

669, 162, 283, 662, 614  
(49) エネルギー収支理論式による

高炉操業の考察 63239

N.F 炉研究所 ○鈴木博良

Some Consideration on the Operation of Blast Furnace by Theoretical Equation of Energy Balance. 1353 ~ 1354

Hiroyosi Suzuki.

I. 結 言

著者は一般製鉄装置の物質収支と共に、全反応物質および生成物質の生成熱・エンタルピー、外部加熱熱量、損失熱より確立されるエネルギー収支基礎式について、

1) 0.3% の誤差範囲内で、基準状態 (25°C, 1atm) における次の物質の生成熱間には次式が成立する。

(ΔHCO2)s - (ΔHCO)s = (ΔHW)s  
[W : H2O(l)].....(1)

2) Dulong の考え方に基づいて、燃料 kg 当りの総発熱量 Qf を次式で示す。

Qf = (ΔHCO2)s · (C/12) + (ΔHW)s · (h/2 - O/16).....(2)

(C, h, O は燃料中の炭素、水素、酸素の割合) を用いて整理し、燃料当りの製鉄量および必要酸素量を求めるエネルギー収支理論式を誘導し、更にその式による計算値と実際値の比較を、木炭銑、高炉銑、電気炉銑について実施し、その良好なる信頼性を確認したり。

そこでこの理論式の応用として、高炉操業の送風処理の効果について解析し、特に重油添加操業については各添加割合において重油とコークスから成る合成燃料としての扱い方をした。その結果を以下に報告する。

II. 理論式の説明

エネルギー収支理論式は次のように示される。

P = (1/β) · {α + γ + δ - ε - ζ - 3050 · (CO + H2) / Qf}  
O2 = 0.5303 · C · ηc + 0.164 · 10^-3 · Qf · (P · β - γ - δ + ε + ζ) - 22.4 · P · km\*

上記中の α ~ ζ は無次元項であり各熱量と Qf との比であるが、これを解析上便利な形に書換えれば次式となる。

P · (Δqm\* + 8150 · pc) = Qf + Δq'R + Δq'H - Δq'G - Δq'L - 3050 · (CO + H2)  
O2 = 22.4 { C · ηc / 12 + 0.5(h/2 - O/16) } - 0.5(CO + H2) - 22.4 · P · km\*

P : 燃料 kg 当り製鉄量 [kg/kg-fuel]  
O2 : " 必要酸素量 [m³/kg-fuel]  
(CO + H2) : " 発生 CO, H2 の合計量 [ " ]

Qf : 燃料総発熱量 [kcal/kg]  
C, h, O : 燃料中の炭素、水素、酸素の割合

pFe, pc, pMn, pSi: 銑鉄中の Fe, C, Mn, Si の割合  
pCaO: 銑鉄 kg に対する煨焼分解 CaO の割合

ΔqR': 燃料 kg 当り送入物頭熱と水蒸気潜熱 [kcal/kg-fuel]

Δq'G: " 排ガス " [ " ]

Δq'H: " 外部加熱熱量 [ " ]

Δq'L: " 損失熱 [ " ]

ηc: 燃料中炭素のガス化率

= 1 - pc · P / C

Δqm\*: 銑鉄 kg 当り製鉄必要熱量 [kcal/kg-pig]  
= (Hpig)' + W'slag · {(ΔHslag)' - (ΔHsili)s'} + 291.7 · pc + pFe · (1157 + 590.9 · kFe/ηFe) + pMn · (1760 + 333.2/ηMn) + 7423 · pSi + 617 · pCaO

km\*: 銑鉄 kg 当り銑石中の被還元酸素量 [Kmol/kg-pig]  
= 8.953 · 10^-3 · pFe · (1 + kFe/2 · ηFe) + 9.102 · 10^-3 · pMn · (1 + 1/3 · ηMn) + 35.64 · 10^-3 · pSi

W'slag: 銑鉄 kg 当りの銑滓量 [kg/kg-pig]  
(ΔHpig)': 溶銑鉄の頭熱・溶融熱・Fe3C 溶解熱 [kcal/kg]

(ΔHslag)': 溶銑滓の " " [ " ]

(ΔHsili)s': 銑滓珪酸塩の基準状態時生成熱 [ " ]

kFe: 銑石中の全 Fe に対する Fe2O3 中 Fe の割合  
ηFe, ηMn: 銑石中の Fe, Mn の還元度

本式はエネルギー収支のみから導かれた結論であり、反応進行上の可能性や反応装置の能力を決定する化学平衡論や反応速度論は考慮されていない。然しながら現実の反応における収支はいかなる条件変化に際しても本式の示す基本関係が保たれねばならない。

III. 送風処理操業の解析

1. 基準値の決定 (基準温度: 25°C)

