
新しい装入炭粒度調整理論の応用

Application of a New Theory for Size Control of Coal

笠岡 玄樹(Shizuki Kasaoka) 青山 充三(Mitsuzo Aoyama) 山崎 健二(Kenji Yamazaki) 杉辺 英孝(Hidetaka Suginobe) 宮川 亜夫(Tsugio Miyagawa)

要旨：

新しい石炭の粒度調整法の理論を、川鉄化学(株)水島工場の操業システムに導入した。コークス炉への装入炭は、15～20種の石炭を各石炭ごとに粉砕してブレンドされる。各石炭の粉砕度は、装入炭の均質性と嵩密度を高めて最高のコークス強度が得られるように決められる。この決定モデルは、コークス強度と石炭の粒度分布の関係に関する理論に基づくものである。決定された粉砕度は、粉砕前の原炭粒度分布とハード・グローブ指数、および粉砕機への供給量をもとに所要動力を制御することにより得られる。システム化された石炭の粒度調整法の開発によって、コークス強度が向上した。

Synopsis：

A new method for size control of coal has been introduced into the operation system at Mizushima Steelworks, Kawatetsu Chemical Industry Co., Ltd., where the charge for coke ovens consists of 15 to 20 types of coal crushed, respectively. To obtain maximum coke strength by enhancing homogeneity and bulk density of the charge, the crushing degree of each brand of coal is determined by a mathematical model based on the theory concerning relation between coke strength and size distribution on coal. The determined crushing degree is achieved by controlling electric power for the crusher and measuring size distribution and Hardgrove Grind-ability Index of coal before crushing. Through this development of systematic control of coal sizes an increase in coke strength has been attained.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

新しい装入炭粒度調整理論の応用

Application of a New Theory for Size Control of Coal

笠岡 玄樹*

Shizuki Kasaoka

青山 充三**

Mitsuzo Aoyama

山崎 健二***

Kenji Yamazaki

杉辺 英孝****

Hidetaka Suginohe

宮川 亜夫*****

Tsugio Miyagawa

Synopsis:

A new method for size control of coal has been introduced into the operation system at Mizushima Steel-works, Kawatetsu Chemical Industry Co., Ltd., where the charge for coke ovens consists of 15 to 20 types of coal crushed, respectively. To obtain maximum coke strength by enhancing homogeneity and bulk density of the charge, the crushing degree of each brand of coal is determined by a mathematical model based on the theory concerning relation between coke strength and size distribution of coal. The determined crushing degree is achieved by controlling electric power for the crusher and measuring size distribution and Hardgrove Grindability Index of coal before crushing. Through this development of systematic control of coal sizes an increase in coke strength has been attained.

1. 緒 言

原料炭配合工程における粉碎粒度管理は、コークス品質とくにコークス強度面からみると、重要な一つのプロセスである。装入炭の粒度は、通常-3mm含有率で76~88%程度に調整するが、何%にするかはその時のコークス炉の乾留条件によって決まる。装入炭の-3mm含有率が決まれば、次に実際に配合する15~20銘柄のそれぞれの粉碎後の-3mm含有率を決定する。

川鉄化学(株)水島工場では、銘柄別に所定の-3mm含有率になるように粉碎した後、ヤードにて層積みして石炭を配合するヤードブレンディング方式を採用している。

銘柄別粉碎粒度の決定方法、ならびにその粒度管理については、従来、定性的かつ経験的な要素が多く、システム化が困難な工程とされていた。本報では、この点に関する理論的な結果を踏まえて銘柄別粒度設定モデルおよび粉碎モデルを導出し、システム化を可能にしたので紹介する。

2. 銘柄別粒度設定モデル

2-1 従来の問題点

装入炭の均質性および嵩密度の向上は、コークス強度と密接な関係にある。装入炭の-3mm含有率を上げれば均質性は向上するが嵩密度は低下する。一般に均質性のコークス強度に対する寄与の方が大きいので、コークス炉の乾留条件が許す

* 川鉄化学(株)水島工場製造部コークス課掛長

*** 東京本社資源調査室

***** 技術研究所第1研究部資源・エネルギー研究室主任研究員・工博
〔昭和56年7月2日原稿受付〕

** 川鉄化学(株)水島工場製造部コークス課課長

**** 技術研究所第1研究部資源・エネルギー研究室主任研究員

範囲で装入炭の-3mm含有率を上げて設定を行なう。

次に、装入炭の-3mm含有率一定下で各銘柄の-3mm含有率を決める。これについては、均質性の面から「イナータ分の多い石炭または低流動性の石炭を微粉碎する」という定性的な目安が一般に採用されていた。一方、装入炭の嵩密度については、単に装入炭の-3mm含有率のみによって決まるとしていた。しかし、正確には、同一装入炭の-3mm含有率でも、粒度構成が異なれば嵩密度も異なると考えられる。

そこで、均質性と嵩密度の両者を定量化し、銘柄別の-3mm含有率を設定するモデルの開発が必要となってくる。

2.2 均質性モデル

コークス強度に影響を与える石炭性状は種々あるが、石炭化度パラメータ $\bar{R}_0$ （通常平均反射率で表わす）と流動性パラメータMF（通常 Gieseler plastometer の最高流動度 DDPM の対数で表わす）が重要である。杉辺ら¹⁻³⁾は、これらコークス強度支配因子の均質化という観点から、コークス強度、装入炭の粒度構成および均質性に関する一般的な理論を構築している。ここでは、この理論について、簡単に説明したい。

