

ラジオアイソトープによる高炉炉壁の侵蝕調査 (II)*

富永在寛**・八塚健夫***・庄野四朗****

Measurement of the Wear of a Blast Furnace Brickwork
with a Radioactive Isotope (II).

Arihiro Tominaga, Takeo Yatsuzuka and Shiro Shono

Synopsis:

Following the fundamental experiment, which was reported previously, on a test method using a radioisotope for measuring wear of the blast furnace brickwork during its operation, 22 specimens containing Co^{60} were buried in the brickwork of Kamaishi No.1 B. F. which was reconstructed from Aug. to Nov. 1958. The buried positions were 11 in 4 levels and two specimens which trisected the brickwork were buried on each position. Measurements were done once a week on the mantle of these positions with a portable scintillation counter. As the average radioactivity of Co^{60} buried was about 0.5mc., there was no problem about safety.

The wearing state had been measured since Nov. 18, 1958, when the No. 1 B.F. was blown in, and on the bosh level the two buried specimens were dropped within only 4 weeks.

I. 結 言

高炉炉壁煉瓦積の侵蝕状況をその操業中に調査するため、ラジオアイソトープ (Co^{60}) を利用することを計画し、種々基礎実験を行なった結果について前報¹⁾で報告したが、この結果に基き昭和 33 年 8 月改修に入つた当所第 1 高炉 (旧称第 10 高炉) の炉壁煉瓦積内 11 個所に Co^{60} を含む試料を埋め込み、同年 11 月 18 日吹入とともに測定を行なつてゐる。

本報においては試料埋込位置、方法、現在までに得られた結果その他について報告する。

II. 試料の埋込位置、埋込量および方法

当所第 1 高炉の改修後における煉瓦積部分のプロファイルは Fig. 1 に示す通りである。この高炉は改修により全鉄皮式となり、炉内容積 1,018 m^3 、公称能力 700 t/day になつた。また炉壁保護のため合計 780 個の冷却函が挿入された。炉壁煉瓦はシャフト上部に国産高炉煉瓦、その他にはアイオン土を原料として作つた煉瓦を使用し、炉底周辺にはカーボン煉瓦が積まれている。

Co^{60} を含む放射性試料を埋込む場所は結果を早く知ることができるように侵蝕されやすいところに重点を置

く方針とし、Fig. 1 にしめしたように 4 レベル計 11 個所とした。

1 個所の埋込試料数は基礎実験では 3 個としたが¹⁾、はじめての試みであり検出精度を良くする意味で、炉壁厚みを大体 3 等分する 2 点のみに埋込んだ。各レベルの煉瓦積内の位置を Fig. 2 に示す。

前報¹⁾の基礎実験はレベル III および IV の条件で行なつたものであるがレベル I では試料位置が鉄皮に近くなり、レベル II では逆に遠くなつてゐる。しかし埋込試料の放射能強度は、内側と外側の各 11 個ずつ、それ

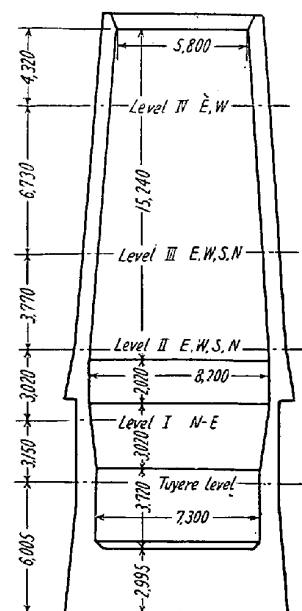


Fig. 1. Profile No. 1 B.F. and levels of Co^{60} specimens.

* 昭和 34 年 4 月、本会講演大会にて発表

** 別府化学工業株式会社 工博

*** 富士製鉄株式会社、釜石製鉄所、製鉄部

**** 同 研究所

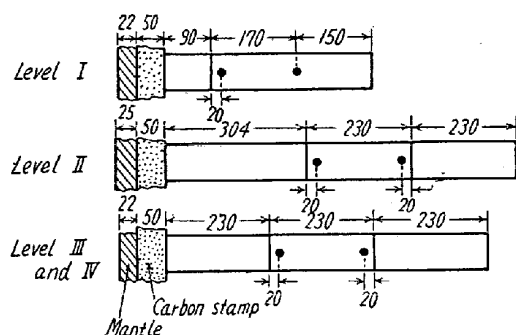


Fig. 2. Position of Co^{60} specimens in the brickwork.

