
新しいコークス強度推定法の開発

Development of a New Method for the Predicting of Coke Strength

杉辺 英孝(Hidetaka Suginobe) 宮川 亜夫(Tsuguo Miyagawa) 堀越 英生(Hideo Horikoshi) 安部 幹夫(Mikio Abe) 滝沢 譲(Yuzuru Takizawa) 伊神 峰生(Mineo Ikami) 笠岡 玄樹(Shizuki Kasaoka) 青山 充三(Yorimitsu Aoyama)

要旨：

コークス強度(DI30/15)を石炭性状と操業因子から予測する新しい試みを示した。コークス化過程と(DI30/15)の理論的考察によると、セミコークスの引張強度と生成熱応力が(DI30/15)に影響する主因子である。それぞれの因子は石炭の流動性と揮発分から算出される組織学的パラメータ、装入炭の粉碎度、コークス炉のフリュー温度、および数学的に定義される装入炭の不均質性、で表される。この考察に基づいて(DI30/15)推定式の一般的な形を組立てた。実用上の目的から、式中の各係数はデータの解析で決定されている。正確さと簡便性のため、この推定式は工場における操業に利用されている。

Synopsis：

A new approach is shown to predict coke strength (DI**30)(DI**15) from coal quality and working conditions. Theoretical consideration of coking process and (DI**30)(DI**15) shows that (1) tensile strength of semi-coke and thermal stress generated in semi-coke are factors affecting on (DI**30)(DI**15) and (2) each factor is expressed by petrographical parameters derived from fluidity and the volatile matter of coal, the crushing degree of the charge, flue temperature in the coke oven and inhomogeneity of the charge which is defined mathematically. An equation for predicting (DI**30)(DI**15) is general form based upon the above consideration. For practical purposes, each coefficient in the equation is determined by data analysis. Because of its accuracy and simplicity, this equation is being utilized satisfactorily in operation at works.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

新しいコークス強度推定法の開発

Development of a New Method for the Predicting of Coke Strength

杉 辺 英 孝*
Hidetaka Suginobe

宮 川 亜 夫**
Tsuguo Miyagawa

堀 越 英 生***
Hideo Horikoshi

安 倍 幹 夫****
Mikio Abe

滝 沢 譲*****
Yuzuru Takizawa

伊 神 峰 生***
Mineo Ikami

笠 岡 玄 樹*****
Shizuki Kasaoka

青 山 充 三*****
Yorimitsu Aoyama

Synopsis:

A new approach is shown to predict coke strength (DI_{10}^{90}) from coal quality and working conditions. Theoretical consideration of coking process and DI_{10}^{90} shows that (1) tensile strength of semi-coke and thermal stress generated in semi-coke are factors effecting on DI_{10}^{90} and (2) each factor is expressed by petrographical parameters derived from fluidity and the volatile matter of coal, the crushing degree of the charge, flue temperature in the coke oven and inhomogeneity of the charge which is defined mathematically.

An equation for predicting DI_{10}^{90} is constructed in a general form based upon the above consideration. For practical purposes, each coefficient in the equation is determined by data analysis. Because of its accuracy and simplicity, this equation is being utilized satisfactorily in operation at works.

1. 緒 言

高炉における石油への依存が弱まり、石炭利用が再び脚光を浴びる時勢となってきた。コークスは石炭のエネルギーが濃縮されたものであり、製造が比較的容易なことから今後増々重要性が高まろう。コークス製造者として果たす役割は、高炉が必要とする品質のコークスを最も経済的に製造することにつきよう。このためには、高炉で最も重要視されるコークスの潰裂強度 (DI_{10}^{90}) と石炭性状およびコークス炉操業条件との定量的関係を把握することが必要となる。

従来からコークス強度推定法に関する研究は数多くなされている。本来、コークス強度とは石炭のコークス化過程を反映したものである。しかし過去の試みにおいては石炭が複雑な不均質物質であるためか、コークス化過程の理論的取扱いは放棄され、ブラックボックスのままでコークス強度と石炭性状および操業条件との関係が統計解析的に処理されているにすぎなかった。このような方法ではどうしても定量化できない部分があり、実操業に適用する際には経験者の判断による補正が必要となる。

当社においても、石炭の融着性と石炭化度を表わすパラメータを採用して強度推定を行ってきた

* 技術研究所資源・エネルギー研究室主任研究員
*** 川鉄化学(株)
***** 人事部付(課長)川鉄化学(株)出向
〔昭和55年11月11日原稿受付〕

** 技術研究所資源・エネルギー研究室主任研究員・工博
**** 人事部付(課長待遇)川鉄化学(株)出向
***** 人事部付(掛長)川鉄化学(株)出向

が、その精度は十分といえるまでには至っておらず、第2次石油ショック以来のコスト低減活動が強まる中で改善の必要が強く認識されてきた。

筆者らは先例を慎重に分析し、十分に精度の高いコークス強度推定式を得るためには理論的基盤に立脚したコークス化過程の把握が不可欠であるとの立場から、推定理論の構築、操業データの解析、種々の実験という一連の作業を行ってきた。現在、一応の成果を得るに至ったので報告する。

2. 従来の研究の問題点と本研究の特色

コークス強度に最も寄与する因子が石炭性状であることは経験的に知られており、両者の関係を調査した膨大な研究が行われてきた。現在、研究者の多くが一致する見解は、軟化溶融過程における融着性と石炭化度がコークス強度を規定するというものである¹⁾。通常用いられる融着性パラメータと石炭化度パラメータの例を **Table 1** に示す。これらのパラメータを用いた強度推定では、先験的に選択されたパラメータが強度因子として固定され、より良い強度因子を組立てるという努力が無視されがちである。

