

翻 訳

放射性同位元素による高炉装入物の運動に関する研究* STUDY ON MOVEMENT OF BLAST-FURNACE BURDENS BY MEANS OF RADIO-ISOTOPES

I. G. Polovchenko

訳者 館 充**

I. 緒 言

高炉内における装入物の運動についての基本的法則を知ることは、炉況の判断と操業の制御にとつて、きわめて重要であるにもかかわらず、この運動過程については十分な研究がおこなわれていない。

現在はシャフト上部の半径方向でのガス中 CO_2 含量によつて、原料およびガス分布を測定しているが、この方法は多くの重要な問題を解決するのに十分なものでない。

周辺ガスの温度による操業の管理も一義的な結果をあたえない。周辺ガスは装入物の運動速度だけでなく、ガス流分布にも依存するからである。

また装入物を構成する諸原料の炉内における運動速度と滞留時間については、かるい原料が重いものによつて追いこされるということがわかっているだけである。少くとも追いこしにかんする定量的データを、近似的にでも求めることが必要である。

II. 炉頂から羽口水準までの装入物の運動

1. 予備実験

実際の炉について測定する前に、種々の装入原料による Co^{60} の放射線の吸収係数の決定、ハロゲン入り計数管の検査、放射線の方向にたいする計数管軸の位置の測定結果におよぼす影響の調査などを目的として、予備実験をおこなつた。

この装置は保護壁を有する原料の貯槽の底部に、放射性 indicator を置き原料を約 5000mm の高さに積んで、これに上方から計数管を入れたパイプを挿入して50または 100mm ずつ移動させるようにしたものである。

実験はコークス、鉍石、焼結、溶剤をそれぞれ単独でまた通常の割合で配合しておこない。計数管の様々な位置にたいする放射線の強さの測定をおこなつた。

この結果、測定結果には放射源と計数管との距離だけでなく、放射源にたいする計数管の方向も影響することが確められた。Fig. 1 は通常配合の装入物による 280 mC の indicator の吸収にかんする測定結果である。

吸収は放射源までの距離すなわち放射線の強さに依存し、放射源から遠ざかるにつれて、吸収は減少する。

また密充填装入物では吸収は放射源から 1600mm のところで 100% に達するが、疎充填の場合は約 2000mm で 100% になる。

なおこのさい吸収が原料の粒度分布と密接な関係を持っていることがわかつたが、このことはコークスの冶金

学的特性を決定し、かつ管理するのに R I を利用する可能性をあたえるものである。

2. 測定装置

1954年、ジェルジンスキー名称工場の高炉のうちの1基に炉頂から羽口までの全高にわたつて炉内の周辺および中心帯での原料降下速度を測定する装置を取付けた。

測定レベルは6段で、第1レベルではガス分析試料採取装置を利用して、そこから放射性 Co を入れた黒鉛製および鋼製の円筒状アンブルを炉内へ装入できるようにした。

つぎの4段(3段はシャフト、1段は炉腹)については新たに計数管を入れた水冷パイプを挿入するための孔をあけ、これをバルブにより開閉できるようにした。

最下段は羽口レベルであつて、出鉄孔と反対側にある No. 8, 9, 10 羽口から、水冷パイプに入れた計数管を炉内または、羽口冷却箱に挿入して、合計4個の計数管により測定した。

各段にはシールド線を配線し、これに計数管を接続し

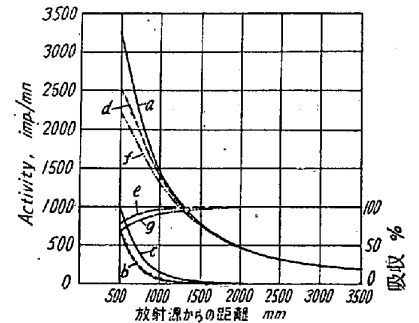


Fig. 1. 大気中および通常配合の装入物中での 280mC の放射源から異つた距離における放射線の強さ(毎分当りのインパルス数 imp/mn) a-0°Cの大気中, imp/mn. b-密充填装入物中, c-疎充填装入物中, d-密充填装入物による放射線の吸収 imp/mn. e-%, f-疎充填装入物による吸収 imp/mn, g-%

