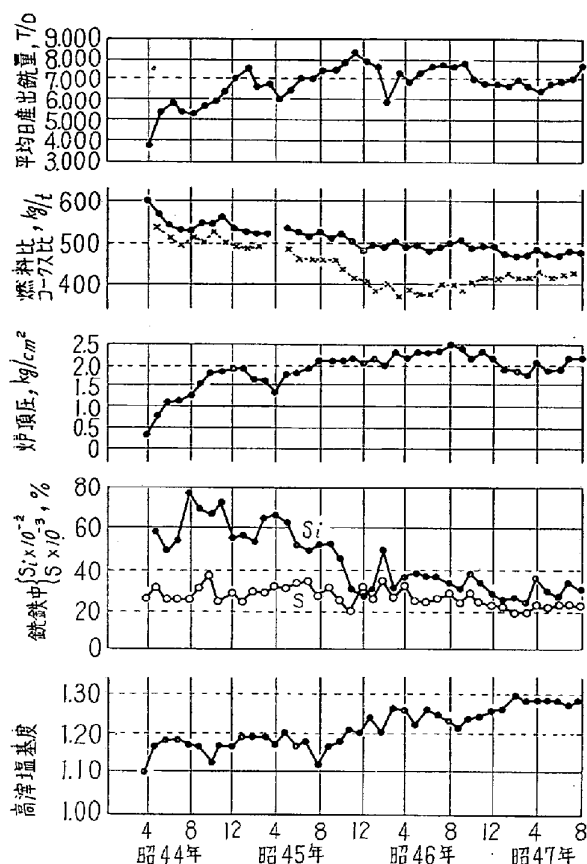


図 1-3-16 名古屋 3 高炉操業諸元推移
(新日鉄名古屋：学振54委 1,267 (1973))

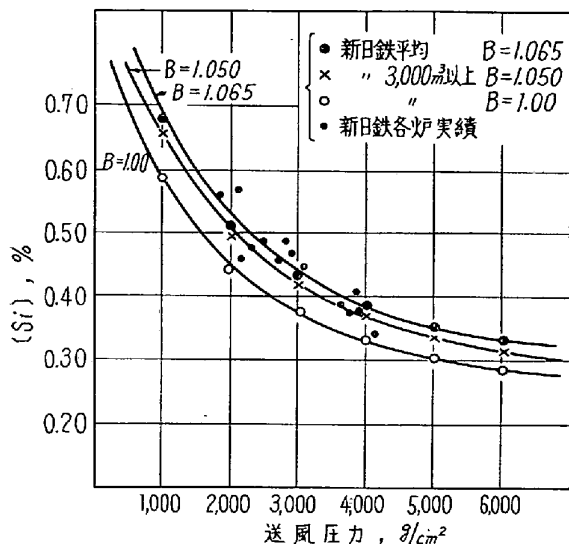


図 1-3-17 送風圧力と [Si] の関係
(新日鉄君津：43回製鉄部会 (1973), 鉄43-講 p.56)

た。その後付着物除去の爆破作業は広く各社に普及して行なわれるようになり、炉況不調の直接的対策として活用された。

高炉の熱レベルは溶鉄中 Si % と溶鉄温度とによつて、管理されてきたが、高炉の大型化に伴い、溶鉄温度が上昇しそれに応じて一部の高炉では溶鉄中 Si % を低下さ

せる、いわゆる低 Si 操業が実施されるに至つた。

特に超高压操業を採用し、高塩基度焼結鉱の高配合装入を特徴とする新日鉄名古屋 3 高炉では、低 Si、低 S 操業を長期間安定して行なつている。図 1-3-16 に操業諸元の推移を示すが、これらの実操業データの解析から、高炉内での Si の移行過程、および低 Si 操業達成の条件を報告している。これらをまとめると、

①鉄鉄中 Si % と送風圧力とは必ずしも一定の相関がない。②鉄鉄中 Si % はボッシュスラグの熔融温度および熔融帯の広さに大きく影響される。③したがつて低 Si 操業は、高塩基度焼結鉱を高配合装入することにより装入物の塩基度をアップさせ、同時に溶鉄温度（炉熱レベル）を一定に保持すれば達成できる。④しかしながら、この操業を行なう場合には高塩基度スラグによる通気性の悪化に対処しなければならないが、超高压操業の実施によつて解決されるとしている。また新日鉄君津の実操業データの解析によれば鉄鉄中 Si % へ影響をおよぼす因子は、スラグ性状、コークス比、羽口先条件の 3 者であるがこの中で高炉の大型化により変化するのは羽口先条件であつて、特に送風圧力の影響が大きいと結論している。図 1-3-17 に示すように送風圧力の上昇に従い鉄鉄中 Si は低下しているが、これは高炉の大型化に伴い、高压操業を採用し送風圧力が増大したためであるとしている。

実操業における低 Si 操業と時期を同じくして、試験高炉および通常高炉の解体調査がなされ、その調査結果を契機として、 SiO_2 から Si への還元反応についての研究が、熱力学的、および速度論的になされた。これらによりかなりのことが解明されてはきたが、実操業における低 Si 操業については明確なる見解は出されておらず、今後なおいつその調査研究が必要である。

1-3-2 計測および計算機制御

(1) 計測と制御

日本におけるプロセスオートメーションの進歩を、その市場規模からみると、昭和45年には1,000億円と40年のそれに比べ約3倍になつている。この飛躍的増加のおもな原因は、大型化と複雑化する製鉄、化学工業の発展であり、全体の40%以上を占めている。この間に提起された問題は、プラントの大型化、高能率化および省力化の要請によつて、次のようなものであり、昭和40年代半ばにして、ほぼ完全に解決された。

- ① 高精度、高安定性計器
- ② 高信頼性計器、および制御機器
- ③ 集中化、高密度計装のため計器
- ④ 機種多様化と標準化

デジタル計算機が高炉に導入されたのは、昭和36年頃であるが、1970年代が“計算制御の時代”と呼ばれるように、その普及は目覚ましいものがある。最近では、高度に進歩したオペレーティングシステムと、問題向き言語を持ついわゆる第3世代の大型計算機と、投資額と、システムサイズからソフトウェアにあまり自由度を要求しない特殊用途向きミニコンピューターが両立して、その応用分野が広がりつつある。

