

A_T : 管断面積 [cm²]
 ρ_f : 空気の密度 [g/cm³]
 ΔP : 圧降下 [cmAq]
 V_f : 流動層の容積 [cm³]
 F : 給鉱量 [g/mn]
 U : 流速 [l/mn], [cm/s]
 W_s : 試料充填量 [g]
 θ_t : 平均滞留時間 [mn]
 U_{mf} : 流動化開始速度 [cm/s]
 g : 重力加速度 [cm/s²]
 M : 流動層重量 [g]
 ϵ_c : 充填層空間率 [-]
 ϕ_s : 粒子形状係数 [-]
 E : 溢流割合 [g/mn]

ϵ_f : 流動層空間率 [-]
 μ : 空気の粘度 [g/cm·s]
 T_s : 炉内試料の温度 [°C]

文 献

- 1) 岡嶋, 井上, 佐野: 鉄と鋼, 47 (1961), 795
- 2) 佐野, 岡嶋: 日本鉱業会誌, 74 (1958), 485
- 3) J. D. PARENT, N. YAGOL and G. S. STEINER: Chem. Eng. Progress, 43 (1947), 429
- 4) 大前, 古川: 工化, 56 (1953), 727
- 5) 日本規格協会: 日本工業規格, 鋼および銑鉄の特殊成分の分析方法 (その1), (1955), p. 61
- 6) 俵: 鉄鋼化学分析全書, (1952)
- 7) 国井: 最近の化学工学, (1955), p. 198
- 8) C. O. MILLER and A. K. LOGWINUK: Ind. Eng. Chem., 43 (1951), 1220
- 9) 矢木, 鞭, 青地: 化学機械, 16 (1952), 301

ラジオアイソトープ利用による高炉煉瓦積侵食測定について*

林 敏**・鈴木 驍一**・小林 正**・飯島 弘***・山口哲夫***

Measurement on Erosion of the Blast Furnace Lining
by the Radioactive Isotope.

Satoshi HAYASHI, Gyoichi SUZUKI, Tadashi KOBAYASHI,
Hiroschi IZIMA and Tetuo YAMAGUCHI

Synopsis:

A number of experimental results have been published at home and abroad concerning the use of radio isotopes in blast furnace operation.

An experiment conducted in our Kawasaki Iron Works of Japan Steel & Tube Corporation yielded the following results.

(1) ⁶⁰Co was used as tracer for the purpose of estimating the quantity of residual molten pig iron and the eroded condition of hearth bricks.

As the result of this experiment, erosion of bricks was fairly exactly estimated.

In the case of No.3 B. F., it was found that erosion of hearth bricks progressed rapidly within six months after the commencement of operation, but thereafter hearth bricks had been in comparatively stable conditions with a slight degree of erosion.

(2) Radiation originated from ⁶⁰Co, which was embedded into bricks of shaft at the time of constructing the blast furnace, was detected during its operation; and eroded conditions of bricks was estimated with the loss of radiation.

As the result of this experiment, it was found that erosion of bricks was dependent largely upon the operation of blast furnace and the distribution of gas within the furnace, and that bricks at the lower part of shaft had been subject to fairly severe erosion within six months after the commencement of operation.

* 昭和35年10月本会講演大会にて講演 ** 日本鋼管株式会社川崎製鉄所 *** 日本鋼管株式会社技術研究所

I. 結 言

高炉におけるラジオアイソトープの利用法については従来いろいろ発表されており、当社の利用方法も鉄鋼協会講演会あるいは学振、製鉄部会などで発表してあるが、その後引続き研究し、昭和 34 年 10 月 1 日に火入れした第 3 高炉では、炉底煉瓦積およびシャフト煉瓦積の侵食状況を ^{60}Co によつて測定し、炉況との関係も調べたのでその結果を報告する。

II. 炉底煉瓦侵食状況の測定

1. 目的および方法

従来炉底煉瓦の侵食状況は建設時に入れた炉底煉瓦積中の温度計の変化により間接的に測定したり、あるいは煉瓦積の中に ^{60}Co を埋設しておいて、これが溶銑中への溶解による溶銑の放射能の変化によつて知るとかの方法がとられていた。然しこれらの方法では高炉炉底部の冷却条件あるいは熱間における煉瓦積の熱伝導などの条件が複雑で侵食の推定は困難であり、またこのような方法で ^{60}Co を使つてもきわめて局部的で、継続的に全般的に推定することは困難であつた。そこで今回は炉底が侵食された場合、その部には出銑後も溶銑が残留していると考え、この残留溶銑中に一定量の ^{60}Co をトレーサーとして拡散せしめ、その後の出銑によりこの ^{60}C が如何に持ち出されるかを測定して残留溶銑量を推定し、炉底煉瓦積の侵食状況を推定した。

