

(45) 高炉における脈動の発生機構および
 び操業試験について

(高炉における脈動送風の研究-I)

日本鋼管, 技術部 黒田浩一
 〃 技術研究所 下間照男・〇佐野和夫
 〃 鶴見製鉄所

長谷川友博・阪本英一

The Results of Actual Application of Pulsated
 Blast to Blast Furnace

(Studies on blast furnace operation with pulsated
 blast-I)

Koichi KURODA, Teruo SHIMOTSUMA,
 Kazuo SANO, Tomohiro HASEGAWA
 and Eiichi SAKAMOTO

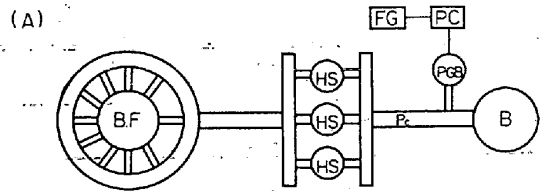
1. 緒 言

鉄鉱石の還元における脈動の効果については, 実験室規模による研究が報告されている. H. SCHENCK¹⁾は 0.1~430,000 cps の範囲で, 児玉²⁾は 0.5~6 cpm の範囲で還元ガスの脈動により還元率が向上することを認めている. 一方, 山田³⁾は高炉のようにガス速度が大である場合, 4 cpm~50 cps の範囲では, ガス境界拡散が律速とならないので脈動還元の効果はないとしている. したがって, 高炉に脈動送風を適用した場合, 脈動による還元の効果には疑問が残されているものの, 周期的にかなりの送風量の上下が生ずるため平均送風量としては従来の flooding factor および hanging factor から計算される限界⁴⁾をオーバーすることも期待される.

脈動送風の高炉への適用については, 下降管にダンパーを設ける方式⁵⁾, 熱風支管に脈動弁を設ける方式⁶⁾が特許化されているが, 設備上, 保守上の観点からまだ操業を実施した報告はされていないようである. 著者らは, 比較的設備上の問題の少ない冷風本管において脈動を発生させる方法を採用し, 巻き替えを控えた第3次鶴見第2高炉 (内容積 516 m³, 羽口数 10) において試験操業を実施した. また上述の機械的な脈動送風方式とは別に, 湿分, 酸素, 補助燃料などの衝風添加物量を周期的に変化させ, 羽口先における温度変化, 還元ガス濃度の変化, 微小な圧力変動を得る化学的な脈動方式を考え, あわせて実験を行なった. 今回の試験結果では, 設備上および試験期間の制約のため必ずしも満足すべき結果は得られていないが, この種の操業が実際の高炉においても十分可能であることが判明した.

2. 物理的な脈動送風方式

高炉の衝風に脈動を与えて炉内のガス圧に高圧および低圧の周期的変化を起こさせる方法として, 現在まで 2, 3 の提案がされている^{5,6)}. しかし, これらの方法においては, 脈動を生じさせる装置が高炉本体近傍の高温部か, あるいは保守の困難な炉頂などに存在するので, 装置の設計製作上その耐熱材質の選定ならびにその寿命に困難な問題をかかえており, その全体の構造および操作は非常に複雑となることが避けられない. これらの問題点を考慮して, 脈動を与える装置を高炉本体と比較的離れている常温部に設け, しかも, その設計製作および操作を簡易化することを目的とした代表的な 1, 2 の例



BF : Blast furnace
 HS : Hot stove
 Pc : Cold blast main
 PGB : Sub blower for pulsating blast
 PC : Vane pitch control device
 FG : Frequency generator
 B : Main blower

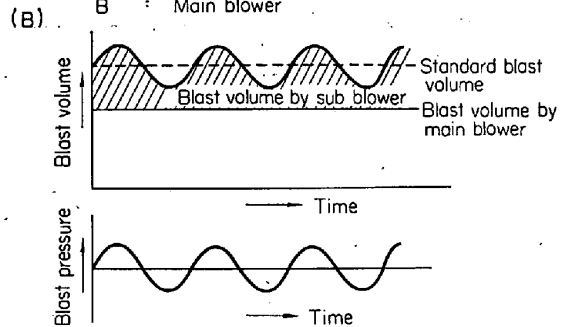
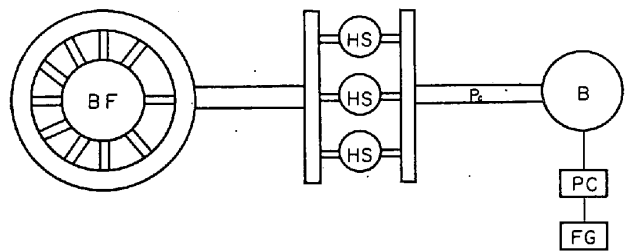


Fig. 1. Schematic diagram of pulse generating method by sub blower (A) and relationship between blast volume and pressure (B).



