討1　ヤードブレンディングシステムにおける配合炭均質化プロセス

川崎製鉄(株)　水島製鉄所　○笠岡玄樹
銑鋼技術本部　滝沢　譲

1. 緒言

高炉の安定操業を保証するためには、コークス品質の安定供給は不可欠である。とくに、最近の原料炭情勢下では、石炭化度はやや過剰気味であるが、低流動性・高Ash化によるトータルコスト削減への寄与が高まりつつある。従って、より一層のコークス品質のσ低減が要求されるといえよう。

以上の観点から、当所のヤードブレンディングプロセスでの配合炭均質化対策を徹底させるとともに、低品位炭の多量配合による低流動性操業を段階的に実施してきた。

本報では、ヤードブレンディングプロセスにおいて実施してきた均質化対策の事例を紹介する。

2. ヤードブレンディング工程の概要

ヤードブレンディング工程では、銘柄別粉砕された石炭をベッディング方式で層積みを行なう。完成されたベッドは、一端から切り出され、均質混合設備を経てコークス炉へ供給される。

配合槽方式と比較すると、配合銘柄数に制約がなく、ベッドライフ（約5日）内の配合は、ほぼ一定である。本報では、配合炭の均質化の観点から、

- 銘柄別粉砕粒度の目標設計と実行のシステム
- ベッド積付時の配合均質化システム
- ベッド切出炭の均質混合システム

について述べる。

3. 銘柄別粉砕による均質化

3.1 銘柄別粉砕粒度の目標設計

装入炭粒度（－3㎜％）一定下における、各銘柄の粉砕粒度目標の決定理論は、既報[1)2)]に詳述されているので、ここではその考え方について簡単に紹介する。石炭粒子間のある品質特性値差を分散概念で定式化すると、平均品質からの偏差が大きい石炭ほど細粒化が望ましい。とくに、その特性値が流動性のように、低下にともなってコークス強度低下の影響が大きくなるような場合には、その均質化効果は大きい。

流動性をパラメータとした粒度設計は、

(1)式で表現される。

$$D=\sum_{i=1}^{m} Fi\,(MFi-\overline{MF})^2 f(Pi) \rightarrow Min. \quad \text{——} (1)$$

$$\text{制約条件}:\sum_{i=1}^{m} Fi\,Pi=100\overline{P}$$

$$Pi^L \leq Pi \leq Pi^U \quad (i=1,2,\cdots,m)$$

ここで、Fiは配合率，MFiは各銘柄の流動性，$\overline{MF}$は配合炭の流動性，Piは各銘柄の－3㎜％，$\overline{P}$は配合炭の－3㎜％，Pi^U，Pi^Lは－3㎜％上下限，$f(Pi)$はFig. 1の関数である。

(1)式により設計した配合炭と、従来より実施してきた低MF炭

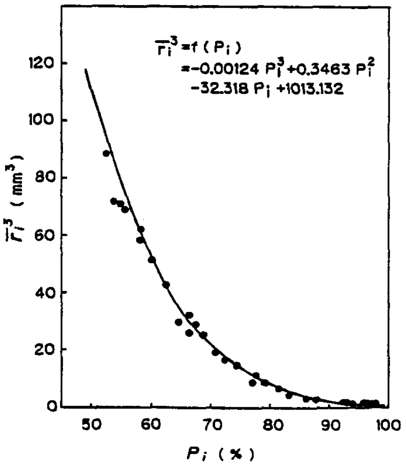


Fig.1 Relation between －3mm content, P_i (%), and cube of mean diameter, $\overline{r_i}^3$, of coal after crushing

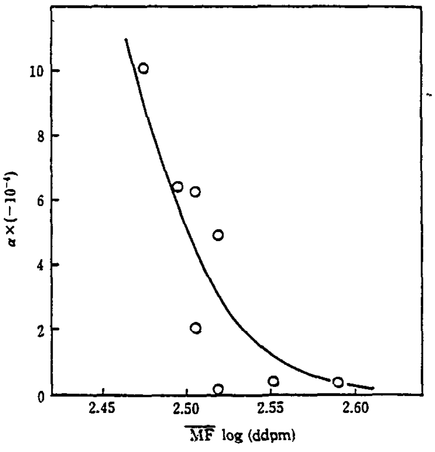


Fig.2 Coefficient $\alpha(=\partial S/\partial D)$ as a funcition of coal blend maximum fluidity ($\overline{MF}$)

