

論 文

ラドンによる 1,000t 熔鉱炉内ガス通過時間の測定*

芹沢正雄**・葛原義雄***・高橋愛和****・神原健二郎****・宮川一男****

DETERMINATION OF GAS TRANSIT TIME BY RADIO-ACTIVE TRACER RADON IN A DRIVING 1,000 TON BLAST-FURNACE

*Masao Serizawa, Yoshio Kuzuhara, Yoshikazu Takahashi,
Kenjiro Kanbara & Kazuo Miyakawa*

Synopsis:

A series of tests on the measurement of the gas transit time and the distribution of the gas in operation of a 1,000 ton blast furnace were carried out using radioactive tracer at Hirohata Works of the Fuji Iron and Steel Co. As soon as the radon contained in a gold tube was detonated into the furnace by the electrical burster container fitted up one tuyere latch of the furnace, a series of gas samples were caught at 0.7 second intervals by the gas sampler installed at the top of the furnace. The gas samples were transferred first into the flasks and subsequently analyzed for their radio-active content by the pulsed-ionization chamber method.

The samples were simultaneously withdrawn through four steel tubes inserted above the stockline at a center and three different positions near the furnace wall.

Some preliminary tests in 1955 and a series of forty experiments from August to October in 1956, were performed successfully, and the furnace conditions were taken into consideration in relation to their results.

Some results obtained from these tests are as follows.

(1) By using the pulsed ionization chamber method gas radioactivity was detected much more precisely than by the Geiger-Müller counter method. The radon as much as 0.6 m.C. is sufficient to analyze the gas radioactivity, and under the favorable conditions it is counted beyond 1,000 cpm.

(2) The transit time of the gas determined from a series of thirty experiments is shown in Table 4, the average and the 95% confidence limit obtained by statistical analysis as to the center of the furnace and the vertical point of the inwall above the tuyere through which the radon is projected. It is observed that the transit time of the gas is faster in the center of the furnace than near the furnace wall by these results; 3~5 seconds to reach the maximum radio-activity at the center against over 5~6 seconds at the inwall, and the transit time varies more at the center than at the inwall, and the gas flow is influenced by pig tapping or slag tapping.

(3) As shown in Fig. 5, experimental results seem to be assorted into four types on the relative curves between the gas radioactivity and the transit time. It will be recognized that these figures and the furnace conditions are substantially related, that is to say, when the furnace condition is stable the figure is often found out as A type, and under instable condition as C or D.

I. 緒 言

熔鉱炉内におけるガスの流れがどのようになっているかを知ることは炉内装入物の分布と共に熔鉱炉を操業する場合非常に重要なことであるが、そのことに関しては実験の困難さのために余り報告されていず、1929年に発

表された Kinney¹⁾の研究が今なお引用されている。炉

* 昭和32年10月本会講演大会にて講演 (I, II 報を取纏めたもの)

** 富士製鉄広畑製鉄所製鉄部長

*** 〃 〃 研究所長, 工博

**** 〃 〃 研究所

内装入物の分布について、著者らは実物大熔鋳炉々頂模型および 1/30 の小型模型を用いて種々検討を行い、その一部はすでに発表した²⁾。

著者らは近年長足の進歩を示している放射能測定技術を利用することにより、熔鋳炉内のガス分布に関する研究を計画し、ラドンを追跡子として 1,000 t 熔鋳炉の羽口より導入すると共に炉頂で炉内ガスの採取を行い採取したガス中の放射能を測定することによつてガスの炉内通過時間を推定すると共に、炉内におけるガスの流れ、さらに炉況との関係等について検討した。

この研究は昭和 30 年に実験装置および実験方法の検討を中心として 20 回にのぼるラドンの発射をして予備実験をおこない、昭和 31 年 8 月より 10 月にわたつて 40 回にのぼるラドンの発射をおこなつたものでその大要をこゝに報告する次第である。

II. 実験装置および実験方法

爆薬筒にラドンと火薬とを装填して指定の羽口に取付け、一方炉頂では炉内ガス採取管とガス捕集装置を連結し、準備が完了したら荷の捲上げを中止してガス採取管を炉内に挿入し、炉頂においてスイッチを押して爆発筒を電氣的に点火しラドンを炉内に発射せしめると同時に連続的にガスを捕集筒に採取する。

点火後の時間と捕集せるガス容積とを記録した後、捕集筒のガスは 500 cc のフラスコに移し換え、約 2 時間後にイオン電離箱 (pulsed-ionization chamber) を用いて測定した。なお実験前後に同じガス採取管を用いて炉内ガスのガス分析試料を採取するとともに、炉頂ガス圧、温度、その他操業実績を記録した。

主なる点について次に説明する。

(1) 追跡子

追跡子としては色々のアイソトープが考えられたが、

- (i) ガス態であること
- (ii) 不活性ガスであること
- (iii) 入手が簡単であることなどの点よりラドンを採用した。

実験に使用したラドンは直径 0.7 mm、長さ 3 mm 程度の金管に封入された放射能約 0.6mC のものである。

ラドンは Ra の崩壊によつて生成するガスで、熔鋳炉内で化合物を作つたりすることがなく半減期も短く入手も容易であり追跡子として好都合である反面、ラドンは Table 1 に示す如く RaA→RaB→RaC→RaD と α , β , γ 線を放出しながら崩壊し最後は安定な Pb となるのであるが、その過程において α 線を多く出すため保健上特に注意を要し、また放射能の測定方法も GM 管等で

Table 1. Genealogical tree of the radium family.