BF: Blast furnace, HS: Hot stove, B: Blower, PC: Pitch control device, FG: Frequency generator, Pc: Cold blast main

Fig. 2. Schematic diagram of pulse generating method by vane pitch control.

をあげると次の通りである.

2.1 脈圧発生用付加送風機による脈圧発生方法

Fig. 1, (A) に示すように, 脈圧発生用付加送風機 (PGB) を冷風側に設け, それからの脈動送風を冷風本管に入れて, 衝風に脈圧を与える. この場合, 主送風機 (B) からの送風量は, Fig. 1, (B) に示すごとく規定送風量から脈圧発生用付加送風機からの脈動送風量の振幅分だけ減じた量とする. 脈圧発生用付加送風機 (PGB) は, ガイドペーンのピッチ変化または回転数変化によって脈圧を発生させる.

2.2 送風機のペーンのピッチを周期的に変化させて, 衝風に脈圧を与える方法

系統図を Fig. 2 に示す. 送風機のペーンのピッチ制御装置 (PC) の信号入力側に周波数発生装置 (FG) からの周期関数出力信号を入れて, ペーンのピッチを周期関数的に変動させて, 衝風圧力に脈動を与える. 周波数発生装置 (FG) の周波数設定, 関数形設定および振幅設定を任意に行なうことにより, 所定の周波数, 振幅, 関

Table 1. Expected effect for pulsating blast by chemical method.

Factor	Pulsating method	Blast moisture control	Blast oxygen control
Control range		20±10 g/Nm ³	O ₂ 1%±1%/blast
Frequency		0~16 cpm	0~16 cpm
Amplitude		0.02~0.03 kg/cm ²	0.02~0.03 kg/cm ²
Flame temperature		Variation, 130°C	Variation, 110°C
Bosh gas component		Variation, Example	Variation, Example
		CO 0.7% (33.6→34.3)	CO 1.9% (34.0→35.9)
		H ₂ 1.9% (4.7→6.6)	H ₂ 0.2% (5.7→5.5)
		N ₂ 2.6% (61.7→59.1)	N ₂ 1.7% (60.3→58.6)

数形の衝風脈圧を与えることができる。

3. 化学的な脈動送風方式

酸素、水蒸気、補助燃料のような衝風添加物は、従来衝風に対して一定の割合で定常流として、冷風本管ないし羽口に吹き込まれている。そこで、高炉炉内のガス圧に脈動を起こさせる方法として、前述の冷風本管に脈動空気を送入するかわりに、これらの衝風添加物を冷風本管の定常空気流に断続的あるいは脈動的に添加してもよい。この場合、微小ではあるが、冷風本管の空気流自体に脈動を与えた場合と同様な物理的な脈動とともに、羽口先還元ガスの成分、理論燃焼温度の変化を得る化学的な脈動をも期待しうる。一般に衝風添加物の種類、量および対象高炉によつてこれらの変動範囲が異なるが、本研究を鶴見第2高炉で実施した場合、化学的脈動送風の予測効果は Table 1 のようになる。

