

- 5) J. P. Morris & G. R. Zellars: J. Metals 8 (1956) 1086
- 6) W. Bauklar et al: Z. anorg u. allgem. Chem, 226 (1936) 321~32
Metallwirtschaft 19 (1940) 463~70
Archiv Eisenhütt., 16 (1942) 197~200
- 7) F. D. Richardson & W. E. Dennis: J. Iron Steel Inst, 175 (1953) 257~63
- 8) C. Wagner "Thermodynamics of Alloys" (1952)
- 9) P. O. Koros & J. Chipman: J. Metals, 8, (1956) 1102~4
- 10) J. P. Morris & R. C. Buehl: Trans AIME, 188 (1950) 317~322
- 11) E. T. Turkdogan & R. A. Hancock: J. Iron Steel Inst., 179 (1955) 155~159
- 12) E. Piwowarsky & K. Schichtel: Arch. Eisenhütt., 3 (1929) 139~147
- 13) 的場, 万谷: 鉄と鋼, 44 (1958) 6
- 14) T. P. Floridis & J. Chipman: Acta Met., 3 (1955) 456
- 15) J. Chipman et al: Trans ASM 44 (1952) 1215~1230
- 16) 的場, 不破, 藤倉: 学振 19 委 5430, (1959) 4 月

^{60}Co による高炉装入物下降時間の測定*

富永在寛**・八塚健夫***・庄野四朗**・沢村 淳***

Measurement of Traveling Time of Blast Furnace Burden with ^{60}Co .

Arihiro Tominaga, Takeo Yatsuzuka,

Shiro Shono and Jun Sawamura

Synopsis:

The authors planned a experiment to presume the travelling time of blast furnace burden using radioisotope, ^{60}Co . About 1 mc of ^{60}Co wire, shielded in a container of cast iron, steel or iron ore, was charged from the taphole side of the top of No.8 or No.10 blast furnace at Kamaishi Iron Works.

The measurement of the travelling time was carried out by counting the radioactivity of samples taken from the molten pig iron on tapping, with a scintillation counter.

It was proved that the travelling time was largely affected by the wind volume and the volume of one charge which was governed by the volume of sinter.

Besides, to ascertain the time from the arrival in the tuyere zone to the appearance in the pig iron, 0.5~1.0 mc of ^{60}Co wire was thrown into the blast furnace hearth from the tuyere. The RI thrown in from the tuyere near the taphole appeared after about 15mn. in the molten iron, but the one which had been thrown from the opposite side of the taphole took long time to appear.

I. 緒 言

高炉装入物の下降に要する時間を知ることは高炉操業上重要な意義があり、銑種切替の時などある程度の推定をすることができるが、放射性同位元素（以下RIと略記）を利用すれば容易に推定できると考えられる。

高炉におけるRIの利用はRnを用いた炉内ガス通過速度の測定¹⁾²⁾、 ^{32}P を用いた炉床の湯の動きの測定³⁾、あるいは ^{60}Co による炉壁侵蝕の測定⁴⁾⁵⁾、焼結銑利用率の測定⁶⁾などいろいろあるが、装入物の下降時間を測

定したものは最近ソ連およびフランスで行なわれたことが報告されている。前者は炉壁に計数管を埋め込み ^{60}Co を炉頂から投入、その降下状況を観測したものであり⁷⁾、後者は ^{98}Au 、 ^{153}Sm および ^{140}La を用い、やはり炉頂から投入し、これらが溶銑および銑滓中に現われる時間を測定して下降時間を推定している⁸⁾。

* 昭和 32 年 10 月本会講演大会で発表

** 富士製鉄株式会社, 釜石製鉄所研究所

*** 〃 製銑部製銑課

われわれも昭和 32 年 2 月から ^{60}Co を利用してこの下降時間測定の実験を行なっている。実験の方法として理想的には上記のソ連の実験のように炉頂から装入した ^{60}Co の放射能を炉外の各所で測定し、RI の動きを追跡するとよいが、炉壁煉瓦による放射線吸収が非常に大きいため、きわめて強力な線源を使用する必要がある。上記のソ連の実験では計数管を炉壁内側まで挿入しているが、それでもなお 18~320mc という大量線源を使用している。このように大量の線源を使用することは放射線障害予防の上から困難があるので、この方法についてはさらに検討することとし、取あえず出銑の際に銑鉄中に現われる放射能を計測することにより装入物の下降時間を推定することとした。