Element	Half-life period	Emitter	Energy (MeV)
^{226}Ra	1590year	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \gamma \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 4.779 \\ 4.595 \end{array} \right.$
^{222}Rn	3.827day		α
^{218}RaA	3.05min	α	5.998
^{214}RaB	26.8min	$\left\{ \begin{array}{l} \beta \\ \gamma \end{array} \right.$	0.65 0.294
^{214}RaC	19.7min		$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{array} \right.$
$^{214}\text{RaC}'$	$1.5 \times 10^{-4}\text{sec}$	α	7.680
$^{214}\text{RaC}''$	1.32min	$\left\{ \begin{array}{l} \beta \\ \gamma \end{array} \right.$	1.80 7.28
^{210}RaD	22year		$\left\{ \begin{array}{l} \beta \\ \gamma \end{array} \right.$

は効率が悪く、直接 α 線を測定する特殊の装置を作製する必要があつた。

熔鋳炉ガスは燃料として製鉄所内で使用されるので、その取扱いにはとくに慎重を要するが熔鋳炉ガスは 60,000m³ のガスタンクに一旦貯蔵されて配給されるため 0.6mC のラドンがガスタンクに入ると 10⁻⁸ $\mu\text{C}/\text{cc}$ の濃度に稀釈され U.S. Bureau of Std.³⁾ で発表している常時呼吸しても差支ない許容量になるので、ガス試料の採取ならびに測定の際の注意を怠らなければ差支ないという結論に達した。熔鋳炉ガスはもともと 25% 位の CO ガスを含有し大変有毒であり途中で吸い込む機会は非常に少いのであるが、万全を期してなるべく少いラドンを使用するように努力した。ラドンを使用するには、同時に分譲されたものでも金管に封入されたラドンの放射能には不同があるので、あらかじめ一定の方法によつて GM 管を用いてラドンの強さを測定し比較的近い値のものを使用するとともに測定値の整理に当つては一定の単位 (10,000cpm) に換算して表示した。

(2) 爆薬筒

ラドンの炉内導入には爆薬筒を使用した。爆薬筒は鋼製で羽口覗き窓接続部は水冷装置を有し、他端は点火用プラグを有するもので、その詳細は Fig. 1 に羽口に取付けたところを Photo. 1 に示す。

火薬は黒色火薬を用い 1 回の実験に約 6 g 使用した。火薬の爆発により銅板を破つて発射された金管は熱風とともに炉内に入り、そこで瞬間的に熔けてラドンがガス

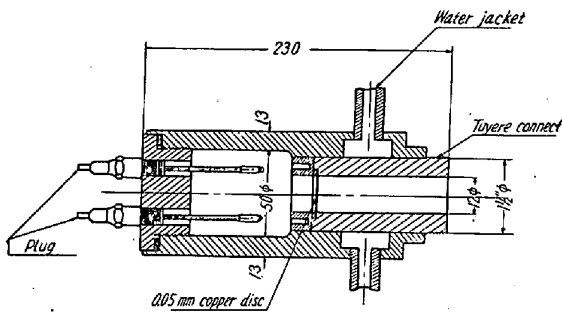


Fig. 1. Burster.

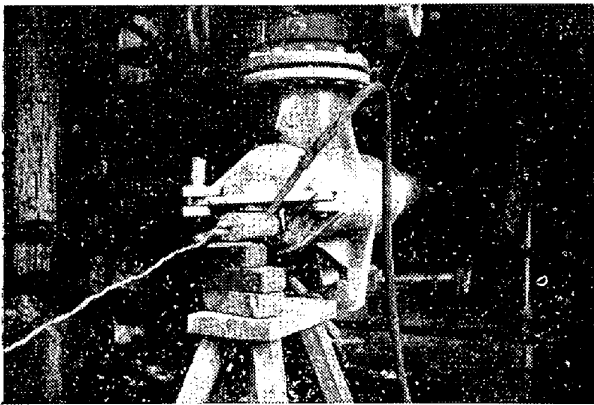


Photo. 1. Burster fitted to the tuyere latch.