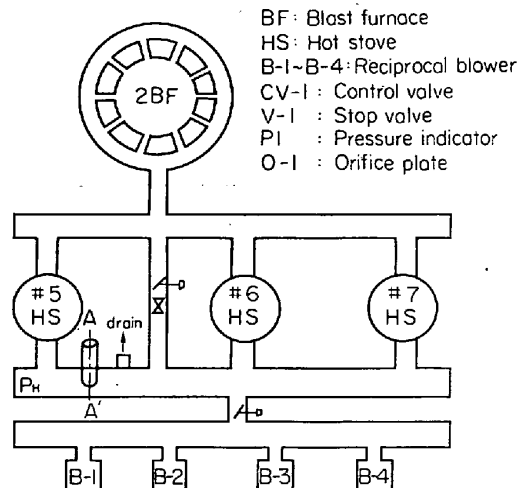
4. 脈動送風試験の実施方法

4.1 物理的脈動送風

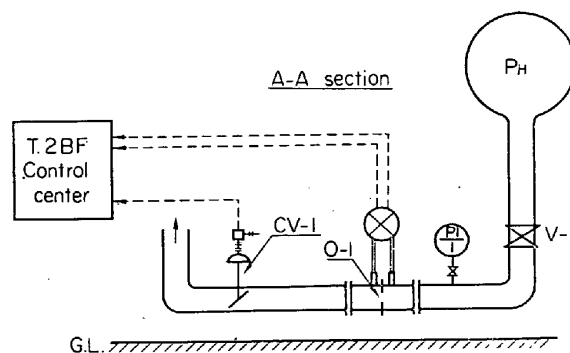
脈動送風を高炉に適用する場合、前述の 2.1, 2.2 の方法などが望ましいのであるが、ここでは設備上の理由で吹きおろし前の第3次鶴見第2高炉において、冷風本管に放散弁を設け、その開閉により脈動を発生させる方法を採用した。鶴見第2高炉は内容積 516 m³、羽口数 10 本、レシプロカル送風機 3 台稼動 (4 基整備) により常時 670 Nm³/min の送風を実施していた。脈動装置は Fig. 3 に示すごとく、冷風本管に放散管および空気式パタフライ調整弁を取りつけ、周波数応答装置からの正弦波信号により 1/2, 1, 2, 4, 8, 16 cpm のいずれかの周期でこの調整弁を開閉させ、送風圧力を正弦波状に変化させた。また圧力変動の振幅は、送風圧力の 0.2~10.6% とした。送風流量の平均値を 670 Nm³/min におくと、平均送風圧力は約 0.9 kg/cm² G となり、この平均圧力に ±0.09 kg/cm² G の変動を与えるためには、送風流量の最大値を約 820 Nm³/min に設定し、放散空気量を 0~300 Nm³/min の間に正弦波状に調整弁 (CV-1) で変化させねばならない。このためには、平常操業のレシプロカル送風機 3 基運転 (670 Nm³/min) では送風流量が不足するので、試験期間中は送風機 4 基運転 (Max. 940 Nm³/min) を行なつた。

4.2 化学的脈動送風

物理的脈動送風の場合と同様、鶴見第2高炉を対象として衝風添加物の脈動を行なつた。送風中の定常添加水分は 20 g/Nm³ である。この添加水分に、±5 g/Nm³ の振幅で周波数 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2 cpm で水蒸気を正弦形に脈動添加し、炉内ガス圧を周期的に変動させた。



BF: Blast furnace
 HS: Hot stove
 B-1~B-4: Reciprocal blower
 CV-1: Control valve
 V-1: Stop valve
 PI: Pressure indicator
 O-1: Orifice plate



BF: Blast furnace, HS: Hot stove, E-1~B-4: Reciprocal flower
 CV-1: Control valve, V-1: Stop valve, PI: Pressure indicator
 O-1: Orifice plate

Fig. 3. Outline of pulsating blast apparatus on Turumi No. 2 BF.

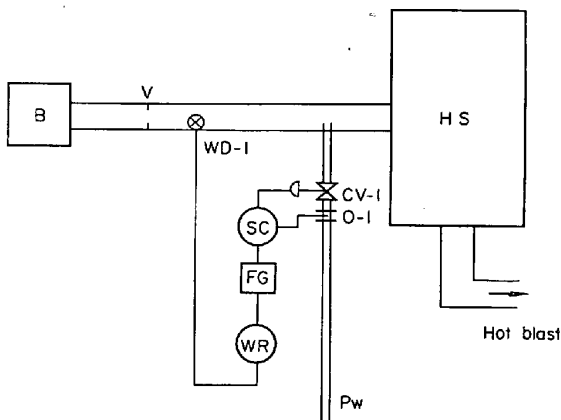
その装置系統図を Fig. 4 に示す。送風機 (B) から送られる送風はダンパー (V) を経て、冷風本管 (Pc) から、熱風炉 (HS) にはいる。水蒸気添加管 (Pw) は熱風炉前で冷風本管内に挿入してあり、それに付設した流量調整弁 (CV-1) を周波数応答装置 (FG) および流量調節器によつて変化させて、添加水蒸気の流量を脈動させた。

4.3 試験計画およびその内容

試験期間は 24 日間を設け、そのうち水蒸気脈動を 5 日間、周波数、1/2~1/4 cpm で行ない、送風脈動を 4 日間、2 cpm で実施し、その前後は基準期間とした。また試験期間中は炉頂およびシャフト各段の炉内圧分布とガス分析による CO, H₂ 利用率など、さらに P/V, 柵

Table 2. Operational results of pulsating blast at Turumi No. 2 BF.