4. ベッド積付時の配合の均質化

ヤードブレンディング法の特長の一つとして、層積みによる均質化効果が挙げられる。即ち、ある銘柄のロット内品質変動σに対して、$\sigma/\sqrt{\ell}$（ℓ：積付層数）まで低減が可能である。従って、ロット内品質変動の大きい銘柄や低配合率銘柄については、ℓを増やすために積付t／hを低減させている。石炭Ashについて調査した結果では、ロット内Ash変動に依存するベッド長さ方向の配合炭Ash変動は、0.023％（Table 1 σ_Q参照）と小さい。しかし、ベッド長さ方向の各銘柄の積付層数変動による配合炭Ash変動は、0.059％（Table 1 σ_P参照）と大きい。これは積付開始・終了位置がランダムなこと、および荷切れ時の層の不連続によるものである。これらについては次のシステムで対処している。

- 積付開始時に、スタッカを自動的にベッド端へ移動するシーケンス
- 荷切れ発生時に、スタッカの走行を停止するシーケンス
- 積付終了位置をベッド端に制御するシステム[3]（Fig. 6）

これらスタッキングの状態は、中央CRTでも監視され、層管理を厳重に行なっている。

以上の対策により、配合炭Ashでみた場合、σ_Pは0.020％まで低減し、全体として0.03％まで低減している。さらに、もし、何らかの不具合によりベッド長さ方向で流動性不足部位が生じたときには、高流動性炭種などで補填する仕組みも準備している。

Table 1 Calculated σ-values (%) of coal ash in the longitudinal direction of a bed

Stacking method	σ_Q	σ_P	$\sqrt{\sigma_Q^2+\sigma_P^2}$
Random stacking	0.023	0.059	0.06
Controlled stacking	0.023	0.020	0.03

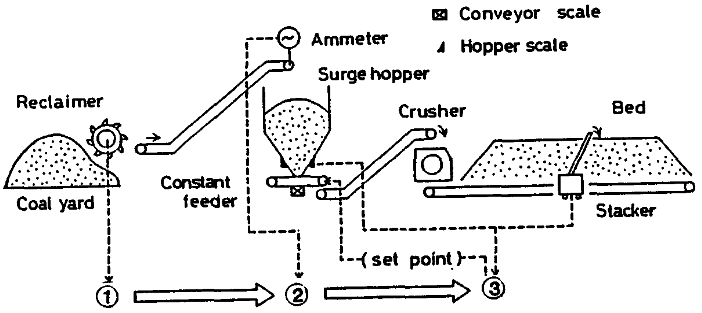


Fig.6 Control system for final stacking position

5. ベッド切出時の配合炭の均質化

ベッドの両端は配合が不均一となるため、この部分については次ベッドに層積みされる。ここでは、ダブルホイール式リクレーマによる切出時の周期変動の均質化について述べる。Fig.7に示す簡単なベッド断面モデルについてみると、切り出された石炭はリクレーマバケットの横行時間t_0の周期変動が生じる（Fig. 8の実線）。これを効率的に均質化する方法の一つとして、1／2位相差の石炭と混合することが考えられる。Fig. 8の例では$n=1$の破線で示す。このような操作を何回かくり返すことにより、非常に均質な配合炭品質が得られる。一般式で示すと、

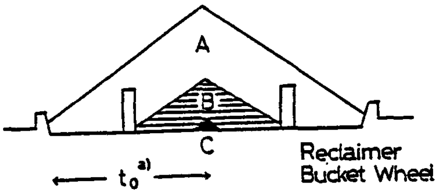
$$\sigma_n^2=(\sigma_0^2/2^n)\cdot(1+r_1)\cdot(1+r_2)\cdots(1+r_n) \quad -(3)$$

ここで、σ_n：n回の時差混合後の品質変動

σ_0：ベッド切出し石炭の品質変動

r_i：i回目の時差混合前の品質における1／2位相差間の自己相関係数

一般に、周期関数のr_iは負の値をとるので、いわゆるランダム混合の場合$\sigma_n^2=\sigma_0^2/2^n$より効率的な均質化が行なえる。実際のプロセスで時差混合を行なう方法は種々考えられ



Coal	Blend Ratio %	X b)
A	75	20
B	24	5
C	1	100

Fig.7 Simple layered bed cross section schematic
a) t_0: the period of the reclaimer's lateral traverse
b) X: coal quality characteristic