中に放出される。

(3) 炉頂ガス採取

鉍石受金物上部の鉄皮に水平面に対し 40° の角度で炉心に向つて 2 inch の孔を開け、バルブおよびアスベストによるガス洩れ防止装置のついたガイドパイプを設置し、その中へ直径 1 3/4 in、長さ 6 m のガス採取管を鉍石受金物頂部の炉内端を通りストックラインに沿つて炉内に挿入し得るようにし、その炉内の長さによつてガス採取位置を決定できるようにした。ガス採取時には鉍石およびコークス類の装入を中止した。

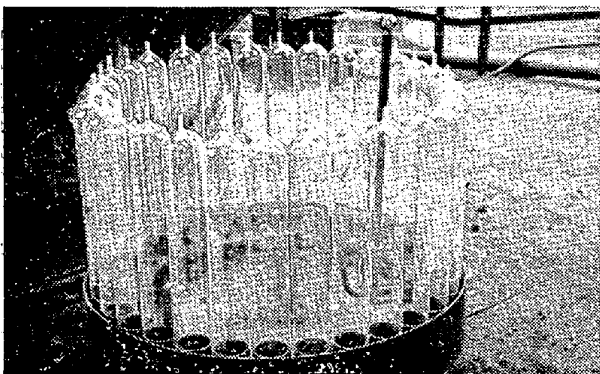


Photo. 2. Gas-sampling apparatus.

炉内ガス採取管は Photo. 2 に示す如き 30 個のガス捕集筒を有する水を張つた円盤型のガス捕集装置にゴム管によつて連結される。ガスは装置の下部より中央部に

導入されハンドル付の回転自由な導管によつて各ガス捕集筒の下部に導かれている。各捕集筒にはあらかじめ水を満しておき、ハンドルの回転開始と同時にマイクロスイッチによつて爆薬筒に点火し、ハンドルを順次回転して連続的にガスを水と置換せしめてガスの捕集を行った。

本装置は予備実験においては手動回転方式であつたが昭和 31 年の実験には自動回転方式に変更し、ガス採取箇所も 1 カ所であつたものを炉頂部円周を 3 等分する炉壁部 3 カ所と炉心との合計 4 カ所より同時にガス採取を行えるようにし、4 台のガス捕集装置を同時に 1 周 19 秒の速度で回転せしめ 1 回転して自動的に停止し得るように改造した。

捕集筒に採取されたガスはあらかじめ真空に引いたフラスコに移して放射能測定に使用した。フラスコも始めは三角型の肉厚フラスコを使用したが、昭和 31 年の実験には測定効率を高めるため円筒型のものに変更した。

(4) 放射能測定

ラドンの放射能を測定するには α 線を測定する電離箱を利用した pulsed ionization chamber 法を採用し、特別に装置を試作して放射能を測定した。

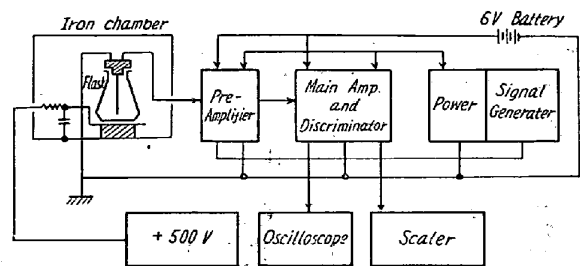


Fig. 2. Measuring apparatus for radioactivity by a pulsed-ionization chamber method.

Fig. 2 にその簡単な配置図を示す。鉄でシールドされた箱の中にフラスコに電極を挿入し、電極に 500V の高圧をかけてフラスコ内の α 線の入射によつて分解生成されたイオンを測定電極に吸引する。このイオンによつて生じた電圧は 1~2mV という微小なものである。これをプレアンプおよびメインアンプによつて 5~10V に増巾してスケラーで記録させる。このように精密な測定を必要とするため震動、電氣的な雑音、電極の汚染、絶縁の不良等の障害を極力防止するように工夫が払われた。

ラドンは Table 1 に示す如く次から次へと比較的短時間の間に崩壊して行くので、その測定効率を高めるために過渡平衡に達してから測定することが望ましい。ラ

ドンの場合には5時間で過渡平衡に達し、その時の活量を100%とすれば2時間で約95%となるので2時間後に放射能の測定をおこなった。

III. 実験結果および考察

(1) 測定方法の比較

ラドンを羽口より発射して炉頂ガスの放射能をGM計数管と pulsed-ionization chamber とによつて測定した場合の結果の1例を Table 2 に示す。この場合、GM計数管の測定においても特殊の工夫をして成るべく測定効率を高めるようにして測定したのであるが、それでもなお同じ計数値を得るためには pulsed-ionization chamber に比して約20倍のラドンを必要とすることが判つた。さらに pulsed-ionization chamber にはフラスコ全体を鉄の箱に入れてあるので自然計数は0にひとしく pulsed-ionization chamber method の測定効率が非常に優秀であることを示した。またこの数値は英国の報告⁽⁴⁾が8および40mCのラドンを使用して40および500cpmを計数しているのに比してもいかに効率が良いかということがわかる。

(2) 予備実験結果

昭和30年に行つた予備実験では炉内ガス採取孔は1つであつたため炉心と炉壁とよりガスを採取するには2回繞けてラドンの発射ならびにガス試料の採取をおこなわなければならなかつた。

20回におたるラドンの発射によつて得た結果、ガスの炉内通過時間ならびに最高計数値は実験日および炉況等によつて大きく変動しているが炉内ガス通過時間は5~10秒程度のものが多く、この試験期間では炉壁に比して炉心の方が速い傾向を示した。

