

討 5 石炭事前処理技術の数学モデルによる評価

住友金属工業（株）中央技術研究所：○西岡邦彦 三浦 潔
住金化工（株）：植田 宏 小川真資 吉田周平

1. 緒言

わが国のコークス技術の進展の中で、コークス品質の安定化を目的とした粒度調整、混合、配合等の石炭事前処理技術は重要な位置を占めてきた。今後も上記技術の改善努力は継続されるであろうが、さらに近年では成型炭配合法、調湿炭法、予熱炭法等の新しい石炭事前処理技術が下記の観点より重要性を増している。

i) 装入炭の嵩密度向上によるコークス品質改善効果を活用した原料コストの低減

ii) 装入炭の乾燥・予熱による乾留時間短縮効果を活用した乾留エネルギーおよび設備コストの低減

しかし一方で、これらの事前処理技術をコークス品質面のみならず炉操業面から総合的に評価することは、技術選択基準の決定的根拠が不明確なだけに極めて困難である。本報告ではコークス化機構を考慮した乾留モデル^{1, 2)}を用いて、原料品位対応性および生産変動対応性の面から各種技術の評価を実施するとともに炉巾との関係についても検討を加えた。

2. 評価方法

2.1 評価モデルの概要

(1) 乾留モデル

コークス化の基本的機構は、炉巾方向の任意位置が伝熱により軟化帯を形成した時点で石炭はガスを発生しながら膨張し、炭中側粉炭層を圧密する一方、壁側コークス層に熔融物とガスを供給してコークス化し、逐次炉巾方向の密度が決定されるとする (Fig. 1)。本モデルでは上述の機構を前提とした炉巾方向における一次元モデルで構築

されている (Fig. 2)。

具体的構成は、原料性状、装入条件、乾留条件および炉体諸元を入力値とし、炉巾方向の任意位置の石炭層とコークス層の密度変化を逐次計算し、熱伝導方程式中の密度項の入力値として用いるとともに、これを気孔率 (P) に換算して下記のコーク

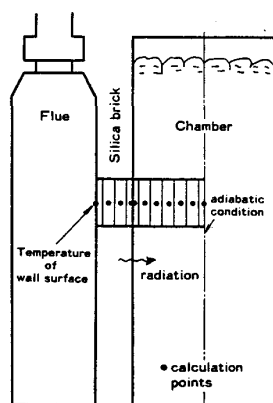


Fig. 2 Simulation model of the coke oven.

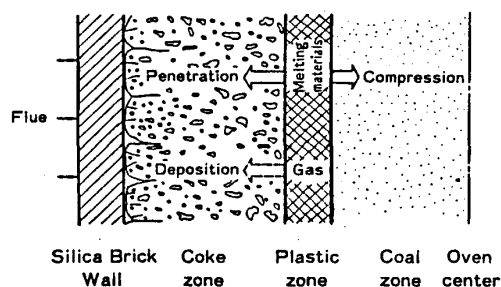


Fig. 1 Material transfer model during the carbonization.

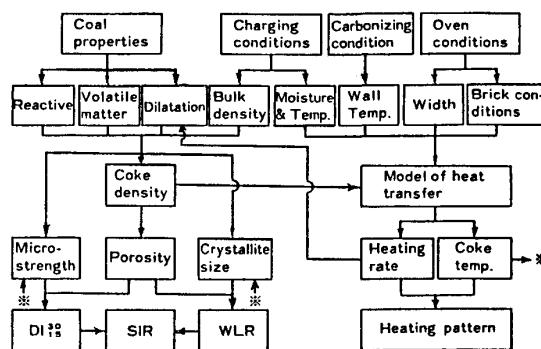


Fig. 3 Construction of the simulation model.