今、コークスを N 個サンプリングし、コークス強度 S_j を測定した場合、平均コークス強度 $\bar{S}$ は、

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。さらに、コークス強度支配因子を (X, Y) で表わし、装入炭の j 部位において、性状が平均値から $\Delta X_j, \Delta Y_j$ の偏差を有する場合を考えると、

$$S_j = S(\bar{X} + \Delta X_j, \bar{Y} + \Delta Y_j) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで、 $\bar{X}, \bar{Y}$ は装入炭平均品質を表わす。また、偏差の定義により $\sum \Delta X_j = 0, \sum \Delta Y_j = 0$ である。

(2)式を(1)式に代入し、2次項まで展開すると次式となる。

$$\begin{aligned} \bar{S} = S + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \cdot \frac{1}{N} \sum \Delta X_j^2 + \frac{\partial^2 S}{\partial X \partial Y} \frac{1}{N} \sum \Delta X_j \Delta Y_j + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial Y^2} \frac{1}{N} \sum \Delta Y_j^2 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここで、(3)式の微係数の符号について考えると、Fig. 1 に示すように支配因子に対してコークス強度が飽和形の関数で表わされるとき、2次の微係数は負の値となる。また、その絶対値は低品質ほど大きくなると考えられる。

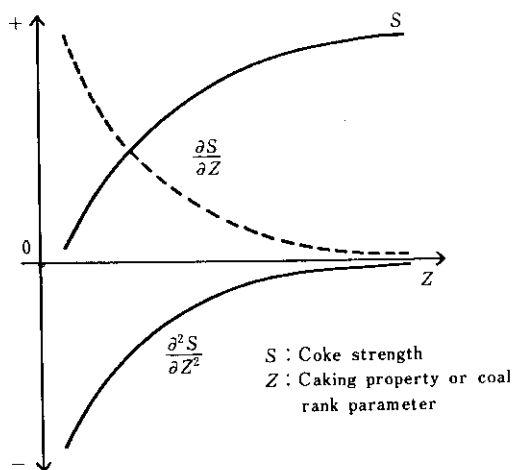


Fig. 1 Coke strength and its differential coefficient as a function of coke strength factor Z

次に(3)式の分散項について考える。全部で n 種の銘柄を配合する時、 i 銘柄の配合率を F_i 、粒径分布関数を $g_i(r)$ 、支配因子の粒径依存性を $X_i(r)$ 、装入炭の平均性状を $\bar{X}$ とし、 N 個に分割した1ブロックの体積を V とすると、分散項は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{N} \sum \Delta X_j^2 &= \frac{\pi}{6V} \sum F_i D_i \\ (r) \quad D_i &= \int g_i(r) r^3 [\bar{X} - X_i(r)]^2 dr \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで次の2つの近似を行なう。

- (1) 1銘柄の粒度別性状を平均性状 X_i で代表させる。
- (2) $\int g_i(r) r^3 dr$ は、ある銘柄の1粒子の平均体積を表わすので、平均粒径の3乗 $\bar{r}_i^3$ に比例すると考えられる。すると、(4)式の D_i 値は(5)式となる。

$$\left. \begin{aligned} D_i &= \text{Const.} \times D_i^a \\ D_i^a &= (\bar{X} - X_i)^2 \bar{r}_i^3 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

通常、コークス強度は、 $\bar{R}_0$ とMFを使って(6)式のように表現されるから、共分散項は無視され

て(3)式は(7)式となる。

$$S(\bar{R}_0, MF) = S_1(\bar{R}_0) + S_2(MF) \dots\dots\dots (6)$$

$$\bar{S} = S + k_1 \frac{\partial^2 S}{\partial \bar{R}_0^2} \sum_{i=1}^n F_i D_i^a \bar{R}_0^2 + k_2 \frac{\partial^2 S}{\partial MF^2} \sum_{i=1}^n F_i D_{iMF}^a \dots\dots\dots (7)$$

通常の装入炭性状の範囲では、MFはFig.1のような関数となるが、 $\bar{R}_0$ についてはほぼ直線になることは実験的に知られている。従って、

$$\left| \frac{\partial^2 S}{\partial MF^2} \right| > \left| \frac{\partial^2 S}{\partial \bar{R}_0^2} \right| \doteq 0 \dots\dots\dots (8)$$