また出銑作業とか出滓作業とかによつてガスの流れが相当変動するようにも考えられた。

(3) 4カ所同時ガス採取の結果

昭和31年の本実験においては、ガス試料採取孔を4個開け、炉壁3カ所と炉心との4カ所より同時にガスを採取できるようにした。

Fig. 3 に結果の1例を示す。横軸はガス捕集筒に採

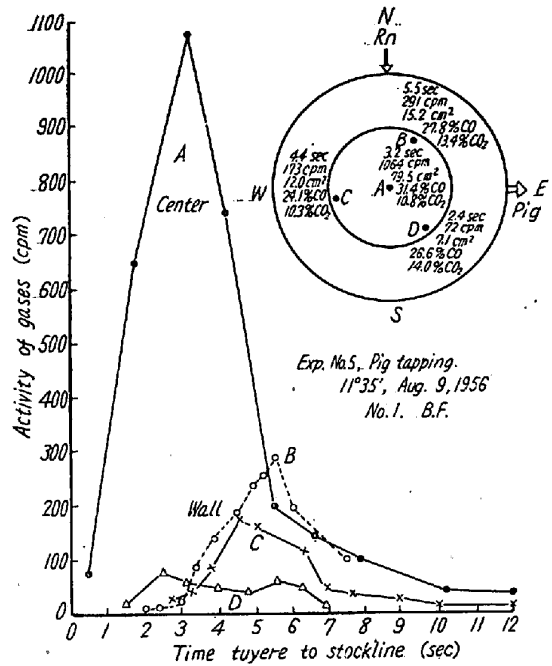


Fig. 3. Results of analysis of gas samples for radio-activity.

取した時間とガス量との関係より、ガスがガス採取管を通つて捕集筒に入るまでの空時間を採取時間より差引いた時間である。Fig. 3 は出銑中の例であるが、炉心が最も高いピークを示し時間も早く、次にラドンを発射した側の炉壁Bが高く、Cがそれに次ぎ、Dにおいてはもはやあまり明瞭なピークを示さず扁平山型をなしている。Fig. 3では炉心の計数値が非常に高く出ているがこのような場合は少く、ラドン発射側の炉壁の最高計数値が炉心より大きい場合が多い。

また計数値一時間の面積も炉内におけるガスの流れに対する1つの目安となし得ることも考えられよう。

Fig. 4 には平常時、出滓時、さらにラドンを発射する羽口としては本実験中原則として No. 4 羽口を使用したかこれを No. 8 羽口に変わった場合等の数例を示している。

以上の結果から、1つの羽口からのガスはラドン発射側の炉壁と炉心とに大半のガスが流れ、ラドン発射の反対側の炉壁には比較的わずかのラドンしか計数されていない。しかし平常時に比して出銑中や出滓中では、それ

Table 2. Comparative results obtained by a GM counter and a pulsed-ionization chamber.

	G.M. counter	Pulsed ionization chamber	G.M. counter* (Voice)	G.M. counter** (Voice)
Rn introduced (mC)	11.2	0.6	8	40
Max radioactivity (cpm)	487	429	40	500
Background (cpm)	46±6	0±1	30	

* Ref. (4), ** Ref. (5)

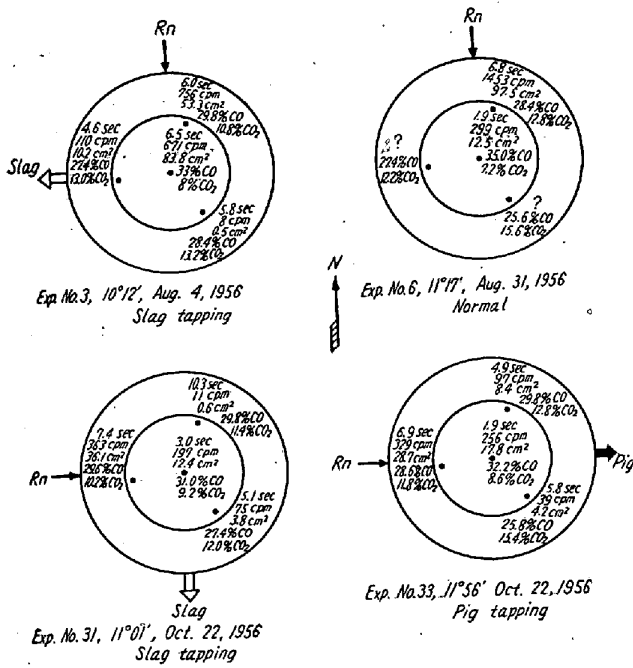


Fig. 4. Various experimental results.