II. 線源の選択および測定方法

本実験に使用する RI としては銑鉄によく混り、揮発性または炉内に付着することなく排出されるもので、しかも計数効率の上から γ 線放射体であることが望ましい。また価格なども低廉で入手しやすいことも必要である。最も理想的には鉄鉱石を原子炉に装入して放射化したものを用いることであるが、わが国では困難な状態であり、これに近いものとして ^{59}Fe (β, γ 半減期 45 日) が考えられる。しかしこれは価格が高く (約 25,000 円/mc) 実験を多数行なうには不適當である。そこで上述の条件を満たすものとして Fe に性質の近い Ni および Co が考えられる。

Ni の RI は大部分 γ 線を出さず、出すとしても半減期が非常に短かく実用にならない。これに対し ^{60}Co は半減期 5.3 年で少々長すぎる欠点があるが、1.17 および 1.33 Mev の γ 線を出し、価格も安いので本実験ではこれを使用することとした。

本実験に使用した ^{60}Co は主として 1mc tube を使用し、一部 1mc wire を使った。1mc wire は径約 0.5mm、長さ約 10mm の Co 線で 1mc tube はこれを Cr めつきした 1.5mm ϕ \times 15mm の真鍮製カプセルに入れたものである。これらは 1955 年 12 月に 1mc として作られたものであるから昭和 32 年 2 月には約 0.87mc に減衰している。

上記のように ^{60}Co は強力な γ 線を出し半減期が長いので、使用する際はなるべく少量に制限することが必要であり、したがってその放射能の測定をできる限り効率よくするような工夫をした。

本実験に使用した計数装置は神戸工業製シンチレーションカウンター (TEN STL 1-型) である。これは 1

inch ϕ \times 1 inch の NaI 結晶を内蔵したシンチレーションプローブと 1,000 進法計数器から成っており、 γ 線計数効率は Geiger-Müller 計数器の約 15 倍程度である。(Fig. 1)



Fig. 1. Measuring apparatus.

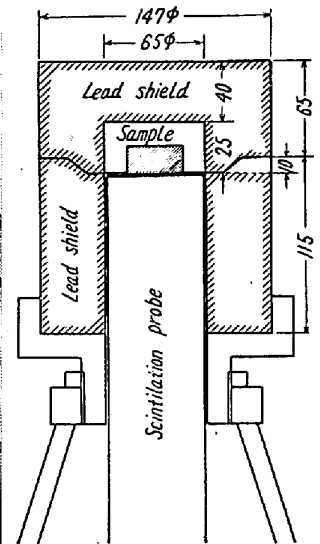


Fig. 2. Scintillation probe stand

このシンチレーション・プローブを裸のまま使用すると自然計数が約 500 cpm (counts/mn) あり、このままでは測定試料の放射能を強くしなければ、試料中の RI の存在を確認することができない。そこで測定効率を上げるためプローブを倒立して、試料をプローブのアルミ窓上に直接のせ計数し、さらに自然計数を少くするため Fig. 2 に示すような鉛シールドを製作した。

この方法により自然計数を 58~68 cpm に下げることができた。

試料の大きさはできるだけ大きくした方が比放射能を弱くでき、したがって装入 RI 量が少量ですむが、プローブの窓の大きさなどの制限もあり、本実験では径 46 mm、厚さ 15 mm、重量約 200 g の円盤状試料を作り計数した。

測定は放射性試料 5 個を続けて測り、その前後に自然計数を測定、この平均値を試料計数値から減じた。計数時間はすべて 10 分間ずつとした。自然計数測定の場合は、全く放射能のない銑鉄により試料と同型の試片を作り、これを試料同様の位置におき測定した。