(1) ^{60}Co の投入方法

測定の精度を良くするためには、 ^{60}Co の量は多い方がよいが安全上できるだけ少ない方がよいので 1 回 2~3m.c.(ミリキューリー) 使用した。また炉底残留銑中に直接挿入することも困難なので、出銑終了直後対称の羽口から (例えば 2 号および 8 号など) $3/8''\phi$ のパイプのさきに ^{60}Co を封入し溶損投入した。

(2) 試料採取および形状

投入後約 10 タップ位試料を採るが、始めの 3~4 タップの出銑では出銑中における ^{60}Co の計数率がかなり変化するから、試料を多くとる必要があるが、その後は比較的計数率は安定するので 1 鍋に 1 コとつた。形状は、 $80\text{mm}\phi \times 50\text{mm}$ の円筒形で、これの放射線強度を測定した。

(3) 測定方法および原理

放射線強度はかなり弱くなるので、自然計数率の影響を減ずるため、科学研究所製 Model 1000 型スクエラーで $1'' \times 1''$ NoI のシンチレーションヘッドの先端を 100mm の厚さの鉛でシールドして測定した。この結果

自然計数率は約 32 c.p.m まで低減した。これら出銑ごとの計数率および出銑量の間にはつぎの関係が成立する。

$$I_m W_m = \sum_{i=m+1}^{\infty} I_i W_i$$

I_m : ^{60}Co を投入した後 m 回目の出銑後の残留溶銑の比放射能

W_m : 同上残留溶銑量

W_i : 出銑量

この式で I_i , W_i , I_m が判れば W_m を知ることができる。

I_i は出銑中における数個のサンプルの計数率の算術平均をとつた。 I_m は直接測定することが困難なので、前回出銑時の出銑口閉塞直前の試料の計数率を I_m とした。この仮定が合うかどうか下記のごとく予備実験を行なつたが、かなり良く一致することがわかつた。

これら測定の結果 ^{60}Co 投入後第一回目の出銑ではまだ十分に ^{60}Co が拡散していないことがわかつたので炉底残留溶銑量の推定には 2 回目以後の数回の値の平均値 W_m をとつた。ただし計数率が小さくなると RI の崩壊の統計的変動誤差が多くなるので、誤差が 30% 以下の値をとつた。

2. 予備実験

上記の方法には計算上いろいろの仮定が入つていて、これが精度を知るため昭和 35 年 2 月 1 日吹卸した第 5 高炉で、吹卸し前に 2 回実験を行なつた。この結果はつぎのごとくであつた。

Data	Residual molten pig by the measurement (t)
1959 Dec. 28	85 ± 15
1960 Jan. 27	85 ± 15

これに対し吹き卸しの時溶銑として流出したサラマンダー量は 59 t で、解体時炉底に残留付着していた地金量は約 25 t と推定されたので、合計 84 t となり測定値と良く一致することがわかつた。

3. 測定結果

第 3 高炉の炉底煉瓦積は Fig. 1 のごとく大型シャモット 4 段でその下には並型およびカーボンスタンプ部がある。カーボン煉瓦は周囲には使つたが底には使わず、炉底定盤下は水冷するようになってゐる。温度計はこのカーボンスタンプ部に 2 カ所入れてある。火入後の昭和 34 年 11 月 14 日以降数回に亘り、 ^{60}Co 投入による残留溶銑量の測定を行ない温度変化と比較した。結果は Table 1 および Fig. 2 に示すごとくで、両者の傾向は非常に

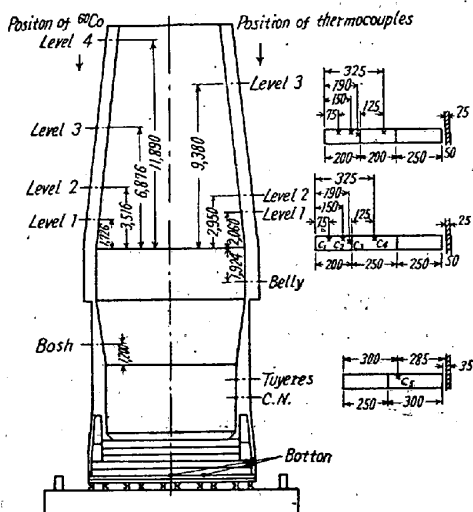


Fig. 1. Positions of ⁶⁰Co and thermocouples in the brickwork.

