ベルレス高炉における原料装入特性を向上した 炉頂バンカーの開発

宮川 昌治¹⁾ 武田 幹治¹⁾ 田口 整司²⁾
森本 照明³⁾ 藤森 寛敏⁴⁾

1. はじめに

高炉の装入物分布制御の目的は、炉内の原料堆積状態を制御することで、目標とする炉内反応やガス流れを実現することである。分布の良否が操業成績を直接左右するため、装入方法や装入装置に関する研究が多く行われている。一般に高炉への原料装入はベル式あるいはベルレス式炉頂装入装置によって行われる。ベルレス式は、ベル式と比較して分布制御の自由度が大きく、また制御精度も高いために、現在わが国の稼働高炉32基中13基を占めるに至っている。ベルレス式の特徴は炉内旋回シュートの傾動角度を経時的に変えながら原料装入を行うことで半径方向の原料の堆積分布を制御する点にある。そのため、炉頂バンカーから装入する原料の平均粒径の経時的な変化(以下特性Ⅰ)が重要である⁽¹⁾。炉中心部で良好な通気性を維持するためには、炉壁部から開始し、炉中心で終了する1回の原料供給を通じて、原料粒径が小から大にむけて増加するのが望ましい⁽²⁾。また炉内円周方向で、原料粒径や供給量(以下特性Ⅱ)が均一であることが望まれる。

ベルレス式装入装置には、並列バンカー型(Parallel Bunker type、以下PB型)、並列バンカー型を改良したPB-CG型および垂直二段型(Center Feed type、以下CF型)の三つの型式がある。PB型は炉内円周方向での装入物分布の偏差が指摘されている⁽³⁾。この欠点は、炉頂バンカーの幾何学的形状と配置から原料が炉中心軸を落下しないことに由来している。欠点を改善するために炉頂バンカーでの原料の流れを高炉の中心軸と一致させる機能弁(central gate)を付加⁽⁴⁾したのがPB-CG型であり、さらにバンカー中心軸と炉中心軸を一致させた⁽⁵⁾CF型へとベル

図1 日本のベルレス式高炉炉頂装入装置の基数の推移。

レス装入技術は展開されて来た(図1)。しかし、CF型は原料の流れに対してバンカーを直列に繋いで使うために装入回数が増やせない。このためベルレス高炉の装入装置として望ましいバンカー型式を基本に立ち返って検討した。

2. ベルレス式炉頂装入装置の基本的な原料装入特性の評価

実験装置の構成を図2に示すが、粉粒体の粒度偏析現象の再現を可能とするために、実機の一連の原料装入設備を備える設備とした。実験に用いた模型装置は、PB型では当社千葉第6高炉の縮小模型とそのバンカー仕様を変更したものとの2種類、CF型では上部バンカーの原料排出

図2 実験装置の構成模式図。

* 川崎製鉄株式会社

技術研究本部鉄鋼研究所：1) 主任研究員 2) 室長
鉄鋼技術本部高炉改修計画室：3) 主査 4) 主査(現在：千葉製鉄所エネルギー部長)

Development of 3-Parallel-Bunker Type of Bell-Less Top Charging System at Blast Furnace; Shoji Miyagawa, Kanji Takeda, Seiji Taguchi, Teruaki Morimoto, Hirotohi Fujimori (Kawasaki Steel Corp.)

1992年1月31日受理

図3 高炉炉頂装入装置模式図(縮尺1/16.5模型)。

口の数と上部バンカー形状が異なる4種類を用いた(図3)。模型実験の縮尺条件は1/16.5である。

模型実験では相似条件の吟味が重要である。重力場での原料の運動はFroude数相似とし、従来明確にされていないバンカー内での粉体の分級挙動、および、模型装置の原料排出口の大きさと排出試料の重量速度に関する相似条件についてはおのおの予備実験を行った上で決定した⁽⁶⁾。

特性Iは、経時的に採取した試料の調和平均径を試料全体の調和平均径で除した無次元粒径値を用いて評価した。特性IIは、垂直シュートでの偏流に着目して垂直シュート出側先端を4個の1/4円に分割して試料を採取し、各採取重量の標準偏差を用いて評価した。

特性Iに関する各装入装置の鉱石装入特性の実験結果を図4に示す。PB型の特長は、装入初期に細粒を排出し、中期以降に粗粒を排出することであり、ベルレス式炉頂装入装置として特性Iに関して好適である。一方、CF型では装入初期に粗粒を排出し、中期以降は細粒を主体とする装入に終始するため好ましくない。同じCF型でも上部バンカーの原料排出口の数により装入初期の粒径が異なり、排出口数が4のCF2において初期の粗粒を最も抑制できる。排出口数が1のCF1、CF3、CF4は上部バンカーの構造が異なるが特性に差はない。コークスの場合は、PB型