本節では、このようなプロセスオートメーション技術

の背景のもとで進歩した「高炉の計測と制御」についてその経緯と概要を述べたい。

(a) 装入設備の自動化と計装

装入設備の自動化の進歩は、シーケンス制御用機器の性能向上、小形化そして高信頼化技術を背景に、大型高圧高炉の複雑で大規模な設備の運転を、集中化し多様化したことである。その進歩は制御方式の変化によつて見ることができる。

① トランスミッタ方式 最も初期の方式で、昭和初年に独 AEG 社から輸入された方式で、装入シーケンスは多くの電気接点を有す。モーター駆動カムによつて機械的に進められた。

② モートルタイマー方式 昭和26年新日鉄東田6高炉に始めて使われた方式で、シーケンスは電気回路内に組み込まれたモートルタイマーによつて進められた。この方式では、予定スケジュールに従った運転指令と、一定時間後の動作確認すなわち点検が各プロセスごとに対になつて全体の進行を秩序づける考え方が始めて採用され、今日の自動化の基礎を作つた。

③ マスタータイマー方式 停電記憶要素をもつ無接点論理素子が完成し、マスタータイミングデバイスから一定周期で発振されるパルスを計数する、デジタルタイマーがモートルタイマーに変わった。この方式は昭和29年新日鉄戸畑1高炉に初めて採用され、これにより装入スケジュール変更の自由度が大幅に改善された。

無接点論理素子はその後トランジスタやサイリスタの発明によつてさらに小形化され、38年の住金小倉1高炉以来、急速に設備の大型化、多様化、集中化が進んだ。

④ 計算機制御とシーケンシャル方式 設備の大型化

多様化の要求から、装入スケジュール変更に対する無限の自由度を電子計算機のソフトウェアに求め、さらには原料配合精度向上や、能率向上などのより高級な制御を期待し、昭和40年川鉄千葉5高炉にわが国初の装入計算制御システムが誕生した。

しかし当時の制御用計算機の信頼性や、ますます厳しくなる時間的制限条件を解決する計算機の問題を視し、シーケンス制御だけは、ハードウェアで進めるべきであるという考え方があつた。シーケンシャル方式は、この考え方によるもので、図 1・3・18(b) に示すとおりシフトレジスタとタイマーを組み合わせ、マスタータイマー方式の点検待ち時間を省いたものである。この方式は昭和41年鋼管福山1高炉に採用された。

その後計算機の信頼性や速度も急速に良くなつたが、ハードウェア技術もそれ以上に進歩したため、シーケンス制御はハードウェアでデータロギングや先に述べたより高級な制御を計算機で、というのが今日のすう勢となつた。

⑤ 新マスタータイマー方式 IC (集積回路) が完成し論理素子の小型化、高信頼化が飛躍的に実現し、回路構成も従来の固定論理に比べいつそう自由度が増した。シーケンシャル方式の速度とマスタータイマー方式の自由度を発展的に組合わせた方式がこの新マスタータイマー方式であり、昭和44年住金鹿島1高炉に初めて IC を使つたものが採用された。

装入設備の計装の進歩は、秤量方式と、原料水分の連続測定において特筆すべきものがある。

① 装入運転の完全自動化、高精度化の要求から、神鋼灘浜2高炉、新日鉄戸畑3高炉に、昭和37年初めてホ

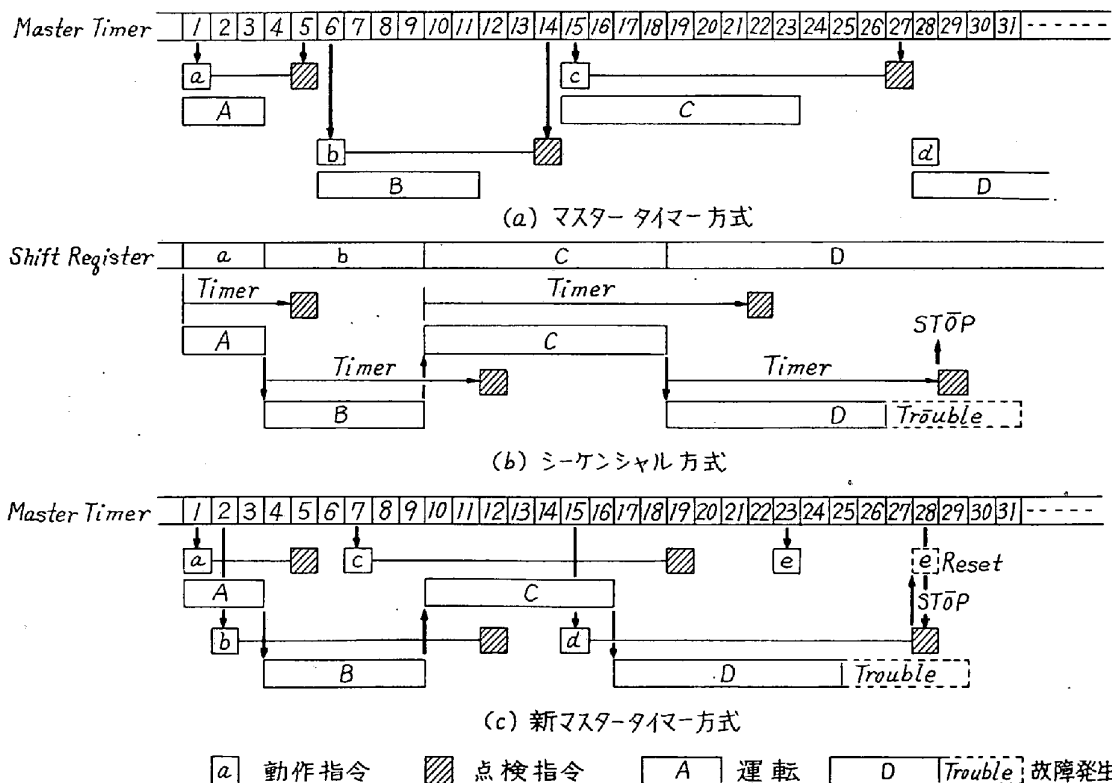


図 1・3・18 装入シーケンス制御方式の比較

ッパースケールが採用された。この際戸畑3高炉では鉱石秤に振子カムを用いず、ロードセルを槓桿と組合せて使用し、遠隔伝送を簡素化した。その後は、高精度の要求から、主として振子カム式ホッパースケールが用いられてきたが、ロードセルの精度が0.1% FS程度まで安定して得られるようになった近年では、その保水性、信頼性の面から、槓桿を併用したロードセル式ホッパースケールに移行する向きもある。