III. 基礎実験

上述のように放射線障害の予防上 ^{60}Co の使用量をなるべく少量にする必要がある。しかし放射性壊変は統計的変動を行ない、また宇宙線その他による自然計数があるので、計数試料中の RI を検出するにはある程度以上

の放射能を必要とする。そこで検出のため必要な最低量を求めるため基礎実験を行なった。

上記の 1 mc Co wire から約 2 μ c を切り取り、これを 1 kg の鉄鉄に溶解、前述の大きさの円盤状試料を作った。これをさらに 10 倍ずつ鉄鉄で薄め、 $2 \times 10^{-7} \mu$ c/g まで計 5 種の試料を作りその放射能を上述の装置で計数した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 に示した計数は自然計数を除いたものである。

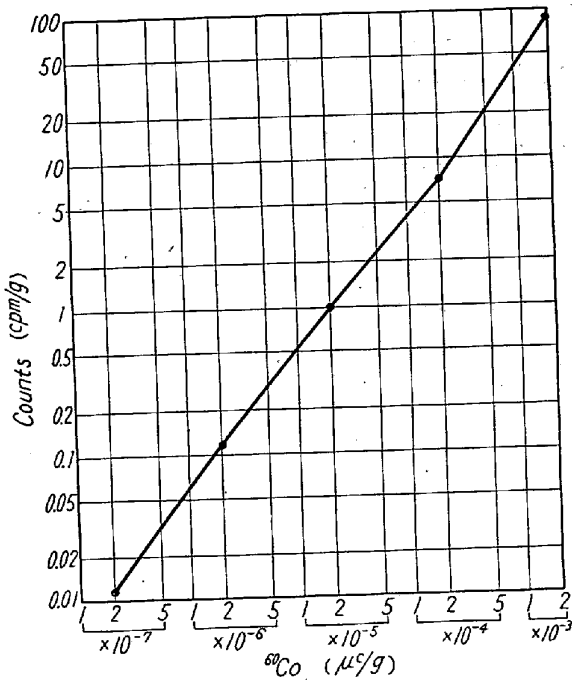


Fig. 3. Radioactivity of iron contained different amount of ⁶⁰Co.

試料中に RI の存在を 99% の有意水準で推定するには、自然計数が 64 cpm, 計数時間 10mn の場合は、自然計数よりさらに 17.4 cpm 以上あればよい。この実験の試料は約 200 g であるから、⁶⁰Co の存在を確認するには 8.7×10^{-2} cpm 以上あればよく、これは Fig. 3 から $1.15 \times 10^{-6} \mu$ c/g の比放射能があればよいことになる。したがって高炉に投入した ⁶⁰Co が溶鉄に均一に分布したと考え、1 回の出鉄量を 150 t とした場合、投入 ⁶⁰Co の必要最低量は $1.15 \times 10^{-6} \times 150 \times 10^6 = 173 \mu$ c すなわち約 0.2mc となる。

つぎに放射線障害の立場から ⁶⁰Co の使用量を検討する。高炉に ⁶⁰Co を装入するとこれは鉄鉄中に入り、終局的には鋼成品に混入して出荷される。特に ⁶⁰Co は前記のように 5.3 年という長い半減期を持ち強力な γ 線を出すため、その使用量を最大許容量以下に抑えなければならない。放射線障害防止法によれば人体に受ける γ 線の最大許容量は 300 mrem/week と規定されており、週 6 日作業とすれば 50 mrem/day である。

1 mc の ⁶⁰Co が 150 t の溶鉄に溶解した場合、その比放射能は 67 μ c/t である。この比放射能を持った 1 m 角の鋼塊を考え、これから距離 1m における放射線量を計算すると 45 μ r/day となり上記最大許容量の 1/1,000 に過ぎない。製鋼用鉄であれば混鉄炉および平炉でさらに均一化され薄められるため、溶鉄中に ⁶⁰Co の偏析があつても心配はない。また ⁶⁰Co の水中最大許容濃度は $4 \times 10^{-4} \mu$ c/cc と規定されているが、上記の濃度は $6.7 \times 10^{-5} \mu$ c/g となり、さらに混鉄炉および平炉において薄められるため成品の比放射能は全く問題にならないといえよう。