ス強度 (DI_{15}^{30}) 反応量 (WLR) 反応後強度 (SIR) 計算式を入力し、品質評価指数を算定する (Fig. 3)。

$$DI_{15}^{30} = 100 \exp[-0.81 \{ (11.4MI - 114) \exp(-42P)^{0.60} \}] \quad \dots \textcircled{1} \quad MI : \text{マイクロ強度} [-]$$

$$WLR = 160 (P - 0.102)^{0.67} \exp(-6.08 \times 10^{-2} Lc) \quad \dots \textcircled{2} \quad Lc : \text{黒鉛化度} [\text{\AA}]$$

$$SIR = (3.52 \times 10^{-2} DI_{15}^{30} + 1.74) (0.298WLR + 2.03) \quad \dots \textcircled{3}$$

以上の計算を実施することにより、炉巾方向の任意位置における乾留中の伝熱と品質の推移を推定できるため、事前処理を施した装入炭の乾留パターンや品質への影響を評価することができる。

(2) カーボン生成速度モデル

本モデルは Fig. 4 に示すように、軟化帯で発生したガスが炉壁側に到達後、炉壁とコークス層との間の空間（亀裂間隙を含む）を下部で生成したガスと合流し、熱分解しながら上部へ流れるとする前提で炉壁カーボンの付着量を計算する方式とした。

ここで炉壁温度、発生ガス量（水蒸気を含む）、空間量等の乾留過程における推移は、前項 (1) の乾留モデルにより逐次計算され、Fig. 5 の計算フローに従って1乾留サイクルもしくは1日当りのカーボン付着厚みを次式により計算する。

$$D = 1.42 \times 10^2 \left\{ \frac{W}{100tA} \left(VM' + \frac{100Mo}{100-Mo} \right) \right\}^{0.20} \times \left\{ (VM-8.9) - \frac{100Mo}{100-Mo} \right\} \exp(-31.5 \times 10^3 / RT) \dots \textcircled{4}$$

- D : 1時間当りのカーボン生成速度 (mm/h)
- W : 装入石炭量 (Kg), t : 乾留時間 (h)
- A : ガス通過断面積 (m²), Mo : 装入石炭水分 (%)
- VM VM' : 装入石炭の揮発分 (d. a. f. %, d. b. %)

(3) 評価の対象技術と前提

通常の湿炭法〔C〕を比較の基準とし、下記の事前処理プロセスの原料品位対応性、生産変動対応性について、Table 1 の操業前提で前記評価モデルを用いて評価した。

- i) 成型炭配合法〔BB〕
- ii) 調湿炭法〔CMC〕
- iii) 予熱炭法〔PH〕

なお、モデル試算において炭中部のコークス温度が950℃に到達した時点を経済完了とし、コークス品質および乾留時間を求めた。

3 評価結果

3.1 原料品位対応性

(1) コークス強度 : DI_{15}^{30}

燃焼室壁温度1200℃の条件で、 $DI_{15}^{30} > 93$ を確保するための原料揮発分と真膨張率³⁾との関係を Fig. 6 に示す。各プロセスとも斜線で示される範囲が $DI_{15}^{30} > 93$ であり、これより通常湿炭法の場合には嵩密度が低いため、他プロセスに比較して低揮発分・高膨張率の原料を必要とする。すなわちプロセス毎に見れば、 $C < CMC \leq BB < PH$ の順で、嵩密度の高いものほど低品位原料で所定コークス強度が得られ、原料品位対応性は高い。

なお燃焼室壁温度によりコークス強度レベルは変化するが、上記の傾向は変わらない。したがって従来の知見と同様、コークス強度面からは装入原料の嵩密度を上げる事前処理技術が望ましいといえる。

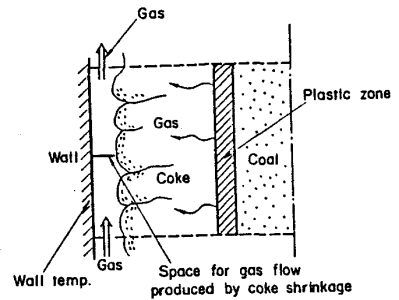


Fig. 4 The simulation model of carbon formation.