一方、装入炭の粉砕度やコークス炉炉温といった操業因子も、副次的にコークス強度に影響を与える。操業因子の効果についても多くの研究があるが、定量化された一般的な結論はほとんど得られていない。操業因子の評価の難しさの一つは、装入炭の性状によってその効果が異なることにある。これは、操業因子を直接にコークス強度に結びつけるのではなく、石炭性状にどのような効果

を与えるかといった観点からの把握が重要なことを示す。しかし、物理的意味が曖昧な経験的パラメータで石炭性状を規定する場合、操業因子の効果を組込むことは困難であった。

これらの問題点を解決するために、本研究では、

- (1) コークス強度の本質的な因子を検討する。
- (2) 強度因子と石炭性状および操業因子の一般的な関係を明らかにする。
- (3) 実操業データの解析によって性状、操業両因子の評価を統計的に最適化し、同時に強度推定式を求める。

という方法をとった。なお強度推定式を日常管理に応用する場合を考え、簡便なデータから高精度の推定が行えるように留意した。

3. コークスの強度因子の選択

コークスの潰裂強度はコークス塊中の巨視的欠陥構造（亀裂）によって支配され、また亀裂は乾留時にセミコークス内で生成した熱応力がその引張強度を越えた時に生起すると考えられている²⁾。潰裂強度 DI_{90}^* の本質的な因子はセミコークスの引張強度と生成熱応力といえよう。これらの因子を石炭性状と操業因子で表現することから出発した。

3.1 セミコークスの引張強度

セミコークスは軟化溶融過程において相互に融着した石炭粒子から構成されており、その引張強度は引張りの方向に直交する単位断面積あたりに生成した融着面積（ S ）で支配されると考えられる。Gryaznov ら³⁾の単味炭についての石炭粒子の物理融着モデルを多種配合の場合に拡張すると次式を得る⁴⁾。

$$S \propto \sqrt{nr^2pt} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N F_i F_j \sqrt{f_i + f_j} \dots \dots \dots (1)$$

n : 単位断面積あたりの粒子間接触点数

r : 石炭粒子径

p : 圧力

t : 軟化溶融時間

i, j : 石炭種

N : 配合種の総数

F : 配合率

f : 平均流動度

Table 1 Typical parameters used in prediction of coke strength

Classification	Parameters
Caking property parameters	MF : Common logarithm of maximum fluidity by Gieseler plastometer
	TD : Total dilatation by Audibert-Arnu dilatometer
	CBI : Composition balance index
Coal rank parameters	VM _{daf} : Volatile matter(dry ash free base)
	\bar{R}_0 : Mean maximum reflectance of vitrinite in oil
	SI : Strength index

上式は融着性と称せられていた特性の定量的表現であり、操業因子と性状因子の関数となっている。 nr^2 は粒子間接触頻度を意味する項であり、嵩密度で規定される。圧力 p も嵩密度で支配される。また t は乾留速度で規定される。 Σ 項は石炭性状に依存する。(1)式の妥当性を検証するため実験を行った⁴⁾。同一条件で種々の配合炭を最高温度750°Cで乾留してセミコークスを製造し、引張強度を測定した。製造条件が同一の場合、 S は Σ 項で算出される、融着面積の相対的な値(S^R)に比例する。Fig.1に示すように、引張強度が S^R で規定されることが分る。また、同様に流動性を表わすパラメータ MF (Gieseler 最高流動度の対数值)の加重平均値と引張強度の関係を調べたところ、高い相関が認められた(Fig.2参照)。

セミコークスの引張強度を規定する性状因子として S^R を選び、嵩密度と乾留速度の寄与を評価すべきことが明らかとなった。ただし S^R の代わりに MF 加重平均値を用いても良いことが分ったので、簡単のため、本研究では MF を採用した。

3.2 セミコークス内の生成熱応力

加熱壁から x の距離におけるセミコークス内の熱応力(σ_x)は次式で与えられる⁵⁾。

$$\sigma_x = \frac{\beta E}{1-\nu} (T - T_x) \dots\dots\dots(2)$$

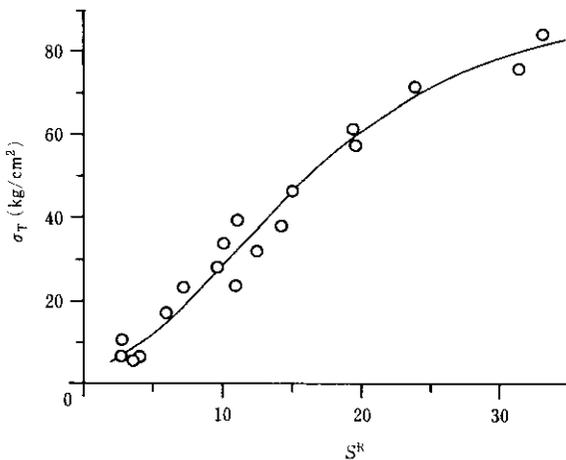


Fig.1 Relation between tensile strength of semi-coke and relative value of caked surface area S^R (which corresponds to Σ term in equation (1))