* Stal: 1957 No. 12 p. 1057~68

** 東京大学生産技術研究所

たが、一方この配線は計器室で放射能測定装置に接続されている。

放射源としては 18~320mC の Co^{60} を使い、合計10回の実験をおこなった。そのうち6回は高比重 $1g/cm^3$ (「コークス」に対応する) の黒鉛アンプル4個と、 $1.5g/cm^3$ の黒鉛アンプル2個を使い、4回は高比重 $4g/cm^3$ (「鉱石」に対応する) の鋼製アンプル4個を使った。 $1.5g/cm^3$ のもの2個は羽口から装入したが、他はすべて第1レベルから装入した。

アンプルの大きさは、羽口から装入した2個だけが外径 50mm、長さ 70mm で、他はすべて外径 40mm、長さ 60mm である。

3. 測定方法

RI は Container に入れて熱風炉側のリフトまで運び、そこで長さ 700mm のピンセットでアンプルに入れ、長さ約 1200mm のドライバーでアンプルをしめつけた後、第1レベルのデッキに上げる。このアンプルを長い鉋で水冷装入管の先端にあるケースに挿入してキャップをかぶせた後、装入孔のバルブを開いて管を所定の印まで炉内に入れ、装入管についている押込棒を固定し管を引抜くことによつて、アンプルを所定位置に落とすようにした。

アンプルの装入時期は、1回装入物が降下した時期とし、炉の全記録装置、とくに検尺装置の時刻は、計器室の時計に合わせた。

計数管を入れる水冷パイプは、あらかじめ炉内へ挿入しておき、RI を炉内へ装入する前に計数管を入れて自然放射能 (background 計数值) を測定した。アンプルを装入した後、増巾ブロックを第2レベルの計数管回路に入れて、放射能の測定をはじめた。測定は1分間継続し、つぎに1分間休んだ後、再び1分間測定するようにして、これを繰返した。

第2レベルでの測定は、そこで認められる放射能がいちじるしく低下するまでおこなつたが、このさい各測定間の休止時間中に、切換スイッチによつて約 40 秒間、他のレベル、とくにつぎの計数管回路に接続した。

こうしてつぎのレベルの計数管がアンプルの接近を示しはじめたら、測定はそのレベルでおこない、前のレベルでの測定は休止時間の 40 秒間におこなつて、アンプルの運動を連続的に追跡した。なお中心部での測定は当初計数管を壁際に置いておこなつたが、これでは放射能の変化が少くて、測定に困難が認められたので、第3および第6のレベルでは計数管を長い水冷管に入れて、短時間だけ中心部に挿入して測定した。この場合測定は1

分間おこない、終了後は一たん壁際まで管を引きだすようにし、これを一定時間おきに繰返した。

4. 結果

Fig. 2 は測定結果の一例で、第2レベルに対するものである。曲線の番号は実験順序を示す。放射能の max はそのレベルを RI が通過する瞬間に対応するが、一方この max は RI の強さとこれがそのレベルを通過するときの計数管からの距離に依存する。Fig. 3 はこのデータによつて、アンプルの運動軌跡を求めたものである。

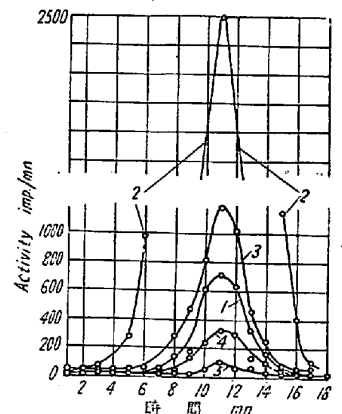


Fig. 2. 第2レベルの計数管によつて測定した放射能の変化 (曲線の番号は実験順序に対応)

