

Table 2.3. Advanced technologies for difficult-to-sinter iron ores.

Trend of resources	Technologies developed recently
Utilization of high-grade PF (low-silica, low-alumina ores)	Positive use PF: Pan pelletizer, vibration pelletizing machine, Eirich mixer
Increased use of limonite (ore with high alumina and high combined water)	Suppression of pore and crack formation due to combined water: Limonite on grate sintering, serpentine-limonite selective pelletizing Control of melting property of alumina content: Divided lime addition method, sintering with coarse limestone, fluidity control agent addition method, control of the formation of minerals depressing alumina affect Utilization of pelletizing characteristics: Prespraying Effect of excessively fusible ore particle size segregation: Segregation intensified type charging method

装入装置 ISF (Intensified Sifting Feeder) が開発された (Fig. 2.16)。ISF は原料の流下方向に連続的に拡大する篩目を備え、焼結層高方向に任意の大きさの粒度偏析が安定して形成でき、層内の焼成が均一化し歩留、品質が改善した。

(2) 焼成変動管理技術の向上

湿潤層の通気改善に対しては、予熱焼結法が一段と普及した。点火炉の小容量化による省エネ型着火も定着した。焼結層内の焼結の不均一性の解消には原料事前処理技術、原料装入方法の改善に負うところが大きい。焼成変動管理がますます強化されたことも寄与している。通気管理の基本としての漏風防止が強化され、またセンサー強化、AI、ファジーの

導入などでストランド方向、パレット幅方向の燃焼管理システムが一段と高められた。

2.5.4 環境改善への取り組み

環境対応力は安定稼働、経済競争力の観点からのプロセス存立の課題となってきた。電気集塵機では移動電極法が、さらに脱硫脱硝の面では水酸化マグネシウム方式、活性炭法などの新技術が実用化され高性能化コンパクト化が進んだ。また排ガス循環焼結技術が集塵機老朽更新、排ガス処理の合理化の観点からも注目されおされている。

2.6 装入物分布制御技術と高炉操業の高精細化

高炉内半径方向の状態分布は、操業の安定性・効率性に大きく関わり、高炉層頂における装入原料の半径方向分布の制御は炉内状態分布を操作する上の最大の手段である。このため、装入物分布挙動の把握とその制御に関し、従来より研究および技術開発が続けられてきたが、最近 10 年間で、その制御技術はハード、ソフト両面において大きな進展を遂げている。

2.6.1 ベルレス方式による装入物分布制御技術

高炉装入系の形式は、ベル-アーマ型とベルレス型とに大別できる。ベルレス方式による装入は、装入原料の炉内落下位置を連続的に操作できる点にベル-アーマ型との大きな差異があり、装入物分布制御上の自由度の高さから、最近 10 年間に火入れした高炉のうち 15 基が同形式を採用、全稼働

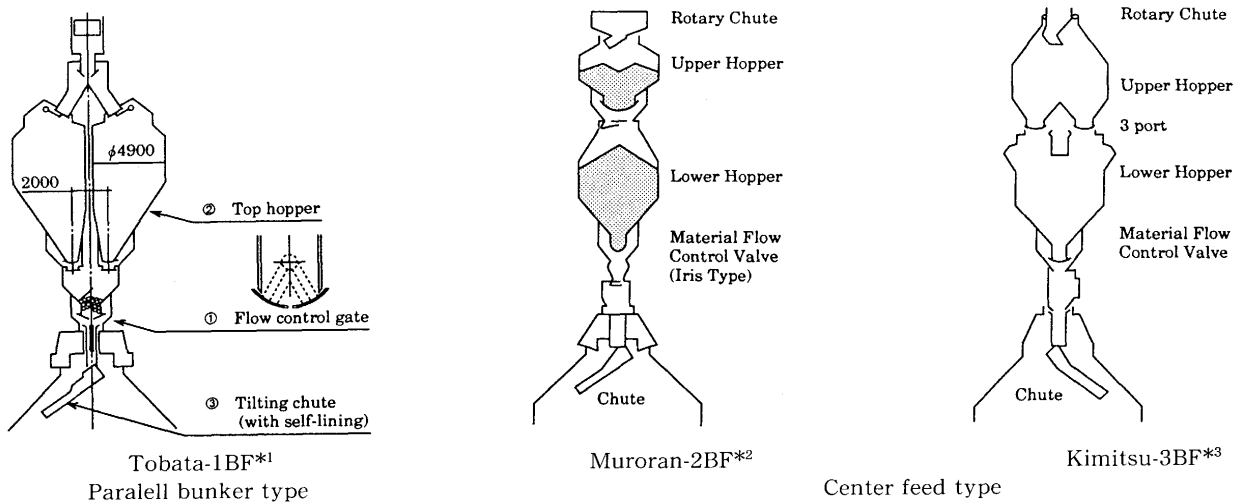


Fig. 2.17. Equipment of bell-less top. (\*1Tetsu-to-Hagané, 72 (1986), p. S917; \*2Seitetsu Kenkyu, (1987), No. 325, p. 14; \*3Tetsu-to-Hagané, 72 (1986), p. S916)