となり、(7)式のMF項だけで近似してもよいと考えられる。

また、 $\bar{r}_i^3$ はFig.2に示すように、-3mm含有率 P_i と関数 $f(P_i)$ で関係づけられる。

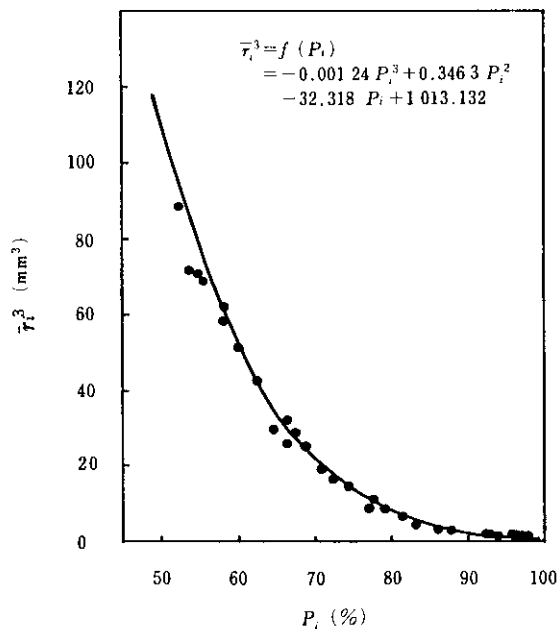


Fig. 2 Relation between -3mm content, P_i (%), and cube of mean diameter, $\bar{r}_i^3$, of coal after crushing

したがって、装入炭の-3mm含有率を $\bar{P}$ 、原炭の-3mm含有率を P_i^L 、および粉砕機的能力上限に依存する粉砕後の-3mm含有率上限を P_i^U とすると、最大のコークス強度 $\bar{S}$ を得るには、(7)式の微係数が負であることに注意すれば、(9)式により各銘柄の-3mm含有率 $\bar{P}_i$ を設定すればよ

いことがわかる。

$$D = \sum_{i=1}^n F_i (\bar{MF} - MF_i)^2 f(P_i) \rightarrow \text{Min.}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{制約条件 } \sum_{i=1}^n F_i P_i &= 100 \bar{P} \\ P_i^L &\leq P_i \leq P_i^U \quad (i=1, 2, \dots, N) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 P_i 設定時には、各銘柄の配合率 F_i および流動性 MF_i 、装入炭の流動性 $\bar{MF}$ および-3mm含有率 $\bar{P}$ は既知である。

2.3 嵩密度モデル

通常、コークス炉内の装入炭嵩密度は装入炭の-3mm含有率とFig.3に示す関係にあるが、同一の装入炭の-3mm含有率でも嵩密度は大きな差がある。この原因の一つとして、粒度構成の違いが考えられる。そこで、各配合銘柄の-3mm含有率から装入炭嵩密度を予測するモデルを検討した。

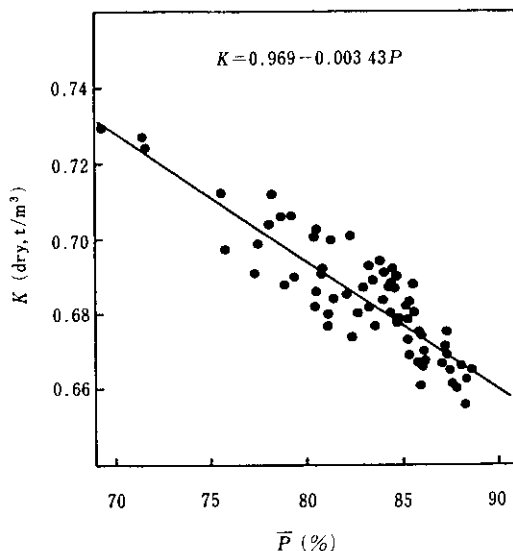


Fig. 3 Relation between -3mm content, $\bar{P}$ (%), and bulk density, K , of the charge

A.A.Kleshninら^{4,5)}は、実験によってある粒度分布をもつ石炭の単一粒径の場合に対する嵩密度の増分 $\Delta\nu(\%)$ が、次式で示されることを導いた。

$$\Delta\nu = \frac{R^{0.14} - 1}{1.18 R^{0.14}} \times 100(\%), \quad R = \frac{d_1}{d_2} \dots\dots\dots (10)$$

d_1 : 篩上歩留68.5%の部分の平均粒径

d_2 : 篩下歩留31.5%の部分の平均粒径

粉碎後の各銘柄はそれぞれある粒径分布を持つが、これを平均粒径 $\bar{r}_i$ で代表し、配合 n 銘柄を $\bar{r}_i$ が小さい順に配合率 F_i とともに並べる。このとき $\sum_{i=1}^k F_i \geq 31.5$ かつ $\sum_{i=1}^{k-1} F_i < 31.5$ を満たす k が必ず存在するから、 $31.5 - \sum_{i=1}^{k-1} F_i = \delta$, とおくと、(10) 式の d_1, d_2 は下式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \left\{ \bar{r}_k (F_k - \delta) + \sum_{i=k+1}^n \bar{r}_i F_i \right\} / 68.5 \\ d_2 &= \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} (\bar{r}_i F_i) + \bar{r}_k \delta \right\} / 31.5 \end{aligned} \right\} \cdots (11)$$

平均粒径 $\bar{r}_i$ と -3mm 含有率 P_i とは過去の分析データを調査した結果(12)式の関係にあることがわかった。従って(10), (11)式により銘柄ごとの -3mm 含有率から装入炭嵩密度の増分 $\Delta\nu$ が推定できることがわかる。

$$\bar{r}_i = 8.952 - 0.08443 P_i \text{ (相関係数 } 0.96) \cdots (12)$$

ここで、

$$\begin{aligned} B &= \sum_{i=1}^n F_i \sqrt{(\bar{r} - \bar{r}_i)^2} \\ &= \sum_{i=1}^n 0.08443 F_i \sqrt{(\bar{P} - P_i)^2} \cdots (13) \end{aligned}$$