これによると、アンプルは第1から第2のレベルでは実験2を除いては、中心の方へずれ、第2から第3レベルまでは、周辺の方へずれ、しかも重いアンプルよりかるいもの(「コークス」)の方が大きくずれている。

ここで軌跡2は一定の条件の下で、「コークス」したがつてこれより重い「鉱石」が垂直に降下することもあることを示し、またシャフト上部で中心の方へずれるのは、炉心または周辺に近い部分で原料がよりはげしく降下することによると推定する根拠をあたえる。一方第2レベルの下では、炉の断面積が拡大するため、原料が周辺の方へずれることになるが、鉱石の大塊はほとんどずれずに降下する。水平方向での最大のずれはつぎのとおりである。

レベル	I と II の間	II と V の間
「コークス」	680 mm	2500 mm

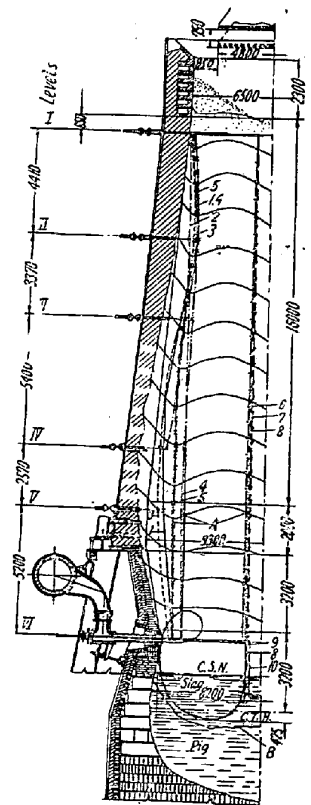


Fig. 3. 「コークス」(1, 2, 3, 8)および「鉱石」の運動経路

A-熔融開始, B-推定炉底面, C.S.N.-出滓孔中心, C.T.H.-出鉄孔中心

「鉍石」 557 mm 1270 mm

中心部では放射能一時間曲線の特徴からみて、装入物の降下速度が一様でないことが認められたが中心から500 mm のところでアンプルの経路が垂直からあまりそれていないことは、中心部で装入物のずれがないことを示す。ところで原料の降下速度は、実験期間中（一回の実験の間でも）変動するから、測定したアンプルの運動速度は十分典型的なものとはいえない。そこですべての場合にたいして妥当な降下特性を求めめるため、アンプルの運動中の装入回数、ストックレベルの変化、一定時間内に熔解される原料の容積、原料の充填密度などを考慮し、これらが一定になるよう注意した。また装入物の容積と降下時間とによつて、径 6500 mm 断面積 33.15m^2 の炉頂垂直部における平均降下速度 W_c を求め、これでアンプルの垂直運動速度 W_a を割つて速度係数 K をだし、この K によつて、実験結果を比較検討した。

まず「コークス」についてみると、周辺における W_a は W_c が $2.19 \sim 8.058 \text{ m/h}$ のとき $1.428 \sim 8.52 \text{ m/h}$ で、 K は $0.214 \sim 1.168$ であつた。これらの値のうち大きい方は、炉頂部にくらべて断面積があまり大きくない上部レベルのもので、中部レベルとくに第4～第5レベルでは、断面積の拡大のためこの値は min に減少する。ところが断面積がふたたび小さくなる第5～第6レベルでは、この値は大きくない。

これは多分つぎのように説明されよう。上部レベルにおける降下速度は、湯溜でのコークスの燃焼と他の装入物の熔解による容積の減少とによつて決定される。そして断面積がまだ小さいため、ここで最大速度が実現される。さらに下へいくと、断面積はいちじるしく拡がり、しかも装入物の一部はすでに熔融状態にある。したがつてここでは降下速度はコークスの燃焼速度と、他の装入物の一部の熔解によつて決定される。最後に朝顔部では降下速度（コークスのそれになる）は、コークスの燃焼速度だけで決定される。したがつてこの部分では運動速度は小さく、炉内滞留時間は比較的長くなる。

