

NKK福山第5高炉における吹抜け機構

Investigation on the Mechanism of Channelling in Fukuyama No.5 Blast Furnace

NKK福山製鉄所

川田 仁*・岸本純幸・牧 章
西条義夫・若井 造・山本健一

1. 緒 言

高炉における吹抜けの発生を事前に予知し、減風等により回避することの有益性は言及する余地もない。そのため、当社ではFLAG¹⁾やBAISYS²⁾に代表される異常炉況予知システムの開発に積極的に取り組み、成果を挙げてきた。しかしながら、吹抜けによる生産・コストへの影響を考え合わせると、現状のシステムだけでは必ずしも万全とは言えない。

本報告は、吹抜けに関して従来の知見を整理するとともに、高炉シャフト部に数種の音響センサを設置し、吹抜けの機構について調査・検討を行ったものである。

2. 従来の知見の整理

Fig. 1 に吹抜け前後の炉体センサ推移の一例を、またTable 1 にFLAG、BAISYSにおいて、吹抜けの予知・判定を行っている主なセンサを示す。

吹抜けの事前の兆候としては

- (i) 送風圧力の低下
- (ii) シャフト圧力の変動
- (iii) ガス利用率の低下
- (iv) シャフト温度の緩慢かつ局所的上昇

があり、その発生と同時に

- (i) 炉頂圧の上昇
- (ii) スリップ
- (iii) 炉頂温度の上昇

- (iv) シャフト温度の急上昇がある。

福山5高炉(内容積4664m³)のシャフト部に設置している圧力センサ(40点)から求めたシャフト展開上における等圧線図をFig. 2に示す。通常操業時の等圧線(Fig. 2-(a))は、比較的フラットな分布を示すが、吹抜け前には、シャフト下部の特定方向に低通気抵抗域が発生し、それが徐々に上部へ伝播する現象が見られる。

これらのセンサ情報から、高炉における

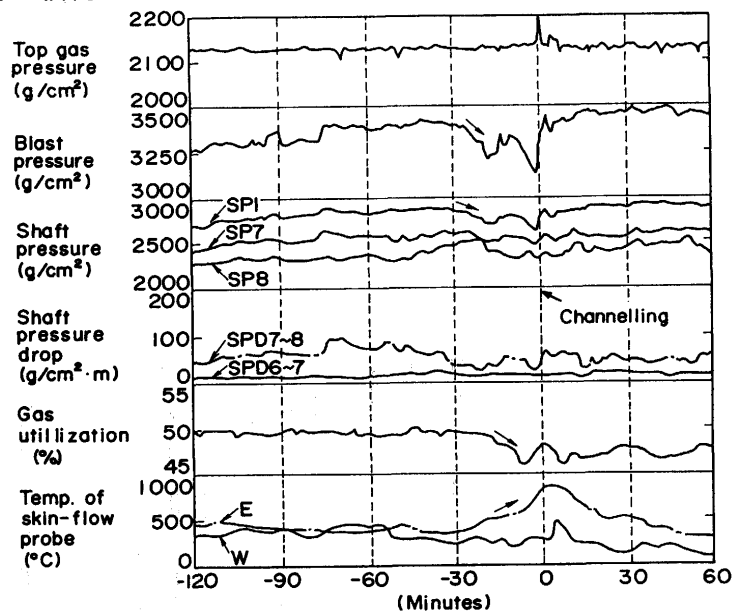


Fig.1 Transition of sensors just short of channelling

Table1 Main sensors for prediction of channelling

System	Sensors
FLAG	Blast pressure Gas utilization Shaft pressure
BAISYS	Shaft pressure Descending rate Gas composition Blast pressure Shaft temperature

吹抜けは炉下部からガスが急激に上昇する現象であり、

①シャフト円周方向における局所的な現象であること。

②シャフト充填構造の変化が関与していること。

が推察される。

3. 機構の調査

吹抜け現象がシャフト部における充填構造の何らかの変化を介して発生することが推定されたため、そのシャフト部に数種の音響センサを設置し調査を行った。

(3-1) 調査方法

福山第5高炉のシャフト冷却函背面に①加速度センサ、②AEセンサ、③マイクロフォンの3種のセンサを取付けた。記録はペン・レコーダと磁気記録計を併用し、連続的に測定した。その設置状況と装置構成をFig. 3に示す。

