

I 緒 言

2度にわたるオイルショック以来、エネルギー、原料価格の高騰と長期化した生産停滞とにより、鉄鉄製造コストの低減がこれまで以上に重要な課題となり、脱オイル、省エネルギーによる対応が強力に推進されている。高炉技術は、操業面において原燃料条件の変化及び経済情勢の変動に伴う操業の弾力性、安定性、高能率性がより一層要求され、設備面では寿命の延長が最大の課題となっている。これには従来にも増して炉内状況及び設備に関する信頼性の高い情報の入手と、これらの高度な利用技術の確立が要求されている。

最近の電子・計測・コンピューター技術の目ざましい発展に基づいた高炉計測技術は、図1に示すように各時代の高炉操業上のニーズへ対応すべく進歩してきた。しかしながら上述した高炉技術のニーズを考えると、対応する高炉計測技術は必ずしも充分とはいえない。以下に高炉プロセス計測及び炉体管理計測を中心に高炉操業者の立場からみた高炉計測・制御技術の現状と今後の方向について述べる。

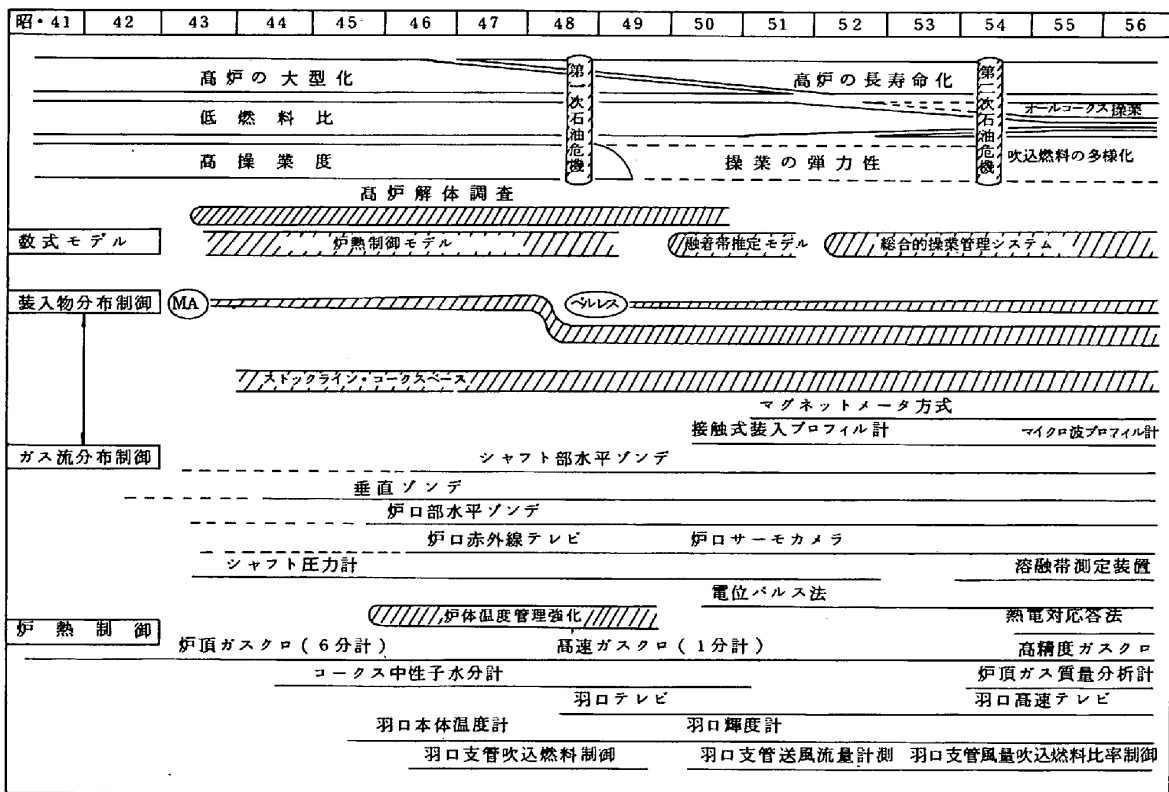


図1 高炉技術の指向と高炉計測センサーの発展

II 高炉計測・制御技術の現状と問題点

II-1 高炉プロセス計測・制御

高炉プロセスは炉況、炉熱という言葉が現在も支配的である如くいまだに不明な部分が多いが、これは気・液・固3相の混在、不均一、経時的変化等のプロセスの複雑さに加え、高温、高圧、含塵 雰囲気

気における反応のため計測がむずかしく、しかも計測データについてもその意味が必ずしも明確でないことに起因している。高炉内各反応帯における状態量と既測定対象について表1に示す。