図4 炉頂装入装置から炉内に装入される鉱石平均粒径の経時変化。

とCF型で特性Iに大きな違いはなかった⁽⁶⁾。

特性IIに関しては、CF型はPB型と比較して原料の落下流の中心軸からの偏りが小さい。ただし4基のCF型を比較すると大きな差異は観察されない⁽⁶⁾。

3. ベルレス式高炉炉頂装入装置の装入特性の改善の検討

前章で述べたCF型の特性Iの機構の原因を究明するため、装入装置CF1を用いて検討した。CF1で鉱石が上部バンカーから下部バンカーに落下する時の粒径の経時変化は、PB型の特性と基本的に同じである。しかし下部バンカー内半径方向の粒径分布が中心部で大きく、通常観察される分布と逆であった⁽⁷⁾。これは上部バンカーから下部バンカーへの原料装入速度が大きいことに起因し、その結果、下部バンカーから炉内へ装入される原料の粒径変化のパターンは図5に示すように上部バンカーからの原料装入速度に大きく影響される。CF型で初期の粗粒装入を抑制してPB型と同等の特性を得るには、上部バンカーからの装入速度を基本装入条件の1/10に低下させる必要があり、実操業では装入時間(生産性)の制約から無理である。

次いでバンカー内の原料の流れの制御を目的として、バンカーの中心軸上に整流板を設置し、鉱石装入特性に及ぼす影響を調べた。整流板に期待する作用はバンカー内でのファンネル・フローの防止であり、その効果は認められたものの、粗大粒子を中期以降に優先的に排出させるまでには至らなかった⁽⁶⁾。CF型の装入特性をPB型のそれに近づけることは原理的に難しい。

図5 炉頂装入装置から炉内に装入される鉱石平均粒径に及ぼす下部バンカーへの原料装入時間の影響。

4. 3並列バンカー型ベルレス炉頂装入装置の開発

一般に、PB型はCF型と比較して特性IIが劣る。PB型の特性IIの改善には、垂直シュート内での偏流を抑制す

図 6 並列 3 バンカー型ベルレス装入装置の構成。

るために垂直シュートの内径を小さくするか、垂直シュート内を原料で満たす方を考えればよい。そこで垂直シュートの下端にゲートを設け、垂直シュート内を炉頂バンカーからの原料で満たした後にゲートを開く操作を行った。これは PB-CG 型に相当し、特性Ⅱは改善されたものの逆に特性Ⅰが悪化した⁽⁶⁾。

以上の検討から、CF 型や PB-CG 型で特性Ⅱを改善するより、PB 型においてバンカーの設置数を増すことおよび操作上の対策⁽⁸⁾により特性Ⅱを改善し、特性Ⅰと特性Ⅱの両者を満足させる 3 並列バンカー型炉頂装入装置を考えた(図 6)。

3 並列バンカー型では装入回数が増やせる利点がある。同時に炉頂バンカーを 120° 間隔に配置し、1 チャージの装入回数を 3 の倍数を除外して 2, 4, 5 のように増すことにより、炉頂での円周方向装入物分布は 120° ずつ位相がずれ、円周方向の装入偏差は打ち消されて特性Ⅱの問題も解消する。

図 6(b)に示したように、バンカー形状を変更し、かつバンカー内に設置した反発板によってバンカー内原料堆積形状を制御して粒度偏析を強化した場合の実験結果が図 7 である。ベルレス高炉における炉頂装入装置として好適な特性を実現した。反発板を可動とすることで粒径の経時変化の任意の制御が可能であり、炉頂半径方向の装入物分布は鉱石・コークスの層厚分布のみでなく、粒子径の分布も任意にコントロールすることができる。また、炉頂バンカーの設置数を増すことで、混合装入や分割装入など多様な多バッチ装入モードを行うことができる。

5. お わ り に

以上の研究成果に立脚して、水島第 3 高炉の 3 次改修時にベル式から、バンカー内部に反発板を装備した 3 個のオフ・センター型バンカーを並列に有する新型ベルレス

図 7 並列 3 バンカー型ベルレス装入装置の原料装入特性(特性 1)。

式炉頂装入装置に改造した。実験室の検討結果を填充調査で確認した上で、1990 年 6 月に 3 次操業を開始した⁽⁹⁾。並列に複数個のバンカーを有し、装入能力が大きい利点を生かした種々の装入モードを開発している⁽¹⁰⁾。

6. 特 許

特開平 2-138407 等特許 17 件、実用新案 4 件出願中。

文 献

- (1) 福武 剛, 藤田 勉, 田中康雄: 川崎製鉄技報, **14**(1982), 405.
- (2) たとえば柿内一元, 松井 章, 中山正章, 山口一成, 天野 繁: 材料とプロセス, **4**(1991), 104.
- (3) 近藤幹夫, 小西行雄, 野村 真, 田口整司: 鉄と鋼, **68**(1982), S703.
- (4) 奥田康介, 松倉慎一郎, 山田寛之, 栗原喜一郎, 水野保禄, 佐藤 晃: 鉄と鋼, **72**(1986), S917.
- (5) 大塚 一, 一関貞幸, 沢井敏明, 原 義明, 中川美男, 須沢昭和, 木村春男: 鉄と鋼, **72**(1986), S6.
- (6) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 森本照明, 藤田昌男, 藤森寛敏: 川崎製鉄技報, **23**(1991), 130.
- (7) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 藤森寛敏, 森本照明: 材料とプロセス, **2**(1989), 998.
- (8) M. Nomura, S. Taguchi, N. Tuchiya, H. Sakimura: Ironmaking Conference Proceedings, **43**(1984), 111.
- (9) 沢田寿郎, 上谷年男, 宮川昌治, 武田幹治, 小西行雄, 国分春生: 材料とプロセス, **3**(1990), 1006.
- (10) 大神正道, 沢田寿郎, 国分春生: 材料とプロセス, **4**(1991), 1035.