② 高炉原料水分の連続測定に中性子水分計を使用する研究は昭和35年に始まり、45年には、コークスの水分補正をする目的で設置された中性子水分計の数は、50台に達した。現在では、その管理基準が確立し、 ± 0.5 [%水分]の精度で、水分補正が自動的にこなされるようになった。

(b) 熱風炉と高温送風の制御

熱風炉の切替装置は、チンメルマンの空気圧駆動の遠隔手動切替がその初期のもので、熱風出口温度や排ガス温度によるいわゆる全自動切替が行なわれたのは、新日鉄室蘭1高炉(昭和34年)である。電動機とリミットスイッチなど制御機器の信頼性向上により、鋼管鶴見1高炉に電動機駆動の全自動切替装置が始めて完成した(昭和36年)。その後この方式で今日に至るものも多くあるが、高温送風の要求と熱効率が4~5%向上するという熱経済的見地から、川鉄千葉5高炉に昭和40年スターガードパラレル送風が採用され、現在4基の熱風炉を装備する高炉ではこの方式が大勢を占めている。

燃焼制御用計装は、昭和32年に全電子式計器が発表され、全自動切替の初期から高密度の計装が行なわれた。最近では、各調節計の設定値を計算機制御するシステムがふえている一方、高温送風の要求に対しては、温度測定技術がどこまで対応できるかという問題がある。熱電対の場合、保護管の構造材質において耐圧、耐熱限度が向上しているが、送風温度については「1,300°C」、ドーム温度や熱風出口温度については、装入深度にも依るが「1,400°C」が使用限界と思われ、最近では後者について放射温度計を積極的に採用しているところが多く、前者についてもその利用方法が検討されつつある。従来の放射温度計は、その距離係数が小さくレンガの厚い熱風炉では使用できなかったが、近年開発されたSi太陽電池あるいはサーモパイルの小形化技術により、この距離係数が飛躍的に増大し、熱電対と同程度の孔で炉内が覗けるようになり、1,600°C位までの測定が可能になった。Si太陽電池を用いるものは、広い温度範囲の測定には適しないが、その分光感度が0.5~1.1 μm の範囲にあるため、燃焼ガス中に存在する CO_2 や H_2O の吸収を受けないこと、熱電対に比べ感度が高いことなどが確認されている。一方このような利点の反面、漏風対策用シャ断弁の設置、測定窓の N_2 あるいはAirページによるクリーニングの実施などの問題があり、熱電対に比べ若干複雑な設備が要求される。また現状では測定窓の汚れに対する保守上の決め手がなく、2週~1年ごとの掃除を必要とするなどの問題がある。

(c) 複合送風における計測と制御

送風湿度制御は、昭和30年頃から国内で試験研究が始められ、昭和37年には、これについて計測部会が方式や

実施例、今後の問題についてまとめている¹⁾。その後大きな進歩はない。

燃料吹込制御は、1965年BFI委員会がまとめた内容以後、次のような進展がみられる。

① タール吹き込みに適した流量計、例えばカルマン渦流量計の採用

② 羽口ごとの吹込燃料流量の均一化

③ 酸素アトマイズや空気アトマイズの実施とその安全対策シーケンスの確立

④ 100 kg/t以上の吹込比率を安定に維持するための制御系の見直し

酸素吹込制御は、吹込燃料比の増加とともに、富化率が増し、制御系の信頼性に対する見直しが行なわれ、調節弁の2系列化などが行なわれた。

(d) 炉体管理用計装設備

高炉の大型化によつて羽口や炉体の冷却設備が大規模かつ複雑化してくると、漏水時の現象が従来と異なったものになり、早期発見がきわめて困難になると同時に、その自動検知の要求が高まった。表1.3.3に最近発表された漏水自動検知方式を示し、その代表例を図1.3.19および図1.3.20に示す。

また炉体冷却方式に蒸発冷却を採用した場合の計装は最近のものであるが、上述漏水検知の他、①冷却能の維持を目的とする補給水、循環水の水質制御、②冷却状態の監視を目的とする補給水、循環水、発生蒸気、非常水の流量計測、③熱負荷状況の把握を目的とするステープの温度計測が汎用の工業計器で、実施されている。

その他、炉底レンガの侵食を赤外線カメラで推定する方法、大型高炉の炉体支持構造物の応力を数百個のストレーンゲージで測定する方法、壁付きや棚吊りの早期発見にシャフト差圧計を使用する方法などは、比較的新しい計測技術であるが、今後とも炉体管理の計測密度は増大の方向に向かうであろう。

表 1.3.3 漏水自動検知方式

	方 式	検出感度	年代
1.	排水の温度変化速度を監視		昭47
2.	冷却水の入口出口の流量差を監視		
2.1	カウンターフロー電磁流量計	2 %	昭45
2.2	パラレルフロー電磁流量計	2 %	昭46
2.3	オリフィス差圧式流量計	3 %	昭42
2.4	カルマン渦流量計	1 %	昭47
2.5	超音波流量計	5 %	昭49
3.	漏水発生時の気泡生成音を検出	3 %	昭42
4.	冷却水の入口・出口の圧力差の変化検出	5 %	昭49
5.	漏水による電極間の導電圧の変化を検出		昭42
			昭45
6.	排水配管に設置したガス補集器のレベル検出		昭46
7.	蒸発冷却の循環水の塩分の変化を検出		昭45

