

GO-STOPシステムによる高炉の安定操業

GO-STOP System—A New Controlling Method for Improving
Stability in the Blast Furnace Operation—

岡 部 俠 児*

Kyoji Okabe

福 武 剛**

Tsuyoshi Fukutake

高 橋 博 保***

Hiroyasu Takahashi

河 合 隆 成****

Takanari Kawai

岩 村 忠 昭*****

Tadaaki Iwamura

崎 村 博*****

Hiroshi Sakimura

Synopsis:

GO-STOP system, a computer-aided diagnosing and controlling system of a blast furnace, has been developed by Kawasaki Steel Corporation to detect abnormal conditions of the furnace at its earliest stage so that proper action can be taken to prevent any further deterioration. Unlike the conventional hearth-heat control models in which oil injection rate and blast temperature are used as means of control, this system uses blast volume as a main means of control. The paper introduces this system as applied to Chiba No. 6 blast furnace, together with some results and discussions.

1. 緒 言

一貫製鉄所では、高炉、製鉄、圧延の各工程が直接結びついているので、いずれかの工程が止まると全体の生産に影響を及ぼす。とくに、高炉は

これらの連続した工程の最上流に位置しているため、もし高炉が炉況不調になり出鉄量が減少すると、全製鉄所の生産量に重大な影響を及ぼす。最近の高炉の大型化により、個々の高炉の安定な操業がますます重要となってきた。最近、高炉の解体調査、ムーヴァブル・アーマーあるいは、ベル

* 技術研究所次長・工博
*** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課掛長
***** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長待遇)
〔昭和54年2月28日原稿受付〕

** 技術研究所製鉄研究室主任研究員
**** 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室
***** 千葉製鉄所設備部設備技術室

レス装入装置による装入物分布制御の経験と、研究などによる高炉プロセス解明の研究などにより低燃料比で安定な操業が達成されつつある。しかし、予期できない原料性状の変化などによる高炉が況の変化は避けられず、炉況悪化の早期発見と、適正な対処操作によるより以上の悪化の防止は、熱的余裕が少ない低燃料比操業が日常化している現在、ますます重要になっている。

IRSIDで開発された熱バランスに基づく炉熱制御モデル^{1,2)}は、修正、改良された形で各所で適用が試みられている^{3,4)}。当社においても同様なモデルによる炉熱制御が試みられ⁵⁾、銑中〔Si〕の予測が可能であることが確認されている。しかしこれらのモデルは、スリップ、棚吊りなどの装入物降下異常がなく、炉が準定常状態にあるときにのみ有効であり、装入物降下が異常になった場合には適用できないことが明らかとなった。

装入物降下に異常が現れたとき、操炉者は、一時的に送風量を下げずて炉況の回復を図る。操炉者が採りうる操作因子のなかで、送風量は炉熱を制御するための、送風温度、重油量などと並んで重要であるにもかかわらず、送風量を直接の制御因子とする高炉制御モデルはほとんど試みられていない。宮坂ら⁶⁾は、反応速度式に基づく数式モデルにより、焼結鉱の還元粉化による送風圧力変化の予測を試みている。送風圧力の上昇は装入物降下異常の原因の一つであるが、送風量を操作する場合は種々の要因も考慮しながら炉況を総合的に判断しなければならない。

高炉の炉況異常のなかで、羽口破損などの設備トラブルを除けば、急速な炉熱の低下による、出滓不能ひいては、高炉操業自身が不能になる冷え込みが最も重要である。冷え込みにいたる過程は、単に全体の入熱不足による炉熱低下だけではなく、種々の原因により起こる装入物の降下異常とくに大規模なスリップを伴っていて、その防止には、このような異常の早期発見と減風を含む適正な対処操作が不可欠である。

GO-STOPシステムは、冷え込みなどの重大な炉況不調を防止するため、当社で開発されたオンライン計算機による高炉操業管理システムであり、従来の炉熱制御モデルと比較して、送風量の変更（主として減風）を指示する点に特徴がある。

GO-STOPシステムは、当初千葉第5高炉に適用され、その後千葉、水島の各高炉にそれぞれの高炉の特性と計算機システムに合わせて修正され、適用されている。

本報告では、千葉第6高炉を例として、システムの概要とその適用状況を報告する。

2. 炉況不調にいたる過程とその検出方法の検討

前述のように最も重大な炉況不調は冷え込みであり、これを防止するためには異常な装入物降下を起こさないよう操業する必要がある。装入物降下は装入物の自重により起こり、装入物層を貫流して上昇するガス流の圧力損失と、装入物相互および壁との摩擦力が降下を妨げる。このような装入物降下を妨害する因子を時々刻々定量できれば、装入物降下異常の推定または、予測が可能である。現状では、高炉プロセスの定量的把握および、装入物性状、たとえば粒度の連続測定値が不十分なため、プロセスのある一面をとらえたモデルに基づく装入物降下異常の予測は、現実的ではない。

