

とする報告もなされた。

ここ数年、低SiO₂の推進は足踏み状態である。RDI実績値も低下の方向であり、一つの限界に達したとも察せられる。原料面では、マランバ鉱石の導入によって一層の低SiO₂化の推進が可能な状況にあるので、高炉内に則した還元粉化現象の理解を深めるとともに、抜本的なRDI対応策が今後の低SiO₂化の推進には必要であろう。

1.3.4 今後の塊成鉱品質改善技術

これまで、整粒、塊鉱石から焼結鉱への転換、焼結鉱自溶活性化などによって原料品質が向上したことで、高炉操業は格段に進歩してきた。逆に、今後の一層の改善には、新たな塊成鉱の登場が待たれる。「エネルギー半減・環境負荷ミニマムを目指した高炉の革新的製錬反応に関する研究」プロジェクトでは含炭塊成鉱が精力的に検討された。一つの有力な可能性だと思う。

1.4 塊成鉱、コークスの高炉内挙動

1.4.1 技術の動向

90年代はバブル崩壊や円高レートの高騰など不安定化要因があり、鉄源コスト削減技術の開発が精力的に進められた。高炉では微粉炭多量吹き込み技術、焼結鉱製造では輸送コストの安い豪州鉱石の多量使用および安価なピソライト鉱石へのシフト、またコークス製造では安価な非微粘結炭の多量使用が指向され、原燃料コスト削減が実施された。上記背景下において各社で実施された微粉炭吹き込み操業では、炉下部通気通液性改善を目的としてコークス冷間強度DI (Drum Index) が重視され、また高Ore/Coke下でのシャフト部還元性および融着層での通気性改善を目的として、塊成鉱の高温還元性や鉱石層の高温性状(1000℃以上の高温での軟化・収縮・溶融・滴下の挙動)が重視された。

高炉炉内におけるコークスの挙動については、衝撃などの物理的要因とガス化・溶融還元などの化学的要因の双方から検討が進められ、コークスの粉化機構の検討およびコークス粉発生挙動の定量化が試みられた。粉化機構については塊状帯部でのガス化反応に伴い生成するコークス脆化層が摩耗・破壊して生成すると考えられ、コークス強度と反応性の関係、反応条件(温度・ガス組成など)の粉化に及ぼす影響が調査された。

また塊成鉱の挙動については、ピソライト鉱石の多量使用に伴うAl₂O₃の影響評価とその無害化技術について多くの研究が進められた。焼結鉱の低SiO₂化はAl₂O₃の無害化に寄与し高温性状を改善すること、鉱石層厚の低薄化や小塊コークスの混合装入は鉱石層上部の還元性を改善することで、鉱

石層全体の高温性状の改善に寄与することが確認された。

一方で、高炉操業の抜本的な改善技術として、高炉熱保存帯温度の制御を狙った高反応性コークス製造使用技術や鉄源に直接還元材を混在させた塊成鉱の製造使用技術が検討された。また地球環境に配慮しC比低減と通気性改善による生産性向上を狙った部分還元鉄製造や通常焼結ラインでの還元焼結鉱の製造技術が提案されている。

1.4.2 焼結鉱の高温還元性状改善

結晶水を含むピソライト鉱石、特にAl₂O₃の高い鉱石を使用する場合、生産性低下のみならず、強度・歩留の低下および耐還元粉化性RDI (Reduction Degradation Index) の悪化が生じることから、焼結鉱製造段階でコークス原単位が高くなり、高温還元性や高温性状の悪化に繋がっていた。そのためAl₂O₃無害化の検討が実施され、初期融液の同定や焼結鉱の主構成鉱物であるカルシウムフェライトの還元平衡の検討、焼結鉱JIS-RIや気孔率の影響、高温融着現象の検討などが実施された。対策として1995年前後から焼結鉱の低SiO₂化による脈石量の低減が推進され、高温還元性状(S値の低下)の飛躍的な改善により、高炉の通気性・還元性が改善され低SiO₂化(1985年5.5%→1995年5.3%→2000年4.9%)が加速された。低スラグ化に伴いRDIは上昇したが、微粉炭多量吹き込みに伴う熱流比低下の影響でRDI緩和が可能と考えられた。ただし、脈石量低減に伴う強度低下抑制策あるいはスラグ中Al₂O₃の増大により滴下過程および炉床部でのスラグ粘性への悪影響が懸念され、焼結鉱脈石成分CaO/SiO₂、MgO等の影響が検討されている。

1.4.3 高反応性コークス使用による高炉内反応効率向上技術

高反応性コークス使用技術は、コークスの反応開始点を低温化することで、高炉の熱保存帯温度・還元平衡点を制御し、また高温での還元ポテンシャル向上により塊成鉱の間接還元を促進することを狙った技術として提案された。ただし、これまではコークスの反応性を高めると強度が低下することから、その製造法が課題とされていたが、最近Ca含有量の高い石炭を3~8%使用した高強度・高反応性コークスの製造法が確立され、実高炉での全量使用試験により還元材比の低減が可能であることが確認された。コークスの機能として通気通液性の媒体としての機能は必要であるが、高炉の反応効率改善を目指し、上記高反応性コークス以外にも触媒添加型の炭材の開発や鉄含有成型コークス製造などの検討がなされつつある。

1.4.4 含炭塊成鉱使用による反応効率向上技術

含炭塊成鉱の製造研究は20数年前にも検討されたが、高炉の生産性向上技術として再び脚光を浴びている。炭材を内装した塊成鉱の還元速度に関する理論検討（カップリング反応）、高温場における還元・溶融挙動の調査あるいは形状（ブドウ状、テトラ型など）に関する検討、強度の高い炭材内装熱間成型ブリケットの製造および還元・浸炭挙動など、内装炭材の種類、量の検討や還元速度に関し数多くの検討がなされている。高炉内条件での反応挙動の調査によれば、通常1,000℃の熱保存帯温度を820℃前後まで低下でき、かつ反応効率を改善できること、焼結鉱との混合使用が望ましい等の知見が出つつあり、今後の発展が期待されている。