の細粒化・高MF炭の粗粒化という概念で設計した配合炭の２ベッドについてコークス強度の比較を行なった。このような比較を$\overline{MF}$ ８水準で操業した結果をFig.２に示す。縦軸aは、両者のDI$^{30}_{15}$(S)差を(1)式のD値の差で割った値である。Fig.２によると、(1)式に基づく銘柄別粉砕粒度設計が有効であり（DI$^{30}_{15}$で約0.１向上）、かつ低$\overline{MF}$配合ほどその効果は大きいといえる。

3.２　銘柄別粉砕粒度の管理

設計された－３㎜％を精度よく管理するために、衝撃式粉砕機の調整をCRTオペレーション化している。具体的には、運転開始時に目標粒度を確保した上で最大ｔ／ｈを達成するように供給量を自動設定するとともに、運転中の－３㎜％をトレンド表示し、粉砕機の調整指示を行なうものである。通常、これらの管理を行なうために、粉砕機出側でオンライン粒度分析が行なわれるが、精度維持面および設備費面での諸問題がある。そこで、当所では原炭特性値と粉砕エネルギーから粉砕後－３㎜％を予測するモデル式を開発し、長期にわたり実操業に適用してきた。基本は、Bondの粉砕則とRosin－Rammler分布式から導出される(2)式である。

$$W=\frac{c_1Q}{\sqrt{HGI}}\times[(c_2\ln P)^{1/2n}-(c_2\ln P_0)^{1/2n_0}]+W_0 \quad (2)$$

W：粉砕機の所要動力（kW）

W_0：粉砕機の無負荷動力（kW）

Q：石炭の粉砕機供給量（t/h）

HGI：石炭のハードグローブ指数

P_0, P：粉砕前後の石炭の＋３㎜重量割合

n_0, n：粉砕前後の粒度分布の幅を示すパラメータで、Rosin－Rammler分布式より求まる分散指数、nはFig.３に示す

c_1, c_2：定数

モデルの適合性の一例をFig.４に、システムの概略をFig.５に示す。－３㎜％の管理精度は±2.０％である。

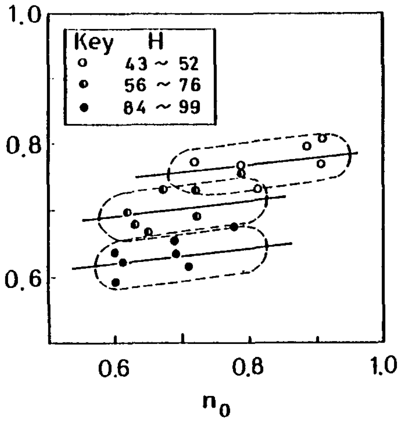


Fig.3 Relation between n and n_0 for various coals

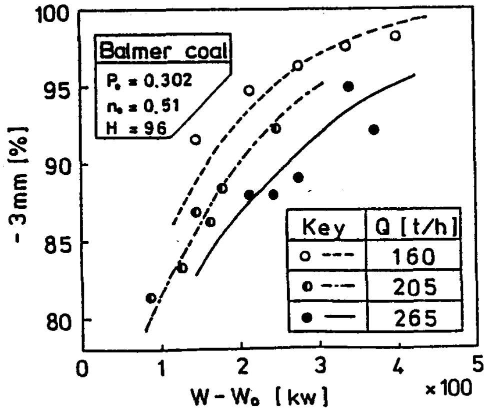


Fig.4 Relation between -3mm % of crushed coal and net crushing energy. Circles show actual results. Curves show calculated values.

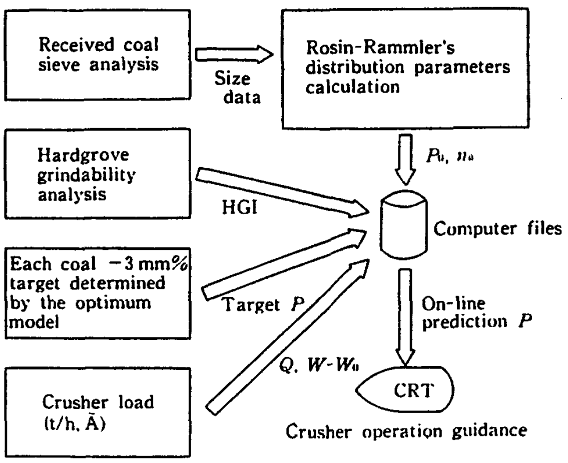


Fig.5 Crushed coal size monitoring system

るが、現在、当所で実用化しているプロセスはFig. 9, 10に示す通りである。Fig. 9はベルトコンベヤと櫛歯型分割シュートの組み合わせで4回の時差混合を行なうタイプである。Fig. 10は、$n=2$～4段の時差混合をスクレーパ型シュートで行なうタイプである。