表1 高炉内各反応帯における状態量と既測定対象

反応帯	反 応	測定したい状態量と現象		代表的な既測定対象
		固 体	ガ ス	
塊状帯	間接還元	温度分布 通気性 還元率 荷下り性 物理的性 状変化	量分布 粒径分布 混合層分布	装入物表面形状と層厚分布 ガス温度・組成分布 ガス圧力分布 ガス流速分布 装入物表面温度
軟化融着帯	直接還元 (ソリューション・ロス)		位置・形状	熔融帯位置・形状 ガス温度・組成分布 ガス圧力分布
滴化帯	Zn・S・アルカリの循環 スラグの生成		鉄滓流れ分布 メタロイドの反応	
炉芯	燃焼 浸炭の反応	通液性	コークスの降下と炉芯の形成 コークスの燃焼 レースウェイのひろがり	羽口支管送風流量 レースウェイ深さ 輝度 コークスの運動 コークス粒径 羽口本体温度
湯溜り	脱流		鉄滓レベル及び挙動 コークスの供給と消失 脱流・浸炭 メタロイドの反応	鉄滓の挙動 炉床コークスの消失

1) 塊状帯，融着帯における計測

この領域における主要な計測方法を表2に示す。

塊状帯は、直接計測が可能のため比較的情報量が多い。塊状帯で最も重要な計測対象は、還元、熱交換、通気性、荷下り等に影響を及ぼす、装入物分布、ガス流分布とその経時的な変化である。

装入物分布は、更に、層厚分布（混合層を含む）、粒度分布、空隙率分布に分けられるが、このうち

現状測定可能なものは、各種プロフィール^{1) 2)}メータによる層厚分布のみである。しかもこれらは表面形状の測定であり、原料装入による表面形状の変化に対しては無効であり、又、混合層の測定ができない欠点を有する。最近シャフト部に差し渡しゾンデを設置し、マグネットメータを用いた方法が開発³⁾され上記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、装入物分布の

表2 塊状帯・融着帯における主要計測方法

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又、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
	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 ②ビトー管熱線式ガス流速計 ③加熱熱電対法 ④ガストレーサー法	ガス温度、圧力、組成がわかればガス流量への換算が可能 装入物分布を乱さないが瞬時の測定である
	温度・組成分布 圧力分布	水平ゾンデ法 瞬間の測定である 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 ②RI装入法 ③TDR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 瞬間のデータであり、滴下帯以下の通過時間に仮定が必要 連続測定が行なえる点は有利

結果として本来決まるものと考えられるが 装入物分布と共にガス流分布の計測も極めて重要である。ガス流分布は、更に、流量、温度、組成、圧力分布等に分けられるが現状ガス温度、組成、圧力、流速分布が測定の容易さから、最も一般的に行なわれている。究極的にはガス流量分布の計測が望まれるがこれが困難であるので上記データを数式モデルに取り込んでガス流量分布及び高さ方向の温度分布を推定する方法が行なわれている。⁴⁾

融着帯は、高炉内で通気抵抗の最も大きな部分であり、炉内ガス流分布と装入物の荷下りを介して、操業の安定性の指標となる。このため融着帯の位置・形状の計測が極めて重要であり、各種方法により直接測定又は間接的な推定が試みられている。^{5)6)7) 4)8)}

2) 滴下帯及び湯溜り部の計測

この領域では、コークスの降下挙動、炉芯の形成、銑滓の流れ、羽口レスウエイでのコークスの燃焼、メタロイドの反応、脱硫等の現象があり、これらに関係して、通気性、通液性と温度レベルが重要と考えられる。現状測定されているのは、羽口レスウエイの状況、クーリングステーブ温度分布、羽口本体温度等のみである。この領域では溶銑滓の最終的な状態が決定されると考えられるので、何らかの有効な情報を計測、把握することがのぞまれるが、計測手段のみならず、何をどうとらえればよいかという現象の整理の考え方が現状必ずしも明確にはされていないのではなかろうか。

3) 総合的操業管理システム

高炉の各種センサーからの情報は非常に多く、これらの情報から総合的に炉内状況を判定し必要な操作の決定を下すことがのぞましい。このため、計測センサーの情報と各種数式モデルを用いて、炉内状況を総合的に把握、制御する総合的操業管理システムがコンピュータを使用して行われつつある。⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 図2にこの概念図を示す。