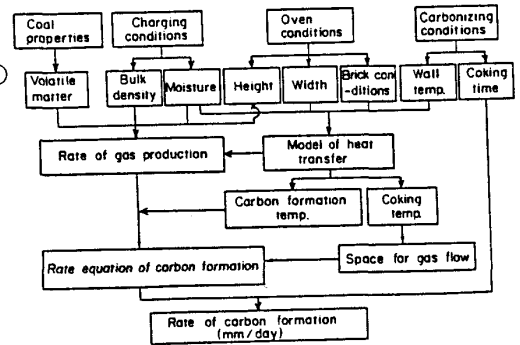


Fig. 5 The construction of the simulation model.

Table 1 Assumptions for the simulation

Process	C	BB	CMC	PH
Charging conditions				
Bulk density (kg/m ³)	715	760	750	785
Total mois. (%)	8.5	8.5	6.0	0
Coal temp. (°C)	20	20	60	170
Bri. ratio (%)	—	30	—	—
Binder or additive		RT 6.5% in bri.		Add. CT 1%
Coking conditions				
Oven width (mm)	450	→	→	→
Wall thickness (mm)	95	→	→	→
Wall temp. of combustion chamber (°C)	1100	}	}	}
	1200			
	1300			

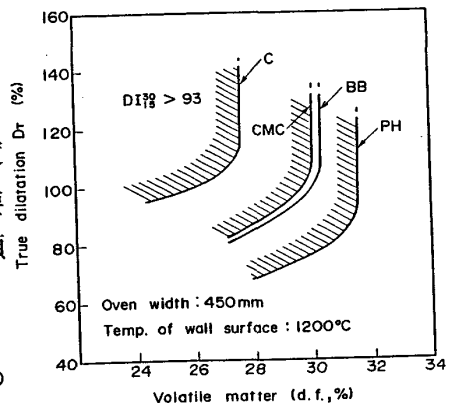


Fig. 6 Qualities of the charged coal necessary for attaining $DI_{15}^{30} > 93$.

(2) 反応後強度：SIR

通常湿炭法で $DI_{15}^{30} > 93$ を満足する一定の原料を用いて操業した場合、嵩密度の高いプロセスほどコークスの気孔率は低く、強度も高いため当然 SIR は高くなる。(Fig. 7)

しかし各プロセスとも $DI_{15}^{30} = 93$ となる限界品位の原料で操業した場合には、低品位原料を多配合できる嵩密度の高いプロセスほど、SIR の面で不利となる。(Fig. 8)。したがって燃焼室壁温度の低い操業(低稼働率)では、管理値を満足できないケースも生じる可能性がある。

上述のことから、装入嵩密度の高い事前処理技術の方が原料品位対応性は高いが、SIR 管理を重視する高炉操業では、 DI_{15}^{30} の面から許容される低品位原料の使用範囲は若干狭められると推定される。

3.2 生産変動対応性

(1) 乾留時間

装入原料を乾燥、予熱するプロセスは、当然乾留時間が短く、生産性は高い(Fig. 9)しかも稼働率変更での生産調整巾も大きく有利であるが、この場合以下に述べる炉壁カーボンの付着が制約となる。

(2) 炉壁カーボン

炉壁に付着するカーボンは、炉温が高く揮発分の多い原料を使用する場合に顕著で、炉操業の制約となる。通常湿炭法の上限と考えられる燃焼室壁温度 1300℃でのカーボン付着厚みを基準とした場合、Fig. 10 に示すように、装入原料を乾燥・予熱するプロセスでは乾留時間が短いことと相俟って水性ガス化反応によるカーボン消失がないため、付着速度は大となる。

たとえば予熱炭法では 1205℃程度で通常湿炭法 1300℃と同じカーボン付着速度となり、上限炉温の制約が厳しくなる。

上記の点を踏まえ、燃焼室壁温度と生産性との関係を整理すれば Fig. 11 のとおり、調湿炭法や予熱炭法は生産性は高いものの、カーボン付着の制約を考慮すると生産変動対応性は必ずしも高いとは言えない。カーボン付着がどの程度コークス炉操業の制約となるか議論の余地はあるが、一つの考慮すべき検討項目であろう。

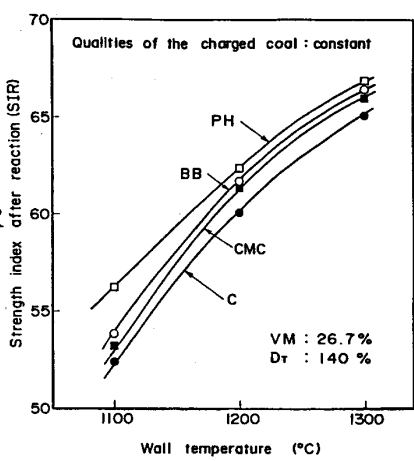


Fig. 7 SIR of cokes produced by different processes.