GO STOPシステムは、一面的なモデルではなく、種々の測定値から得られる情報をできるだけ高炉プロセス理論に基づいて整理し、さらに操業経験上重要と判断された因子を選択し、これをもとにして炉況を判定する方法である。

設備トラブルを除けば、炉況悪化は、

- (1) 装入物降下不順
- (2) 炉熱変動あるいは低下
- (3) 出銑率不良

に大別できる。これらは互いに独立でなく Fig.1 に示すように相互に影響し合い、適正な対策が採られない場合は冷え込みにいたる。たとえば、装入物の降下が不均一になり、炉内で部分的にスリップを起こすと炉熱が一時的に低下する。炉床における出銑、出滓時のスラグ流れは、スラグの粘度により影響され、温度が低下して粘度が上昇すると炉床の残滓量が増す⁷⁾。その結果、炉下部のガス流れが変化して、この部分での装入物の円滑な降下が妨げられる。装入物の不均一降下により、銑石、コークスの層状構造が部分的に乱れると、ガス利用率と融着帯形状が変化し、その結果、炉

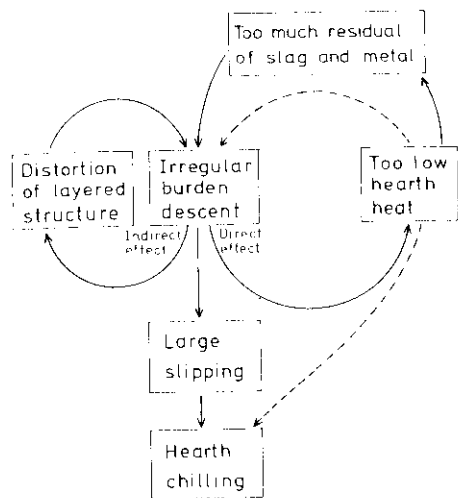


Fig. 1 Schematic diagram of interrelationship between different types of furnace troubles

熱の変化と装入物の不均一降下を起こす。

このような炉況の悪循環は、必ずしも常に起こるとは限らないが、それぞれの要因の変動が大きくなれば悪循環を起こしやすくなると考えるのが妥当である。Fig. 2 に示すように過去に経験した大スリップ時のデータ解析結果から、大スリップを起こす前には、溶鉄温度の低下、スラグ比の低下から判断される残滓量の増加、さらに炉内圧力損失の増加とストックライン深度の変化から判断される装入物降下異常が通常の操業で観察される範囲を越えて起こっていることが明らかになった。このことから、Fig. 1 に示した炉況悪化の概念は、妥当であると判断される。

以上の考察から、大スリップなどの重大な炉況不調を早期に予知するためには、Fig. 1 に示した装入物降下異常、炉熱低下および残滓量の増加を検知すれば良いことがわかる。以下にGO-STOPシステムによる炉況判定に用いている操業データと指数（以下操業パラメータと総称し、Table 1, Table 2 に一括して略号とともに示す）を、上述の3種の炉況異常と関係づけて説明する。

Fig. 3 に装入物の不均一降下に関する操業パラメータを示す。各操業パラメータは、それぞれの持つ意味を明確にするために不均一降下それ自身を中心に、その原因および結果と考えられる現象として関係づけた。

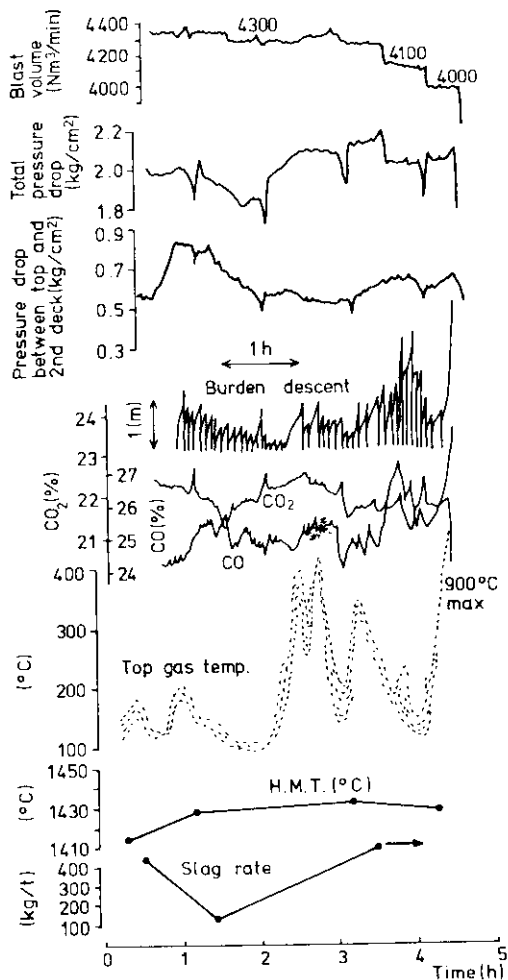


Fig. 2 Change in operational data before a large slipping

炉内の圧力損失は装入物の降下を妨げる主要な原因の一つである。装入物降下に及ぼす影響は、圧力損失の絶対値 (DP, DSP1, DSPU) により判定できるが、ボッシュガス量に影響されない量として炉内の通気性を判定するために、(1) 式で定義した通気抵抗指数 F2 を併用する。

$$F2 = \frac{P_b^2 - P_t^2}{LU_0^{1.7} P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad \text{..... (1)}$$