どれ大体おなじものをつくつたので、そのなかで比較的弱いものをレベル I に、強いものをレベル II に埋込むようにした。

埋込試料の放射能の強さは炉壁模型を用いて行なつた基礎実験の場合と同程度、すなわち内側試料が $0.4 \sim 0.5 \text{ mc}$ 程度、外側試料が $0.04 \sim 0.06 \text{ mc}$ 程度とした。各試料の強さを Table 1 に示す。また埋込後測定した計数値を A 欄に併記したが、レベル III および IV では基礎実験の結果と大体一致しており、レベル II では距離が遠くなつてゐるため、大きく減少している。

埋込試料は基礎実験で用いたと同じく Co^{60} wire を銑鉄に薄め溶融アルミナカプセルに入れたものを使用し

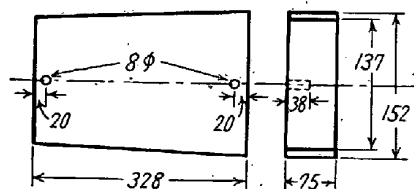


Fig. 3. Key type brick used for burying active specimens.

Table 1. Radioactivities of buried specimens.

Level No.	Position	Activities of specimens (mc)		Counting rate on mantle (cpm)	
		Inside	Outside	A*	B**
I	South-east	0.39	0.063	—	16200
II	East	0.47	0.040	420	840
	West	0.49	0.042	510	960
	South	0.56	0.038	400	780
	North	0.44	0.039	390	780
III	East	0.40	0.053	1500	2340
	West	0.44	0.053	1560	2700
	South	0.42	0.037	1320	2040
	North	0.41	0.050	1620	2640
IV	East	0.55	0.058	2100	3480
	West	0.33	0.053	1530	2700

* Test probe is kept 78 mm from the mantle.

** Test probe is in contact with the mantle directly.

た。煉瓦はレベル I を除きいずれも 9 in の楔型煉瓦に埋めたが、煉瓦にはあらかじめ Fig. 3 に示すように試料を入れる孔をあけておき、煉瓦積の際は、まず空のまま所定の位置に積込む。さらにその上の段の煉瓦を積むときに用意したカプセル入り試料を孔の中に入れ、耐火モルタルで孔を塞ぎ、直ちにその上に煉瓦を積んだ。このようにして煉瓦積作業員の放射線による被曝を最小限に抑えた。

III. 測定装置および方法

埋込試料の放射能測定は前報で述べたように、炉壁外からの計数と銑鉄試料中の放射能の検出の両法を併用することとした。

炉壁外からの測定は、現場において 11 箇所について行なわなければならないのでできる限り簡単で精度の高い測定法が望ましい。鉄皮の外まで出てくる放射線は Co^{60} の γ 線であるから、測定装置としては当然 γ 線計数効率の高いものが望ましく、したがって前報の吸収係数測定結果からもシンチレーション計数器がこの目的に適していることは明らかである。現場における測定用として簡単な携帯用シンチレーション計数器の使用を計画したが、火入までに入荷しなかつたため、火入後しばらくは基礎実験にもちいた大型の計数管（神戸工業製 PS-1 型 $1'' \phi \times 1'' \text{NaI}$ ）を使用し、約 7 カ月後から Victoreen 製 Model 645 ($1\frac{1}{4} \phi \times 1\frac{1}{2}'' \text{NaI}$) 携帯用シンチレーション計数器を使用して測定をおこなつてゐる。（Fig. 4）

炉壁外において埋込線源からの放射線を測定する場合には、前報の基礎実験から明らかなように、常に一定位置で測定を行なうことが必要である。それには J.



Fig. 4. Photograph of the portable scintillation counter counting on the mantle.

Holzhey²⁾の行つたように炉壁に計数管を固定しておき連続測定をすることに最もよいが、これは測定箇所数だけ計数管が必要であり、計数装置にも問題があるので、本研究ではつぎのような方法を採用した。すなわち、試料埋込箇所外側の鉄皮上で最も計数値の多い所に長さ 100 mm 内径 100 mm のガス管を溶接し、埋込箇所の指示と計数管の保持用とした。測定の際はこの中に鉛製シールド管を入れて自然計数を減らし、さらにその中にシンチレーション計数管を入れて測定する (Fig. 4)。自然計数は各測定レベルごとに 1 回ずつ 2 つの測定箇所のほぼ中央で、条件を同じくして測定する。