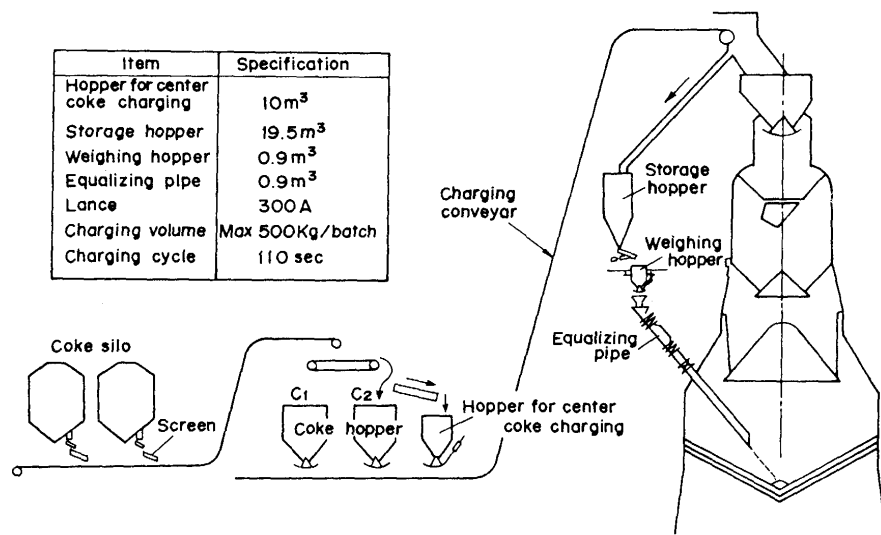
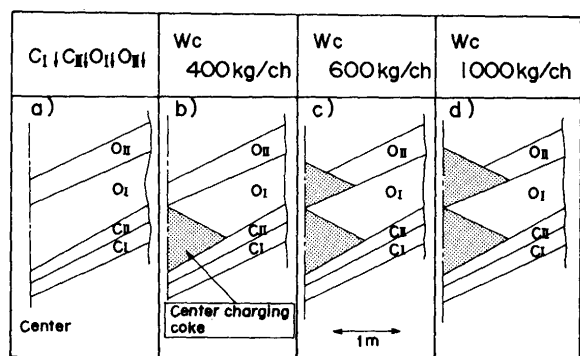


Fig. 2.18. Equipment for center charged coke at Kakogawa-2BF. (Proc. 6th Int. Iron and Steel Cong., ISIJ, Tokyo, (1990))



Wc : Center coke

Fig. 2.19. Schematic diagram of burden profile of center charged coke. (Proc. 6th Int. Iron and Steel Cong., Vol. 2, ISIJ, Tokyo (1990), p. 471)

高炉の約半数を占めるに至っている。

そこで、本稿ではベルレス方式に絞って以下にその進展を述べることにする。

ベルレス高炉においては、上述の装入系の特性を生かして分配シュートの傾動角と各傾動角での旋回数を操作することで原料を炉内の広い範囲に装入、炉壁近傍に平坦部(テラス)を作る分布形態も採られ、炉内半径方向の鉱石/コークス層厚比(Ore/Coke)分布制御が行われている。また、経時的に炉内装入位置を変化させていく装入形態は、炉頂バンカーから供給される装入原料の粒径経時変化が炉内半径方向の堆積粒径分布に反映するという特性をもたらし、これを利用しての粒径分布制御の可能性も有している。

ベルレス装入系には、炉内に原料を供給する炉頂バンカーの配置形式に関して、並列型と垂直型との二つに分類される(Fig. 2.17)。前者は並列に配置したバンカーを交互に使用して装入物を炉内に供給するのに対し、後者では装入物は垂直方向に直列に配したバンカーを順次経由して炉内に供給される方式になっており、炉内装入時の原料粒径の経時変化にお