ここで P_b は送風圧、 P_t は炉頂圧、 P_0 は基準圧 ($\text{kg/m}^2, \text{abs.}$)、 L は炉頂-炉頂間距離 (m)、 U_0 は基準状態 (P_0, T_0) での空塔基準炉内平均ガス流速 (m/min)、 T は炉内平均温度、 T_0 は基準温度 ($^{\circ}\text{K}$)

Table 1 Operational parameters for level judgement and items for categorial judgement with abbreviations in the parentheses

Judgement on individual parameter	Type of judgement*	Categorial judgement
Pressure drop between blast and top (DP)	A	Overall permeability (DPI2)
Flow resistance index (F2)	A	
Pressure drop between lower shaft and top (DSPL)	A	Local permeability (DSP)
Pressure drop between upper shaft and top (DSPU)	A	
Hot metal temperature (HMT)	B	Thermal state of the furnace (HI)
Thermal index (HI0)	B	
FeO in slag (FeO)	A	
CO gas utilization ratio (ECO)	B	Top gas condition (GAS)
Top gas temperature (TGT)	A	
Slip hole index (SH)	A	State of burden descent (SHI)
Gas distribution index I (center) (GT _C)	A	Gas distribution at the top (TED)
Gas distribution index II (periphery) (GT _P)	C	
Shaft stove temperature (STTS)	C'	Wall temperature (STT)
Bosh stove temperature (STTB)	C'	
Heat load of staves (STHL)	C	
Slag ratio during 3 latest taps (SR3)	A	Slag and hot metal residuals (PSB)
Input and output balance of slag (SLAG)	A	in the hearth.

* One of four different types of judgement is applied for each operational parameter according to the relationship between the value of each parameter and the furnace conditions.

A, B, C and C' in the table correspond to the types of judgement shown below:

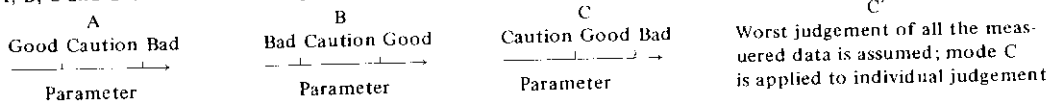


Table 2 Operational parameters for variation judgement and items for categorial judgement with abbreviations in the parentheses

Judgement on individual parameter	Categorial judgement
Blast pressure	Blast pressure (VBP)
Short term (VBP-S)	
Medium term (VBP-M)	
Long term (VBP-L)	
Lower shaft pressure	Shaft pressure (VSP)
Short term (VSPL-S)	
Medium term (VSPL-M)	
Long term (VSPL-L)	
Upper shaft pressure	
Short term (VSPU-S)	
Medium term (VSPU-M)	
Long term (VSPU-L)	
Thermal index	Thermal index (VH0)
Medium term (VH0-M)	
Long term (VH0-L)	
CO content in top gas	Top gas composition (VGAS)
Short term (VCO-S)	
Medium term (VCO-M)	
Long term (VCO-L)	
N ₂ content in top gas	
Short term (VN ₂ -S)	
Medium term (VN ₂ -M)	
Long term (VN ₂ -L)	

Note: For all the parameters mode A of judgement is applied (refer to Table 1)

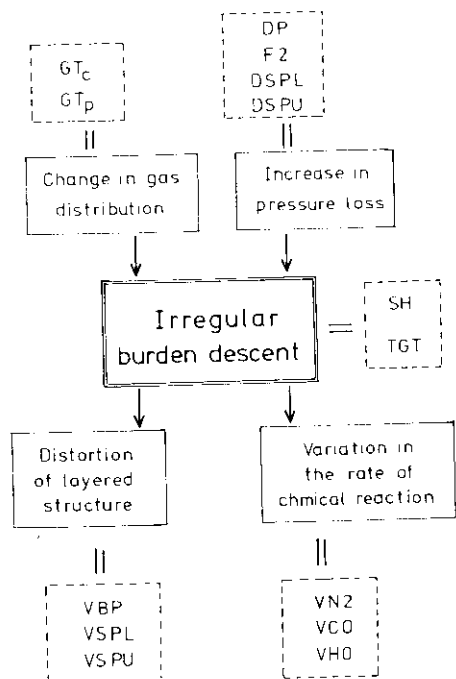


Fig. 3 Operational parameters (enclosed by dashed line) in relation to irregular burden descent and its causes and effects (refer to Table 1 for symbols)