Table 1 の A 欄に示した測定値は基礎実験の場合と同じく鉄皮と計数管の間を 78 mm 離して測定したものであるが、シャフト下部の煉瓦積が基礎実験の場合より厚く計数値がかなり低下しており、また鉄皮面の温度が短時間の測定ならば計数管に害にならない程度と考えられるので実際の測定は精度を向上させるため鉄皮に計数管面を密着せさせて行なつており、計数値は Table 1 の B 欄に示すように約 1.5～2 倍になつた。

炉壁における測定は毎週 1 回ずつ行うこととし、その際計数値に異常が認められた時は、あらかじめ採取してある銑鉄試料の放射能を測定し、放射性試料の脱落日時を推定することとした。

銑鉄試料はすでに報告した装入物降下速度測定実験³⁾と同じ棒状の金型を用い、各出銑ごとに初期と末期の 2 個、1 日 12 個の試料を採取している。

IV. 安全性の検討

Co⁶⁰ は 1.17 および 1.33 Mev の強い γ 線を放射するため放射線障害を起しやすく、その防止に十分注意しなければならない。本研究でこの心配があるのはつぎの 3 者である。

- (1) 煉瓦積作業者が作業中に埋込試料により被曝する場合。
- (2) 埋込後炉外に出る放射線により被曝する場合

(3) 炉壁侵蝕により脱落した Co⁶⁰ を含む溶銑により被曝する場合。

これらのうち (1) については、基礎実験で測定したように埋込箇所に密着しても 0.2 mr/h 程度であり、埋込箇所も 1 レベル最高 4 箇所であつて、上下のレベルは非常に離れており、しかも埋込に際し前述のような方法を採用したため被曝時間もきわめて短く、放射線障害に対する心配はほとんどない。(2) についても、もつとも強いレベル I の外壁においてもその放射線量は 0.03 mr/h 強度であり、しかもこの場所は朝顔部であるため、人はほとんど近づく、他はいずれも 7 μ r/h 以下で障害の心配は全くない。

もつとも問題となるのが (3) の場合であるが、これは人体に対する障害よりもむしろ、放射能のある鉄鋼を使用した場合たとえば光学器械などをつくる場合に問題となる。鉄鋼中の Co⁶⁰ の最大許容量としては、英国では 0.34 mc/t 以下なら安全であると報告されており、東独では通常の用途に使用される銑鉄中に 0.05 mc/t までは許されると言われる²⁾。わが国ではまだこれについて規定されていないが、常時飲用する水の中の Co⁶⁰ 許容濃度は 4×10^{-4} μ c/cc と定められている⁵⁾。これを鉄に換算すると約 0.05 mc/t となり東独の許容量と同じになる。そこで一応この値を銑鉄中の Co⁶⁰ の最大許容量と考えた。

当所の溶銑鍋は鑄物銑用が容量 20 t であり、これに入つてよい Co⁶⁰ の量は 1 mc となる。Table 1 に示すように炉壁に埋込んだ Co⁶⁰ 試料は内側のものが 0.5 mc 程度であるから、炉壁侵蝕により試料 1 個のみが脱落して溶銑中に入つた場合は全く心配なく、2 個が同時に落ち同一鍋中に入つても許容量程度である。平炉銑の場合は混銑炉に入り非常に薄まるため、全く問題にならない。

V. 測定結果

第 1 高炉は改修終了後昭和 33 年 11 月 18 日吹入されたが、その前日から炉壁の計数を開始した。昭和 33 年末までの計数結果を Fig. 5 に示す。

図からレベル I の内側の試料が 11 月 29～12 月 6 日の間に脱落し、さらに同じレベルの外側の試料も 12 月 13～17 日の間に脱落していることがわかる。そこでこの期間中に採取した銑鉄試料を計数した結果を Fig. 6 に示す。

これから脱落した内側の試料は 12 月 1 日午前 8 時 30 分からの出銑中に現われていることがわかる。外側の試料の脱落日時は溶銑試料から検出することができなかった。これはこの試料の放射能が非常に弱いためと考えら