次のような製鉄を行なうものとして解析を進める。

pFe = 0.94, pc = 0.04, pMn: 0.01, pSi = 0.01, pCaO = 0.1, kFe = 1.0, ηFe = 1.0, ηMn = 1.0, pw = 0.04 (装入物中水分) W'slag = 0.4, (ΔHpig)' = 313, (ΔHslag)' = 430, (ΔHsili)s' = 140

以上より Δqm\* = 2241, km\* = 0.01310 を得る。

コークスは C = 0.885 と仮定して Qf = 7210 が得られ、高炉では外部加熱はないから Δq'H = 0 となり、損失熱は燃料 kg 当り Δq'L = 700 と仮定する。また送風は乾空気として扱う。

2. 送風温度の効果

以上の仮定と基準値により理論式を整理すれば次式が得られ製鉄量 P は Δq'R, Δq'G, (CO + H2) の一次式で示される。

2567 · P = 6510 + Δq'R - Δq'G - 3050 · (CO + H2)

次に Δq'R, Δq'G は O2 の式および pCaO, pw より次のごとく得られる。

Δq'R = (tR - 25) CPA · (4.762) · {1.652 - 0.3681 · P - 0.5(CO + H2)}

Δq'G = (tG - 25) · CPG · {7.867 - 1.37 · P - 1.881 · (CO + H2)} + 0.0498 · P · Qv

[Qv: 水蒸気潜熱 kcal/m³]

CPA = 0.33, tG = 200, CPG = 0.328, Qv = 469 を代入して

2497 · P = 5994 - 2922 · (CO + H2) + tR · {2.596 - 0.5785 · P - 0.7857 · (CO + H2)}

となりこの関係を Fig. 1 に示した。この関係式および図より定まつた送風温度 tR においては、製鉄量 P と炉頂ガス中の (CO + H2) とは負の比例をし、tR の P の逆数であるコークス比におよぼす影響は (CO + H2) によつて異なり、この値が低い程減少し、また tR が高くなるにつれて僅かに減少する。

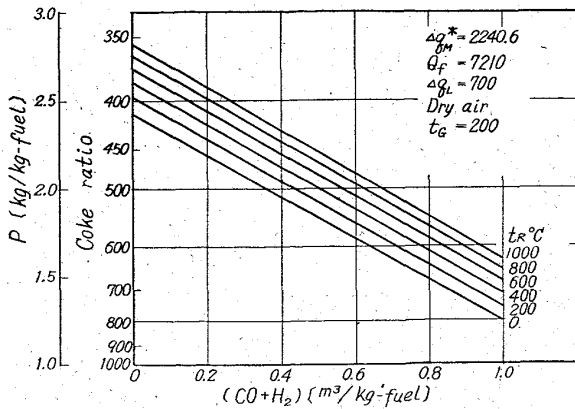


Fig. 1. Relation between  $P$  and  $t_R$ .

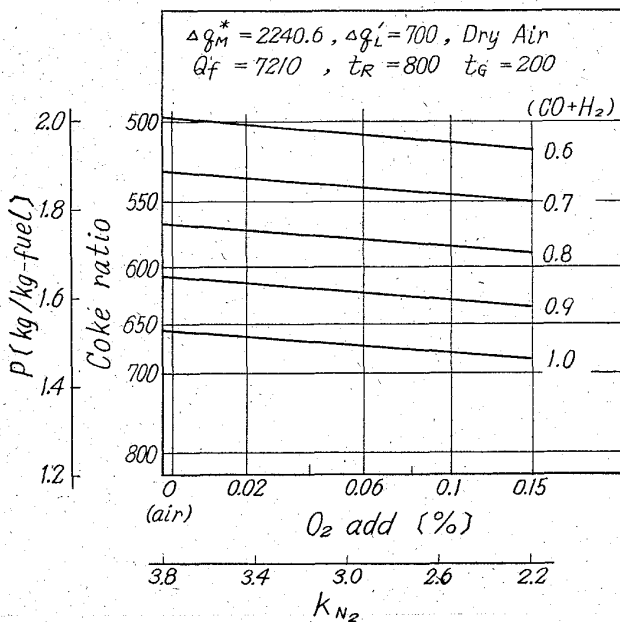


Fig. 2. Relation between  $P$  and  $k_{N_2}$ .