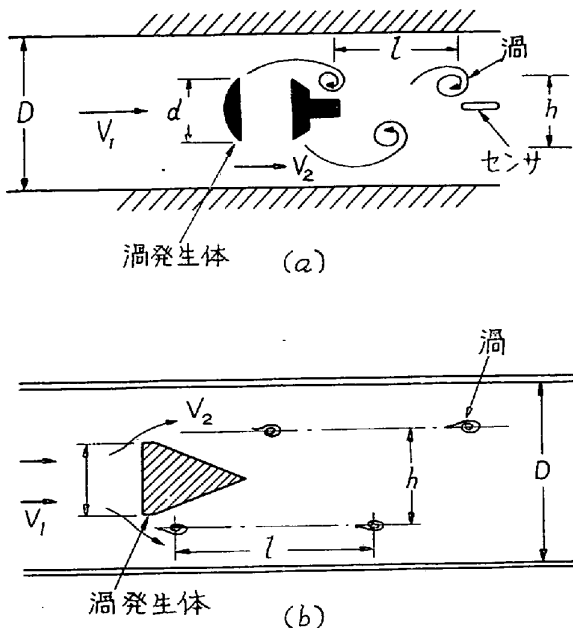


図 1-3-19 カルマン渦流量計

(e) 高圧操業における制御

高圧操業による炉頂圧力の増大は、制御設備の複雑化と高信頼化の問題を提起してきた。炉頂圧力の増加によつて、複雑化した制御設備としては、装入ベルの増加による均排圧制御およびブリーダー制御がある。ここでは駆動力が空気圧から電動や油圧に変つたが、制御機器の性能向上や標準化が進み比較的容易に実現した。また作業の安全性の要求から、高信頼化された設備としては、ダストキャッチャーレベル計や水封レベル制御装置があげられる。

炉頂圧力制御の操作端は従来からセプタムバタフライバルブが一般的であるが、スクラバー差圧制御と炉頂圧制御を一体化した RSE (リングスリットエレメント) 方式が改修高圧高炉に採用されつつある。この方式は、ダスト集じんが比較的小さいスペースでできる。他、騒音についてセプタム弁より若干良くなるとされている。

また高炉の高圧炉頂ガスエネルギーを有効に活用するため、セプタム弁に膨張タービンを併設する高炉が稼働を開始した。詳細は 1.4 高炉設備の節で後述する。

(f) 各種炉体ゾンデの開発

1965 鉄鋼オートメーション会議の出張報告によると、

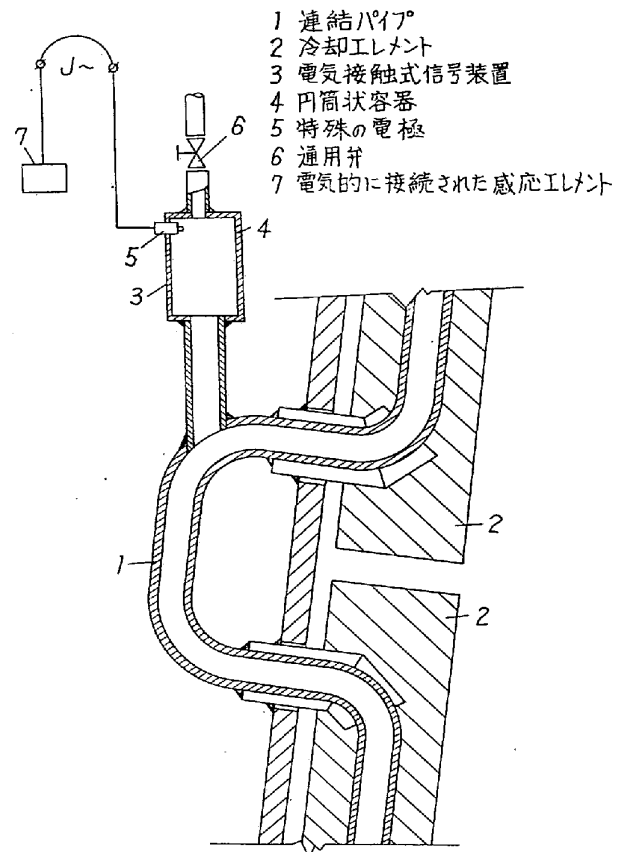


図 1-3-20 ガス補集器による漏水検知

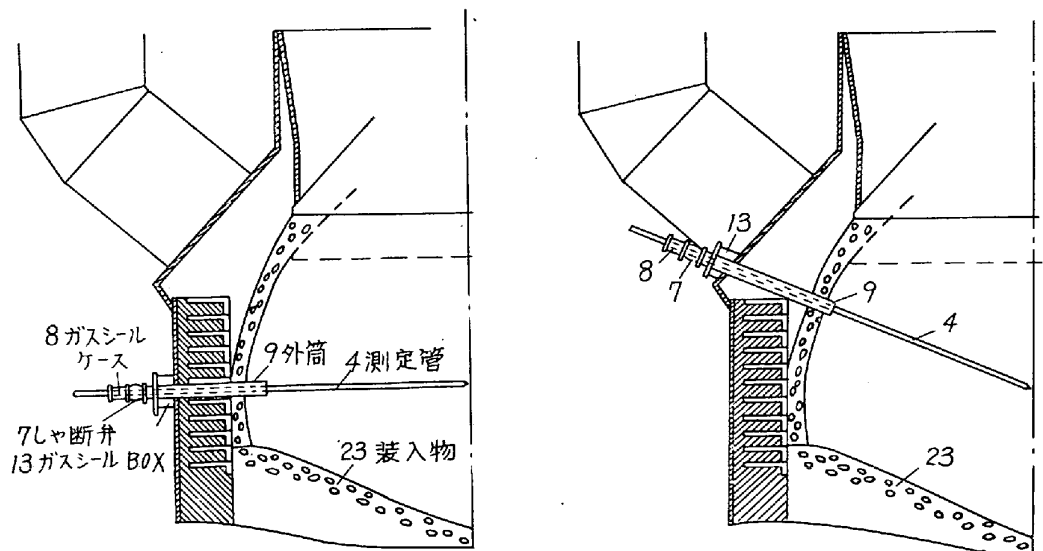


図 1-3-21 炉 頂 水 平 ゾ ン デ

(新日鉄：特開昭49-22960)

ヨーロッパではこのときすでに水平ゾンデや垂直ゾンデが実高炉で操業に使われていた。わが国でもその後各社で積極的に各種のゾンデを開発導入し、操業や炉内反応の解明に大いに役立つている。