$\bar{r}$: 装入炭平均粒径 (mm)

$\bar{r}_i$: i 銘柄の粉碎後平均粒径 (mm)

F_i : i 銘柄の配合率 (%)

で示されるパラメータ B を定義する。 B と $\Delta\nu$ の関係を、種々の配合で計算した結果を Fig. 4 に示す。 $\bar{P}$ が一定ならば、ほぼ直線近似できることがわかる。また、その傾きは $\bar{P}$ と下式の関係になることも読み取れる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta\nu &= cB \\ c &= 0.00454 \bar{P} - 0.2531 \end{aligned} \right\} \cdots (14)$$

したがって、ある配合 ($F_i, \bar{P}$ 既知) において嵩密度を最大にするには、(9) 式の制約条件下で、(13) 式の嵩密度パラメータ B が、最大となるように P_i を決定すればよいと考えられる。

2-4 銘柄別粒度設定モデル

装入炭の均質性と嵩密度を考慮して銘柄ごとの -3mm 含有率 P_i を決定するモデルは、(9) 式の D 値と(14) 式の B 値を用いて次のように表現される。

$$\alpha D + \beta B \rightarrow \text{Max.} \cdots (15)$$

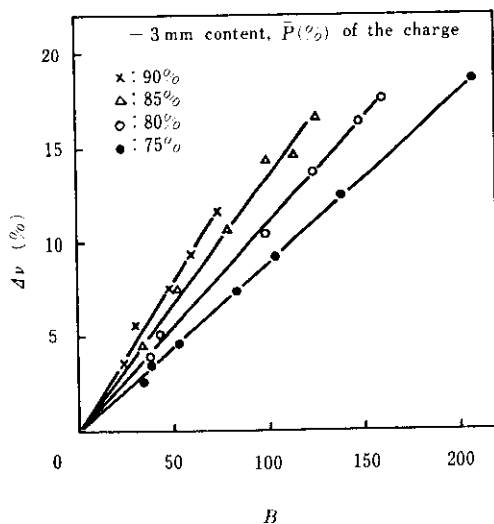


Fig. 4 Relation between calculated values of bulk density parameter, B , and increment of bulk density, $\Delta\nu$

ここで、制約条件は(9)式と同じである。またコークス強度を S とすると、 $\alpha = \partial S / \partial D$ (負)、 $\beta = \partial S / \partial B$ (正)である。

(1) β の値

ある粒径分布を持つときの嵩密度を K 、単一粒径 ($B=0$) のときの嵩密度を K_0 とすると、 $\Delta\nu$ の定義および(14)式より、

$$K = K_0 \left(1 + \frac{\Delta\nu}{100} \right) = K_0 + \frac{K_0 c}{100} B \cdots (16)$$

となる。したがって、

$$\frac{\partial K}{\partial B} = \frac{K_0 c}{100} \cdots (17)$$

となる。

一方、 K が 0.01t/m^3 (dry) 向上すると、通常、コークス強度 DI_{30}^g が約0.05%上昇するから⁶⁾、 $\partial S / \partial K = 5$ と考えられる。したがって、 β は次式で表わせる。

$$\beta = \frac{\partial S}{\partial B} = \frac{\partial S}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial B} = \frac{K_0 c}{20} \cdots (18)$$

ここで、 c は $\bar{P}$ から(14)式で求められる。また、 K_0 は、Fig. 3 と Fig. 5 に示す過去の実績を用いて、Fig. 6 に示す手順に従って $\bar{P}$ から求めることができる。Fig. 7 に $\bar{P}$ と β の関係を示す。

(2) α の値

均質性モデルの確認実験を実操業で行なった^{2,3)}

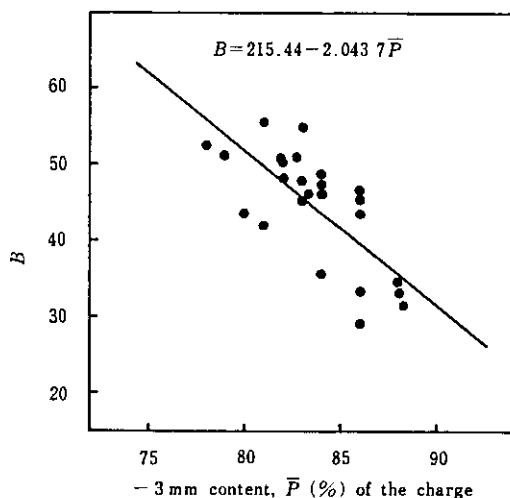


Fig. 5 Relation between - 3 mm content, $\bar{P}$ (%) of the charge and calculated value of bulk density parameter, B

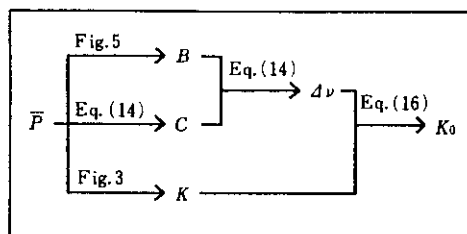


Fig. 6 Procedure for calculating the bulk density of the charge consisting of a single size fraction from - 3 mm content (%) of the charge