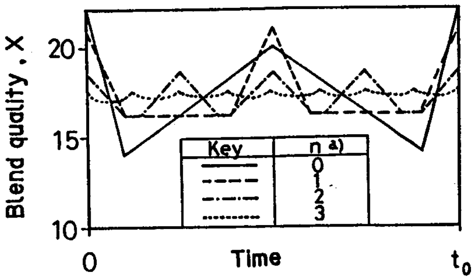


Fig.8 Homogenization achieved by time-lag mixing (Reclamation in Fig.7)
a) n : the number of the time-lag mixing done

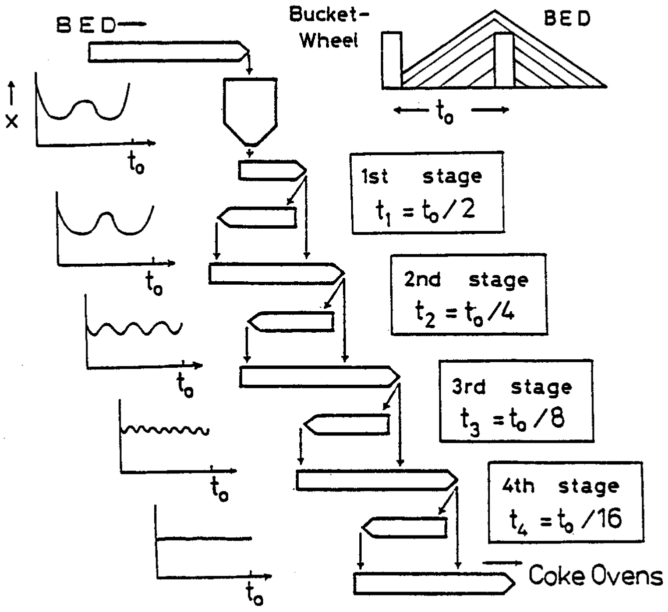


Fig.9 Time-lag mixing system (Separation chute type)

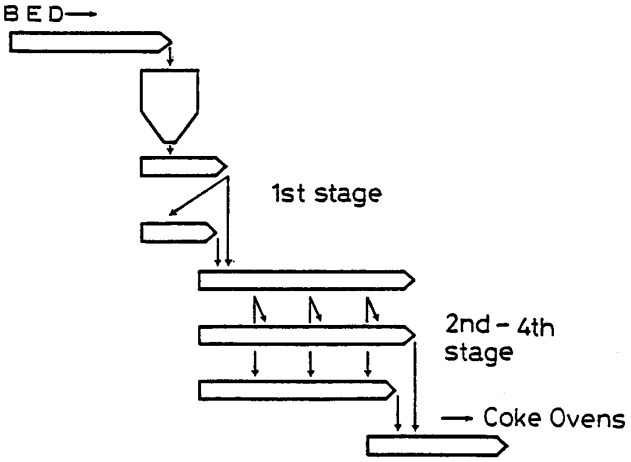


Fig.10 Time-lag mixing system (Scraper type)

6. 結言

ヤードブレンディングプロセスにおいて、配合炭の均質化という観点から事例を述べた。ベッド内コークス品質の変動実績をTable 2に示すが配合槽方式と比べてσは半分以下である。均質化の諸対策により、低品位炭を段階的に増配し、低流動性配合の操業を実施している。

Table 2 Coke quality dispersion within same coal blend (σ)

System	Coke ash (%)	Coke strength (DI^{30}_{15})	Works
Bin Blending	0.10	0.25	Chiba
Yard Blending	0.05	0.10	Mizushima

＜参考文献＞

1) 杉辺，宮川ら： 鉄と鋼，64(1978)11，S513
2) 杉辺，宮川ら： 鉄と鋼，66(1980) 4，S69
3) 笠岡，青山ら： 鉄と鋼，68(1982)11，S817