3. 酸素添加の効果

前同様に  $N_2 = k_{N_2} \cdot O_2$ ,  $t_R = 800$ ,  $t_G = 200$  として

$$\begin{aligned} \Delta q'_{R'} &= (t_R - 25) \cdot C_{PA} \cdot (1 + k_{N_2}) \cdot \{1 \cdot 652 - 0 \cdot 3681 \cdot P - 0 \cdot 5 \cdot (CO + H_2)\} \\ \Delta q'_{G'} &= (t_G - 25) \cdot C_{PG} \cdot [1 \cdot 652 + 0 \cdot 015 \cdot P + k_{N_2} \cdot \{1 \cdot 652 - 0 \cdot 3681 \cdot P - 0 \cdot 5 \cdot (CO + H_2)\}] + 23 \cdot 4 \cdot P \\ 2685 \cdot P &= 6838 - 3178 \cdot (CO + H_2) + k_{N_2} \cdot \{327 \cdot 7 - 73 \cdot 0 \cdot P - 99 \cdot 2 \cdot (CO + H_2)\} \end{aligned}$$

が得られ、この関係を Fig. 2 に示した。これより酸素添加が 15% 程度までの範囲では、ほとんど製鉄量  $P$  と添加  $O_2$ % とは負の比例をなす。従つて  $O_2$  添加で炉頂ガス温度  $t_G$  の低下、生産量増大による損失熱  $\Delta q_{L'}$  の低下または  $(CO + H_2)$  の低下がない限り、逆にコークス比は増加する。その増加割合は  $(CO + H_2)$  が高い程僅かながら大きい。

4. 重油添加の効果

コークスと重油とは別々に送入されるが、全装置的にみた場合これらは各割合に配合された合成燃料と考えられる。従つて重油添加時の燃料の  $C_f$  および  $Q_f$  は  $C_{coke} = 0 \cdot 885$ ,  $Q_{coke} = 7210$ ,  $C_{oil} = 0 \cdot 8652$ ,

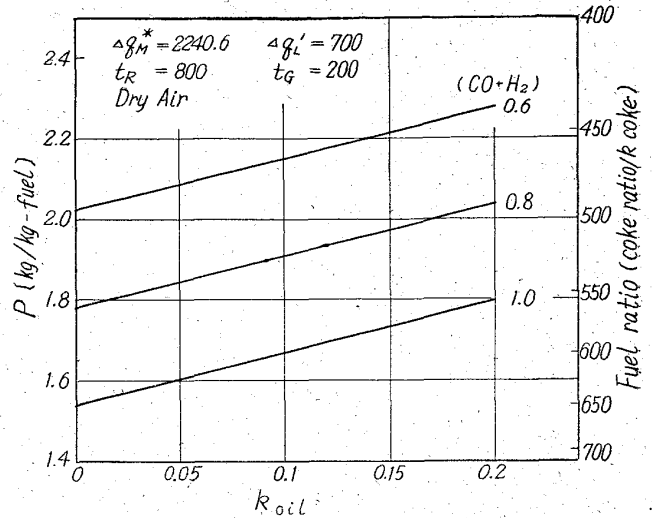


Fig. 3. Relation between  $P$  and  $k_{oil}$ .

$h_{oil} = 0 \cdot 1027$ ,  $O_{oil} = 0 \cdot 01$ ,  $Q_{oil} = 10510$ ,  $k_{oil} + k_{coke} = 1$  とすれば  
 $C_f = 0 \cdot 885 - 0 \cdot 0198 \cdot k_{oil}$ ,  $Q_f = 7210 + 3300 \cdot k_{oil}$  となる

前同様に  $t_R = 800$ ,  $t_G = 200$  として

$$\begin{aligned} \Delta q'_{R'} &= (t_R - 25) \cdot C_{PA} \cdot (4 \cdot 762) \cdot \{1 \cdot 652 + 0 \cdot 5309 \cdot k_{oil} - 0 \cdot 3681 \cdot P - 0 \cdot 5 \cdot (CO + H_2)\} \\ \Delta q'_{G'} &= (t_G - 25) \cdot C_{PG} \cdot \{7 \cdot 867 + 3 \cdot 11 \cdot k_{oil} - 1 \cdot 37 \cdot P - 1 \cdot 881 \cdot (CO + H_2)\} - 23 \cdot 4 \cdot P \\ P &= 2 \cdot 748 + 1 \cdot 283 \cdot k_{oil} - 1 \cdot 209 \cdot (CO + H_2) \end{aligned}$$

が得られ、この関係を Fig. 3 に示した。この場合のコークス比は次式で計算される。

$$Coke\ Ratio = 1000 \cdot (1 - k_{oil}) / P$$

関係式および図から製鉄量  $P$  は重油添加割合  $k_{oil}$  と比例して増加するから、重油の未燃損失が無い限りコークス代替率は常に 1 以上となる。またこの代替率は  $(CO + H_2)$  により異なり  $(CO + H_2)$  が小さい操業における程低下する。

IV. 結 言

以上エネルギー収支論式によつて送風処理の効果について解析したが、極めて単純にしかも明確な傾向をつかむことができた。各処理効果において常に炉頂ガス中の  $(CO + H_2)$  が相関関係にあつて大きく影響しているから、効果についての説明はこれとの関連でなされるべきものとする。

文 献

- 1) 化学工学協会：第28年会研究発表講演要旨 p. 77, 鈴木・国井 (本論文は同協会に投稿中)