

概要

- (1) 弊社の熱解析モデル(熱平衡モデル)は、熱物質収支やRistモデル、熱量線図等で個別計算に問題が無いことは別途確認しています。しかし、同解析モデルには反応速度が加味されていないので、総合検証として、実高炉操作データ(国内の最低燃料比記録^{*1})を使用し、その再現性を検証しました。また、
- (2) 同解析モデルを使用し、燃料原単位を支配する炉下部の熱バランスについて、①実高炉、②現高炉(想定)、③SimpLE (ver.1.ck)、④キュポラ(別計算プログラムによる計算)を比較し、夫々の炉下部への見掛け供給熱量(燃料潜熱、羽口ガス顕熱)、Gross/Net供給熱量(全供給熱)を明らかにすると共に、SimpLE (Duplex高炉)の炉下部熱が最小であることを比較提示しました。

I. 炉内の熱物質収支

計算前提	想定値	①JFE福山 3高炉 ^{*1}		②現高炉(想定)	③SimpLE(ver.1.ck)	④キュポラ(鑄物)；参考
計算結果	Unit	実績値	解析値	解析値	解析値	別途推定計算
溶銑	温度	1481		1500	1500	1574
	C	4.48		4.5	4.5	3.1
	Si	0.27		0.4	0.4	1.9
Slag ratio	kg/tp	274		304	233	50
予熱ガス (予熱空気)	ガス(熱風)比	934	935	1031	還元ガス；300+800	
	ガス(熱風)温度	1353		1100	900,1300	
	H ₂ O	5.6		23.7	0	
	O ₂ 富化	0		45	N/A	
常温酸素		N/A		N/A	106	N/A
炉頂ガス	Temp.	73		170	124	コークスベッド 上端 1500
	炉頂ガス比	unknown	1377	1615	1343	同上
	CO	20.2	17.2	24.5	32.2	同上
	CO ₂	24.5	26.2	21.3	27.8	同上
	H ₂	1.7	2.3	5.9	36.5	同上
焼結比	%	96.6		85	85	戻し銑比 50%
燃料	燃料比	396.1		505	N/A	
	コークス比	354.0		305	166.8	
	羽口燃料比	Tar 42.1		PCI 200	Tar 16.3	
	CH ₄	0	0		ガス改質用 3,166	
	COG	0	0		1,093	
シャフト効率	%	97.5		88.2	95	N/A
直接還元率(DRR)	%	32.5		32	0	N/A
コークスガス化開始点	°C	unknown	1100	1000	N/A	
W点温度(TR) Temp	°C	unknown	810	950	817	N/A
ヒートロス	MJ/tp	521	480	480	420	炉下部のみ 690

*1) 出典：鉄と鋼_68(1982)_2362, 1981年操業データ

解析モデルの検証と其処から判ること：

JFE福山3高炉の操業データから、計算前提になる数字を入力し、解析モデルの計算結果を実績値と比較すると、

1. コークスガス化開始点を含めた熱収支上の誤差はヒートロスに集約されますが、後述の炉下部全体熱と比べても誤差は十分に小さいと考えます。
2. 物質収支上の結果誤差は炉頂ガスに集約され、多少の誤差はありますが原料等の詳細条件不明な中では十分再現できていると考えます。
3. 従い、高炉の熱物質解析は、主要操業変数(DRRやTR等)が決まれば、熱平衡モデルでも解析・検証できることが判ります。但し、従来高炉のDRR(直接還元率)は融着帯を含む炉下部の影響や材料/ガス分布の影響を受け、解析上求めること自体が難題です。
4. *SimpLE (Duplex 高炉)*では、主要操業変数(DRRやTR)が調整可能または一義的に決まる^{*2}のが特徴であり、熱平衡モデルでも従来高炉以上に実用的に解析・検証できると考えます。