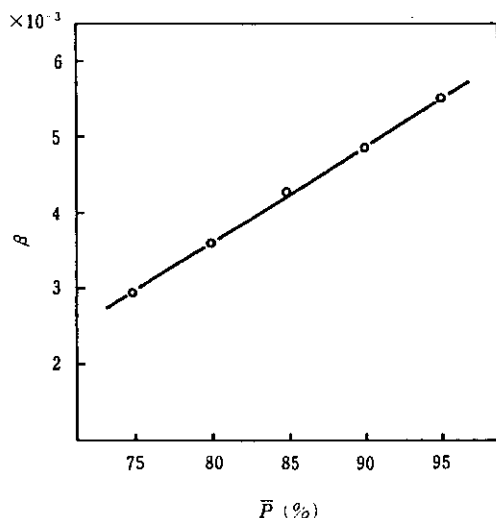


Fig. 7 Coefficient β ($=\partial S/\partial B$) as a function of - 3 mm content, $\bar{P}$ (%) of the charge

同一 $\overline{MF}$, 同一 $\bar{P}$ の配合ベッド (27 000t/ベッド) を 2 種計画し, 一方は従来の粒度設定方法, 他方は D モデルによる粒度設定を行なった。それぞれについてコークス強度 S (DI_{10}^{30}) を実測した。このような実験を 8 回くり返した。結果を Table 1 に示す。

D モデルの粒度設定により, DI_{10}^{30} が約 0.1 % 向上した。ここで, D と B の効果が, コークス強度 S に対して独立であると考えたと,

$$\Delta S = \alpha \Delta D + \beta \Delta B \quad \dots\dots\dots (19)$$

であるから, α が計算される。 $\overline{MF}$ と α の関係を示すと Fig. 8 のようになる。 $\overline{MF}$ が小さいほど, α の絶対値が大きい, すなわち均質効果が大きい傾向にあり, 2.2 項の議論と一致している。

以上の結果を整理する。配合計画時には $\overline{MF}$, $\bar{P}$ が既知であるから, Fig. 7, Fig. 8 より β , α が決定される。したがって, 銘柄別の - 3 mm 含有率を決めるには, (15) 式を用いればよいことがわかる。(15) 式は非線型モデルであるが, D , B , および制約式の形は, 変数 P_i に関してすべて分離 (separable) されている。したがって, 分割法により近似的に LP 問題として解くことが可能である。

水島工場では, 配合計画は原料炭プロコン PA NAFACOM U-200 で行ない, 上記 LP については FACOM-V を使用している。

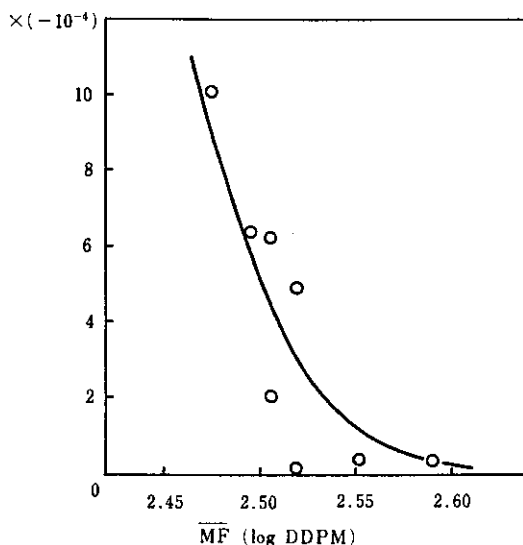


Fig. 8 Coefficient α ($=\partial S/\partial D$) as a function of fluidity, $\overline{MF}$, of the charge

Table 1 Results of actual operation data employing the homogeneity model (D model)

Test No.	- 3 mm content $\bar{P}$ of the charge, (%)	Fluidity of the charge $\overline{MF}$ (log DDPM)	D value (10^2)	B value	Coke strength, S	β (10^{-3})	α (10^{-4})
①	84.14	2.507	12.370	35.318	92.98	4.16	-2.02
②			5.536	40.660	93.14		
Δ			(-6.834)	(5.342)	(0.16)		
③	83.87	2.519	13.629	43.881	92.99	4.12	-0.13
④			4.574	43.516	93.00		
Δ			(-9.055)	(-0.365)	(0.01)		
⑤	85.35	2.496	6.816	42.629	92.80	4.31	-6.38
⑥			4.001	47.386	93.00		
Δ			(-2.815)	(4.757)	(0.20)		
⑦	84.86	2.506	7.029	37.831	93.05	4.25	-6.26
⑧			4.260	37.012	93.22		
Δ			(-2.769)	(-0.819)	(0.17)		
⑨	84.16	2.520	10.328	46.712	93.02	4.16	-0.49
⑩			4.524	44.681	93.04		
Δ			(-5.804)	(-2.031)	(0.02)		
⑪	84.82	2.476	7.398	37.679	92.85	4.25	-10.1
⑫			3.984	43.435	93.22		
Δ			(-3.414)	(5.756)	(0.37)		
⑬	84.48	2.591	5.709	36.704	93.13	4.20	-0.33
⑭			4.188	40.281	93.15		
Δ			(-1.521)	(3.577)	(0.02)		
⑮	84.56	2.552	7.390	37.408	93.14	4.21	-0.37
⑯			3.818	34.245	93.14		
Δ			(-3.572)	(-3.163)	(0)		