それぞれ出鉄口、出滓口の側の炉壁にも比較的多くのラドンが計数され、かつまた通過時間も比較的に早い傾向が認められた。

(4) 炉内ガス通過時間の推定ならびに諸測定結果

昭和 31 年 8 月より 10 月にわたっておこなった実験結果について、最も関係の深いと考えられるラドンを発射した側の炉壁と炉心との炉内ガス通過時間、最高計数值、計数值一時間々面積等の結果を示せば Table 3 のごとくである。

Table 3 より炉心、炉壁とも計数されなかつた No. 16, No. 22, および No. 8 羽口より発射した No. 31~No. 33

を除いた分について炉内通過推定時間、放射能最高計数值、計数值一時間面積、炉頂ガス CO および CO₂ 等について炉心と炉壁との平均値ならびに 95% 信頼限界を予備試験結果にもとづき、平常時、出滓時、出鉄時に分つて、それぞれ求めてみると Table 4 のごとくまとめられる。これらは厳密に言えば炉況等の条件が一樣でなくいちじるしくことなつている場合もふくまれているが一応の目安を得るために求めたものである。

炉内ガス通過推定時間において、炉壁では出鉄、出滓等の作業時によつての有意差は認められないが、炉心においては平常時と出滓時においては有意差が認められ、炉壁と炉心とを比較すると出滓中では有意差はないが、平常時と出鉄中とでは明らかに炉心の方が早い。

なお参考のために平常時、出滓中、出鉄中を一緒にして、その平均値を算出してみると次のごとくなる。

炉壁 6.08±0.54

炉心 4.10±0.77

個々の値については 1.5~8.8 秒の間にバラつているが、この場合の炉内ガス通過推定時間は炉壁で 5.5~6.5 秒、炉心で 3.5~5.0 秒程度で、炉心の方が若干早いと考えることができる。

またバラツキの程度をみると Table 4 に示した変動係数からみられるごとく平常時、出滓時、出鉄時のいずれの場合も炉心の方が炉壁に比して変動が大きく、また炉壁、炉心の中では平常時の変動が一番少い。

放射能最高計数值ならびに計数值一時間面積においてはいずれも炉心、炉壁とも作業時の平均値間における有意差は認められないが、炉壁と炉心間では平常時、出滓

Table 3. Experimental results (Aug.~Oct., 1956)

Exp. No.	Date		Operation condition	Stock level (m)		Burden materials (%)		Wind volume (m³/min)	Wind press. (mmAq)	Wind temp. (°C)	Slag	
	Month	Day		East	West	Dun-gun	Sinter ore				Basicity (%)	Al ₂ O ₃ (%)
1	8	3	Pig tapping	1.5	2.0			1600	930	730	1.15	20.88
2	8	3	Pig tapping	1.5	2.0				930			
3	8	4	Slag tapping(W)*	0.8	1.0	0	66.4	1500	990	730	1.12	?
4	8	9	Normal	1.0	1.0				960	770	1.18	21.68
5	8	9	Pig tapping	1.0	1.0				930	770	1.18	
6	8	31	Normal	2.0	2.0				980			
7	8	31	Slag tapping(S)*	1.0	1.7	8.6	60.1	1500	1060	760	1.18	18.75
8	8	31	Pig tapping	2.0	2.0				1070			
9		6	Pig tapping	0.4	0.8				1100	750		
10		6	Pig tapping	1.5	1.0				1100			
11	9	6	Normal	0.6	1.0	11.8	57.8	1500	1100		1.13	19.91
12		6	Normal	0.8	1.5				1100			
13		6	Slag tapping(W)	1.0	1.0				980	730		
14		6	Slag tapping(W)	1.5	1.5				990			

15	9	22	Normal	1.0	1.0	16.7	56.8	1500	930	610	1.24	17.75		
16		22	Slag tapping (S)	1.0	1.0				910					
17		28	Slag tapping (W)	3.0	3.0				1120					
18		28		3.0	3.0				1080				740	1.29
19	10	11	Pig tapping	1.0	0.95	17.2	58.6	1450	1070	730	1.24	17.80		
20		11	Normal	1.0	1.0				1090					
21		11	Slag tapping (S)	0.9	1.0				1060					
22		12	Normal	1.0	1.0				1150				710	1.23
23		12		1.0	1.0				1140					
24	10	18	Pig tapping	1.0	1.0	13.1	58.8	1400	1080	680	1.27	17.4		
25		18		2.0	1.5				1020					
26		18	Slag tapping (W)	1.0	1.0				680					
27		19	Normal	1.0	1.0				1000					
28		19		1.6	1.9				1000					
29		19	Slag tapping (W)	?	1.1				970					
30		19		?	2.2				970					
31	10	22	Slag tapping (S)	1.2	1.1	13.4	58.6	1450	1020	590	1.25	19.5		
32		22	Normal	0.9	1.2				1050					
33		22	Pig tapping	1.0	1.2				1010					

* (W) and (S) denote the west-side and the south-side cinder notch respectively.