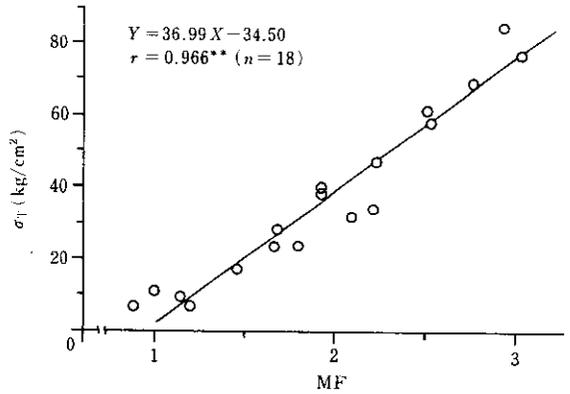


Fig.2 Relation between tensile strength of semi-coke and MF of blends

- T : セミコークスの平均温度
- T_x : 加熱壁から x の位置での温度
- β : 線収縮率
- E : ヤング率
- ν : ポアソン比

熱応力も操業因子と石炭性状の関数で表わされている。乾留速度は温度勾配に影響を与える。また嵩密度の変化は収縮率の変動を招く。セミコークスの物性値 β , E , ν は石炭の性状で規定される。一般的にコークス化性を表わすパラメータはコークス強度と正相関をもつようにとられることが多いので、以下は σ_x の逆数をとって考える。

石炭性状で規定される項 $(1-\nu)/\beta E$ は、石炭組織学的パラメータ \bar{R}_0 (ビトリニットの平均最高反射率)、 TR (活性質の含有率)で記述される。

$$\frac{1-\nu}{\beta E} = \phi (\bar{R}_0, TR) \dots\dots\dots(3)$$

上式は、石炭の諸物性値が \bar{R}_0 と TR で規定されるという石炭組織学の考えを数式化したものである。経験的な石炭化度パラメータは生成熱応力を表示していたといえよう。すなわち、原料炭では TR の変域が比較的狭いので、 $(1-\nu)/\beta E$ は近似的に \bar{R}_0 や \bar{R}_0 と相関の高い VM_{daf} (無水無灰基準の揮発分)などの関数で表わされる。

セミコークスの生成熱応力を規定する因子として、 \bar{R}_0 と TR の関数 ϕ 、嵩密度および乾留速度を選ぶべきことが明確になった。

4. 石炭性状の評価

コークス強度が石炭性状に大きく依存するという経験則を踏まえて、まずMFと ϕ による DI_{15}^{30} の推定式を求めた。なお、 ϕ の評価には、 \bar{R}_0 とTRの分析値が必要であるが実用性を考慮して、簡便な推定法を開発した。

4.1 石炭組織学的パラメータの推定法

\bar{R}_0 とTRは顕微鏡観察で求められる分析値であり、試料の研磨などに多くの時間を要し、日常管理に適用するには問題が多い。

ところで、石炭の物性値が \bar{R}_0 とTRで規定されることは、逆に2種の独立な物性値を選べば \bar{R}_0 とTRが定まることを示す。このような物性値として分析が容易なMFと VM_{daf} を選び \bar{R}_0 およびTRとの関係を調べたところ、石炭組織学的パラメータはMFおよび VM_{daf} の多項式で良好に表現されることが分った⁶⁾。一例として \bar{R}_0 の推定式をグラフ化してFig.3に示す。また、実測値と計算値の差は銘柄ごとにほぼ定まった値となることが分った⁶⁾。このため、各銘柄について実測値と計算値のバイアスを求めておき、計算値にバイアスの補正を行ってさらに推定精度を高めた。本研究で用いた \bar{R}_0 、TR値は、このようにして評価したものである。

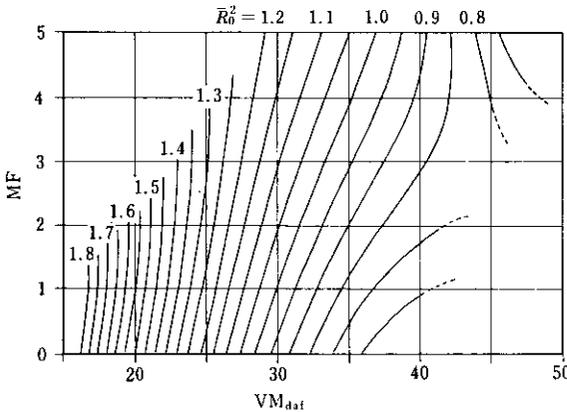


Fig. 3 Estimate of \bar{R}_0 from MF and VM_{daf}

4.2 解析方法

4.2.1 DI_{15}^{30} 推定式の形

装入炭品位が向上するほど DI_{15}^{30} は上昇するが、やがて飽和傾向となるという経験則を考え、MFと ϕ の双曲線関数で表わした。

$$DI_{15}^{30} = \frac{a_1}{MF + a_2} + \frac{a_3}{\phi + a_4} + a_5 \quad \dots\dots(4)$$

ここに a_i は未定係数である。

4.2.2 ϕ の形

ϕ 値は(3)式から分るように加性が無いが、一次近似として配合炭の ϕ 値は単味炭の ϕ 値の加重平均値で与えられると仮定した。予備計算の結果から、 \bar{R}_0 について1次、TRについて2次の形とすれば高精度の強度推定が可能なことが分った。

$$\phi = (a_6 TR^2 + a_7 TR + a_8) \bar{R}_0 + a_9 TR^2 + a_{10} TR + a_{11} \quad \dots\dots\dots(5)$$

4.2.3 対象データ

水島No.5コークス炉と千葉No.5コークス炉を対象とし、昭和51年後半から53年末までの各日のデータを用いた。粘結材添加などの特殊配合時のデータは除外した。データの組数は水島No.5炉が686日分、千葉No.5炉が758日分である。