①: Size preparation by an ordinary method

②: Size preparation by a new method (D model)

S: DI_{15}^{30} β : Value obtained from Fig. 7 $\alpha = (\Delta S - \beta \Delta B) / \Delta D$ $\Delta = ② - ①$

3. 粉碎粒度管理

銘柄ごとの粉碎後の - 3 mm 含有率目標を、実際の工程上で管理する方法として開発したシステムについて述べる。

3-1 従来の問題点

従来は、現場で作業員が粉碎機後のコンベヤ上で石炭をサンプリングし、- 3 mm 含有率を測定していた。その結果に基づき、制御室では、Fig. 9 に示す衝撃式粉碎機の反撥板と衝撃板の間隔（ギャップ）を遠隔調節していた。この方法だと、1

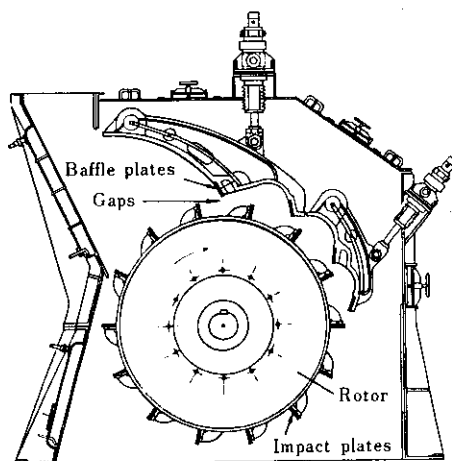


Fig. 9 Impact crusher

回の調節に約20分を要し、かつ労力を要するわりには、精度が必ずしも十分ではなかった。自動粒度測定装置を導入すれば、多大の費用が必要なうえ、粉塊混合物のサンプリング・測定における精度上の維持管理が常に問題となる。そこで、ソフト面から、上記の問題を解消したので以下に述べる。

3.2 粉砕モデル

粉砕の基礎理論については、まだ明確なものはないが、Bondの経験則によると⁷⁾、粉砕エネルギー $E(\text{kWh/t})$ は次式で示される。

$$E = W_i \frac{\sqrt{d_0} - \sqrt{d}}{\sqrt{d_0}} \sqrt{\frac{100}{d}} \quad \dots\dots\dots(20)$$

W_i : 仕事係数 (kWh/t) で原料の粉砕しやすさを示すハードグロブ指数HGIと次の関係にある。

$$W_i = \frac{88}{\sqrt{\text{HGI}}} \quad \dots\dots\dots(21)$$

d_0, d : 粉砕前後の80wt %が通過する篩目の大きさ (μm)。

一方、石炭の粒径分布は Rosin-Rammler の分布モデルによく一致する。

$$R(d_p) = 100 \exp(-bd_p^n) \quad \dots\dots\dots(22)$$

ここで、 d_p : 篩目の大きさ (μ)

$R(d_p)$: d_p の篩上歩留 (%)

b, n : 原料の粒径分布により決まる定数。 n はとくに分散指数という

(22)式より(23)式が導ける。

$$d_{80} = 3000 \left(\frac{-\ln 0.2}{-\ln R} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\dots(23)$$

ここで、 d_{80} : 80wt %が通過する篩径 (μm)

R : +3 mm 含有率 (%)

石炭の粉砕前の+3 mm 含有率/100 と分散指数をそれぞれ、 R_a, n_a とし、粉砕後のそれを、 R, n とすれば、(20)式と(23)式より粉砕エネルギーは(24)式で表わせる。

$$E = \frac{W_i}{\sqrt{30}} \left[\left(\frac{-\ln R}{1.61} \right)^{\frac{1}{2n}} - \left(\frac{-\ln R_a}{1.61} \right)^{\frac{1}{2n_a}} \right] \quad \dots\dots\dots(24)$$

ここで、 n の値は、実際に粉砕した後で粒度分析をしないとわからない。調査結果によると、 $n/n_a = 1.0 \sim 1.3$ であった。しかし、後の実験結果で示すように $n = n_a$ としても、実操業上ほとんど問

題ないことがわかっている。さらに、粉砕機の所要動力を $W(\text{kW})$ 、空転動力を $W_0(\text{kW})$ 、石炭供給量を $Q(\text{t/h})$ とし、(21)式も考慮すると、(24)式は最終的に(25)式となる。ここで、 W_0 は一定で既知である。

$$W = \frac{16.067}{\sqrt{\text{HGI}}} Q \left[(-0.621 \ln R)^{\frac{1}{2n}} - (-0.621 \ln R_a)^{\frac{1}{2n_a}} \right] + W_0 \quad \dots\dots\dots(25)$$

(25)式によると、入荷炭の受入分析時に HGI, R_a 、および n_a の測定をしておけば、その後の払出粉砕ごとに W と Q だけを計測すれば、その銘柄の粉砕後 +3 mm 含有率 R が推定できることになる。

実際には、 W の代わりに粉砕機電流値を計測すればよい。 Q が一定のとき、粉砕機のギャップを狭くしていけば、電流値が上昇し、粉砕に使用されるエネルギーが増大する傾向にある。