である。

炉内の装入物分布は炉況を支配する主要な因子の一つであり、操業目標に合わせて最適分布となるよう装入装置により制御されている。装入物分布は、装入方法が一定でも原料粒度の変化などにより変わり、最適な分布から偏りやすい。本システムでは、装入物分布を炉頂の固定温度計により連続的に監視し、分布がある基準の状態から変わった場合は、上述の理由により炉況悪化と判断する。分布の変化の判定は、目標とする温度分布を与え、半径方向各点の実測温度から計算した二つの指数、GTC、GTPに基づいて行う。

不均一降下それ自体を判定するために、吹きぬけの検出には炉頂ガス温度を、炉内で形成される過剰な空間の大きさの推定にはスリップホール、(Slip-Hole) 指数SHを用いる。スリップは炉内で装入物が急に不連続的に降下する現象であり、この現象が起こるためにはスリップする装入物が満たすべき過剰な空間の存在が前提となる。もしこの過剰な空間が大きくなればスリップの起こる確率は増す。SHは、炉内で消費される装入物量が羽口から炉内に吹き込まれた酸素量に比例するという仮定に基づいて、装入1回あたりの吹き込み酸素量と定義する。すなわちSHの増加は空間の生成に、減少は消滅に対応する。過剰空間の判定には、Table 3に示す方法で計算した積算値SH3を用いる。

部分的なスリップなどにより不均一降下が起こると、ガス流路の変化による圧力変化と、化学反応速度の変化による炉頂ガス成分の変動が起こる。送風圧力の変動を、炉況を反映する指標として用いる例が報告されているが²⁰⁾ 本システムでは送風

圧力のほかに炉内圧力、炉頂ガス成分の変動を用いる。操業データの時間的推移を詳細に検討した結果測定値には周期的な観点から短期(5min程度)、中期(数10min)、長期(数h)の3種類の変動が見られることが判ったので、次式に示すように3種類の変動として数値化した。

$$\text{短期変動 } V_S = \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (X_i - \bar{X}_l)^2} \quad \cdots (2)$$

$$\text{中期変動 } V_M = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{X}_l - \bar{X}_{l,m})^2} \quad \cdots (3)$$

$$\text{長期変動 } V_L = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{X}_l - \bar{X}_{l,n})^2} \quad \cdots (4)$$

ここで、 X_i は測定値、 $\bar{X}_l$ は X_i を用いて最小自乗法により求めた近似曲線による計算値、 $\bar{X}_{l,m}$ 、 $\bar{X}_{l,n}$ は相当する期間の測定値の平均値である。Fig. 4に送風圧力の記録と変動の計算値の例を示す。炉下部でのスリップは一時的に直接還元量の増加を起こすため、 N_2 の変動は炉下部でのスリップを推定する良い指標である。一方、COの変動はスリップのほかに吹きぬけの検出に用いられる。

Fig. 5に炉熱低下を検出するための操業パラメータを示す。

炉壁付着物の脱落、ガス利用率の低下は炉熱低下の原因となる。前者はステーブ温度の変化により検出される。

炉熱が高炉操業に影響する理由は、溶滓の温度低下による粘度上昇のため排滓が困難になることにある。したがって、従来炉熱の指標としてよく用いられてきた鉄中Si%の代りに溶銑温度を用いる。付加的にスラグ中FeO%と炉熱指数HI²¹⁾を用いる。後者は炉下部の熱バランスに基づく指数であり、炉全体の平均的な炉熱を示すため、各出銑口間に溶銑温度偏差が生じて平均的な炉熱を溶銑温度から推定するのが困難な場合には特に有用である。

炉床に残留する溶融物の大部分は溶滓であり、設備上のトラブルを除けば溶銑残留量は無視できる²²⁾。残留溶滓量の推定には、装入回数から推定した計算造滓量と実積出滓量の差(SIAG)と3回の出銑の平均スラグ比(SR3)を用いる。後者では、溶銑は炉床にほとんど残らないとする仮

Table 3 Calculation formulae for slip-hole index and its derivatives

	Symbol	Formulae
Slip-hole index	SH	Total oxygen blown into tuyere during the period of last n charges
Exponential average	SH1	$= (SH)_i \cdot w + (SH)_{i-1} \cdot (1-w)$
Difference	SH2	$= SH - SH1$
Summation	SH3	$= \sum SH2$

Note: n and w are parameters.