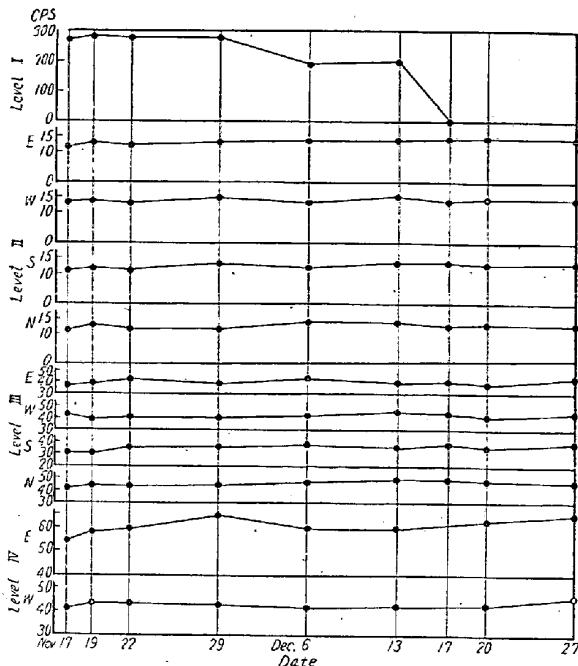


Fig. 5. Changes of counting rate on each measuring position.

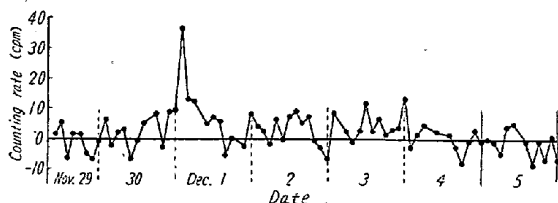


Fig. 6. Results of counting of pig iron specimens.

れる。

これらの結果から、朝顔部のレベル I 付近の炉壁煉瓦は吹入後 13 日で約 150mm が侵蝕され、さらに 12~16 日間に約 170mm が侵蝕され、結局吹入後 25~29 日で約 320mm が侵蝕され、110mm を残すだけであることが明らかとなった。

つぎにこの結果をこれまで報告された他の研究者の結果と比較して見る。炉壁の侵蝕状況は高炉の操業状態、冷却方法、炉壁材料などにより異なるため比較は困難であるが、当所の高炉と条件のよく似た R. Mintrop らの報告では⁶⁾、朝顔部の 740mm の煉瓦積が約 30 日で約 550mm 侵蝕された。これは全炉壁厚みの約 74% に当り、われわれの上述の実験結果とよく一致している。しかし最近発表された A. Schepers⁷⁾ らの報告ではやはり朝顔部で 1 カ月半に約 61% 侵蝕されたことを述べている。これは炉壁厚みが 1030mm あり、しかも炉壁の大部分がカーボンプラスタ材から成っており、シャモット煉瓦は内張りに使用されているのみであるためと思われる。このようにカーボン質材料はかなり侵蝕速度が

遅いようであり、J. Holzhey は冷却板を挿入したカーボン煉瓦で構築した朝顔では約 1 カ月後においても内壁から 60~70mm の深さに埋込んだ Co^{60} が残っていることを報告している⁸⁾。これらの結果から朝顔部の内壁側のシャモット煉瓦はかなり侵蝕が早く 30mm/day 位で進み、外壁に近づくにつれて冷却のため速度が遅くなり、吹入後 1~2 カ月で炉壁 100~200mm を残して平衡状態に達するように思われる。これに対しカーボン煉瓦の侵蝕はかなり遅く 5mm/day 以下のものである。

このようにカーボン質材料の侵蝕が遅いことは、耐蝕性が高いとともに熱伝導がよいため冷却効果が高いことによるものと考えられる。炉壁温度と侵蝕の関係を求めるためレベル I の試料埋込個所の内側から約 390mm の所に差込んだ温度計による温度測定結果を Fig. 7 に示す。この場所の内側の試料が脱落したとき、すなわ

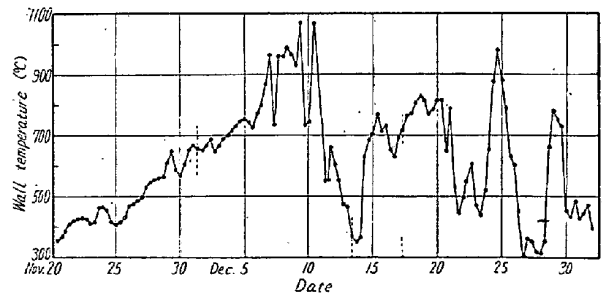


Fig. 7. Changes of wall temperature on wearing of brick work.