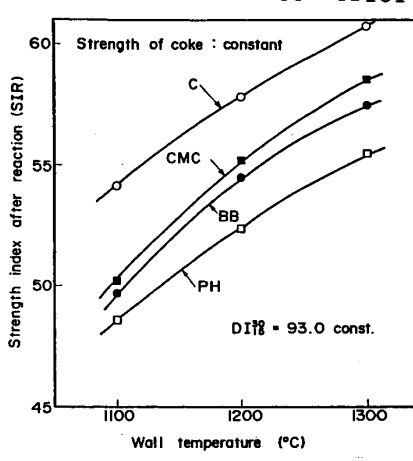


Fig. 8 SIR of cokes produced by different processes.

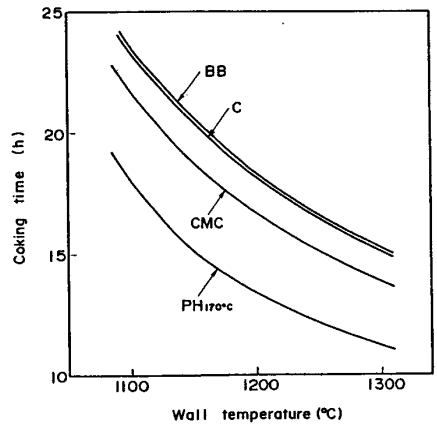


Fig. 9 Coking time of different coke making processes.

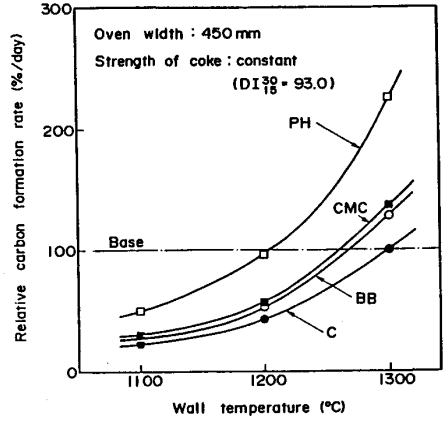


Fig. 10 Carbon formation rate of different coke making processes.

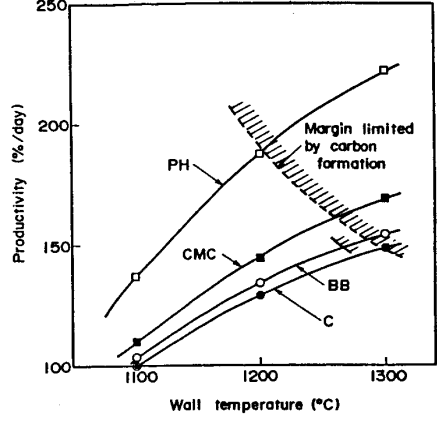


Fig. 11 Productivity of different coke making process.

3.3 コークス炉の炉巾と事前処理技術

最近注目を浴びている広巾炉と関連して、各種事前処理技術の原料品位対応性および生産性に与える炉巾の影響を評価した。

(1) 炉巾と原料品位対応性

石炭の膨張性に影響する軟化帯の昇温速度(300~500℃)は、炉壁から遠ざかるにつれ低下するため、炭中部の昇温速度はFig.12に見られるとおり炉巾が広いほど低下する。したがって膨張性の低い原料では、広巾炉の場合、コークス品質を一定に保持できないおそれがある。逆に言えば Fig.13に示すように炉巾が広がるほど膨張性の高い原料あるいは装入嵩密度の高い事前処理技術を採用しなければ所定品質のコークスを確保できず、原料品位対応性は低い。