i indicates sequential number of the data

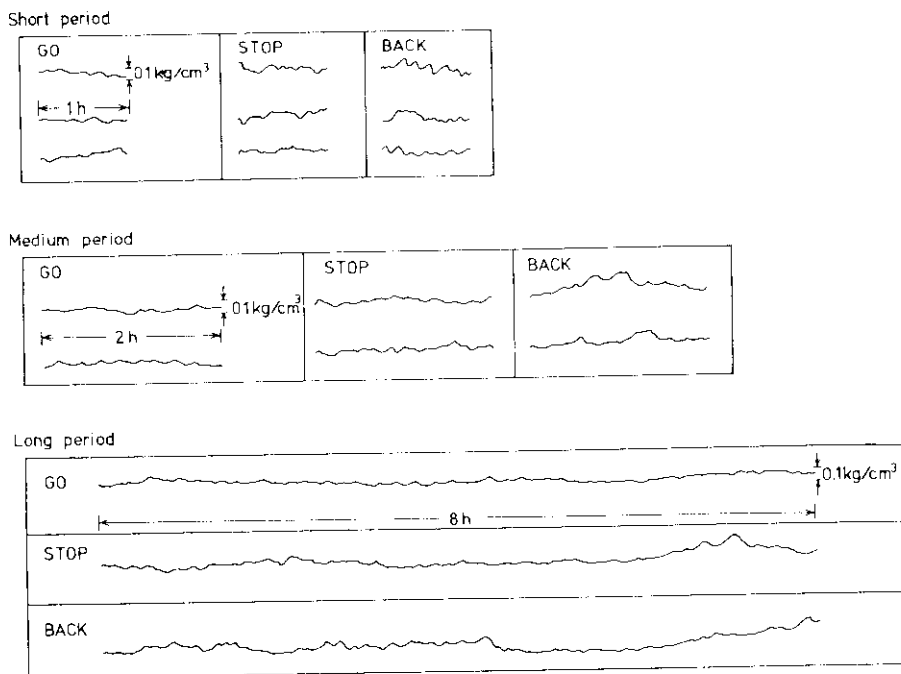


Fig. 4 Examples of variation of blast pressure and the results of variation judgement for short-, medium- and long-period variations

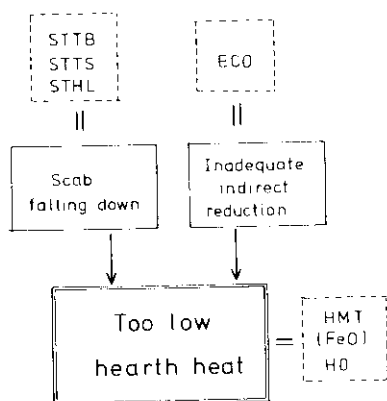


Fig. 5 Operational parameters (enclosed by dashed line) in relation to too low hearth heat (refer to Table 1 for symbols)

定に基づき、銑鉄生成量に比例したスラグ量が排出されているか否かを実測スラグ比により判定する。装入物降下が不規則な場合には、炉内の過剰空間量が変化するため、装入回数に基づくスラグ生成量の推定精度は悪くなる。しかし、スラグ生成量はこの場合でも銑鉄生成量に比例するので、SR3 による残滓量の推定精度は不変であり信頼性が高い。

以上のように、操業経験、炉況異常時のデータ解析および高炉プロセス理論をもとに炉況判定のための操業パラメーターを選択した。以下にこれらの操業パラメーターを用いた炉況判定方法と、判定結果に基づく高炉操業法について述べる。

3. 炉況判定方法と判定結果に基づく操作

炉況を判定する方法として3段階表示、すなわち良好(GO)、注意(STOP)、不良(BACK)を採用した。この方法は、簡潔であり、操縦者による判定の方法と合っているため、受け入れられやすい。

オンライン計算機による全体の判定の流れを Fig. 6 に示す。まず個々の操業パラメーターについて3段階判定を行う。つぎにこの判定結果をもとに、各操業パラメーターをいくつかのグループに分類して総合的な判定の前段に相当する中間的な特性(以下特性要因と呼ぶ)として、3段階判定を行う。特性要因は、平均値による判定の場合には Table 1 に示すように8種類とした。8種類の選択にあたっては、各特性要因が、炉熱(HI)、