いて、並列型では装入前期に細粒が、装入後期に粗粒が排出されるのに対し、装入前期に粗粒原料が排出されるパターンになり、両者には差異がある。模型実験などによる調査から、このような原料装入物排出特性の差異はバンカー内での原料充填状況の差異に起因することが指摘されており、実炉においては、炉頂バンカー内に傾動可能な旋回シュートや可動式分配板などを設けて、排出粒径の経時変化パターンを操作することにより、先の鉱石/コークス層厚比分布制御とは別に、粒径分布制御による炉内ガス流分布制御をも可能としている。

そして、このような自由度を使いこなす観点から、模型実験を中心にベルレスの分布特性を把握するための調査が精力的になされ、ベルレス装入を対象にした装入物分布推定数式モデルが相次いで開発された。これらモデルの中には、鉱石装入時の斜面崩壊現象(コークス層崩れ)に土質力学の考え方を取り入れるなど、装入物の炉内堆積過程における現象の挙動を精緻に扱うものもあり、実炉分布制御における指針提示ツールとして活用されている。

一方、ベルレス装入方式の特徴は、その一方で装入物分布を確実に作り込む上でベル-アーマ方式には見られない装入管理を必要とする。中でも原料装入時間の管理は半径方向・円周方向の層厚分布制御性に直接関わる重要な項目であるため、荷切れタイミングの計測に基づく炉頂バンカー流調ゲート開度に対するフィードバック制御を初めとした装入時間の変動抑止対策を始め、分配シュートの装入開始方位のシフト・旋回方向の切り替えなどが施されている。また、垂直型バンカー形式に比べ、並列型バンカーを有するベルレスにおいては、原料排出口が炉軸上にないことに起因する炉内円周方向での堆積偏差を生じる傾向がある。このため、設備上は分配シュートに流入する原料流の炉軸からの偏心抑制対策が、操業上は炉頂バンカーへの原料分配の切り替え(コークス受け入れバンカーと鉱石受け入れバンカーとを周期的に入

れ替える)方法などが採られている。

また、従来のベルレス・トップは並列型・垂直型を問わず、炉頂バンカーは2基であったが、平成2年に火入れした川崎製鉄(株)水島3高炉(3次)では、多バッチ装入を可能とする装入余裕率の確保、並列型バンカーの持つ装入粒径経時変化パターン(細粒→粗粒)の確保と円周方向偏差の抑制を狙って、炉頂バンカーを並列に3基有するベルレス・トップが採用されている。

### 2.6.2 コークス中心装入技術の開発

炉内通気性維持ひいては炉況安定の面から炉中心部のガス流量の確保は、炉内ガス流分布制御上の基本課題の一つとされているが、従来の装入物分布制御において、原料の炉内装入位置は炉壁近傍領域にあり、ベルレスにおいても炉中間部までの範囲で制御されていた。したがって、炉中心部の装入物分布は、コークスと鉱石の装入位置の相対的位置関係の操作やコークス層崩れを介した制御によって間接的に調整されるにとどまっていたが、(株)神戸製鋼の開発したコークス中心装入技術は、専用のシュートを用いて炉中心部に少量のコークスを直接装入することによって、同部のOre/Cokeの独立制御を可能とした(Fig. 2.18)。

この装入法において、炉中心部へのコークス装入は鉱石の炉内装入に先立って行われ、鉱石の中心部流入を抑えることで同部のOre/Cokeが低位に制御される(Fig. 2.19)。これにより、炉中心部のガス流制御性は飛躍的に向上、加古川2高炉(ベル-アーマ型)における試験では、中心装入コークス量100~150 kg/chで炉内圧損、風圧変動が低下、スリップも減少して、炉況安定化に顕著な効果を示すことが確認された。このように、全装入コークス量のわずか0.5%程度を炉中心に装入することで、ガス流分布を介して炉況安定化の有

力な手段となり得る事実は驚くべきことであるが、同技術の効果は単にガス流制御にとどまらず、高炉下部の状態制御にも及んでいる(Fig. 2.20)。

模型実験を用いた装入物降下挙動の検討によれば、層頂において炉軸から約0.12R<sub>t</sub>(R<sub>t</sub>:炉口半径)の範囲に堆積したコークスが炉芯コークスの置換に寄与している。したがって、コークス中心装入により炉中心部のOre/Cokeを低く維持すれば、同部を降下するコークスの反応劣化は抑えることができ、粒径の大きい健全なコークスが炉芯に供給されることによって、炉芯の通気・通液性の向上に作用することになる。このような中心装入コークスによる炉芯置換現象は上述の加古川2高炉におけるトレーサ装入試験により確認され、同時に炉芯部採取試料の分析から中心装入適用期において粉率の低下や銑滓ホールドアップの減少が認められ、さらには、炉底温度についても時間遅れを以て温度レベルの上昇が現れていることから、炉芯から炉床における通気・通液性の向上にも効果を示すことも確認された。