Table 1. Residual molten pig in the hearth.

No.	Date	Residual molten pig (t)	Temperature at the bottom brickwork (°C)
1	1959 Nov. 14	40 ± 15	390
2	1959 Dec. 10	90 ± 10	560
3	1960 Mar. 8	100 ± 15	645
4	" 15	165 ± 25	700
5	" 22	170 ± 35	790
6	" 25	175 ± 20	792
7	" Apr. 21	170 ± 25	772

良く一致していて、つぎのようなことがわかった。

- 1) 炉底煉瓦の侵食は火入後ただちに始まる。
- 2) 火入後 6~7. カ月頃にかなり急激な侵食が認められる。
- 3) その後は安定し平衡を保っている。
- 4) これら急激な変化のときにも炉況はなんら変化なく溶銑銑滓にも異常は認められなかつた。
- 5) 炉底にコーティングができるのか後になつて温度が低下して来た。

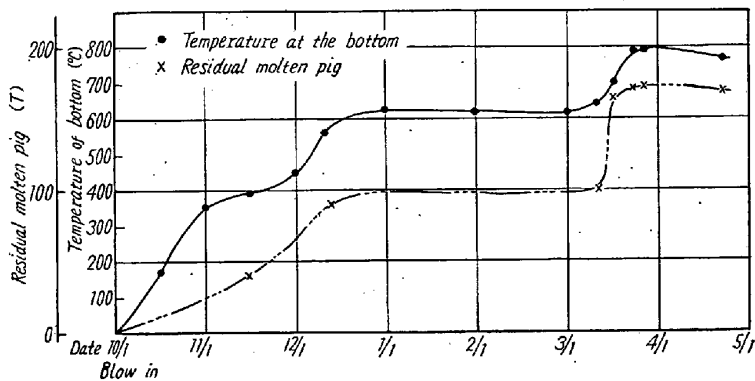


Fig. 2. Relation of the residual molten pig and bottom temperature.

Table 2. Radioactivities of each specimens

Shaft stages level	Direction	Marks	Radioactivities of specimens(m.C.)
4	East West West South North	C ₂	0.35
		C ₁	1.00
		C ₂	0.35
		C ₄	0.05
		C ₃	0.20
3	E W S N N	C ₄	0.10
		C ₃	0.30
		C ₂	0.47
		C ₁	1.00
		C ₂	0.46
2	E W S S N	C ₃	0.29
		C ₄	0.12
		C ₁	1.00
		C ₂	0.43
		C ₂	0.44
1	E E W S N	C ₁	1.00
		C ₂	0.43
		C ₂	0.49
		C ₃	0.20
Bosh		C ₄	0.12
		C ₅	1.00

III. シャフト煉瓦侵食状況の測定

1. 目的および方法

シャフト煉瓦の損耗状況は従来休風時に外から開孔して直接測定しており、操業中に知ることは困難であつた。今回は建設時あらかじめシャフト煉瓦中に ⁶⁰Co を埋設しておき、これが脱落状況を測定して煉瓦の侵食状況を推定した。埋設位置は Fig. 1 に示すとおりで深度、高さ、方向の3条件を満すため、シャフト部 20 カ所と朝顔1カ所に埋設した。各部の線源は測定可能な範囲で最小にし、位置は冷却函の間でもつとも侵食のはげしい所とした。⁶⁰Co はシリカアルミナチューブの二重カプセルに封入したものを煉瓦に埋込んだ。位置および深さは Table 2 のごとくで、各記号の煉瓦積内の位置は Fig. 1 に示してある。

測定法は可搬型 scintillation counter で鉄皮の外側から1週に2度測定し、放射線強度低下の場合 ⁶⁰Co の脱落と認め、その時刻以前の分析用溶銑 sample の放射線を測定して脱落時刻を推定した。

2. 脱落状況

測定の結果は Table 3 のごとくで試料を紛失したB以外の場合は全て sample 中から放

Table 3. Radioactivities of the sample.