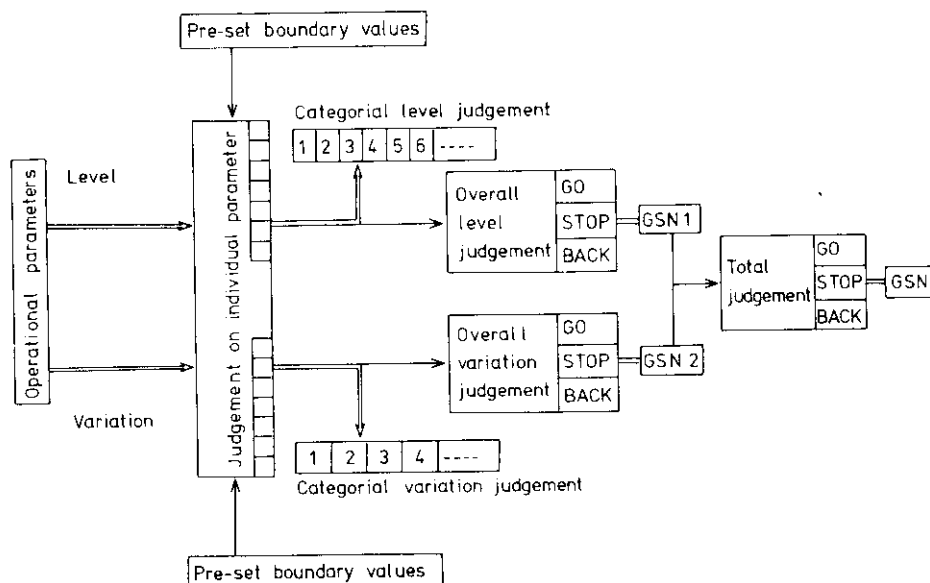


Fig. 6 Schematic flow diagram for judgement of furnace condition

炉全体の通気(DPF2)、残滓量(PSB)など炉況を特徴づけ、それぞれの判定結果から、炉況悪化の原因を推定し、それに対応する最適な操作の決定に有効に用いられるよう配慮した。平均値ではなく、変動値による判定の場合は特性要因は4種とし(Table 2 参照)、それぞれ上述の8種の特性要因の一つに対応させた。

最後に炉況全体の判定を行う。計算機への負荷を少なくし、かつ炉況の急激な変動に対応できるよう、判定は平均値に関するものと変動に関するものに分けて行い、前者は5 minごと、後者は30minごとに実行する。

実際の判定は、以下のように行われる。

個々の操業パラメーターの判定では、あらかじめ過去の操業解析により定めた上下二つの境界値を設け、Table 1の下部に示すように数値が小さいほど良い(判定方法A)、数値が大きいくほど良い(判定方法B)など、それぞれの操業パラメーターがもつ特性に合わせた判定方法により3段階に判定する。判定結果は、GO, STOP, BACKに対応して、平均値の判定では2, 1, 0点に、変動値の判定では、0, -2, -2点に数値化する。

各特性要因の判定と総合判定を行う場合には、対応する個々の操業パラメーターの得点 P_i を次式により重みづけ積算した値PWを用いる。

$$PW = \sum_i W_i P_i \quad (5)$$

ここで W_i は重みであり、上述の境界値と同様に過去の操業解析をもとにあらかじめ決定された値である。それぞれのPWの計算値をもとに、操業パラメーターの場合と同様に、二つの境界値と比較してGO, STOPまたはBACKと判定する。

総合判定は、平均値判定と変動判定の実行周期が異なるため、まずそれぞれ別個に行い、対応する積算値PWをGO-STOP数と名付け(それぞれGSN1, GSN2で示す)記録する。GSN1は0~100の範囲に、GSN2は0~30になるよう、前述の重み W_i が決められている。両者の和が総合GO-STOP数(GSNで示す)であり、炉況判定はこの値をもとに行われる。

判定結果は操業日報上(30minごと)にGSNを印字するとともに、随時操作者の要求によりカラー図形表示装置(CRT)上に表示される。表示は、炉況の現状と推移が視覚的に認識できるようPhoto. 1(a), (b)に示す2種を用いている。

Photo.1(a)は現状を示す図であり、その外観から“くもの巣グラフ”と名付けられた。この図では8本の放射状軸をそれぞれ8種の特性要因にあて、判定結果を軸上に最外部(GO)、中間(STOP)、内部(BACK)に分けて置き、平均値

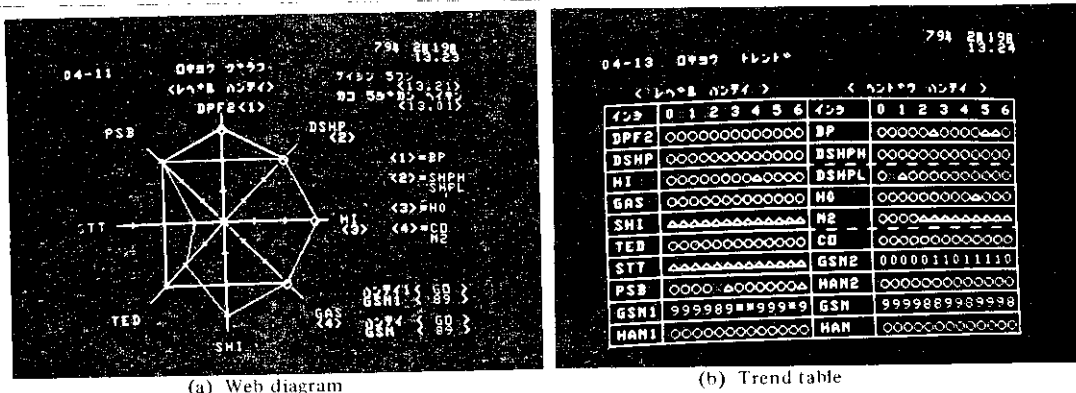


Photo. 1 Example of graphic CRT display of GO-STOP system

判定結果を線で結んでいる。写真では、判別がやや困難であるが、実際の CRT 上では、色分けにより過去 5 h の平均値と最新の 5 min 判定値が示されている。変動の判定結果は、対応する軸上に○(GO), △(SPOP), ×(BACK) で示される。