イ) 炉頂水平ゾンデ

このゾンデは、炉口部でその径方向のガス温度分布、成分分布を測定するもので、装入物による摩耗と熱によ

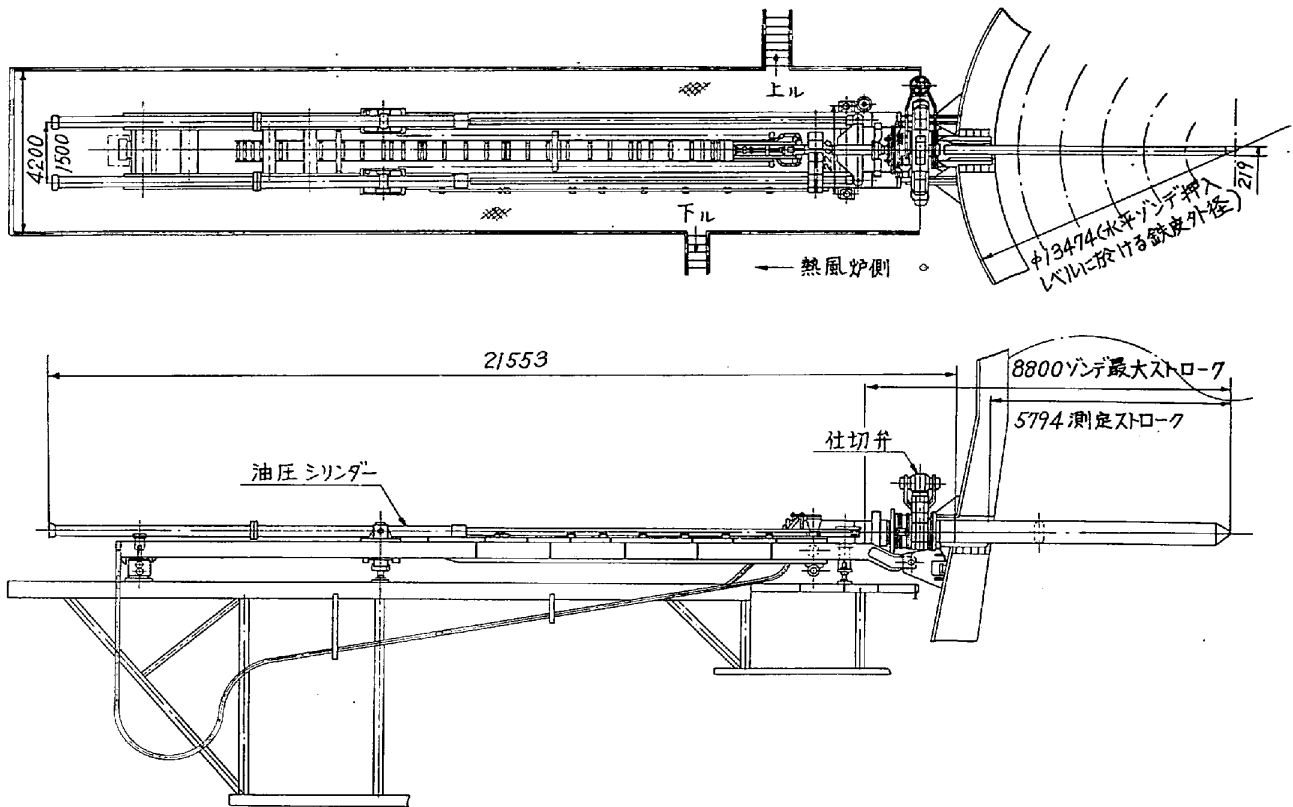
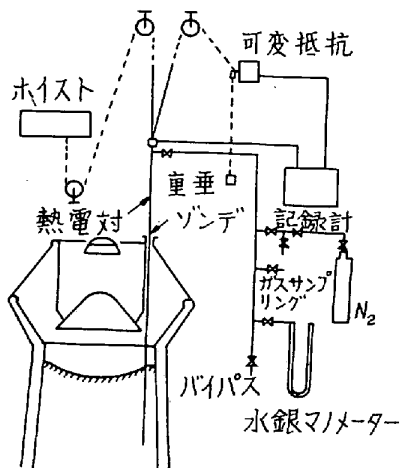
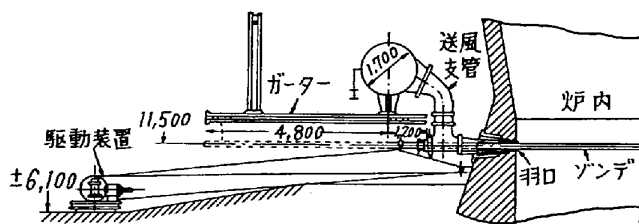


図 1-3-22 シャフト水平ゾンデ

図 1-3-23 垂直ゾンデ
(岡部, 他: 鉄と鋼 55 (昭44) 9, p.764)図 1-3-24 羽口ゾンデ
(岡部, 他: 鉄と鋼 56 (昭45) 4, s 45)

る曲損を避けるため移動しながら測定を行なうものと、摩耗対策と曲損防止の設計をして、炉内に固定したまま測定するものがある。図 1-3-21 に固定式の一例を示す。

ロ) シャフト水平ゾンデ

このゾンデは、シャフト部で装入物中のガス温度、成分を測定するもので、ゾンデは水冷され、強力な油圧シリンダーを用いて、移動しながら径方向の数点のサンプリングを行ない、測定完了後は炉壁先端で待期する構造になっている。この他装入物をサンプリングする機能を備えたものもあるが今後の開発課題であろう。現在最もその規模の大きなものの一例を図 1-3-22 に示す。

ハ) 垂直ゾンデ

このゾンデは、炉口部の大ベル横から装入物中へ垂直に挿入し、温度およびガス成分の垂直方向の分布を測定するもので、その一例を図 1-3-23 に示す。測温は CA シース熱電対で行ない、シャフト上端から 10~11 m 下まで測定可能である。またゾンデ内部やサンプル配管のダストつまりは、N₂ ポンプによるパージで防止するようになっている。

ニ) 羽口ゾンデ

このゾンデは羽口の覗き孔から水冷したサンプラーを挿入し、ガス温度、圧力および成分の測定ならびに熔融物の採取を行なうもので、図 1-3-24 にその一例を示す。

(g) 炉頂ガス分析計

昭和38年に報告された計測部会の炉頂ガス分析計のまとめによると、吸収式自動分析計 (Mono, Cambridge) がまだ多く用いられていた。しかしこの頃から炉況の計