対象期間の DI_{15}^{30} 、MFおよび \bar{R}_0 の範囲をTable 2に示す。 DI_{15}^{30} は同一配合期間の平均値について示した。

Table 2 Range of DI_{15}^{30} , MF and \bar{R}_0 in the period used in data analysis*

	Mean	Minimum	Maximum
DI_{15}^{30**}	93.11	92.30	93.59
MF	2.55	2.30	2.82
\bar{R}_0	1.12	1.05	1.20

* 686 days for Mizushima No.5 coke ovens and 758 days for Chiba No.5 coke ovens

** Averaged value for the same blends

4.2.4 計算手法

次の手順で(4)、(5)式中の未定係数値を最小自乗法的に定めた。

(1) $a_8 = 1$ とし、 a_1, a_3, a_5, a_8 以外の a_i については0を初期値とする。これはMFと \bar{R}_0 の逆数を変数にとることを意味する。

- (2) a_1, a_3 および a_5 を最小自乗法で決定する。
- (3) a_i ($i = 1, 3, 5$) に微小値 Δa_i を加えて最適化を進める。(4)式を Δa_i について1次の項までテーラー展開すれば、 Δa_i は最小自乗法で求まる。
- (4) $a_i + \Delta a_i$ を新しい a_i 値とする。
- (5) (2)~(4)の繰り返しを収束条件、

$$\left| \frac{\Delta a_i}{a_i} \right| < 0.0001 \quad \dots\dots\dots (6)$$

を満たすまで行う。

炉形状が異なればコークス強度に対する石炭性状の効果も異なるので、 $a_1 \sim a_5$ は炉団別に求めた。しかし性状因子の評価は炉団によらず一定であるべきであり、 ϕ の係数は両炉で共通値とした。解析で求めた ϕ は相対的指標である。そこで、解析対象時の ϕ 平均値が1となるように1次変換したものを最終的な ϕ とした。

4.3 結果と考察

DI_{15}^{30} に対して最適化した性状因子 ϕ を Fig.4 に示す。低石炭化度炭では最適なTR値のあることが分る。これは、活性質の増加が収縮率 β の増大、ヤング率 E の低下という $(1-\nu)/\beta E$ 値に相反する効果を与えるため、両者のつり合いとして最適TR値が存在するものと解釈される。

水島No.5炉を例として、推定式の係数値を Table 3に、推定式をグラフ化して Fig.5 に示す。MFが

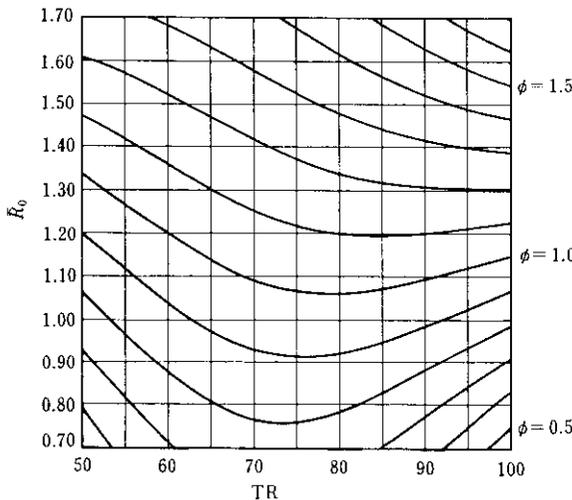


Fig. 4 Estimate of modified coal rank parameter ϕ from \bar{R}_0 and TR (total reactivities)

Table 3 Coefficients determined by data analysis in eq.(4) (Mizushima No.5 coke ovens)

Coefficients	Values
a_1	-0.0387
a_2	-2.161
a_3	-6.320
a_4	-0.1558
a_5	100.62

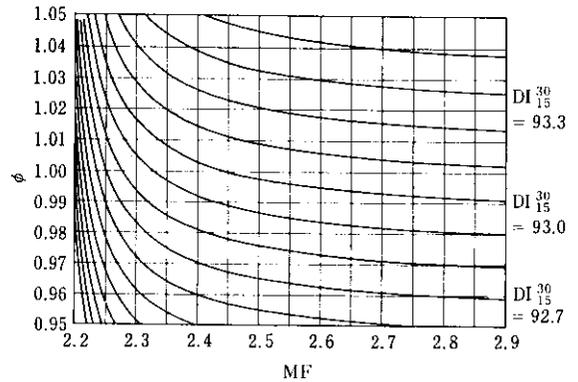


Fig. 5 Relation between DI_{15}^{30} , MF and ϕ (Mizushima No.5 coke ovens)

2.5以下になると DI_{15}^{30} に対する MF の効果が顕著となる。これは宮津ら⁷⁾の報告とほぼ一致する。

解析対象期間の DI_{15}^{30} の計算値と実績値の対応を同一配合期間の平均値で調べた。水島No.5炉の例を Table 4 に示す。参考のため、 ϕ の代りに \bar{R}_0 を用いて(4)式を決定した場合も記した。最適化した因子の組立てが推定精度向上に有効といえる。

Table 4 Comparison of calculated DI_{15}^{30} with observed one*** (Mizushima No.5 coke ovens)

Parameters used	r	σ_e	n
MF, ϕ	0.631	0.209	134
MF, \bar{R}_0 ***	0.574	0.235	

- * Comparison was made for the period used in data analysis
- ** Averaged DI_{15}^{30} for the same blends was adapted
- *** In this case, parameters in eq.(4) were optimized using \bar{R}_0 instead of ϕ