Photo.1 (b) は、各特性要因の過去 6 h の変化を 30 min ごとに記号○, △, ×で示すトレンド図である。

判定が BACK になったときは、チャイムにより操炉者の注意をうながすとともにくもの巣グラフが CRT に表示される。このグラフによる炉況悪化の原因に応じて、必要な対処操作が行われる。

適正な対処操作を必要とされる時期に行うことは、炉況不調を防止するうえで重要であり、GO-STOP システムでは上述の炉況判定とも

にそれに基づく操作が標準化されている。

前章の説明から、操作は装入物降下の改善、炉熱の異常低下の防止、出鉄作業の強化に大別される。本システムの目的が、一時的な炉況不調の防止であることから、操作は緊急退避を目的とするものだけに限り、前述の 3 種の目的に対し送風量低下、コークス北の増加 (ore/coke の低下) および次回出鉄の早期開口を主要な操作とし、炉況改善のための装入物分布変更、炉熱微調節のための重油量変更などは操作の対象外とした。

正常な炉況から悪化推移した場合に採用される標準操作例を Table 4 に示す。いったん適正な対処操作を行った後通常の操業へ復帰する場合もシステムの判定結果に基づく。

Table 4 Countermeasures to be taken in the case of STOP or BACK judgement as applied to Chiba No. 6 BF

Judgement	Categorical judgement	Operator's observation (supplementary judgement)	Countermeasures to be taken
STOP	All cases		Try to find any specific cause and take proper countermeasures to that
	PSB = BACK	It is difficult to drain slag sufficiently within the present tapping	Start the next tapping earlier (overlapped tapping)
	HI = BACK	It is not confirmative that the furnace heat is becoming hot	Decrease ore charge by 0.1 ~ 0.2 in terms of ore/coke
	All cases	Worsening trend is obvious	Decrease blast volume by 200 ~ 300 Nm ³ /min
BACK	All cases		Decrease blast volume immediately by 200 ~ 300 Nm ³ /min
	PSB = BACK		Start the next tapping earlier (overlapped tapping)
	HI = BACK		Decrease ore charge by 0.1 ~ 0.2 in terms of ore/coke

4. GO-STOPシステムによる操業結果と考察

GO-STOPシステムによる炉況判定は、熟練した操縦者の判断と比較すると93%以上の割合で一致しており、一致しない場合のうちシステムが操業者より1段階悪いと判断した場合（安全側の判断）を加えると98%以上の一致率である。現在、

測定器の異常など、明らかにシステムの判定が誤っていると断定できる場合を除き、減風などの操作はほとんど本システムの判定に基づいて行っている。Fig. 7 は本システムにより減風した場合の例で、減風後判定がGOになったあと増風している状況を示している。

Table 5 に、各特性要因の有効性の程度を調査するため総合炉況判定結果の群ごと、すなわちGO, STOP, BACK ごとに各特性要因判定結果の平

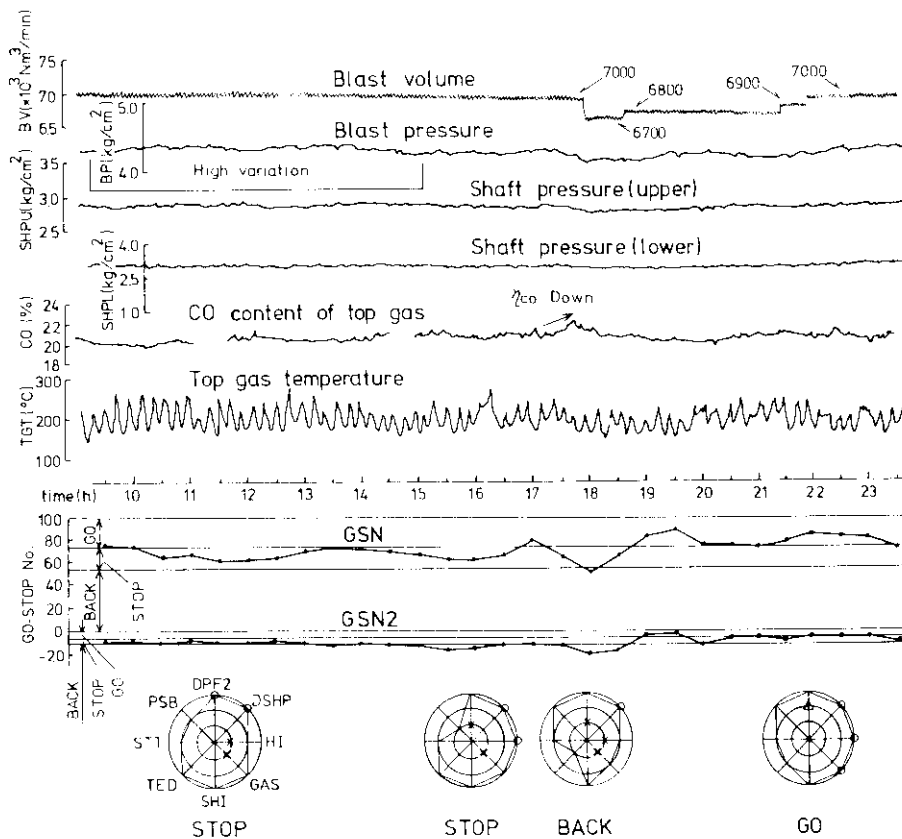


Fig. 7 An example of operation charts by GO-STOP system

Table 5 Comparison of the results of categorial judgement among three total judgements of GO, STOP and BACK