算機制御の推進に関して各社が検討を始め、炉頂ガス分析計の精度向上が当面の課題であることが確認された。この時の熱バランスによる各成分の許容精度を表 1・3・4 に示す。

表 1・3・4 炉頂ガス分析値の許容精度

成分	誤差 0.1% の送風 温度換算値	送風温度 5 deg に相当す る許容精度
CO ₂	7.3 deg	0.07 [% CO ₂]
CO	-5.5	0.09 [% CO]
H ₂	4.2	0.12 [% H ₂]
N ₂	1.7	0.3 [% N ₂]

プロセスオートメーションの進歩とともに、いわゆる終点制御を目指して、工業計器メーカーが積極的に分析計の開発に着手したのもちょうどこの時期であり、高炉の炉頂ガス分析計としては、赤外線式で CO、CO₂、熱伝導式で H₂ を連続分析するもの、間欠的ではあるがガスクロマトグラフにより全成分を同時分析するもの、の二つがそれぞれに合ったサンプリング系を改善しつつ発展した。赤外線分析計では、次のような改善が精度向上に最も寄与し、±0.2%の精度維持が達成されている。

- ① サンプルガス中の湿分の低下と安定化
- ② 分析装置の恒温化
- ③ 分析装置周辺の清浄空気による換気
- ④ 大気圧下でのガス分析の実施
- ⑤ 分析値の気圧補正

ガスクロマトグラフは、昭和39年に初めて日本鋼管川崎 4 高炉に設置されて以来、次のような進歩がみられ、赤外線、熱伝導式と同程度の精度が維持されている。

- ① 分析周期の短縮 昭和 39 年に 15 分を要したものが、40年に 6 分、最近では 1 分と短縮された。
- ② 大気圧バランスによるサンプル量の安定化。
- ③ 測定成分の Sum チェック補正による精度安定。

(h) 装入物分布の計測

装入物分布の計測について近年各種の計測が試みられている。

- ① 光学的テレメーターによる方法 CNRM が昭和 40 年に三角法を用いて装入物分布を測定する方法。
- ② マイクロ波による方法 BISRA が昭和 45 年発表したマイクロ波を用いて装入物分布を測定する方法。
- ③ 炉口部で検尺を行なう方法 この方法は炉頂水平ゾンデにサウンディング機能をつけたもので、形状寸法を直接測定する。
- ④ 炉頂水平ゾンデの測定値から推定する方法 この方法はムーバブルアーモアの操作と合わせて、適正装入形状を決めるものである。

⑤ 赤外線 ITV による方法 昭和 45 年に日本鋼管から発表されたもので、装入物表面の温度パターンから装入形状を間接的に求めることができる。赤外線 ITV に用いられるビジコンの分光感度は 2.0 μm が限界であり低温域の測定ができないが、連続的に監視できる特長をもっている。最近のビジコンは残像特性が改善され吹き抜け位置の変化や、ホットスポットの経時変化、スリッ

プの発生などがかなりリアルに観測できるようになった。また観測用窓も、高圧高炉に適した材質、強度を有し、径の大きいものが製造可能になり、ワイパーや安全装置の性能も向上している。

(i) その他の計測技術

出鉄速度および出鉄量が増大し、溶鉄鍋やトピドカーの溶鉄レベルの監視がきわめて困難になり、各種の溶鉄レベル計が開発された。原理的には重量を測定する方式、電極による方式などであるが、後者の方が据付けが簡単であり、多く用いられている。

溶鉄（滓）温度の測定は、昭和 40 年計測部会が当時における測定の意義、測定方式の現状およびデータの利用状況をまとめている²⁾。現在では当時の浸漬式温度計は消耗型に変っており大部分がこれを使用している。また炉前作業の省力化と連続測温を目的としてその後も 2 色温度計や連続光高温計などの放射温度計を用いた試験報告が発表されているが、連続測定の意義がそれほど明確になつてない。その他、羽口先燃焼温度の測定や羽口の燃焼状態を監視する ITV の設置、送風羽口支管流量計の高温高圧操業における見直し、高炉送風機の運転における信頼性設計等々、計測と制御技術の質的発展および量の増加は広範囲にわたって急速に進んでおり、今後ともこのような多彩な計装が引き続き行なわれてゆくであろう。

(2) 計算機制御

計装技術やプロセス工学の進歩により、高炉への計算機の適用も普遍化してきた。殊に最近建設された大型高炉では 24~36 kW のコアサイズと 256~512 kW のドラムまたはディスクを備えた計算機が設置されている。その主な用途を大別すると次の 3 点と考えられる。

- ① データロギングおよび装入物乾量秤量誤差補正
- ② 併列送風を含む熱風炉の DDC
- ③ 高炉の計算機制御

この中で①は各帳票類や統計データの作成とデーターハイウェイによる、製鉄所全体のトータルシステムとして完成し、中には外国にそのシステム全体を技術輸出しているものもある。また装入物の補正は今や普遍的なものとなり、原料装入システムの無人化と、秤量の精度向上に大きく寄与した。②はスタッカードパラレルやラップパラレルといった熱風炉制御システムを実現する場合に導入され、送風温度の上昇や熱風炉の熱効率向上に寄与している。③の計算制御は、50 周年記念特集号に述べられているように、その目的は炉熱制御と、異常の検出を含む炉況管理である。前者については、わが国や諸外国において広範な研究開発が進められ、概要は、鉄と鋼の技術資料³⁾にまとめられている。このための数学モデルは、鞭モデルに代表される羽口先から炉頂までを微分方程式で近似計算したものや、IRSID で開発された操業直線モデルを代表例とする、CRM や Ijmuidem などのモデルがある。実際高炉での試験結果では、この他に鋼管、ATH, Inland, 新日鉄君津などが報告され、炉熱の代用特性として鉄鉄中 Si % の変動幅が、計算機制御を適用することによつて小さくなる効果がみられる (図 1・3・25)。