5. 操業因子の評価

操業因子として嵩密度と乾留速度が抽出されたが、装入炭の均質性も DI_{90}^{S} の要因であることが知られている。そこで操業因子の評価を行うまえに、均質性についての理論的検討が要求される。

5.1 均質性とコークス強度の関係

装入炭を微粉砕すると嵩密度の低下とともに均質性の向上といった DI_{90}^{S} に対して相反する効果が同時に現れる。従来は均質性の定義が曖昧のまま用いられ、両効果の分離が困難であった。本研究では均質性の概念の定量化を試みた^{8,9)}。

一般にコークス強度を S 、性状因子を (X, Y) で表わす。装入炭を M 個に分割してみると、 j 番目のブロックでは装入炭の平均性状 (\bar{X}, \bar{Y}) から $(\Delta X_j, \Delta Y_j)$ の偏差を有した性状となっており、このブロックから得られるコークス強度は $S_j(\bar{X} + \Delta X_j, \bar{Y} + \Delta Y_j)$ と書ける。実測強度 S_0 は確率的意味において各ブロックのコークス強度の平均値である。

$$S_0 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_j(\bar{X} + \Delta X_j, \bar{Y} + \Delta Y_j) \quad \dots\dots(7)$$

X と Y に交絡作用のない(4)式の場合を考え、各 S_j を (\bar{X}, \bar{Y}) 近傍で2次項までテーラー展開し、(8)式を得る。

$$S_0 = S(\bar{X}, \bar{Y}) + \frac{\partial^2 S(\bar{X}, \bar{Y})}{2\partial X^2} \cdot \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\Delta X_j)^2 + \frac{\partial^2 S(\bar{X}, \bar{Y})}{2\partial Y^2} \cdot \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\Delta Y_j)^2 \quad \dots\dots(8)$$

石炭品位の向上に対してコークス強度の上昇が飽和傾向にあるという経験則を考えると、2次偏微分係数は常に負値である(Fig.6 参照)。装入炭の不均質性(性状因子の分散)が小さくなるほど強度が向上し、その効果は品位が不足気味の場合に顕著となる。

分散項は、Buslik¹⁰⁾の理論を拡張すると、配合種の性状と粒度分布で表わされる⁸⁾。

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\Delta X_j)^2 \propto \sum_{i=1}^M F_i \int f_i(r) r^3 |\bar{X} - X_i(r)|^2 dr \equiv D_{X^2} \quad \dots\dots(9)$$

- i : 石炭種
- N : 配合種の総数

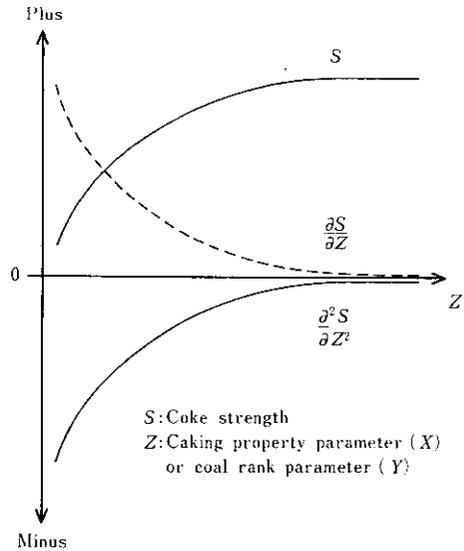


Fig. 6 Change of coke strength and its derivatives with increase of coking property parameter

- F : 配合率
- r : 粒径
- $f(r)$: 微分型粒度分布関数
- $X(r)$: 径 r の粒子の X 値

D_{X^2} の算出には多くの分析値を要し、日常管理のパラメータには適さない。同一銘柄では粒度間の X 値の差異が比較的小さいこと、 $f_i(r)r^3$ の値は粗粒部の分率に支配されることを考えると P を篩目 3 mm 下重量%として、次の近似式が得られる。

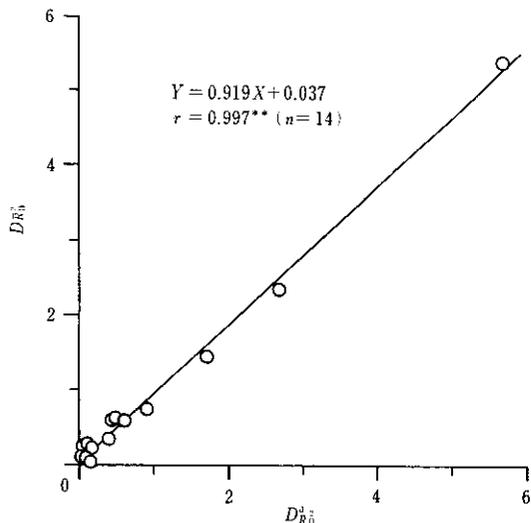
$$D_{X^2} \propto \sum_{i=1}^N (100 - P_i) (\bar{X} - X_i)^2 \equiv D_{X^2}^* \quad \dots\dots(10)$$

実際に、 D_{X^2} と $D_{X^2}^*$ には高度の相関が認められる。 X として \bar{R}_0 をとった場合の例を Fig. 7 に示す。

理論の妥当性は既に実炉実験で確認された⁹⁾。結果を装入炭の MF 値で整理して示す(Fig. 8,9 参照)。

5.2 解析方法

嵩密度、乾留速度および不均質性を表わすパラメータとして装入炭の P 値、フリー温度 (FT)、 D_{MF^2} と D_{S^2} を採用した。解析で決定した(4)式は操業因子の効果を無視しており、平均的な操業条



