

1. はじめに

石灰石焼成炉では、炉内に原料の石灰石と燃料の石油コークスを投入し、炉下部の吹き込みノズルから空気を供給して石油コークスを燃焼し、その燃焼熱により石灰石を焼成して生石灰を生成する。炉内において燃焼空気が炉内全体に十分に供給されない場合、石油コークスが不完全燃焼を起こして熱効率が低下する。そこで本研究では、石灰石焼成炉において、燃焼用空気の供給量を変更した時の熱効率および石油コークスの燃焼熱を推算し、炉内での燃焼挙動を検討した。

2. 熱効率および燃焼熱の計算法

図 1 に対象とした焼成炉の概略を示す。焼成炉は高さ 9100mm、内径は炉下部が φ1000mm、中央部が φ2400mm、炉上部が φ1800mm の円筒状であり、炉上部から原料の石灰石と石油コークスを投入し、炉下部の吹き込みノズルから燃焼用空気を供給する。

熱効率の推算に用いた石油コークスの燃焼反応および石灰石焼成反応を表 1 に示す。また、表 2 に石油コークスの元素分析値を示す。計算においてまず、投入した石灰石と石油コークス量を基に、各反応式で反応する C、H₂、S のモル量を仮定する。次に、各反応で生成する化学種のモル量と O₂ 量が排ガス組成の測定値と一致するように供給空気モル量を求め、各反応における C、H、S の反応量 w_i を決定する。熱効率 η は、式 (1) で求める。

$$\eta = \frac{Q_{\text{reac, CaCO}_3}}{H_\ell} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで H_ℓ は石油コークスの低位発熱量、Q_{reac, CaCO₃} は焼成反応における吸熱量であり、焼成反応の反応熱と投入石灰石量から与える。また、焼成炉内で石油コークスの燃焼により発生した燃焼熱 H_{comb} は式 (2) で求める。

$$H_{\text{comb}} = \sum_{i=1}^{N_r} \Delta H_{r,i} w_i \quad [\text{kcal}] \quad (2)$$

ここで N_r は反応式数 (=6)、ΔH_{r,i} は反応 i における反応熱、w_i は反応 i における反応量である。

3. 解析結果および考察

ここでは、燃焼空気供給量の少ない場合 (case1) と多い場合 (case2) の 2 条件に対して熱効率および燃焼熱を求めた。また、投入した石灰石と石油コークスの質量比は case1、case2 ともに 9.4 kg-CaCO₃/kg-coke である、case1 および case2 における排ガス組成の測定値を表 3 に示す。この排ガス組成と一致するように燃焼空気の空気比 α を求めたところ、case1 の場合 α=0.83、case2 の場合 α=1.59 であった。case1 と case2 における熱効率と燃焼熱の計算結果を表 4 に示す。熱効率は case1 と case2 で同じとなった。熱効率は石灰石の吸熱反応に必要な熱量と石油コークスの低位発熱量から求めており、case1 と case2 における石灰石と石油コークスの質量比は同じであるため、熱効率は同じとなる。一方、燃焼熱に関しては、case1 と case2 で差が生じた。空気比の多い case2 における燃焼熱は大きくなっているが、これは空気比を多くすることにより石油コークスの不完全燃焼が改善されたためである。しかしながら、燃焼熱が増加しているのに熱効率が上がっていないのは、排ガスとして熱が持ち出されているためである。

以上より、熱効率および燃焼熱に及ぼす空気供給量の影響が示された。今後、石油コークスの不完全燃焼を解消するため、石灰石と石油コークスの質量比、原料と燃料の粒子径、空気の供給方法の変更による影響を検討する。

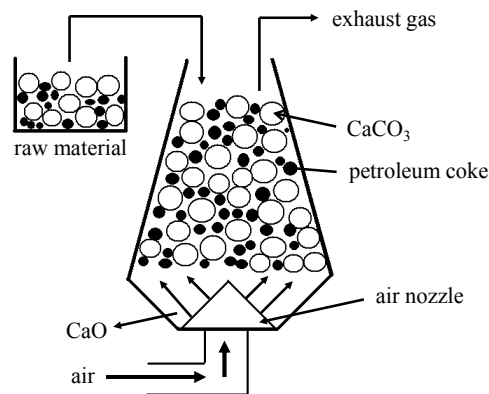


図 1 石灰石焼成炉概略

表 1 反応モデル

石油コークス燃焼反応				ΔH _{r,i} [kcal/kg]
1	C	+ O ₂	→ CO ₂	8033
2	C	+ 1/2 O ₂	→ CO	2450
3	C	+ H ₂ O	→ CO + H ₂	-2350
4	C	+ 2H ₂	→ CH ₄	-1700
5	H ₂	+ 1/2 O ₂	→ H ₂ O	884
6	S	+ O ₂	→ SO ₂	56
石灰石焼成反応				
7	CaCO ₃	→ CaO + CO ₂		-3995

表 2 石油コークスの元素分析値

C	[wt%]	83.4
H	[wt%]	3.07
S	[wt%]	2.24
O	[wt%]	1.86
N	[wt%]	2.14
w	[wt%]	7.3
H _ℓ	[kcal/kg-coke]	8033

表 3 排ガス組成

排ガス組成 [%]	case1		case2	
	計算値	実測値	計算値	実測値
CO ₂	33	32	23	24
CO	3.6	3.6	2	1.8
H ₂	1.6	1.6	1.2	1
CH ₄	0.4	0.4	0.2	0.2
O ₂	1.9	1.9	6.6	6.6
N ₂	60	60	67	66
SO ₂	0.2		0.1	
排ガス温度 [°C]		115		314

表 4 熱効率と燃焼熱の計算結果

	case1	case2
η [%]	49.7	49.7
H _{comb} [kcal]	5845.7	6556.3