Fig.10 に代表的な石炭について、モデルの適合性を調査した結果を示す。(25)式の理論カーブと実測プロットがよく一致していることがわかる。

3.3 粉砕機操業管理システム

3.3.1 粉砕機供給量制御

粒度管理精度を向上するには、粉砕機供給量 (t/h) の変動を、まず低減しなければならない。水島工場では、3台の粉砕機に石炭を分割供給している。各粉砕機の供給量は、ダンパにより、常に一定となるように制御される。Fig.11 に供給量制御の概略を示す。供給量の変動係数は約4%である。

3.3.2 オンライン粉砕粒度管理

システムの概要を Fig.12 に示す。粉砕中の銘柄の+3 mm 含有率を(25)式により計算し、目標値と比較して、粉砕機のギャップアクションをオペレータにガイダンスする。さらに、Photo.1 に示すように CRT に+3 mm 含有率の経時変化を表示する。

本システム導入により、現場粒度測定が不要となった。また、ギャップ調節が迅速に行なえるようになった。Fig.13 に種々の銘柄の払出ロット

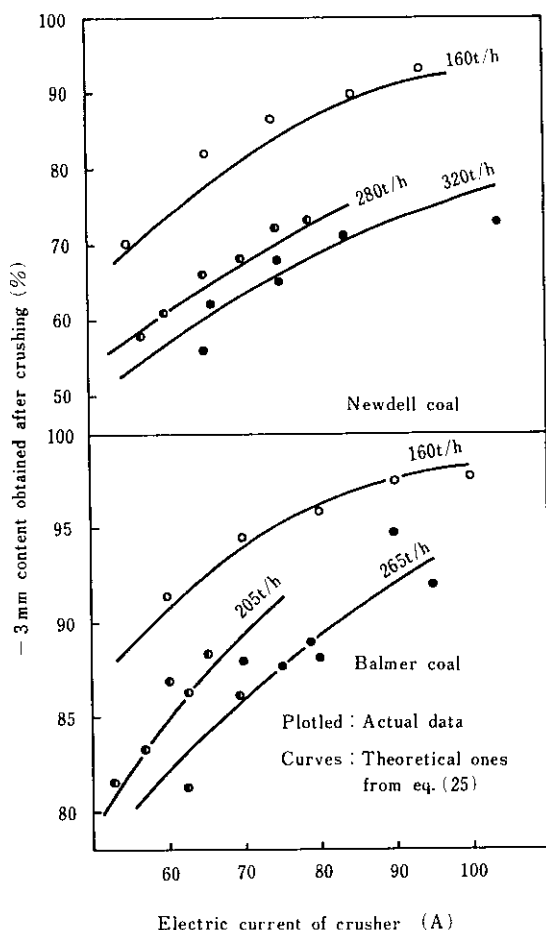


Fig. 10 Relation between electric current of crusher and size obtained after crushing

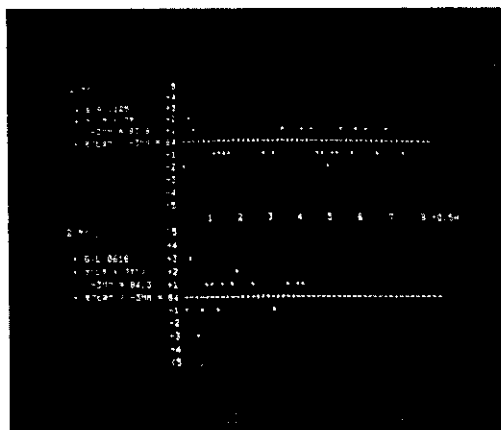


Photo. 1 Display of - 3 mm content (%) after crushing

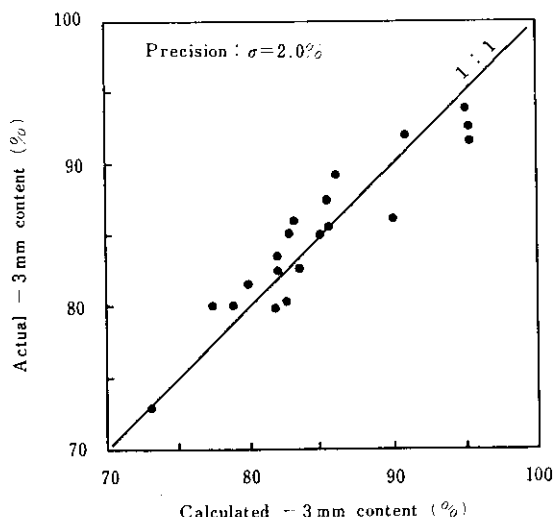


Fig. 13 Relation between actual size and calculated one by the model equation

について、本システムを使って操業した場合の、- 3 mm 含有率の目標と、実測値の関係を示す。- 3 mm 含有率の管理精度は、 $\sigma = 2.0\%$ であり、システム導入前の $\sigma = 3.0\%$ より改善されている。