Total judgement	Average of the results of categorial judgement*											
	DPF2	DSHP	HI	GAS	SH	TED	STT	PSB	VBP	VSP	VH0	VGAS
GO	1.86	2.00	1.93	1.46	1.93	1.39	0.93	1.96	1.43	1.85	1.96	1.43
STOP	1.71	1.93	1.71	1.07	1.79	1.29	0.96	1.68	0.96	1.78	1.86	1.12
BACK	0.71	1.43	1.50	1.14	1.29	1.29	0.93	1.29	0.07	1.3	1.57	0.58

*2, 1 and 0 points are scored for GO, STOP and BACK judgement, respectively

均値を比較した。ここでは、比較に便利のように平均値の判定のみならず変動値の判定も GO, STOP, BACKに対応して、2, 1, 0 で表示した値の平均値を用いた。この Table から、ガス分布(TED)、炉壁温度(STT)を除いた他の特性要因は、群間で差があり総合判定に有効に働いていることが判る。TEDが有効でない理由は、ガス分布が変動してから全体の炉況が変化するまでに時間遅れがあり、この間に行われた操作が本来の効果を打ち消しているためと推定される。STTは、アンザッツ脱落を検出するために用いているが、解析期間内ではこの現象が起らなかった。

変動値による判定が炉況を良く識別していることは、従来、炉況判定には定性的にしか用いらなかった変動という情報を有効利用できたことを示している。

以上のように、GO-STOPシステムは高炉操業に有効に利用され、本システム導入以来、重大な炉況不調を経験せず、高炉の安定操業に寄与している。

5. 結言

GO-STOPシステムは、高炉の炉況異常を早期に検出し、適正な対処操作を行うことにより、より以上の炉況悪化を防止し、安定な炉況を維持するため、当社で開発したオンライン計算機による

高炉操業法である。

過去における高炉操業結果の解析と、高炉プロセス理論をもとに高炉が冷え込みなどの炉況不調にいたる過程を考察し、その早期検出に必要な操業データとそれから計算される指標(操業パラメーター)をその過程に対応づけて示した。またこれらの操業パラメーターをもとに、総合的な炉況判定と炉況をより詳細に知るための炉熱、通気など特性要因ごとの判定をGO(良)、STOP(注意)、BACK(不良)の3段階に行う方法を示し、判定結果に基づく適正な対処操作の選択方法を示した。

従来の制御モデルが、吹込重油量、送風温度などを操作因子としていたのに対し、本システムは送風量を主要な操作因子として用いるのが特徴であり、本システムの導入により、重大な炉況不調を経験することなく安定な炉況維持が達成されている。

現システムでは緊急回避が主目的となっているが、将来、装入物分布制御など他の操業技術と組み合わせて高炉全体の操業システムを開発することが必要となるであろう。

炉況判定の質と精度向上のためには、高炉プロセス理論の進歩と、新しい測定値を得るための検出端の開発が重要である。現システムをこれらの成果を取り入れてさらに改良する試みは現在も進めており、炉下部における銑中不純物の挙動の解析結果¹⁰⁾等を取り入れていく予定である。

参考文献

- 1) C. Staib and J. Michard: J. Metals, 17 (1965)1, 33
- 2) C. Staib and J. Michard: ibid, 17 (1965)2, 165
- 3) J.M. van Langen, A. Poos and R. Vidal: ibid, 17 (1965)12, 1379
- 4) Y. Fujii, S. Horie and Y. Nagano: Ironmaking Proceedings, 26 (1967), 58
- 5) 岩村忠昭, 福武剛, 西山哲司: 川崎製鉄技報, 6 (1974)3, 340
- 6) 宮坂尚親, 須賀田正泰, 原行明, 近藤真一: 鉄と鋼, 58 (1972)1, 18
- 7) 福武剛, 岡部俠児: 鉄と鋼, 60 (1974)6, 607
- 8) 小林勲, 清水正賢, 沖本恵市, 稲葉晋一, 池田耕一, 桑野恵三, 土仲俊行: 鉄と鋼, 61 (1975)4, 517
- 9) T. Nagai, M. Saino, T. Tamura, K. Kaneko, K. Okabe, T. Fukutake and S. Taguchi: Ironmaking Proceedings, 36 (1977), 326
- 10) 樋谷暢男, 田口繁司, 高田至康, 岡部俠児: 鉄と鋼, 63 (1977)12, 1791