IV. 高炉における実験

1. 炉頂投入実験

⁶⁰Co は Fig. 4 に示すような容器または塊状磁鉄鉱内に封入して当所 No.10 または No.8 高炉(平炉鉄吹製中)の炉頂出鉄口側に投入した。Fig. 4 に示す容器は鑄鉄製のものと同鋼製のものと同種類を作り実験を行なったが、容器の材質による差は認められなかった。

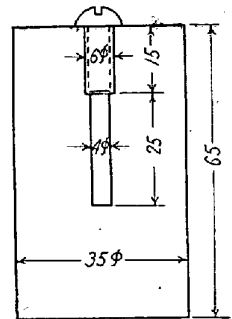


Fig. 4. RI container.

炉頂投入時間は予想降下時間が出鉄直後、あるいは出鉄中間になるようにした。

計数試料の採取は ⁶⁰Co が湯溜に下降したと予想される出鉄とそのつぎの出鉄について 2.5mn または 5mn 毎に溶鉄樋から試料を汲み、46 mm ϕ \times 100 mm の砂型試料を作った。これを鋸盤にかけなるべく巣のない所を選んで、厚み約 15 mm の計数試料とした。計数装置および方法は上述の通りである。

実験に使用した高炉は当所 No. 8 および No. 10 高炉で、両者の内容積などを Table 1 に示す。

Table 1.

B. F. No.	8	10
Capacity t/day	700	700
Hearth dia. m	6.840	6.800
Volume m ³	893.9	910.7
Hight (from tuyere to stock line)	20.070	20.581
Number of tuyere	14	14

実験は No.10 高炉において5回, No.8 高炉において1回行なったが出銑中への放射能の現われかたをまとめて Fig. 5 に示す。

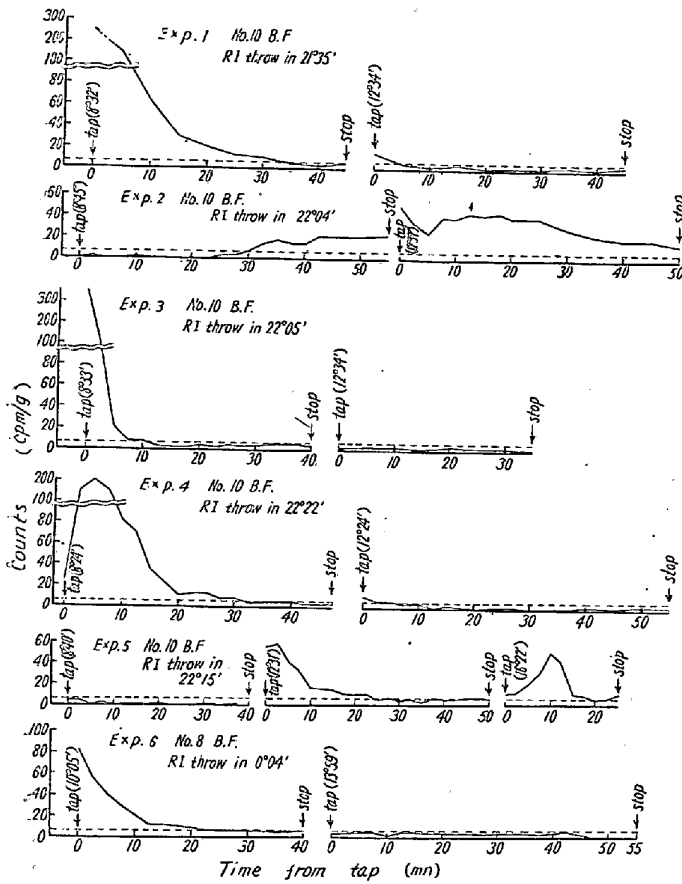


Fig. 5. Radioactivity of iron sample (thrown from top)