Exp. No.	Coke ratio	Pig production (t/day)	Furnace conditions	CO ₂ (%)		CO (%)		Gas transit time (sec)		Max. activity (cpm)		Area between activity and time (cm ²)		Activity-time type	Tuyere number of Rn introduced
				Wall	Center	Wall	Center	Wall	Center	Wall	Center	Wall	Center		
1	0.657	1,181	Very good	A	9.4	9.5	30.4	33.5	8.0	4.3	583	20	36.0	0.6	No. 4
2	0.624	1,122		A	7.0		31.4		6.2		890		48.4		
3	0.655	1,218	good	A	10.8	8.0	29.8	33.0	6.0	6.5	756	671	53.3	83.8	
4	0.655	1,218		A	12.6	11.4	28.5	30.8	4.4	4.2	1633	186	166.5	21.8	
5	0.655	1,218	A	13.4	10.8	27.8	31.4	5.5	3.2	291	1064	15.2	79.5		
6	0.682	1,159	good	A	12.8	7.2	28.4	35.0	6.8	1.9	1453	239	97.5	12.5	
7				A	11.0	5.4	27.4	36.0	5.1	2.3	84	47	4.3	1.7	
8				A	12.8	8.8	27.2	33.0	5.2	1.5	67	240	6.6	12.8	
9	0.725	1,072	good	B	11.8	12.8	28.0	25.4	4.0	3.7	380	17	30.6	0.3	
10				B	13.0	15.2	28.6	27.8	3.9	4.1	262	50	35.6	4.0	
11				B	13.0	15.6	28.2	27.4	6.6	3.8	88	221	6.1	14.6	
12				B	13.2	13.8	28.2	29.2	5.2	4.8	818	13	95.8	0.8	
13				B	9.1	12.4	37.4	29.6	5.5	5.8	515	58	51.6	2.2	
14	B	11.1	13.6	29.8	29.6	7.0	7.0	223	17	21.4	1.5				
15	0.763	1,019	good	B	15.0	12.2	25.8	29.0	6.9	2.0	420	142	48.3	9.4	
16				B	13.6	11.2	21.2	29.0							
17				0.711	1,129	bad hanging	D	17.4	12.0	23.7	29.8	5.0	9.5	703	18
18	D	18.2	12.2				23.4	28.4	2.5	3.2	887	18	45.9	0.4	
19	0.684	1,146	good	B	12.5	9.0	26.7	32.2	8.6	6.1	280	14	20.1	1.6	
20				B	11.6	6.0	26.3	33.6	5.3	4.6	180	68	19.1	5.6	
21				B	14.2	7.4	21.6	31.4	5.2	1.9	628	19	55.3	0.8	
22				B	14.3	10.3	26.7	29.6							
23	0.693	1,131		B	14.2	10.2	28.2	31.4	7.6	1.6	355	120	44.1	6.7	
24	0.723	1,017	bad	C	9.8		31.0		7.4	8.0	545	148	55.3	8.3	
25				C	12.6	12.4	30.2	31.0	7.7	3.6	244	12	16.0	0.7	
26				C	11.4	15.8	28.6	23.4	5.4	4.8	977	12	57.2	0.8	
27	0.726	1,080	good	C	14.4	13.4	25.8	28.2	8.8		54		5.1		
28				B	14.0	13.6	25.6	26.6	6.4	4.6	159	12	12.4	0.8	
29				B	9.0	13.0	30.6	30.6	5.9	3.0	135	140	12.5	6.6	
30				B	13.2	12.6	27.8	27.5	6.0	4.0	134	3	16.0	0.3	
31	0.717	1,093	good	A	10.2	9.2	29.6	31.0	7.4	3.0	363	197	36.1	12.4	
32				A	13.6	8.4	27.2	31.2							
33				A	11.8	8.6	28.6	32.2	6.9	1.9	329	256	28.7	17.8	

Table 4. Mean value, 95% confidence value, and coefficient of variation of experimental results.

		Condition	Wall	Center
Gas transit time (sec)		Normal	6.32±0.94, (21)*	3.27±1.06, (40)*
		Slag tapping	5.38±0.95, (23)	5.12±1.77, (45)
		Pig tapping	6.28±1.34, (28)	4.31±1.64, (45)
Max. activity (cpm)		Normal	578±403, (97)	120±78, (85)
		Slag tapping	490±270, (63)	109±165, (195)
		Pig tapping	394±191, (63)	196±301, (184)
Area between activity and time (cm ²)		Normal	55±37, (94)	8±6, (90)
		Slag tapping	32±15, (61)	11±21, (250)
		Pig tapping	29±12, (55)	13±22, (199)
Gas analysis	CO ₂ (%)	Normal	13.53±0.73, (8)	11.08±2.34, (30)
		Slag tapping	12.74±2.00, (23)	11.50±1.89, (24)
		Pig tapping	11.37±1.66, (19)	11.21±2.19, (21)
	CO (%)	Normal	26.66±1.54, (8)	30.26±1.92, (9)
Slag tapping		27.88±2.91, (16)	29.68±2.10, (11)	
Pig tapping		29.03±1.34, (6)	30.61±2.73, (10)	

* Denotes coefficient of variation.