1.5 高微粉炭吹き込み（PCI）下での高炉操業技術

高炉への微粉炭吹き込み操業は、第2次石油危機後の1981年に新日鐵大分第1高炉に大型高炉として初めて採用されて以来、急速に普及し1998年には日本国内で稼働中の30基の高炉すべてに吹き込み設備が設置された。微粉炭吹き込み操業は（1）コークス炉の老朽化対策としてのコークス代替還元材 （2）安価非粘結炭使用による溶鉄コスト低減を目的として行われる。

微粉炭多量吹き込み時の高炉内現象を模式的に図1.3に示した。炉頂から供給されるコークス代替として、羽口から微粉炭が供給されるので炉頂温度が上昇する。また、鉱石／コークス比の増加による炉上部の圧力損失の上昇、融着帯の通気性の悪化、未燃焼PC、コークス粉の蓄積による炉芯不活性化等により高炉全体の通気が悪化する。また、ガス流の周

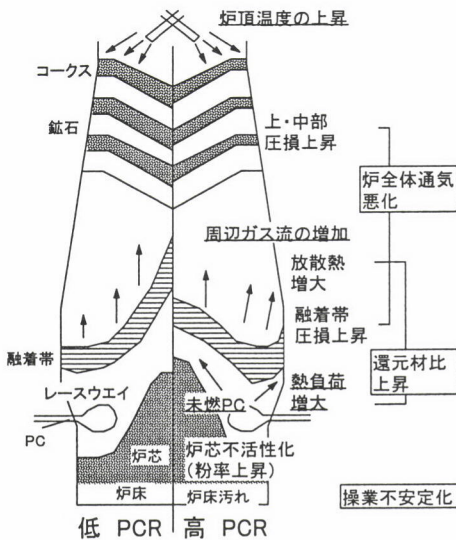


図1.3 微粉炭多量吹き込み時の高炉内現象

辺流化による炉体放散熱の増加により還元材比が上昇する。また、炉床汚れにより出鉄率が安定せず、操業自体が不安定化する問題がある。高出鉄比、低還元材比操業時に高微粉炭比操業を行うにはこれらの課題を解決することが必要となる。

1990年以降の国内各社の大型高炉の微粉炭吹き込み操業の実績を数例図1.4に示した。1990年代には、微粉炭吹き込み設備の導入、吹き込み量の増加とともに、コークス比が350～400 kg/tまで低下した。2000年以降、出鉄比が増加するとともに、微粉炭比はむしろ低下傾向を示している。

過去10年間の微粉炭多量吹き込み操業実績を表1.1に示した。加古川第1高炉では、1994年に年間微粉炭比210 kg/t、1998年3月に月間微粉炭比254 kg/tを達成した。炉頂ガス温度上昇と炉体熱負荷増大に対しては酸素富化の増加、融着帯根位置の上昇を抑止するために炉壁近傍のo/cを上昇した。また、同時期1998年6月に福山第3高炉でも微粉炭多量吹き込み操業を行い、月間微粉炭比266 kg/tを達成した。燃焼性を改善するために高燃焼率の酸素—微粉炭ランスを採用した。このように、高微粉炭操業技術自体は90年台末にはほぼ確立された。ただ、いずれも出鉄比が2.0以下、還元材比も500 kg/tを大きく上回る条件での高微粉炭比操業と

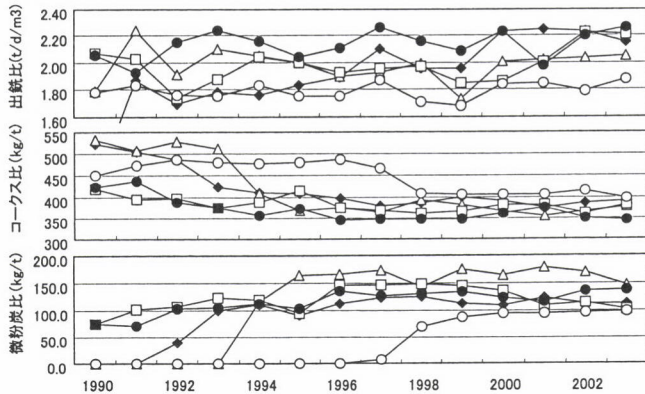


図1.4 国内各社の大型高炉の微粉炭吹き込み操業

表1.1 1990年代微粉炭多量吹き込み操業実績

会社		NKK	神戸製鋼	NKK	神戸製鋼	神戸製鋼	新日鐵
高炉		福山 3	加古川 1	福山 4	加古川 3	神戸 3	君津 3
内容積	m³	3223	4550	4288	4550	1845	4063
装入装置		Bell+MA	Bell+MA	Bell+MA	Bell+MA	Bell-less	Bell-less
年月		'98.6	'98.3	'94.10	'98.3	'98.3	'93.11
生産性	t/d/m³	1.90	1.88	1.97	1.88	2.14	1.86
コークス比	kg/t	289	291	314	291	294	318
微粉炭比	kg/t	266	254	218	203	203	181
還元材比	kg/t	555	546	532	495	497	499
酸素富化率	%	4.80	4.10	2.70	4.10	2.80	3.67
送風温度	℃	1220	1233	1238	1233	1200	1224
スラグ比	kg/t	266	265	274	265	279	284
ランス種		Oxy-coal	Single	Eccentric Double	Single	Single	Single