ち温度計の先端約 240mm まで侵蝕されたときの炉壁温度は 650°C であった。12 月 11 日以降は温度計をさらに 80mm 外側にずらした結果外部注水による影響が現われ温度の変動大きく、外側の試料落下の時の関係ははつきりしなかった。

レベル II, III および IV の試料の計数値は昭和 34 年 3 月末現在 (吹入後約 4 カ月) 変化が見られず、冷却函多数挿入の効果が現われている。

VI. 総 括

高炉炉壁煉瓦積の侵蝕状況をその操業中に非破壊的に調査するため、ラジオアイソトープを使用することを計画し、種々実験を重ねた結果、昭和 33 年 8 月 16 日より改修に入つた当所第 1 高炉の炉壁 11 個所に Co^{60} を含む試料を埋込んだ。各測定個所に炉壁面からの距離を変えて 2 個ずつ埋込んだため 1 個所につき 2 回侵蝕状況が測定できる。また、測定精度を向上させることにより 1 個所の埋込量を約 0.5mc 以下に抑えることができ、したがって放射線障害の心配は全くない。このように少量の埋込量でも埋込後の計数値はかなり大きく、場所によつて

はさらに少量でも検出可能である。

昭和33年11月18日火入以後、引続いて測定を行なっているが、すでに朝顔部では炉壁約 100mm を残して侵蝕されたことが測定された。これは当所では初めての試みであるため、埋込個所も 1 個所の埋込数も少くしたがこれが成功すれば、さらに多くの個所に多数の試料を埋込むことにより、炉壁侵蝕の進行状況が詳細にわかり、炉命延長、新しい高炉の設計などに大きな貢献をするものと思われる。

終りに本研究を行なうに当り種々御助言、御協力を賜った製鉄課および研究所の各位、特に高炉への積込に積極的な御援助をいただいた製鉄課および管組の係員諸氏に厚く感謝の意を表する。(昭和34年 9 月寄稿)

文 献

- 1) 富永, 八塚, 庄野: 鉄と鋼, 46 (1960) 7~11
- 2) J. Holzhey: Neue Hütte., 2 (1957)
p. 665~70
- 3) 富永, 八塚, 駒木: 鉄と鋼, 44 (1958) 960~961
- 4) E. W. Voice: J. Iron Steel Inst., 167 (1951)
p. 157~61
- 5) 科学技術庁告示第 4 号 (昭和33年 3 月31日) 別表第 1
- 6) R. Mintrop und E. Roemer: Tech. Mitt. Rheinhausen H. W., (1955), No.4, p. 218~24
- 7) A. Schepers und F. R. Licht: Stahl u. Eisen, 79 (1959), 10, p. 669~74

CaO-SiO₂-TiO₂ 系の電気伝導度と酸化チタンの挙動*

(酸化チタンを含む熔融スラグの電気伝導度—IV)

森 一 美**

The Electrical Conductivity of the CaO-SiO₂-TiO₂ System and the Behaviour of Titanium-Oxide.

(The electrical conductivity of molten slags containing titanium-oxide—IV)

Kazumi Mori

Synopsis:

In order to study the behaviour of titanium-oxide in molten slags and to obtain some informations concerning the electric-smelting of titaniferous iron sand, the electrical conductivity of the CaO-SiO₂-TiO₂ system was measured in the temperature range 1470~1200°C. The one electrode and the crucible, which itself functioned as the other electrode, were made of platinum. The measured ranges of compositions were CaO/SiO₂ 0.67~1.22 at TiO₂ 19.5 mol%, CaO/SiO₂ 0.70~1.28 at TiO₂ 30 mol% and TiO₂ 24.6~46.0 mol% at CaO/SiO₂=1.

The specific electrical conductivity was of the order of 0.1~1.0 Ω⁻¹cm⁻¹, while the activation energy of conduction was 25~30 kcal/g-mol. It was presumed that the conduction mechanism was ionic and the mobile ion was Ca²⁺.

At a constant TiO₂ concentration the specific electrical conductivity was increased with CaO/SiO₂, but the conductivity (μ) equivalent to one grammole of CaO had a maximum at near CaO/SiO₂=1.1.

At CaO/SiO₂=1 the conductivity was increased with the increase of TiO₂ content. This could be ascribed to the fact that Ti ion strongly weakend Si-O network owing to the coordination number of six and the comparatively strong Ti-O bond. It was in this respect

* 昭和 32 年 4 月, 本会講演大会にて発表 **茨城大学工学部, 金属工学教室