時において炉壁が大きく、出鉄時においては有意差が認められない。またその変動はいずれも大きく最高計数値においてはとくに炉壁の平常時、出滓中と炉心が出滓時、出鉄時にいちじるしく、計数値一時間面積においてはとくに炉心が出滓時、出鉄時にいちじるしい。

炉頂ガス中の CO および CO₂ に関しては、炉壁、炉心ともにそれぞれ作業時における有意差は認められないが、炉壁炉心間では平常時において CO₂ は炉壁 CO は炉心が高く、出滓時、出鉄時には有意差が認められない。

(5) 測定結果と炉況との関係について

著者等はラドンによる炉内ガス通過時間や炉心と炉壁とのガス分布状況を把握するのみならず、炉況との関係について検討することに特別の関心を払った。従来ラドンを使って炉内ガス通過時間を測定した報告はあるけれども、炉況との関連性について報告されたものはない。われわれの実験もなお不備な点も多いのであるが、一応得られた結果について炉況との関係を考察した。

計数値一時間の関係曲線において、炉心とラドンを発射した側の炉壁との関係を検討してみると種々の型のものが画かれる。それ等をまとめてみると Fig. 5 に示すごとく次の4つの類型に分けることができる。

(i) A型

炉心、炉壁とも比較的明瞭なピークを示し、炉心のピークが炉壁のピークよりも早く炉壁の曲線より前に出てピークが2つならんでいる場合である。この場合、最高計数値および計数値一時間面積は大抵炉心の方が小さ

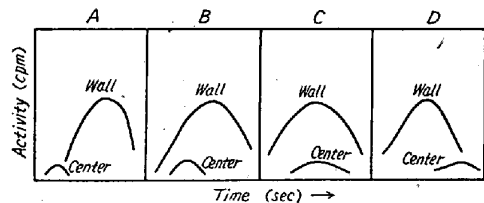


Fig. 5. Various types of activity-time figure.

い。

(ii) B型

炉心のピークが少しおくれて炉壁の曲線の中に入ったような型になった場合で、炉心のピークがおそくなるにつれて炉心は明瞭なピークとならず、なだらかな扁平山型となっているものが多い。

(iii) C型

B型と似た型であるが、炉心のピークがさらにおくれ炉壁の山の中心線より右半分に入ったような型であつて、この場合も炉心は明瞭なピークを示さず、なだらかになつたものが多い。

(iv) D型

A型の反対になつたような型で、炉心のピークがさらにおくれて炉壁の右裾より外にはみ出したような型である。

これらの型はごく大ざつぱに分けたもので個々の図について見ると、炉心の方が炉壁よりも大きくなつていもの、山の非常に高いもの、ほとんど山をなしていないようなもの等があるが、一応上述のように分類して整理

してみると次のごとくなる。

A	B	C	D	その他	計
11	9	6	1	1	28

次に実験のおこなわれた熔鋳炉の炉況について述べると、この試験に使われた No. 1 熔鋳炉は公称 1,000 t で炉床直径 7.4m, 炉高 27m, 内容積 1200m³, 昭和 27 年 12 月 25 日に第 3 次の吹入れをおこなったもので、したがって実験のおこなわれた時期にはすでに 4 年近くの炉命を経過し煉瓦も大分侵蝕されていたもので、昭和 32 年 4 月 1 日には改修のため吹止めされたものである。

この試験期間はたまたま No. 2 熔鋳炉改修時期に当たったため（吹止め昭和 31 年 6 月 10 日, 吹入れ 8 月 24 日）使用鉍石の大巾な変更もあり、炉況も大きく変動しているが、試験との関係から便宜上次の如く分けることができる。

(i) 第 1 期 (8 月上旬)

熔鋳炉 1 基操業のため装入鉍石品位も高く出銑量成分ともに優秀な成績であった。焼結鉍を装入物中 63% 使用し、粒度の良い鉍石を使用したので、風圧も低く風圧/風量=0.62 で非常に安定した操業を続けることができた。

(ii) 第 2 期 (8 月下旬)

熔鋳炉 2 基操業となり次第に鉍石事情が悪化し、鉍石の品位が第 1 期よりやや低下し粘性鉍石が使用され始めた。風圧/風量=0.68~0.70 と上昇しこれにともなつてかき棚気味となつていたが順調な操業を続けることができた。

(iii) 第 3 期 (9 月上旬)

大巾な装入変更とくに粘性鉍石の使用増加により品位の低下、粉率の上昇等があった。そのため風圧の変動が漸次大きくなり棚気味となつて 8 月に比し出銑量、コークス比、1 号銑歩留ともに悪化した。

(iv) 第 4 期 (9 月下旬)

下旬には粘性鉍石はさらに増加し全鉍石中の 15.3% に達しているが、21 日予定休風後 22 日より炉況は急激に下向き、22, 23 日の 2 日間で送風温度が 630→750 °C まで上昇した。冷え気味の傾向は 25 日頃まで続き 28 日以降次第に上向き傾向となつたが棚つりを起しストックレベルが深くなつた。また 24, 25 日には出銑時表面より白煙が発生した。

(v) 第 5 期 (10 月中旬)

その後粘性鉍石使用量の減少によつて炉況の回復もみられ一応安定してきたが、棚気味が続き 18 日ストック

レベルが深くなり炉況下向きで不良であつた。19 日には上向き、その後操業は順調となつた。

(vi) 第 6 期 (10 月下旬)

20 日以降は前旬減荷の効果も現われ炉況回復して良好となつたがコークス比は高かつた。

Table 3 に風量, 風圧, 出銑量, コークス比, 炉況等を併記してある。

炉況の良否を表示することは中々むずかしいことであるが、一応 Table 3 に併記せるとく A, B, C, D と分けて表わし、それと先に述べた計数值—時間図型との関係を求めてみると Table 5 のごとくなり、炉況の良好な A の場合には計数值—時間図型も A 型のものが多く、炉況の良くない C や D の場合には計数值—時間の型も C や D 型が多くみられる。

Table 5. Relation of the furnace condition and activity-time figure.