DR_0^30 : A parameter representing inhomogeneity of a coal charge as to R_0 and estimated rigorously
 DR_0^4 : An approximate one

Fig. 7 Relation between DR_0^30 and DR_0^4

件時の推定式と解釈される。各操業因子について解析対象期間の平均値からの偏差を変数として、性状因子に対する補正を行った。

$$DI_{15}^{30} = a_1 / \{MF + a_2 + b_1(P - \bar{P}) + b_2(FT - \bar{FT}) + b_3(D_{MF^2}^3 - D_{MF^2}^4)\} + a_3 / \{\phi + a_4 + b_4(P - \bar{P}) + b_5(FT - \bar{FT}) + b_6(D_{\phi^2}^3 - D_{\phi^2}^4)\} + a_5 \dots (11)$$

ここに、 b_i は未定係数を、 \bar{P} , \bar{FT} , $\bar{D}_{MF^2}^3$ および $\bar{D}_{\phi^2}^4$ は平均値を表わす。 D^3 値の効果は厳密には(8)式の形で表わされるが、この場合は解析が困難となる。低品位時ほど不均質性の効果が顕著であるという理論的要請は、(11)式によっても表現されるので簡単な式の形を選んだ。

操業因子の効果は炉形状により異なるので、炉団別に解析を実施した。性状因子の評価に用いたのと同一時期のデータを対象とし、同一の手法で b_i 値を最適化した。水島 No.5 炉について、各パラメータの範囲を示す (Table 5 参照)。

5.3 結果と考察

水島 No.5 炉の結果について述べる。適切な操業

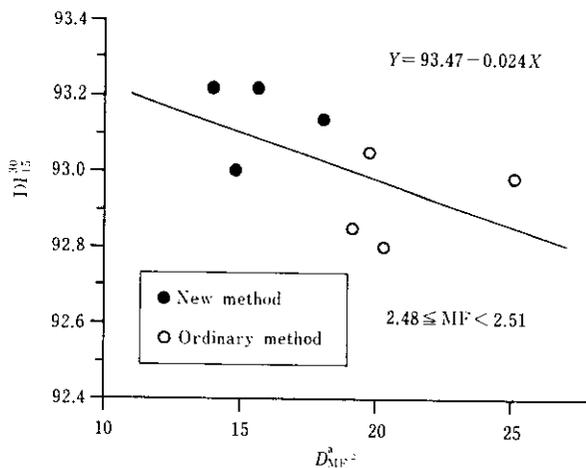


Fig. 8 Experimental relation between DI_{15}^{30} and $D_{MF^2}^4$ when charges are relatively low fluidity blends (low fluidity coal was crushed finely in ordinary method. In new method, crushing was intended to minimize $D_{MF^2}^4$)

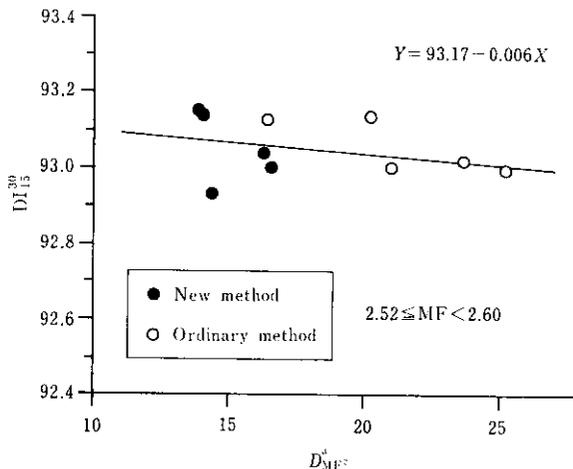


Fig. 9 Experimental relation between DI_{15}^{30} and $D_{MF^2}^4$ when charges are relatively high fluidity blends

因子補正により推定精度は更に向上した (Table 6 参照)。各 b_i 値を Table 7 に示す。操業因子の効果は各性状因子への効果として分離されて定量化される。

MF に対する効果を Table 5 の範囲で考えると、以下の知見を得る。 P の増加、すなわち高密度の減少による融着性阻害は無視し得る。 FT の上昇は融着性を向上させるが、 80°C の上昇は MF で約 0.1 の向上にしか対応せず、その効果は比較的

Table 5 Range of working conditions in the period used in data analysis (Mizushima No.5 coke ovens)

Parameters	Mean*	Minimum	Maximum
P: Weight percents of charge under 3mm sieve	84.90	78.1	87.8
FT: Flue temperature (°C)	1205.1	1170	1248
D_{MF}^{30} : Inhomogeneity of charge as to MF	22.70	13.9	41.9
D_{ϕ}^{30} : In homogeneity of charge as to ϕ	0.617	0.46	1.04

* Mean value for A is expressed by \bar{A} in eq. (11)

Table 6 Comparison of calculated DI_{15}^{30} with observed one (Mizushima No.5 coke ovens)

Parameters used	r	σ_e	n
MF, ϕ , Working conditions*	0.720	0.189	134

* Parameters representing working conditions are shown in Table 5

Table 7 Coefficients determined by data analysis in eq. (11) (Mizushima No.5 coke ovens)

Coefficients	Values
b_1	0.0012
b_2	0.0015
b_3	-0.0109
b_4	-0.0080
b_5	-0.0004
b_6	-0.0414

小さい。 D_{MF}^{30} の寄与は比較的大きい。FTとPが平均値の時を考え、 $D_{MF}^{30} = 10$ の時を基準として D_{MF}^{30} 増加による(11)式第1項の低下幅を計算した(Fig. 10参照)。この解析結果は実操業実験の結果(Fig. 8, 9参照)とほぼ一致する。