*2) 参照：Home page(<https://simple-labo.co.jp/>) 「Duplex高炉」

II. 炉下部での熱バランスと熱移動について

1) 炉下部の熱バランス

			①JFE福山 3高炉*1	②現高炉(想定)	③SimpLE(ver.1.ck)	④キュポラ(鋳物)；参考
熱収支の対象領域(ガス温度)			≧1100°C	≧1000°C	≧1300°C	≧1500°C
INPUT熱		MJ/tp	14,660	17,310	9,170	推定値↓ 4,750
顕熱	装入物	MJ/tp	1100 °C 1,340	1000 °C 1,250	1300 °C 1,440	1200 °C 1,040
	コークス	MJ/tp	1100 °C 460	1000 °C 330	1300 °C 200	1200 °C 210
	ガス(空気)	MJ/tp	1353 °C 1,790	1100 °C 1,590	1300 °C 460	450 °C 380
潜熱	コークス	MJ/tp	LCV 9,510	7,810	3,580	3,120
	燃料	MJ/tp	LCV 1,560	6,330	610	0
	ガス(空気)	MJ/tp	0	0	2,880	0
OUTPUT熱		MJ/tp	14,660	17,310	9,170	4,750
顕熱	銑滓 ※1	MJ/tp	1481 °C 2,070	1500 °C 2,150	1500 °C 2,020	1574 °C 1,680
	ガス(空気)	MJ/tp	1100 °C 2,080	1000 °C 2,200	1300 °C 900	1000 °C 1,620
潜熱	ガス(空気)	MJ/tp	8,010	10,550	5,890	400°C過熱↑ 820
反応熱 Qr: 分解熱 (FeO, SiO ₂ , MnO, & P ₂ O ₅)		MJ/tp				酸化熱 -60
	Qr ※2	MJ/tp	2,220	2,200	150	
炉下部ヒートロス Qhl		MJ/tp				
	Qhl ※3	MJ/tp	280	210	210	690
Balance			0	0	0	0

2) 炉下部への見掛け供給熱量

			①JFE福山 3高炉*1	②現高炉(想定)	③SimpLE(ver.1.ck)	④キュポラ(鋳物)；参考
燃料潜熱		MJ/tp	11,070	14,140	7,070	3,120
予熱ガス顕熱	25°C基準	MJ/tp	1,790	1,590	460	380
見掛け供給熱量		MJ/tp	12,860	15,730	7,530	3,500

3) 炉下部への供給熱量 (炉下部着熱量)

			①JFE福山 3高炉*1	②現高炉(想定)	③SimpLE(ver.1.ck)	④キュポラ(鋳物)；参考
炉下部供給熱	25°C基準	MJ/tp	14,660	17,310	9,170	4,750
炉下部排出熱	25°C基準	MJ/tp	10,090	12,750	6,790	2,440
Gross 供給熱量 (= Σ※1~3)		MJ/tp	4,570	4,560	2,380	2,310

Gross 供給熱量から、炉下部境界温度の銑滓顕熱を差し引くと、炉下部に実質供給されたNet熱量が求まり、

炉下部境界温度の銑滓顕熱		MJ/tp	1,550	1,510	1,400	1,040
Net 供給熱量	境界温度基準	MJ/tp	3,020	3,050	980	1,270

IIの考察:

Net 供給熱量は、熱計算領域内で銑滓(溶銑とスラグ)に供給された熱と外部熱損失を表します。境界温度や銑滓品質が同じなら、Net供給熱量の違いは、スラグ比、反応熱(分解熱)、炉体ヒートロスの違いに拠ります。例えば、福山3高炉と現高炉は、炉下部の見掛け供給熱量が3GJ/tp異なりますが、直接還元率等が同等なのでNet 供給熱量は殆ど変わりません。燃料比差は、炉下部排出ガスの潜熱差(2.5GJ/tp)に繋がっており、銑鉄製造熱とは別に燃料ガス化(還元ガス製造)に多く消費されていることが判ります。

II.の結論:

1. SimpLEでは、炉下部の直接還元反応を無くすことで、炉下部へのNet供給熱量を現高炉の約1/3に低減できます。
2. 更に、直接還元反応を取り除くことと併せて、還元ガスを別供給することにより炉下部の燃料ガス化(還元ガス製造)熱を不要化することで、炉下部への見掛け供給熱量を現高炉より8 GJ/tpも低減でき、コークス比や燃料比の大幅に削減できるようになります。

III. 炉下部からの排出ガス量 (ご参考)

排出ガス量比	Nm ³ /tp	1377	1615	500	697
ガス圧力	MpaG	3.6	3.6	3.5	0
実ガス量比(1300°C)	m ³ /tp	1,725	2,023	640	4,018

III.の結論:

SimpLEの炉下部排出ガス量は一番少なく、従来高炉の約1/3になります。

以上