しかしながら原料性状やその他の操業因子が変つてく

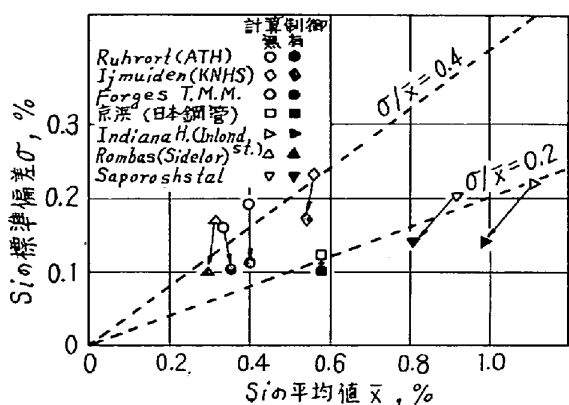


図 1-3-25 計算制御実施時の鉄中 Si% の変動(各社)
(堀江, 他: 鉄と鋼, 57 (1971) p.135)

ると、単一の制御式では制御しきれない場合があつて、数学的モデルの他に、統計的モデル、および羽口先の実測温度から推定される炉熱の推移とシャフト部での通気性を考慮したトータルシステムとしてのアルゴリズムが採用されている。これによつて一時計算機による計算結果が単なるオペレーターガイドとして用いられていた時代から一歩進んで、重油吹込量や送風温度によるクローズドループとしてのシステムが一応できあがつた。一方欧州特に IRSID では操作条件を変化させたときの炉熱に対する過度応答を調べる、いわゆるダイナミックモデルが幾つか提案されているし、米国ではもちまへの物質主義から装入物の乾量補正に主力が注がれていて、実績主義または経験則が重ぜられている日本と、三者三様の考え方が存在している。このように炉熱制御については一応の水準に到達したといえよう。一方炉況管理につ

いては、特に高炉の大型化に伴なつて炉況異常などの影響が非常に大きくなつてきている。これらを早期に発見して高炉の安定操作を計ることが重要である。したがつて、最近では、計算機を活用して炉況異常対策に対する迅速化を計ることに重点が置かれ、炉況をガス利用率と炉下部の熱余裕の二つの指数の組合わせで判別する論理モデルやシャフト部の通気性の状態を計算して炉熱の推定値と組合わせ、さらにその他の操業因子との総合判定を加えて、アクションを決定する制御モデル(図 1-3-26)などが提案されている。このようなシステムモデルを実際高炉に適用した場合の効果については、他の技術の進歩と交絡してあまり明確ではないが、必要な各種検出端の開発とあいまつて、今後ますます計算機の適用を必要とする分野と考えられる。ここで50周年記念特集号で述べられた計算制御の意義を振りかへつてみると

- A) 数式モデルによる炉況制御。
- B) 適切なアクションを迅速に行なえる。
- C) 溶鉄品質の安定化。
- D) 異常の早期発見と誤アクションの防止。
- E) 製鉄所全体のシステム化。
- F) 高炉プロセスの解明。

以上の6点にまとめられる。これらはこの10年の間にいずれもそれぞれ進展したが、とくに E), F) は顕著であつた。A), B), C), D) すなわち炉熱制御、炉況管理の手段については、数式モデル中心の手法から指向がかなり変化して、幾つかのアルゴリズムの組合わせによる判定と、アクション応答またはアクション周期を考慮した制御システムに変わりつつあるといえる。今後はさらに各種検出端からの情報を計算機に入れ、その情報相互の重みづけや、各情報ごとの時間的な変化を適当に

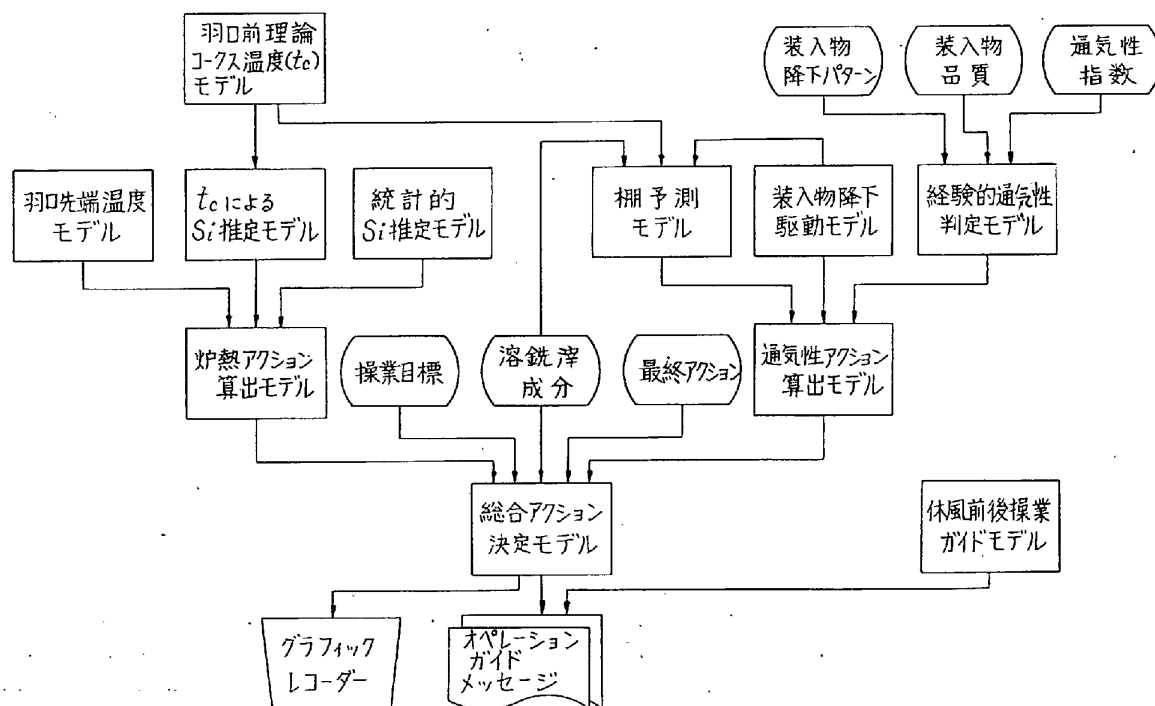


図 1-3-26 高炉計算機制御モデルの構成
(新日鉄堺: 学振54委 1261 (1972))