物理融着モデル(1)式によれば乾留速度の上昇は融着時間を減少させるのでMF低下と対応するが、解析結果は逆の効果を示した。これは急速乾留による融着成分の増加という化学的效果の方が大きいと推察される。

ϕ に対して、各操業因子はいずれも負効果を与える(Table 7参照)。これは、嵩密度の減少による収縮率の増加、温度勾配の増大が熱応力を大とし、不均質性が DI_{15}^{30} の負要因であるためであり、

合理的な結果と言えよう。各操業因子の増加による(11)式第2項の低下幅を、 D_{MF}^{30} の場合と同様に算出した(Fig. 11~13参照)。操業因子の効果があまり ϕ 値に依存しないこと、Pの増加が最も DI_{15}^{30} を低下させることが解る。

6. 強度推定式の応用

6.1 強度推定式の特長

本研究で得られた DI_{15}^{30} 推定式は以下の特長を有する。

(1) 簡便である。式中で種々に変換されるものの、基本的に必要なデータは、各銘柄のMF, VM_{daf}

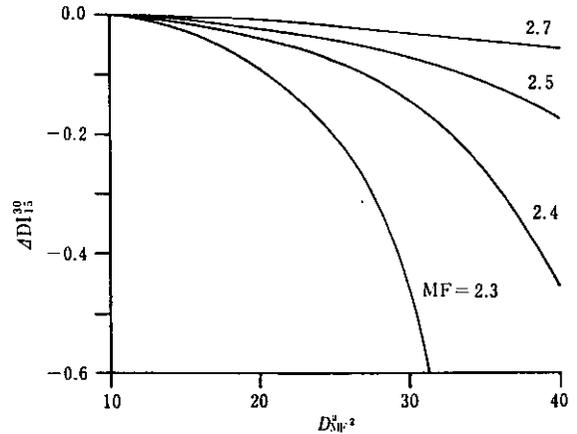


Fig. 10 Change of DI_{15}^{30} with increase of D_{MF}^{30} calculated by the first term in eq. (11) under the condition of $P = \bar{P}$ and $FT = \bar{FT}$

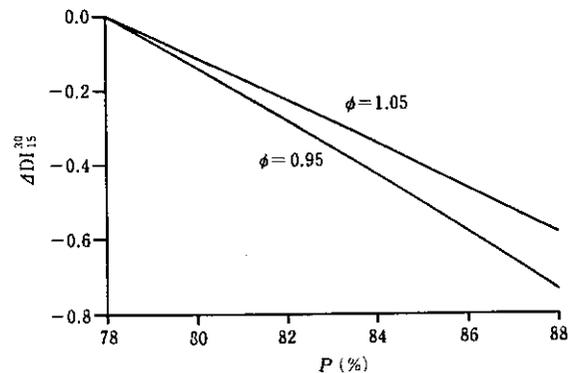


Fig. 11 Change of DI_{15}^{30} with increase of P calculated by the second term in eq. (11) under the condition of $FT = \bar{FT}$ and $D_{\phi}^{30} = \bar{D}_{\phi}^{30}$

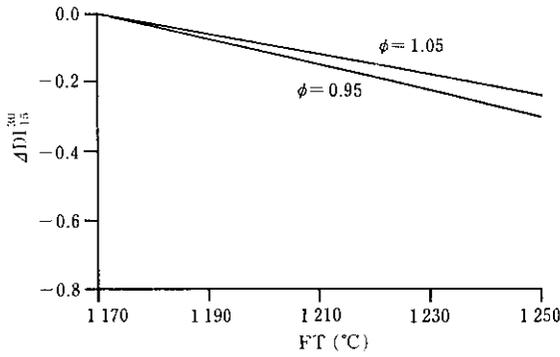


Fig. 12 Change of DI_{15}^{30} with increase of FT calculated by the second term in eq. (11) under the condition of $P=\bar{P}$ and $D_{\phi}^*=\bar{D}_{\phi}^*$

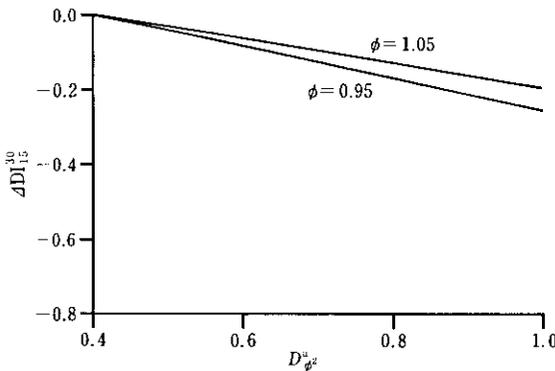


Fig. 13 Change of DI_{15}^{30} with increase of D_{ϕ}^* calculated by the second term in eq. (11) under the condition of $P=\bar{P}$ and $FT=\bar{FT}$

およびP値とコークス炉炉温のみである。

(2) 推定精度が高い。解析対象期間外に本推定式を適用した例を Fig. 14 に示す。

(3) 操業条件の効果が石炭性状値として換算される。このためコークス炉稼働率の変更に際し、適切な配合組成を決めることができる。

これらの特長から、本推定モデルは石炭購買計画に反映され、また川鉄化学(株)千葉および水島両工場のプロセスコンピュータに導入されている。

6.2 実操業における強度推定システム

ここでは水島工場における配合管理への応用例について述べる。水島工場では20種前後の石炭をベッドに積付して配合炭を作成している。配合計画は、使用する石炭の払出炭品質(水分、灰分、揮発分、全硫黄、流動性)からコークス品質(灰分、全硫黄分、強度)を推定し、設定した目標値となるように行っている。