中心部については、上部レベルで W_c が 6.344 m/h 以下であるのに、 W_a は 7.548 m/h 、 K は 1.579 に達しており、装入物の降下がはげしいことを示している。しかし下部では（ⅣからⅦまで） W_a と K は平均していたが min . に近く、実験中に中心部での降下速度が変化したことを示している。

つぎに「鉍石」の降下速度は、「コークス」よりはるかに大きく、周辺部では $K=0.982 \sim 1.268$ 、 $W_c=7.271 \sim 5.771 \text{ m/h}$ で、 $W_a=7.14 \sim 7.32 \text{ m/h}$ であつた。中

心部では $W_a=6.444 \text{ m/h}$ で、 K は 1.367 に達したがこのこともまた中心で原料の降下がはげしいことを示している。

また周辺、中心のずれについても、中程のレベルでは「鉍石」の K は減少したが、下部では（「コークス」とことなり）ふたたび増加し、実験6では $W_a=10.35 \text{ m/h}$ で $K=1.671$ という max . に達した。

このように下部レベルで「鉍石」の運動特性が急激に変化するのには、速度が第4レベルから急に大きくなることからみて、多分すでに炉腹で鋼製アンプルの加炭と熔解がおこるためと説明できよう。そしてこの点については鉍石は鋼製アンプルと本質的な違いはないはずで、むしろ鉍石がアンプルより少し早く熔解すると推定できる。

炉内で熔解される諸原料の降下時間、速度および量、ならびに係数 K の解析は、鉍石によるコークスの追いこしが、装入物中の鉍石部分がまだ固体の状態にある上部レベルでは、それがすでに熔融している下部レベルよりも、はるかに少いことを示している。

中程度の塊については、鉍石の追いこしの程度は、一般にこれまで想像されていたよりはるかに大きいと認められる。とくに中心部ではそうである。

これらの諸結果は実験後の炉況の観察によつて裏づけられ、また追いこしにかんする正確なデータがないため炉の熱的状态の制御にあつてあやまをおかすことがわかつた。すなわち装入物の配合を変更し、鉍石荷を増した場合、湯溜の熱的状态の変化は、炉の設計容積に近い容積の装入物が装入される前にはじまつているのに、送風温度の補正がおくれるため、冷えてしまうことが多い。

この実験の結果によれば、順調さを損わない程度に荷下りを速くして W_c を $6 \sim 8 \text{ m/h}$ とした場合には、平均の K はコークスにたいして 0.5 、鉍石にたいしては 0.9 ととることができる。

この値を使えば、装入条件を変えてから原料が羽口レベルへ到着するまでの時間は次式によつて求められる。

$$T = \frac{H}{W_c K}$$

ここで H : スtockラインから羽口水準までの高さ m 、 W_c および K は前述のとおりであるが、上の K の値 (0.5 および 0.9) は製錬速度を小さくすれば、小さくなる。

この実験をおこなつた $H=23\text{m}$ 、 $W_c=6 \sim 8 \text{ m/h}$ の炉についてはこの式によつて、コークスと鉍石について

それぞれつぎの値が得られる。Tc=7h40mn と 5h45mn, T₀=4h16mn と 3h12mn, これは装入物の滞留時間 7.5~6.8h にほぼ対応する。

周辺(燃焼帯の上)と中心では、「鉍石」と「コークス」の降下速度は、大低の場合装入物の平均降下速度より大きい。すなわち以前から推定されていたように、これらの部分では装入物の運動は最もはげしくおこなわれそこでの降下速度の変化は炉頂での原料の分布に影響をあたえ降下途中での再分布をまねくのである。

なおアンブルを落した点でガス試料を採取して、その組成をしらべた結果、降下速度一とくに「鉍石」のその増大とともに、ガスの CO₂ 含量が増し、速度の減少につれて少くなることがわかった。したがってガス組成は炉頂における装入物の分布だけでなく、装入物とくにその鉍石部分の降下速度にもいちじるしく依存する。同時に鉍石粒の集中は上部(炉頂から炉腹まで)での装入物降下速度の増大を促すものである。