Marks	Tapping date and time	Count/mn(c.p.m.)
A	10. 27. Pm 0:30	37.4
	4:30	33.8
	9:15	36.0
	28. Am 2:15	41.9
	7:15	62.0
C	2. 22. Am 5:20	39.9
	8:50	112.2
	Pm 0:40	108.0
	4:40	79.8
	9:20	49.8
D	3. 18. Pm 9:20	36.2
	19. Am 1:40	36.2
	5:20	48.1
	8:50	46.1
	Pm 0:40	37.8
E	3. 30. Am 1:20	41.4
	5:20	70.6
	8:50	73.4
	Pm 0:40	56.2
	F	4. 6. Pm 0:40
4:40		99.4
9:20		152.0
7. Am 1:40		67.2
5:20		64.4

射能の異常を確認できた。sample の放射能の測定法は炉底の侵食測定の場合と同様な方法で行なった。

表中 c.p.m. のピークにかなり差があるのは主として脱落した線源強度に差があるためである。このピーク時から装入物降下時間によって脱落時刻を推定するとつぎのごとくなる。

Marks	Position of embedding	Supposed date of falling
A	Bosh	1959 Oct. 28. Am 1~2
B	Shaft level 1 W C ₂	1960 Feb. 12
C	" 1 E C ₁	" " 22 Am 3~5
D	" 1 S C ₃	" Mar. 19. Am 1~3
E	" 1 E C ₂	" " 30. Am 1~3
F	" 2 S C ₁	" Apr. 6. Pm 0~2

すなわち朝顔部の ⁶⁰Co は火入後約 28 日目でなくなり、シャフト下部も 4~5 カ月でかなり侵食が進み、もつとも進んだところで内壁から 190mm に埋設した ⁶⁰Co が脱落している。またシャフト 1 段目は各方向とも一様に脱落しているが、2 段目ではもつとも浅く埋めた S 側のみが脱落している。

さらにその上の 3, 4 段目については目下なら異常は認められない。当所の高炉には炉内ガス分布状況およ

び侵食状況を知るため、別に Fig. 1 に示すごとくシャフト各レベルの煉瓦積内に温度計を入れてあるので、⁶⁰Co の脱落時の炉況を調べた。結果は Fig. 3~8 に示すとおりである。

Fig. 3 の朝顔部の場合には炉況にはなんら変動がなかった。Fig. 4 の場合は試料紛失のためタップごとの放射能が測定できなかったが、後の例から推定すると ⁶⁰Co の脱落したのはシャフト温度上昇した 10 日頃と思われる。

Fig. 5 では脱落時切立温度急上昇するとともに Si は低下 S は急上昇している。Fig. 6 はシャフト温度、成分と

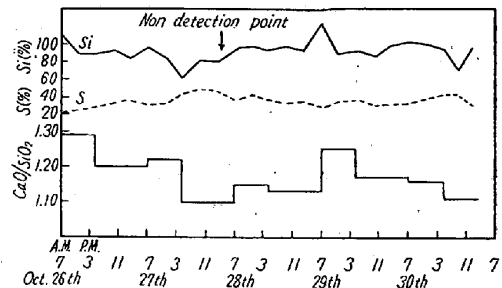


Fig. 3. Operation data of a blast furnace in the case A.

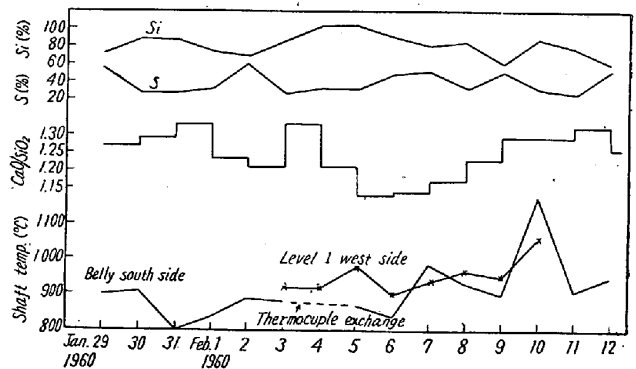


Fig. 4. Operation data of a blast furnace in the case B.

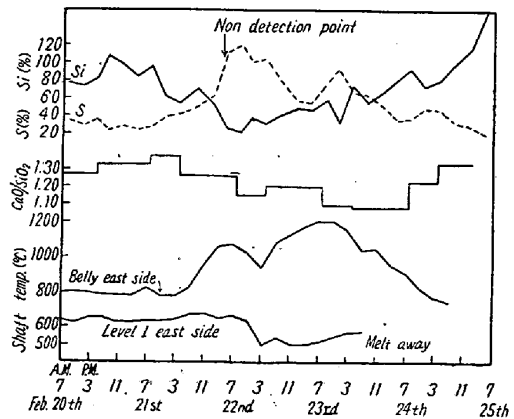


Fig. 5. Operation data of a blast furnace in the case C.