(2) 炉巾と生産性

広巾炉における昇温速度の低下は、炉の生産性低下を意味する。Fig.14に示すように、炉巾が広がるほど1 PUSH当りのコークス生産量は増大するものの単位時間・単位容積当りのコークス生産量は低下する。したがって炉巾拡大による生産性の低下を補うためには、図中に示す装入原料の乾燥・予熱のような事前処理技術を併用するか、炉長・炉高を拡大する必要がある。

このように、広巾炉は原料品位の対応性と生産性の面で有利とは言えないが、操業上、環境上の有利性もあり総合的な評価が必要である。

4. 結言

石炭の事前処理技術を原料対応性と生産変動対応性の面から数学モデルにより評価し、下記の知見を得た。

- ① 原料品位対応性に関しては、装入炭 嵩密度の高い事前処理技術が有利であるものの、コークスの反応性の面で若干低品位原料の使用範囲は狭められることが予想される。
- ② 生産変動対応性に関しては、炉壁カーボンの付着による操業上の制約を考慮すれば、乾燥・予熱のような高生産性技術は必ずしも有利とは言えない。
- ③ 炉巾を広くするほど炭中部の昇温速度が低下するため、原料品位対応性と炉の生産性は低下する。したがって、広巾炉では乾燥・予熱のような事前処理技術を併用し、原料品位対応性と、生産性低下を軽減することが有効である。

石炭の事前処理技術を総合的に評価するためには、上記の結果を踏まえた上で、さらに資源、操業、環境および設備上の問題についても考慮する必要がある。今後さらに評価技術の向上を図り、将来のコークス技術の方向を明確にしていく所存である。

5. 参考文献

- 1) 西岡邦彦, 吉田周平, 播木道春: 鉄と鋼, Vol70, 343, 351, 358(1984)
- 2) Masashi Nagata, Kunihiko Nishioka and Shuhei Yoshida: Ironmaking Proc. AIME, Vol.44, 355(1985)
- 3) Kunihiko Nishioka and Shuhei Yoshida: Trans. ISIJ, Vol 23, 382(1983)

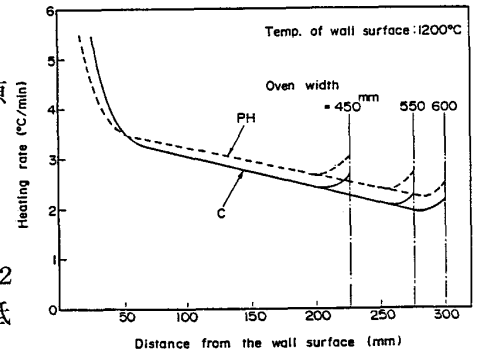


Fig. 12 Heating rates across the oven width.

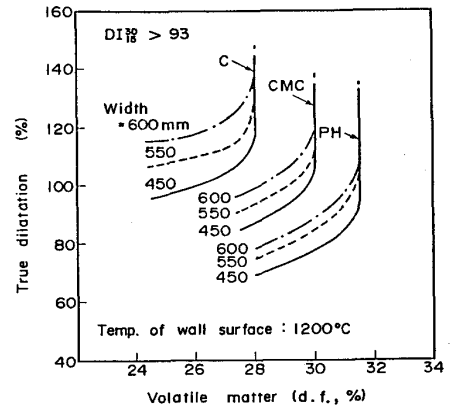


Fig. 13 Qualities of the charged coal necessary for attaining $DI_{15}^{30} > 93$

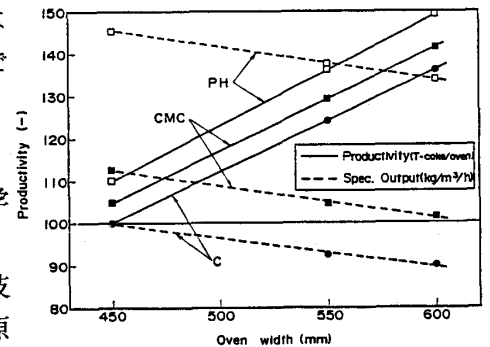


Fig. 14 Productivity of different coke making process as a function of oven width.