本システムでは、さらに省電力の観点から、粒度管理と並行して、運転中の粉砕機の余裕を電流値でチェックし、供給量アップのガイダンスも行なえるようになっている。

4. 結 言

原料炭の粉砕プロセスにおいて、主に品質管理面から、次の2点についてモデル化を試み、システムとして導入した。

(1) 配合計画時における、銘柄別の粉砕後の- 3 mm 含有率の設定方法

コークス強度に影響を与える装入炭の均質性については既出の理論を適用し、更に嵩密度を定式化し、その効果が最大となるように、粒度設定を行なう方法を開発した。

(2) 粉砕機における粒度管理方法

原炭の粒度およびハードグロブ指数と、粉砕機の所要動力から、粉砕後粒度を予測する方法を導出した。

近々、計算機の大型化にともない、(1)のオンライン化と、(2)の自動制御を実施する計画である。

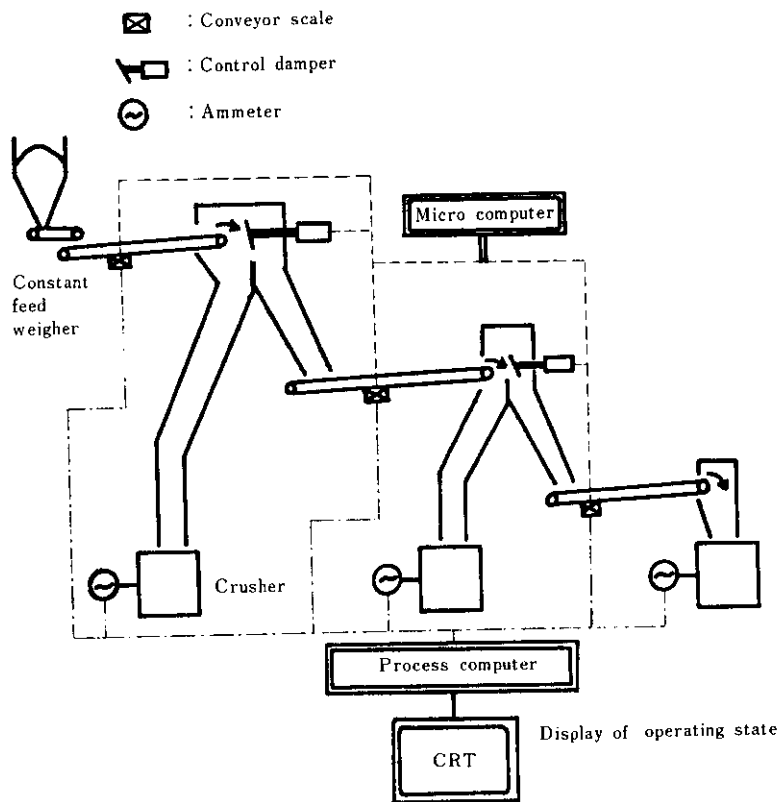


Fig. 11 Control of feed rate to crushers

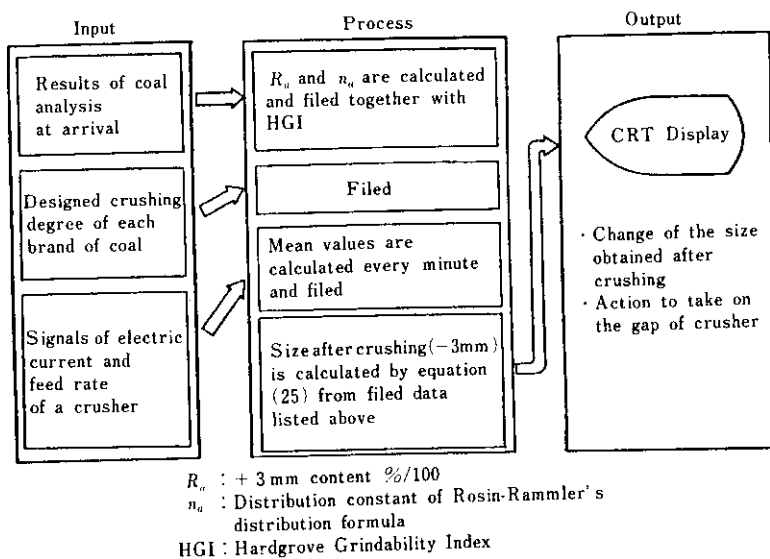


Fig. 12 On-line system for size control after crushing

参 考 文 献

- 1) 杉辺, 宮川:「装入炭粒度構成, 均一性およびコークス強度の一般的関係」, 鉄と鋼, **64** (1978) 11, S513
- 2) 杉辺, 宮川, 笠岡, 青山:「コークス強度に対する装入炭粒度構成の効果」, 鉄と鋼, **66** (1980) 4, S69
- 3) 杉辺, 宮川, 堀越, 安倍, 伊神, 滝沢, 笠岡, 青山:「新しいコークス強度推定法の開発」川崎製鉄技報, **13** (1981) 2, 87
- 4) A.A.Kleshnin et al.: "Effect of the Particle-size Distribution and Moisture Content on the Voidage of Granular Mixture", Coke and Chemistry, (1967) 3, 3
- 5) A.A.Kleshnin et al.: "Charge Bulk Density as a Function of Size Analysis", Coke and Chemistry, (1972) 8, 5
- 6) 日本鉄鋼協会共同研究会第5回製鉄部コークス分科会資料 (1972)
- 7) F.C.Bond: Mining Eng., (1952) 4, 484