変えて、より安定した操業状態の確保を行なうことが強く要請される。

文 献

- 1) 計測部会：鉄と鋼 48 (1962) 14, p.48~66
- 2) 新日鉄八幡：計測部会 (1965) 計 30-1-1
- 3) 堀江他：鉄と鋼 57 (1971) 1, p.125

1.4 高 炉 設 備

1.4.1 概 説

急速に拡大する鉄鋼需要への速応と、恒常化した原料炭供給面での制約は、この10年間、高炉設備に大きな変革を迫った。生産の量的確保は、生産性向上のための、高圧操業の導入と超高圧化および、高酸素富化操業を始めとする操業上の諸手段の実施に加えて、高炉の大型化によつて達成されねばならなかつた。これは併せて、スケールメリットとして、投資効率、敷地利用効率、労働生産性のいずれの面でも、大きな向上を可能にした。大型化は反面、原料性状（特にコークス）の改善と、より高度な操業管理による安定操業、設備の信頼性、耐久性と整備性向上による高稼働率などへの要求を強くし、設備技術の開発を強く促した。

原料炭問題に代表される海外資源依存型の日本鉄鋼業の立地上から来る低燃料比化を主とする溶鉄コストの低減、さらに、省力化、環境保全などのいつそう強化されたニーズにこたえることも必要となつた。

これらに対し、高炉設備は、関連周辺技術の開発と蓄積の上に、理論的検討、モデル実験、実績解析などを通じて、正確な評価を行ないつつ、着実に開発発展され、良く経営の要請にこたえることができた。この期間、各社で既設製鉄所の強化の限界から、新鋭製鉄所を建設したことから、既存設備に制約されることなく、新たな設備の導入を可能としたことも、発展の一つの素地となつた。一部の海外導入技術を除き、その多くが、国産技術の開発を基盤としたことが、大きな特徴であり、ついには、数多くの設備技術輸出を行なうまでに発展した。上述の強いニーズに対し、いかなる対処を行なつたかについては、以下の設備別各論に記す。

1.4.2 高炉本体および関連設備

この期間における高炉本体で特筆すべきこととしては、炉内容積の急速な拡大があげられる。これは、炉本体のみならず、関連設備における各種設備技術の開発があつて、はじめて可能となつたものである。昭和39年当時の 2,000 m³ 級が、43年君津 1 高炉でソ連とならび、44年 3,000 m³ 級で世界最大となり、以後46年 4,000 m³ 級に、48年には 4,617 m³ (福山 5 高炉) と拡大を続け、現在は 5,000 m³ 級も建設の段階にある (図 1.4.1)。

さらに高炉建設の能率化が進められ、エレクトロスラッグ溶接法が41年福山 1 高炉で採用された。

(1) 高炉プロフィール

高炉プロフィールは最近①電子計算機をもちいた化学工学的な炉内解析、②炉内解体による炉内状況の解明な

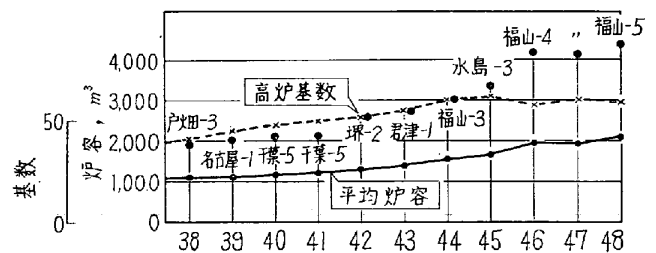


図 1.4.1 高炉内容積と基数の推移(昭和38年~48年)

〔注〕 data は各年末時点のものである。●各年の MAX 炉容を示す。

どを通じ、理論的にも実績解析的にも詳細な検討が加えられている。

内容積の拡大は、原料性状特にコークス性状の制約から、炉高 (H) は制限され、主として直径 (D) 方向に拡大して達成されたため、D/H は次第に増大している。

多量の溶鉄を処理するため、出鉄口は 2~4 本に増加され、反対に高圧操業下における作業上の困難さから、出滓口は 2~0 本と逆に減少している。出鉄口は同一鉄床に 2 本の配置から 2 面ないし 3 面の鉄床にそれぞれ 1 本ずつ設置されるようになった。

(2) 炉体支持構造

炉体支持は、炉頂荷重を 4 本槽で、また炉体上部をシャフト受支柱にて支持する構造が一般的であつたが、①高炉の大型化、②操業圧力の高圧化、③炉前および整備の作業性重視などの要請の下に、徹底した検討が進められ、図 1.4.2 に示される各種の方式が開発されるにいたっている。開発にあたっては、炉体、槽などの構造体としての振動特性が実験研究された。

(3) 炉体ライニング

高炉の寿命に大きな影響をおよぼすライニングについてはレンガの損耗機構解析および炉体冷却方法の進歩、炉型式の変化などにより次のような発展がみられた。

高炉が大型化し出滓を出鉄口から行なう頻度が多くなりスラグに強いカーボンレンガがその高い冷却能とあいまつて炉体寿命の面から炉底に用いられ、その使用範囲も拡大しており、さらにカーボン+グラファイトの炉底も使用されるようになった。カーボンレンガも無煙炭質のものが昭和43年頃 (室蘭 3 高炉) から用いられ、またサイズも大型化の傾向があり、洞岡 4 高炉¹⁾ (46年) では Union Carbide 社製の 6 m 余の長尺物を採用している。炉底のレンガ構成はレンガ内 RI 埋込による損耗度の推測および解体時の実績調査を通じて検討され図 1.4.3 のように種々の方式が実施されている。

朝顔部も薄壁強冷方式として38年室蘭 3 高炉では無煙炭質カーボンレンガを、また小倉 2 高炉 (39年)、千葉 5 高炉 (40年)、川崎 3 高炉 (42年) などでもカーボンレンガが用いられた。

シャフト下部もカーボン沈積のほかアルカリ、Zn による崩壊の解明によりレンガ材質の検討が進み、超高アルミナとか SiC 系レンガが開発されている。

炉型式の変化によりシャフトレンガ受もリングプレート、ステーブ、レンガ受プレートなど種々の型式が開発され、その位置も熱影響および作業性の面からシャフト中部に設置するものも現れた。