Furnace condition	Figure					Total
	A	B	C	D	Other	
A	7	1			1	9
B	4	7	3			14
C		1	2			3
D			1	1		2
Total	11	9	6	1	1	28

計数值—時間の図型を考えると、それには 2 つの要素があり、その一つは炉心と炉壁との時間的關係であり、他の一つは個々の山の形すなわち明瞭なピークを示しているか否かであり、明瞭なピークを示しているものは炉内におけるガスの流れの乱れが少いと一応考えられる。

上記 A 型に属するものはピークも比較的明瞭に現われ時間的には炉心の方が炉壁より早く、計数值—時間の面積も比較的炉心が大きくかゝる場合には炉況も良好な時であると考えられる。

以上の考察は未だ数少ない実験結果に基いてなされたものであつて、熔鋳炉の炉況というものはその時々原料事情を始め炉壁の侵蝕状況、操業方法、その他によつてそれぞれの特色があり、したがって少数の結果を以て直ちに一般的な結論を出すことはできないが、一つの試験期間においても炉況とラドンによる測定結果との間にある傾向が認められた、と考えることは興味深いことといわねばならない。

なおラドンによる炉内ガス分布の試験においては

- (i) ラドンを数個の羽口より同時に発射すること。
- (ii) 熱風管主管の適当な位置でラドンを発射すること。

と。

- (iii) ガス採取の位置を炉心と炉壁に限らずその中間部分にても採取すること。

等幾多の興味深い試験が考えられる。

また炉況の変動に応じて希望する時に直ちに実験を行い得ることもきわめて望ましい。なお炉況との関係をさらに追求し実際作業に応用するには、何をおいてもまず実験装置ならびに方法を簡易化して手軽におこなえることが必要であり、そのためには直接ガス中のラドンの放射能を記録できるような連続測定の方法も検討されなければならない。それらについてはさらに研究を続け熔鋳炉々内ガス分布の解明に役立たしめたいと念願している次第である。

IV. 結 言

上述せるごとく著者等は追跡子として 0.6mC という少量のラドンを使用し, pulsed ionization chamber による測定方法の採用によつてきわめて効率良く炉内ガス通過時間を測定することに成功した。実際に稼動している 1,000 t 熔鋳炉において 3 カ月にわたり 40 回のラドンの発射をおこなつて炉内ガス通過時間のみならず, 炉心と炉壁とにおけるガス分布状況や炉況との関係, あるいはまた出滓作業や出鉄作業によるガスの流れの変動などについて考察した。もちろんまだ実験回数が少く結論を得るに至っていないが, とも角次第に脚光を浴びつゝある放射性同位元素を 1,000 t 熔鋳炉に利用し, 熔鋳

炉内のガス分布の変動状態をある程度推察することができ, また炉況との関連性についても一つの傾向が認められ炉況診断の手がかりを得ることができたと考えるので今後さらに研究を続けていく考えである。小さな針程の金管に封入されたラドンによつて $1,200\text{m}^3$ をこえる巨大な熔鋳炉内のガスの流れを把握できるということは今更のごとく放射能の偉力を思い知らされる感が深い。

最終に本実験は終始京都大学理学部木村毅一教授ならびに同研究室隈部, 三宅, 小方の諸氏の直接の御指導と御協力によつたものであり, また大阪大学医学部山口寿教授ならびに神戸工業原子力部押田正部長にはラドンの分譲や測定装置について御協力を賜つたものであることを附記して深甚の感謝を献げる次第である。

(昭和 33 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) S. P. Kinney: Bureau of Mines, Technical Paper 442 (1929)
- 2) 芹沢正雄, 高橋愛和, 神原健二郎: 鉄と鋼, 43 (1957) 270
- 3) National Bureau of Standards, U.S. Handbook 52 (1953)
- 4) E. W. Voice: Jour. of Iron & Steel Inst., 163 (1949) 312
- 5) E. W. Voice: Steel., 129, Sep. 10 (1951) 102

砂型鑄造, 傾斜凝固鋼塊におけるマクロ偏析の挙動*

(大型鋼塊の凝固および偏析に関する研究—III)

守川平四郎**・小野寺真作***・荒木田豊***

BEHAVIORS OF MACRO-SEGREGATES IN THE SAND CAST INGOTS SOLIDIFIED WITH THEIR AXIS INCLINED

(Studies on the Solidification and Segregation of Larger Steel Ingots—III)

Heishiro Morikawa, Shinsaku Onodera and Yutaka Arakida

Synopsis:

In the 2nd Report, the effect of gravity on the vertical segregation proceeding in the melt of solidifying core of ingots has been indicated from a new standpoint.

* 昭和 32 年 10 月本会演説大会 (戸畑) にて発表

** 日本製鋼所室蘭製作所製鋼部製鋼課長 *** 同 研究部第 2 課