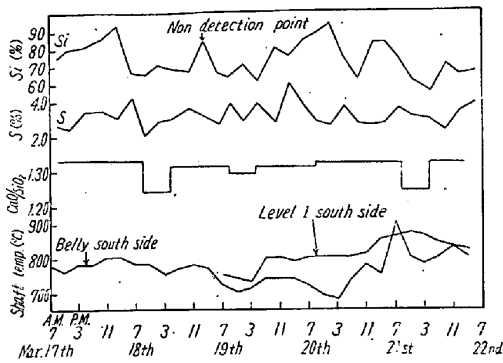


Fig. 6. Operation data of a blast furnace in the case D.

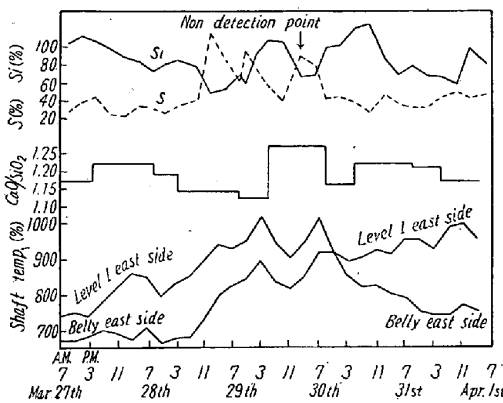


Fig. 7. Operation data of a blast furnace in the case E.

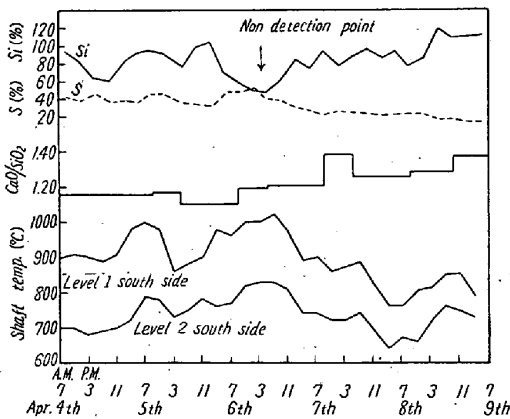


Fig. 8. Operation data of a blast furnace in the case F.

急上昇と同時に Si, S は変動が大きくなっている。Fig. 8 も同様な傾向を示している。これらの結果から ⁶⁰Co の脱落時にはシャフト温度も 鉄鉄成分もまったく変動しない場合もあるが、多くはシャフト温度の上昇、Si の低下、S の上昇を示している。すなわち、操業中なんらかの理由でガス分布が外部操業となりガスが炉壁側を通過しやすくなると、温度も上昇し煉瓦が溶食され同時に炉冷のような現象になると思われる。火入後は兎角トラブルが多いが今回はこのような現象がとくに顕著に現われた。

IV. 総 括

以上の結果から ⁶⁰Co を利用した測定によつて、炉体および炉底煉瓦の侵食状況は操業中にかなり正確に知ることができ、操業上非常に参考にすることができる。なお現在の第3高炉については

1) 炉底煉瓦は火入後侵食はただちに始まり、約3カ月で一応平衡に達したかに見えたが、約6カ月ふたたび侵食が急進しその後は安定し、炉底温度はむしろ低下の傾向さえ示している。すなわち炉底への沈積が始まると考えられる。

2) 朝顔の煉瓦は(薄壁式であるが)火入後早期に侵食されるが、外部からの撒水冷却効果によりある程度で侵食は止まり設備上なら支障はない。

3) シャフト下部でも侵食は早期に起つたが、冷却函中間で内壁から約 190mm の侵食で止まっているがこれは冷却函の位置が内壁から 150mm であるから、冷却函の効果によると考えられる。

4) 同一煉瓦内に2個の ⁶⁰Co を入れた場合にもさきの方から順に脱落しており、同時に落ちることはない。この炉の状況では円周方向に対してはほぼ均一に侵食されているが、高さの方向ではシャフト上部はなら変化が認められなかつた。

5) 煉瓦の侵食に対しては操業条件がかなり影響するが、各部における冷却効果は非常に大で重要であると考える。
(昭和36年3月寄稿)