このシステムにおいては、情報の種類、精度とその組合せ及び数式モデルの構成とその精度、これらを総合したシステムの構成等にそれぞれ特徴がある。

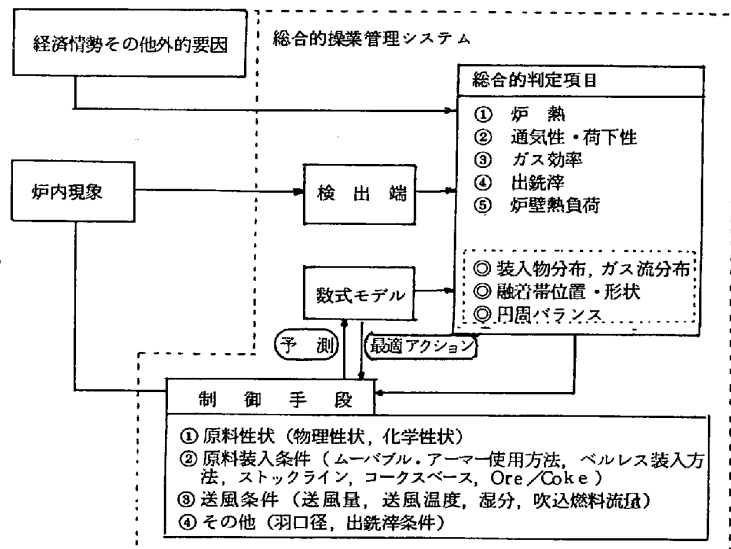


図2 総合的操業管理システム

表3 炉体管理計測

II-2 炉体管理計測の現状と問題点

高炉炉内プロフィール、炉体設備の安定、維持は、高炉の高効率、安定操業の達成の基盤であり、かつ又、低成長時代の今日においては、コストの低減上大きなメリットのある高炉寿命の延長に大きく寄与するものである。このため炉体管理計測は、従来にも増して重要となっており、炉体耐火物の侵食と付着壁の成長の把握、冷却機

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 ₂ 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	"	

器の保護と破損の早期発見，高炉周辺機器の保護に有効に利用されている。

各々の計測方法について表3に示す。炉体管理計測は従来から温度計測を中心とした方法が採用され、測定点の増加により上記ニーズへの対応は、ある程度可能であるが近年直接壁厚を測定する電位パルス¹²⁾法あるいは熱電対応答法¹³⁾等が開発され注目をあつめている。

Ⅲ 高炉計測制御技術の今後の方向

Ⅲ-1 既設センサーのレベルアップと新センサーの開発

既設センサーのうち特にレベルアップがのぞまれるのは、装入物分布、ガス流分布制御の点から、塊状帯における層厚分布、ガス流速分布計測、炉熱制御の点から、炉頂ガス分析計、更に融着帯の制御の点からは、融着帯位置・形状の計測又は推定等である。

新センサーについては、塊状帯での粒度分布、空隙率分布及びガス流量分布であり、炉下部については最終的な溶銑滓の状態の決定を把握しうる何らかの状態量の計測法の開発がのぞまれる。後者については、現象の整理の考え方を更に検討する必要がある。

なお、これまで開発されてきた多数のセンサーについては、その計測値が何を意味するかを再吟味、検討し、実用化、有効活用の点から再評価し、標準的計装の考え方を導入する必要もあろう。

Ⅲ-2 総合的操業管理システム

これには、数式モデルから検討した計測値の必要精度の見直し、模型実験、理論的検討による数式モデルのレベルアップ及び総合システムの構成面におけるレベルアップ等が必要であり、今後この面での努力がなされるものと考えられる。究極的には、オペレータズ・ガイドのレベルから自動制御のレベルまでの発展が目標とされよう。

Ⅳ 結 言

以上、高炉操業者の目からみた高炉計測・制御技術の現状と今後の方向について概括してきた。今後の高炉操業技術のより一層の発展とコストの低減のためには、プロセスの解明を一段と進める必要がある。このためセンサーについては既設センサーのレベルアップと新センサーの開発、システムについては、総合操業管理システムのレベルアップをはかる必要があり、このテーマに向けて、今後とも計測、高炉の技術者、研究者が共に協力して邁進することがのぞまれる。

参考文献

- | | | | | | |
|-----|-------------|--|-------------|------|-------|
| (1) | 飯塚 他 | 鉄と鋼 | 63(1977) | No11 | S439 |
| (2) | J. Folkad | Iron & Steel | (1972) | June | P311 |
| (3) | 山本 他 | 鉄と鋼 | 67(1981) | No4 | S74 |
| (4) | 重見 他 | 鉄と鋼 | 64(1978) | No4 | S47 |
| (5) | 梶川 他 | 鉄と鋼 | 66(1980) | No4 | S38 |
| (6) | 下村 他 | 鉄と鋼 | 62(1976) | No4 | S65 |
| (7) | 福島 他 | 鉄と鋼 | 67(1981) | No4 | S69 |
| (8) | 研野 他 | 鉄と鋼 | 65(1979) | No10 | P1526 |
| (9) | 加瀬 他 | 製鉄研究 | No288(1976) | | P70 |
| 00 | Nagai et al | 36th Ironmaking Conference of ISS-AIME | 1977 | | |
| 01 | 研野 他 | 鉄と鋼 | 67(1981) | No4 | S81 |
| 02 | 第49回製鉄部会資料 | 鉄49-21-講 | (1976) | | 住金 中研 |
| 03 | 永井 他 | 鉄と鋼 | 66(1980) | No11 | S614 |