Items	Period	Reference 1	Test 1	Reference 2	Test 2	Reference 3
		8th Jan.~11th	12th Jan.~16th Pulsated moisture addition $20 \pm 5 \text{ g/Nm}^3$ at $0.5 \sim 0.25 \text{ cpm}$	18th Jan.~21th	23th Jan.~26th Pulsated blast $690 \pm 150 \text{ Nm}^3/$ min at 2 cpm	28th Jan.~31th
Production (t/day)		630	628	633	657	628
Coke rate (kg/t)		562	560	564	557	571
Oil rate (kg/t)		47	47	46	52	48
Fuel rate (kg/t)		609	607	610	609	619
Blast volume (Nm^3/min)		696	689	678	699	657
Blast pressure (g/cm^2)		853	834	853	896	845
Blast pressure/Blast volume		1.22	1.21	1.26	1.28	1.29
Blast temperature ($^{\circ}\text{C}$)		920	915	912	902	888
Blast moisture (g/Nm^3)		20.2	20 ± 5.0	16.8	15.4	16.2
Si in hot metal (%)		0.97	0.97	0.89	0.85	0.86
S in hot metal (%)		0.044	0.043	0.045	0.053	0.044
Hanging (N/day)		0	0	0	0	0



B: Blower, HS: Hot stove, V: Damper, Pc: Cold blast main, O-1: Orifice plate, CV-1: Control valve, SC: Steam flow control device, WD-1: Moisture detector, WR: Steam flow recorder, FG: Frequency generator Pw: Steam pipe

Fig. 4. Sckematic diagram of pulse generating method by steam flow control.

つり、スリップ回数などの操業面のデータを取り、炉内還元性、通気性の比較を行なった。

5. 操業結果

脈動送風の操業結果を Table 2 に示す。4日間の基準期間を前後にはさみ、水蒸気脈動 ($0.5 \sim 0.25 \text{ cpm}$)、低周波脈動 (2 cpm) の試験を実施した。

5.1 水蒸気脈動

水蒸気脈動試験の期間中、出鉄量、燃料比ともほとんど基準期間 I, II に比べ変らなかつた。通気性は P/V の低下に見られるように、若干改善されている。当初 $\pm 10 \text{ g/Nm}^3$ の振幅の試験を予定していたが、添加湿分調整系統の不備で $\pm 5 \text{ g/Nm}^3$ の振幅が得られたに過ぎなかつた。しかしながら、周期添加による炉況の悪化は見られずこの種の操業が可能であることを示唆している。

5.2 低周波脈動

低周波脈動試験の期間中、P/V についてはほとんど基準期間 II, III に比べ変わらず、懸念された柵つり、スリップは生じなかつた。出鉄量が前後の基準期間 I, II に

比べ $3.8 \sim 4.6\%$ 増加しているのは、レシプロカル送風機 1 基の増稼動により、放散流量を差し引いた実質送風量が増加したためである。燃料比は、基準期間 II, III に比べ多少低下しているが、風量増の補正を考慮すればこの差はさらに大きくなるであろう。なお脈動送風による炉内還元状況の変化を調べるため、ガスクロマトグラフにより炉頂ガスの連続分析およびシャフト部におけるガスのヘンペル分析を 1 日 3 回実施したが、明確な相違は見られなかつた。

6. 結 言

吹きおろし前の第 3 次鶴見第 2 高炉において、水蒸気脈動と低周波脈動操業を実施した。この高炉 (内容積 516 m^3) は送風機能力の制約で、通常 $670 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 送風を実施しているに過ぎず、脈動送風の効果も明確に見られなかつた。この種の試験は flooding 限界に近い状況であるのが望ましい。しかしながら、柵つり、スリップが 0 であることから見ても、従来の定常流に対し脈動送風操業が可能であることが判明した。今後、機会があれば高炉の flooding 限界付近において再現性確認のための実験を行ないたいと考えている。なお、脈動圧力の炉内における伝達機構については、第 II 報に詳述する予定である。

文 献

- 1) H. SCHENCK and J. CLOTH: Stahl u. Eisen, 80 (1960), p. 1453
- 2) 児玉, 重見, 東: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 379
- 3) 山田, 津田: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1370
- 4) J. F. ELLIOTT, et al.: Proc. Blast Furnace, (1952), p. 246
- 5) 辻畑: 特許公報, 昭 35-15,659
- 6) 辻畑: 特許公報, 昭 37-3,252