Exp. 1 まず荷下り時間を約 11 h と考え, 出銑(A.M. 8°30') 前 11 h に ⁶⁰Co を投入したが, 実験結果は出銑以前にすでに降下していることを示した。

Exp. 2 Exp. 1 の結果から投入時刻を 30mn 遅らせたが, 出銑時間も 15mn 遅れた (A.M. 8°45') 結果出銑途中から放射能が現われた。しかしこの実験の際は送風量が減り, 焼結鉄配合割合が減っているため, 下降時間も装入回数も常態より増加しているものと思われる。

Exp. 3 送風量は 1,400m³ に回復したので Exp. 2 と同時刻に軟鋼製容器を用いて投入したが, 出銑時すでに下降していることを示した。軟鋼製容器も鑄鉄製と相違はないようである。

Exp. 4 さらに投入時刻を遅らせた結果出銑後間もなく最高計数を示した。1,400m³/mn の送風量で1回の装入量がこの程度 (鉄石 5,750 kg, 焼結鉄 5,900 kg, コークス 4,960 kg) の場合は No.10 高炉では荷下り時間は約 10 h 装入回数にして 50~51 回と思われる。

Exp. 5 この時は炉況不順のため減風し, スリップがあつた。また焼結鉄量の低下などのためか 8 時30分の出銑中には放射能が現われなかつた。容器を鉄石にした影響もわからない。

Exp. 6 RI 容器として鉄石を使用した。送風量が大きいこと, No.8 高炉の炉容が小さいことなどから, 荷下りは相当早いようである。

以上の実験結果から装入物の下降速度は送風量によっていちじるしく影響を受けをことは当然であるが, 配合率が同じであるならば大体装入回数に比例すると考えられる。しかし1回の装入容積の変化は大きな影響を与えるであろう。

上述の実験結果から送風量, 装入物の推定降下時間, 装入回数および1回装入中の焼結鉄の量を計算すると Table 2 のようになる。

これから明らかに送風量および1回の装入容積すなわち1回装入中の焼結鉄の量が装入物下降速度に大きな影響を与えていることがわかる。

2. 羽口投入実験

以上の実験において, 溶銑中へ現われる放射能を捕えて装入物の下降時間を推定する場合に, ⁶⁰Co が羽口面あるいは湯溜りに降下してから, 実際出銑中の溶銑に現われるまでの時間を推定することは重要である。これは降下の地点, その時の湯の溜り具合などにより大きな影響を受けるものと考えられる。そこで種々の位置に種々の時期に湯溜へ落ちた ⁶⁰Co が出銑中にどのように現われるかを検討するため羽口から ⁶⁰Co を投入する実験を行なっている。

Table 2. Results of experiments

Exp. No.	Date	B.F. No.	Container	Wind volume m ³ /mn	Travelling time	Nos. of charge	Sinter wt. in one charge
1	Feb. 8, 57	No. 10	Cast iron	1,400	<10 h 58mn	<55.5	6,500 kg
2	" 9 "	"	"	1,350	11 h 10mn	54	5,700
3	" 15 "	"	Steel	1,400	<10 h 25mn	<52	5,600
4	" 16 "	"	"	1,400	10 h 02mn	50.5	5,900
5	" 21 "	"	Ore	1,400~1,300	>11 h 05mn	>56.5	4,700
6	" 23 "	No. 8	"	1,450	<10 h 01mn	<51	5,500

この種の実験はすでに W. Looz などが ³²P を用いて行なっており³⁾ また最近フランスにおける実験も報告されている⁵⁾。前者によれば湯溜内の銑鉄はそれほど攪拌されることはなく、また混合することもなくしたがつてスラグ層下の浴中に行なわれる反応はきわめて徐々に進行するに過ぎないと述べているが、後者ではある程度の攪拌が起きることを報告している。いずれが正しいかわからないが、湯溜への降下位置および時期により出銑中への放射能の現われかた、すなわち強さ、計数曲線などに違いがあると考え、羽口を通じて湯溜内のいろいろの場所へ ⁶⁰Co を投入し、出銑中の溶銑の放射能を測定した。⁶⁰Co の投入は Fig. 4 に示した容器の小さい鑄鉄製のものに ⁶⁰Co 0.5~1mc を入れ、羽口から押込んだ。