(3-2) 調査結果

約2ヶ月間にわたり、チャート記録、磁気テープ記録を継続した。その結果、十数回にわたる信号の変化を観測した。取り付け方向にあたる北側のシャフト圧力の変動時には必ず事前にAEセンサ信号の増大、加速度センサの振幅値の増加とマイクロフォン信号の微弱な上昇が見られた。その一例をFig. 4に示す。図中↑は各音響センサに変化が生じた時刻を示すが、①3種のセンサの中ではAEセンサが最も早く変化を検知する。②その変化は、下部から始まり、上部へ移行する傾向がある。また③これらの変化が特に大きい時にはシャフト圧力にも変動が見られ、その後スリップが発生した。なお、スリップ発生のお20分以上前に、これら音響センサは変化を検知している。Fig. 6に通常時と、加速度センサの振幅が増加した時の振動波形を比較し示す。異常時、振幅の増加と共に約200Hzまでの振動数の増加が見られる。

※) AE (Acoustic Emission): 固体の変形および破壊に伴って解放されるエネルギーが音響パルスとなり、伝播する現象。このパルスは通常数KHz～数MHzの微弱な超音波である。尚、パイプからのガス洩れの検出に应用されている様に摩擦や打撃によっても疑似AEが発生する。

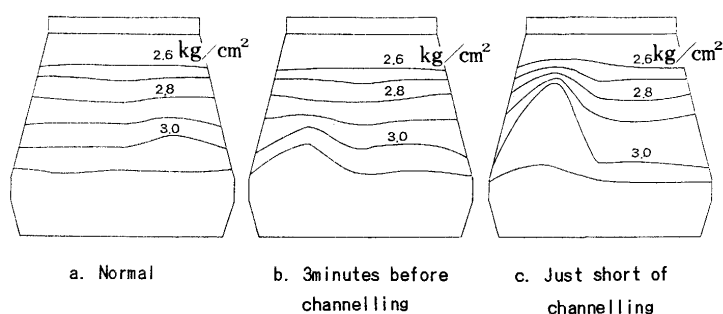


Fig. 2 Change of the isobaric-line measured by shaft-pressure-gauges

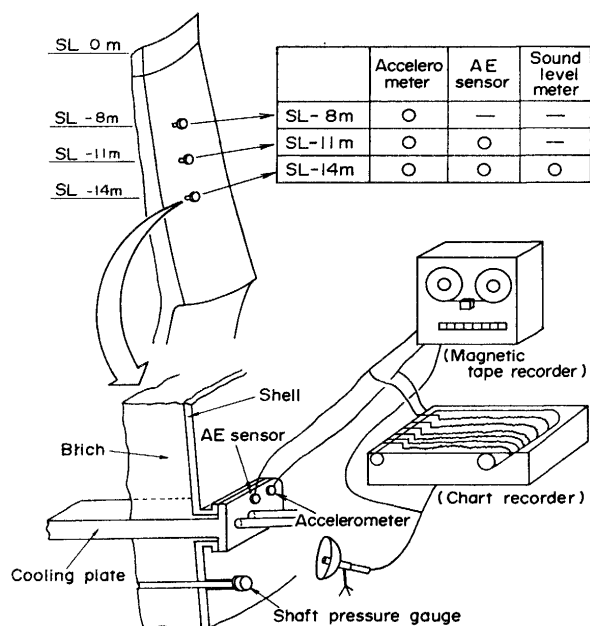


Fig. 3 The state of the sensors layout in the shaft of Fukuyama No. 5 BF

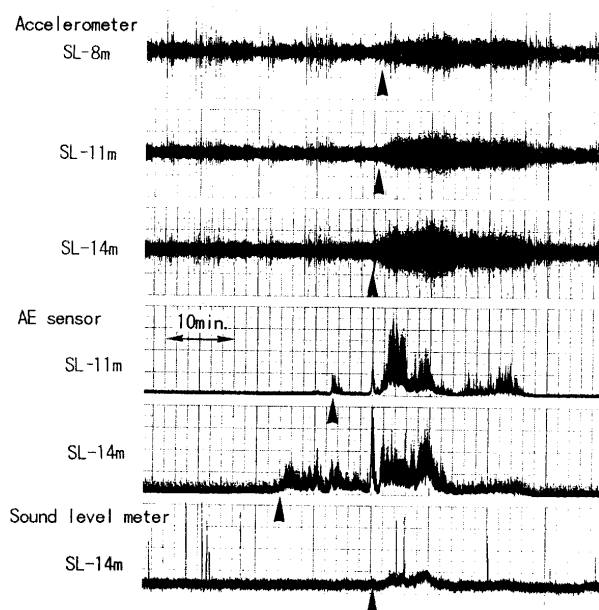


Fig. 4 Transition of new sensors

4. 機構の推定

吹抜け直前に、シャフト下部に発生する低通気抵抗領域は、その部分での固・気相の物理的性状の変化（例えば、固体側の粒径、粒度分布や、ガスの粘性等の変化）では説明しにくく、充填構造すなわち、その領域での空隙率の増加に起因していると考えることが妥当と思われる。シャフト下部にいったん、このような高空隙領域が発生すると、その部分への原料の流れ込み・落下により、見かけ上、上部へ移行し、その経路に沿って中空隙ルートが残存すると考えられる。今回の調査において、捕えた3種の音響センサの信号の変化は、その原料の落下音と推定される。さらに、