しかし、石炭の品質は同一銘柄でも入荷ロットごとに異なり、品質管理の対象ロットは100以上に及ぶためコンピュータ(コア:32kW, ミニディスク:1024kW)を利用したデータ管理を実施している。システムの概要を Fig. 15 に示す。

最初に入荷炭分析値を入力することにより、 ϕ が計算され、他の品質とともに登録される。また払出炭分析値を入力すると、次の払出ロットの水分が指数平滑法により、他の品質が加重移動平均法により予測されてデータの更新が行われる。

配合計画の決定は、オペレータがCRT上でコンピュータと対話して行っている。配合組成と操業条件の計画値を入力すると、ディスク内のデータと予測式を使用して推定強度と他のコークス品質が表示される。オペレータはこの結果を判断し、

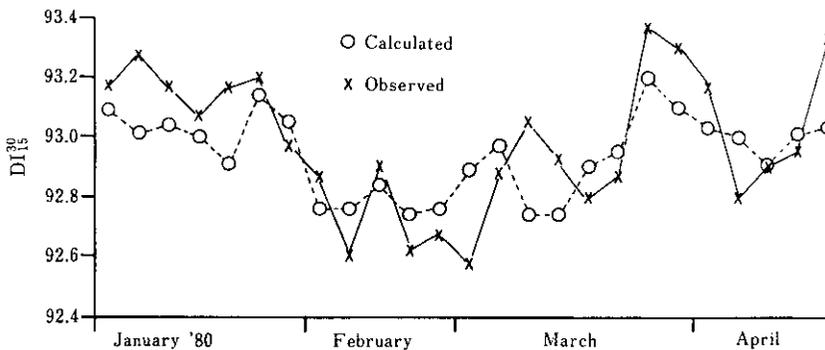


Fig. 14 Comparison of DI_{15}^{30} between calculated by eq. (11) and observed (Mizushima No. 5 Coke ovens)

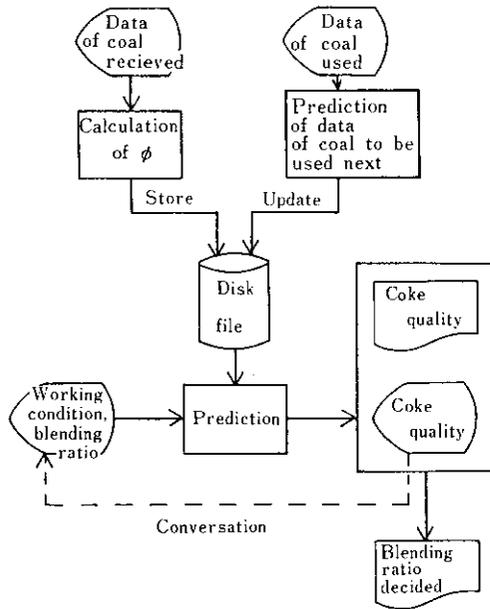


Fig. 15 Schematic flow diagram for decision of blending ratio of coals at Mizushima Works of Kawasaki Chemical Industry Co., Ltd.

必要に応じて計画の修正を行う。また、強度推定モデルの精度向上のためにはデータの蓄積が重要との観点から、計画値と実績値のファイリングと

リスト出力を行っている。昭和55年7月に本システムは稼働し、 DI_{95} の予測精度(σ_e)は経験的パラメータを使用していた従来値0.22から0.14まで改善された。

7. 結 言

DI_{95} の本質を考察し、いくつかの理論的検討と実験的確認を行い、この結果を実操業データの解析に応用して簡便かつ高精度の DI_{95} 推定システムを開発した。この強度推定システムは日常の管理に供するに十分なものである。

しかし、いくつかの欠点があることも否めない事実である。たとえば嵩密度と乾留速度を粉碎度とフリュー温度で代表させており、装入方法や燃焼方法の差異を式中に反映できない。また本質的な面から言えば、セミコークスの熱応力生成機構の実験的解明、強度試験器内におけるコークスの破壊挙動と亀裂の関係の定量化など、残された課題は多い。

今後、強度推定の更なる向上を達成するには、石炭、コークスに関する基礎応用両面からの研究が重要なことは十分に認識されるところであり、一層の努力を続けたいと考える。

参 考 文 献

- 1) 美浦：燃料協会誌，58 (1979) 11, 902
- 2) 西：燃料協会誌，58 (1979) 11, 926
- 3) N.S.Gryaznov and L.V.Kopeliovich：Coke and Chem.USSR. (1975) 7, 4
- 4) 杉辺，宮川：コークス・サーキュラー，29 (1980) 3, 159
- 5) Yu.Ya.Filonenko, V.I.Eremov, V.N.Sharipov and G.N.Makarov：Coke and Chem.USSR, (1975) 4, 15
- 6) 杉辺，宮川，堀越，滝沢：コークス・サーキュラー，28 (1979) 3, 219
- 7) 宮津，奥山，鈴木，福山，森：日本鋼管技報，(1975) 67, 125
- 8) 杉辺，宮川：鉄と鋼，64 (1978) 11, S513
- 9) 杉辺，宮川，笠岡，青山：鉄と鋼，66 (1980) 4, S69
- 10) D.Buslik：ASTM Bull., (1950) 165, 66