現在なお実験中であるが、これまで行なつた実験のうち出銑口付近とその裏側から装入した結果を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。

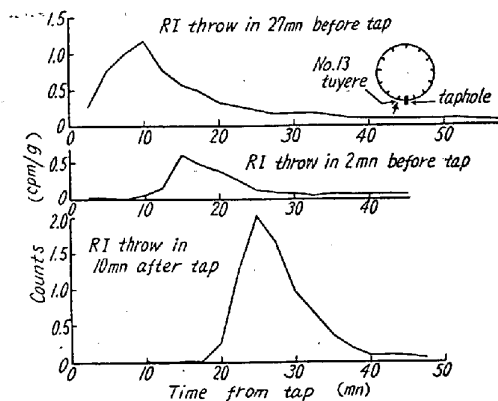


Fig. 6. Radioactivity of iron sample. (thrown from tuyere near taphole)

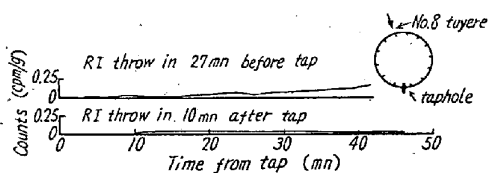


Fig. 7. Radioactivity of iron sample (thrown from the tuyere opposite to the taphole)

Fig. 6 は出銑口付近の No.13 羽口から投入したもので、図から出銑口付近に落ちた場合は羽口面に落ちてから 15mn 前後で溶銑中に現われることがわかる。放射能の現われかたは相当強く、落下後の時間の短いほど鋭く現われるように思われる。むろん落下したときの湯の溜り具合にも左右され、これは今後検討すべき問題である。

Fig. 7 は出銑口裏側の No.8 羽口から投入したもの

で、この場合は溶銑に出る時間が非常に遅く、出銑中に投入したものはその回の出銑中には現われない。このときの ⁶⁰Co の挙動についてはなお検討の予定である。

V. 結 語

実験は予備実験を終つた程度で、なお検討の余地が多数あるが、これまでの結果からつぎのようなことがわかつた。

1. ⁶⁰Co 使用量は炉頂投入では約 0.9mc、羽口投入では約 0.5mc を使用したが、両者ともそれぞれこの半分でも十分溶銑への混入の検出が可能であろう。
2. 炉頂より投入した ⁶⁰Co はほとんどが 2 回分の出銑中に排出され、炉内残溜または鉸滓への混入は認められない。
3. 送風量、装入物容積の増大は装入物下降速度を早くする。
4. 鑄鉄製容器と軟鋼製容器の差はない模様である。
5. 炉頂から羽口面までの装入物下降時間は、この実験を行なつた時の装入物の状態では No.10 高炉で約 10 h、No.8 高炉では約 9 h 位と思われる。しかるに最近のソ連またはフランスの実験結果では、前者が 1,000 t 高炉 (1,370m³) で約 5 h、後者は 540 t 高炉 (665m³) で約 4 h と報告されており⁷⁾、操業条件の相違はあるが非常に短かく、これらについてはなお検討を行なわねばならないと考える。