その変化が下部から上部への伝播しているのは、先の高空隙領域の上昇を裏付けており、吹抜けは、この高空隙領域が炉口近傍まで達した時点で形成された中空隙ルートを経由して炉下部からのガスが急激に上昇する現象であると推定し得る。この機構を仮定すると、従来から知られていた吹抜けの兆候である、⑧送風圧力の低下、⑨シャフト圧力の変動、⑩ガス利用率の低下や、直後の現象である⑪スリップ、⑫発生ガス量の急増、⑬炉頂温度の上昇が統括的に説明し得る。以上の吹抜けにいたる炉内シャフト部のイメージをFig. 6に、

また推定した機構をフローとして、Fig. 7に整理する。なお、炉頂圧力の上昇を伴わないスリップと吹抜けとは、基本的には、この高空隙領域を介して同一の事象であり、生成した中空隙ルートの通気抵抗値によって決まる炉下部から局所的に上昇するガス量の大小によって、いずれかに決定されることが考えられる。さらに、吹抜けの連続性について言及すれば、原料の荷下りと共に消滅していく中空隙ルートが、シャフト部に残存している時に無理な増風を行えば、そこを再度、炉下部からガスが上昇し、再発

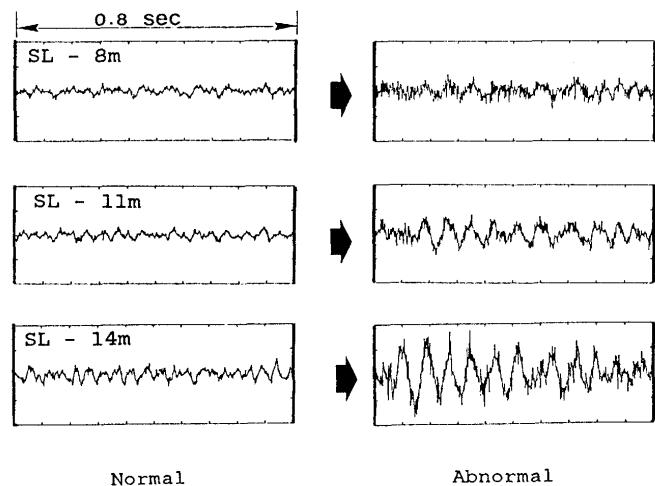


Fig.5 Changes of amplitude of accelerometer

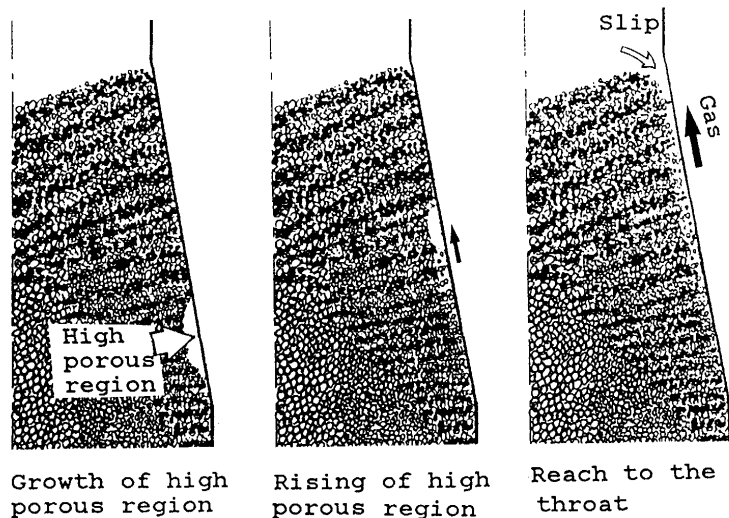


Fig.6 Image of the furnace shaft just short of channelling

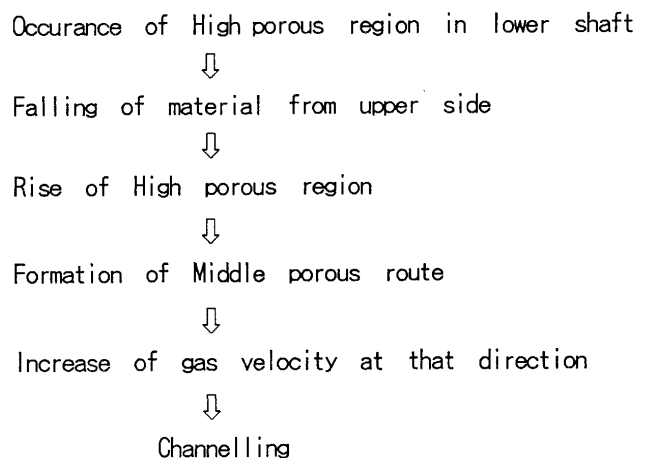


Fig.7 Estimated mechanism of channelling

に至ると考えることにより理解できる。