以上のように、コークス中心装入技術はガス流分布制御のみならず、従来制御が困難とされていた炉芯あるいは炉床の充填状況の制御にも道を拓く技術である点で、最近10年間の高炉操業における大きな技術革新の一つに挙げられる。

### 2.6.3 装入物分布管理

装入物分布のきめ細かい制御を指向する上で、炉内装入物分布の実態把握が必須となってくる。このため、層頂装入物プロフィール計測が広く普及し、その形式も機械式(重錘式)から堆積形状を細かく把握できるマイクロ波やレーザーを用いたものに移ってきているほか、炉内粒度分布や層厚分布の実測も試みられている。また、炉内装入状態の把握も重要である。前項でふれた装入時間管理技術はこれに関するものであり、装入原料の粒度構成や炉内装入時の時系列粒度変化のオンライン測定(ベルレス)なども、分布制御用データとして使用される。このような装入物分布実態把握のための計測端情報の充実が分布制御の的確性向上に寄与している。

ところで、実炉における装入物分布調整の目的は、操業の

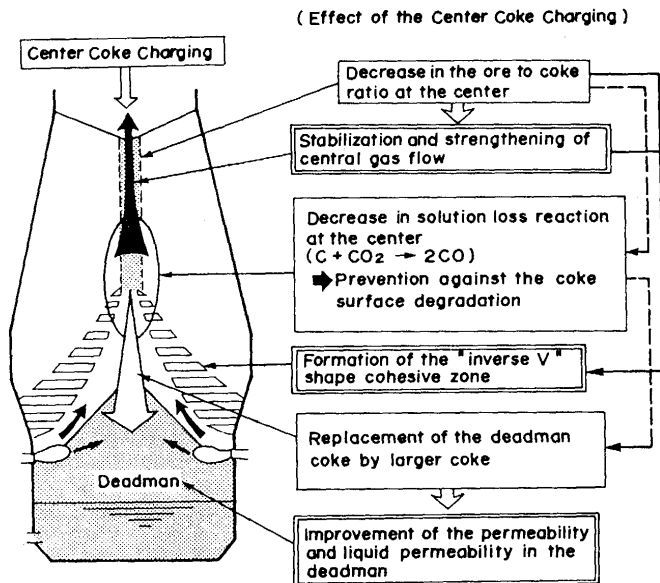


Fig. 2.20. Effect of the center coke charging. (Proc. 6th Int. Iron and Steel Cong., Vol. 2, ISIJ, Tokyo, (1990), p. 471)

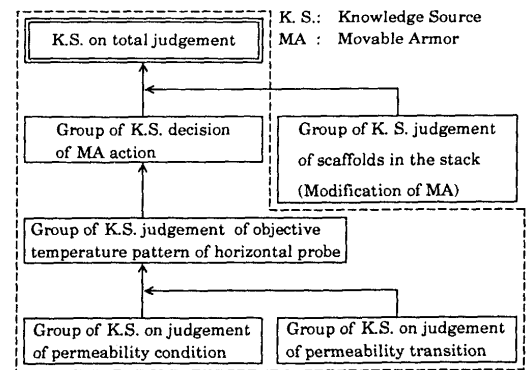


Fig. 2.21. Composition of the knowledge base of burden distribution control system. (CAMP-ISIJ, 3 (1990), p. 76)

安定と課せられた操業成績を達成するための状態を炉内に作る点にある。目指すべき操業状態に対し装入物分布制御諸元（ムーバブル・アーマ・ノッチ、ベルレス分配スケジュールなど）をいかに選択すべきかについては、数式シミュレーションによる理論的検討が適用されることもあるが、従来、実操業においては主にシャフト上部ガスサンプラーから推定される半径方向のガス流分布状態と炉況あるいは操業成績とを対応づけて、装入物分布の調整がなされることが多い。後者の手法は、現象論に基づく経験的側面が強いものであるが、過去の事例を多数集めて系統的に解析・整理することにより客観性のあるアクション指針を構築することができる。これをシステム化したものにNKKにおける装入物分布ガイダンス AI があり、京浜では過去の操業事例を知識ベース化、これを基に風圧変動低下の観点から、現状分析に照らして分布調整ガイダンスを出すシステム (Fig. 2.21) が、また、福山においては外乱によるガス流分布変動を回避するための装入物分布制御ガイダンスを出すシステムが、それぞれ開発されている。