以上のほか、さらに炉壁部と炉心部における降下速度の差、炉壁外よりの RI の追跡法などについて検討を行なう予定である。

終りに本研究を行なうにあたり、種々御配慮を賜つた製銑部長はじめ製銑部の諸氏、ならびに実験の遂行に直接協力された研究所駒木俊一君他の諸君に厚く感謝申し上げます。(昭和 34 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) E. W. Voice: J. Iron Steel Inst., 167 (1951) 157 他
- 2) 芹沢正雄他: RI の工業への応用 (1956) 日科技連, 255 他
- 3) W. Looz 他: Stahl u. Eisen 75, (1955), 1241
- 4) E. W. Voice: J. Iron Steel Inst., 167 (1951) 157, Steel, Sep. 10 (1951) 102
- 5) A. M. Samarin: "Peaceful Uses of Atomic Energy" (UNO, 1955) Vol. 15, 151
- 6) Ford Motor Company: American Metal

Market, New York, March 4 (1954)
 7) I. G. Polovchenko: Stal, No.12, (1957) 1057
 8) A. Kohn: "Etude de la Descente des Char-

ges au Haut-Fourneau", UNESCO, RI
 International Conference Report, No.194
 (1957)

上吹転炉における脱磷平衡*

(Schenck および Herasymenko の平衡の適用)

前田 元三**・田島喜久雄**・本間 悦郎**

A Study on the Dephosphorization Equilibrium in an LD Converter.

(Application of Schenck's equilibrium formula and
 Herasymenko's ionic method)

Motozo Maeda, Kikuo Tajima and Eturo Homma

Synopsis:

The authors applied the dephosphorization equilibrium formulas reported by Schenck and Herasymenko to the final slag and metal of the 3-ton experimental LD converter.

The results obtained were as follows.

(1) The observed values of $\log K_P^{IV}$ in the Schenck's formula had a linear relation to $1/t$, but they located in the upper region against the Schenck's equilibrium.

(2) Assuming $K_P^{IV} [\Sigma P](FeO)^5(CaO)^4/(\Sigma P_2O_5)$, the next formula was obtained

$$\log K_P^{IV} = -61,140/t + 40 \cdot 13$$

(3) $\log (\Sigma P_2O_5)/[\Sigma P]$ had a maximum value on the value of 25~30% of (T.Fe).

(4) In the Herasymenko's formula, linear relation was obtained between $\log K_{Fe}^P$ and Ca^{++} and this relation was expressed as follows,

$$\log K_{Fe}^P = 6 \cdot 72(Ca^{++}) + 7,210/t - 3 \cdot 41$$

This formula had a deviation from the open-hearth formula reported by Herasymenko.

This meant that the dephosphorization of an LD converter did not approach closer to the equilibrium than open-hearth furnaces.

I. 緒 言

著者らはさきに当所の 3 t 上吹試験転炉の主として吹製終了時の試料について Chipman の提出している平衡式をもとに脱磷平衡の解析を行なつたが¹⁾、引続き H. Schenck & W. Rieß²⁾の平衡式および Herasymenko³⁾などの提示しているイオン説による方法により脱磷平衡の解析をおこなつたので、その結果を報告する。なお、解析に用いた試料数は 82 個である。

II. Schenck の平衡式の適用

H. Schenck および W. Rieß²⁾が、数多くの塩基性平炉のデータをもとにして算出した脱磷平衡式

$$\log K_P^{IV} = \log \frac{[\Sigma P](FeO)^5(CaO)^4}{(\Sigma P_2O_5)} + 0 \cdot 060(\Sigma P_2O_5)$$

$$= -\frac{51,800}{t} + 35 \cdot 05 \dots\dots\dots(1)$$

は現場のデータに比較的よく適合するといわれている⁴⁾。著者らは、さきに Chipman の平衡に使用したとおなじデータ¹⁾ (ただし $(\Sigma Fe)(\Sigma CaO)$ などが極端に低い。あるいは高い 2, 3 のデータは計算図表の關係で除く) をもとに、上記 Schenck の平衡式を用いて脱磷平衡の解析をこころみた。

上式の (FeO) および (CaO) などの遊離成分は Schenck の作成した遊離成分図から求めることは周知であるが、Schenck の作成している図は、 (ΣFe) が最高 20% まで、温度も最高 1627°C までである。しか

* 昭和 33 年 10 月本会講演大会にて発表

** 富士製鉄株式会社室蘭製鉄所