5. 予知センサとしての評価

Fig. 8に、新設した音響センサに変化が現れた期間の既設センサの推移を合わせて示す。吹抜けの前兆であるシャフト圧力の変動、送風圧力の低下、ガス利用率の低下が見られ、B A I S Y Sの指示による減風により、その発生は回避している。図中矢印(↑)は、各センサに変化が現れた時期、あるいは変化の方向を示しているが、従来その前兆を最も早く検知していた「シャフト圧力の変動」に対して、A Eセンサは10～15分間前に炉内変化を検知しており、予知センサとして充分期待できることがわかった。

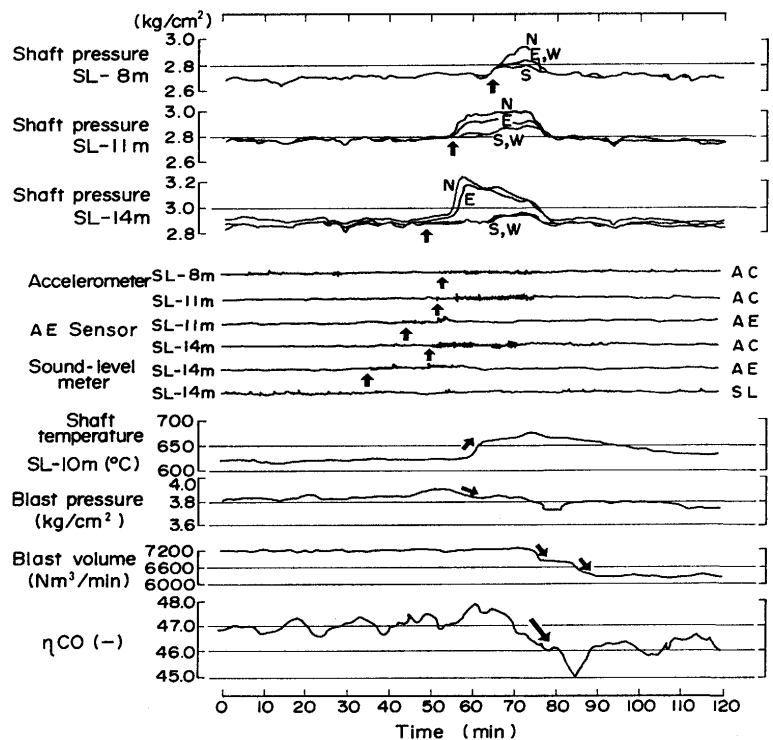


Fig.8 Transition of sensors at rising shaft pressures

6. 結 言

吹抜けの機構を調査する目的で、高炉シャフト部に取り付けた3種の音響センサは、炉内状況の把握に有用な情報を提供した。また、そのうちのA Eセンサは、吹抜け予知センサとして、期待できる事を確認した。現在、福山第5高炉のシャフト部にA Eセンサ(24点)を設置中であり、その信号のB A I S Y Sへの取り込みを含めて、システム化を進めている。今後、高空隙領域が形成されるメカニズムの検討と合わせ、吹抜けを回避し得る適切な減風量や増風時期・量の最適化を図るため、本システムを活用し、より安定かつ高効率な操業を継続していくつもりである。

文献1) 山本亮二, 中谷源治, 橋本紘吉, 岸本純幸, 中村博己, 石井孝治

: 鉄と鋼, 70 (1984), S800

2) 中島龍一, 炭電隆志, 牧章, 脇元一政, 橋本紘吉, 酒井敦, 桜井雅昭

: 鉄と鋼, 73 (1987), P.2100