## 2.6.4 高炉操業条件変化への対応

原燃料条件など操業諸元の変化に対して、操業の安定を維持して柔軟に対応すべく、装入物分布を適正化する努力がなされてきた。燃料コスト低減、コークス炉延命を狙った微粉炭多量吹き込みや原料コスト低減を狙った細粒焼結鉱の多量使用への対応などはその例であるが、いずれにおいても炉内通気性確保が第一課題となる。高Ore/Coke 装入を課す前

者においては、Ore/Coke 分布や粒径分布による半径方向ガス流分布調整のみならず、融着帯部通気性確保の観点から、鉱石ベースあるいはコークスベース調整による絶対層厚制御も有効な手段として適用されており、後者においては、細粒の炉内分布制御性を確保すべく粒度別の仕分け装入法が適用されている。

このような手法と上記の分布制御技術を組み合わせたきめ細かい装入物分布調整が、PC 比や細粒焼結鉱の使用量アップに寄与している。

## 2.6.5 まとめ

高炉の装入物分布は、Ore/Coke 分布と粒度分布とに分けて見ることができるが、最近 10 年間に於いて、後者への注目が高まってきた。これにはベルレス高炉の増加や細粒原料の使用が背景にあることももちろんであるが、そのみならず、炉内状態分布のより高精度な制御が装入物分布制御に課せられてきていると見るべきであろう。装入物分布をきめ細かく制御するにおいて、制御の自由度を増すことは大きな手段ではあるが、それとは裏腹に外乱による変動因子の取り込みにつながる場合も多く、目指す分布を確実に作り込むための技術開発もますます必要になってくると考えられる。

今後、安定操業はもとより、安価原料の使用や生産弾力性の向上さらには炉命延長など、装入物分布制御に対する課題は、多様かつ重大になってくる。このようなニーズに的確に対応すべく装入物分布制御技術のさらなる進歩を期待する。

## 2.7 PCI 多量使用技術の発達

高炉に微粉炭を吹き込むアイデアはすでに 150 年前に提案されている。しかし、粉体の輸送技術の未発達のため、十分な進歩を見ないうちに、輸送の容易な重油吹き込みが一般化した。1973 年と 1979 年のオイル・ショックによる重油価格高騰により、いったんオールコークス操業に移行した。しかし、羽口先でのコークスの燃焼だけで時定数の大き

な大型高炉の炉熱を制御することはむずかしく、重油に代わる補助燃料が求められた。また、コークス炉の老朽化対策がクローズアップされ、コークスの一部を石炭のまま高炉で使用してコークス炉の負荷を軽減し、炉寿命の延長を図ることが考えられた。

### 2.7.1 微粉炭吹き込み量の推移

Fig. 2.22 に 1985 年以降の微粉炭吹き込み量の推移を示す。微粉炭吹き込み (PCI) を行う高炉の基数はほぼ直線的に増加しているが、単純平均した年間平均吹き込み量は 1986 ~ 1989 年に 25 ~ 30 kg/THM で停滞した後、1990 年以降著しい伸びを示している。1994 年 4 月現在、稼働中高炉 30 基のうち微粉炭吹き込みを実施している高炉は 27 基に上っている。この間の各年度の最高吹き込み量は、自前のコークス炉を持たない(株)神戸製鋼所 No. 3 高炉によって達成されている。

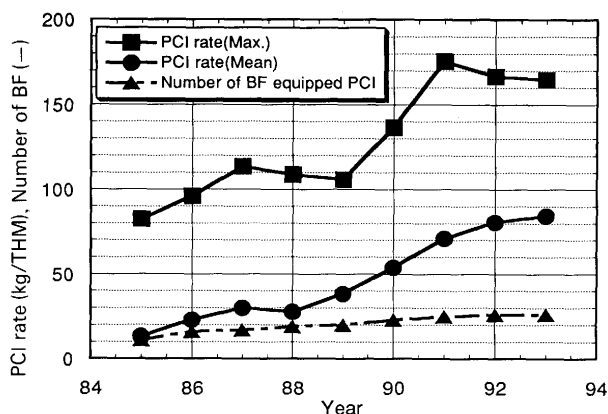


Fig. 2.22. Changes in pulverized coal injection rate.