III. シャフト上部の半径方向での装入物の運動

RI による測定結果をチェックするため、連続自動ガス分析装置を使つて、シャフト上部半径上の6点で装入物降下速度を測定した。すなわちガス採取管に1/2吋鋼管を挿入し、このパイプを通じて細い鋼線(約1mm)を炉内に入れ、線が装入物とともに降下するようにし、この線が炉内に引きこまれる速度を測定した。この方法によれば重錘を装入物面にのせる従来の方法のような欠陥や困難なしに、半径上の多くの点で、同時かつ連続の測定が可能である。

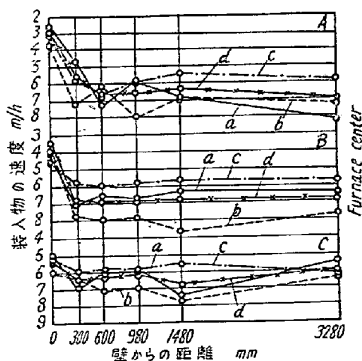


Fig. 4. 1955年11月24日(A), 12月2日(B) および 12月8日(C)のシャフト半径方向での装入物運動速度 a-出鉄前, b-出鉄中, c-出鉄後, d-測定期間の平均(57h)

Fig. 4 に測定結果を示したが、これによると最小速度は壁際のところであり、その近くの周辺帯で急激に速度が変化し、最も運動のはげしいところは、アンブルの降下点より少し中心へよつたところにある。炉の中心帯でもやはり速度は急激に変化し、多くの場合 max. に達する。(これらによつて RI による測定結果が裏づけら

れた)。

半径方向でのガス組成も、前に指摘した CO₂ と運動速度との関係を明らかにしている。(Fig. 5)

IV. 羽口水準以下での装入物の運動

ここでは RI によつて羽口水準以下でのコークスの運動と熔鉄浴内での鉄鉄の混合状態をしらべた。

実験1(黒鉛アンブルを周辺に落した)において、アンブルが No.8 羽口の酸化帯に到達後、1h54mn の間 No.8 および No.9 羽口附近に留り、何回となく No.8 羽口に近ずき、最後に No.9 の燃焼帯へ移動するのが認められた。すなわち Fig. 6 においてある間隔において20分間放射能が急増した(3540 imp/mn から 13825 imp/mn へ)。

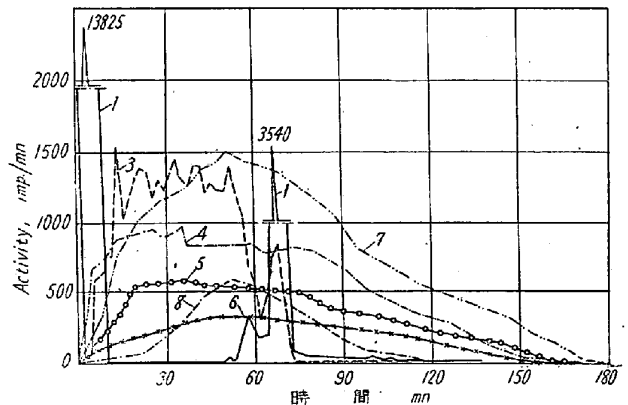


Fig. 6. 第6レベルの計数管によつて測定した放射能の変化(羽口中心で・曲線の番号は実験順序に対応)

測定結果はアンブルがコークス循環帯で円運動をおこなうことを示した。それは毎分3~5回羽口へ近ずいたり遠ざかつたりし、2~3回循環帯の外へ出ては、長い間燃焼帯の外に留つたり、鉍滓浴のなかに入つたりした。最後にアンブルが隣りの羽口の燃焼帯へ移動するのは、各羽口の燃焼帯の連絡が可能であることを示す。このさいアンブルの移動は密集したコークスにおされて一たん下へ下り、ついで鉍滓浴から浮上りの過程で、隣りの羽口の燃焼帯へ入るといふ風におこなわれるのであろう。

実験3ではアンブルは No.8 および No.9 羽口の

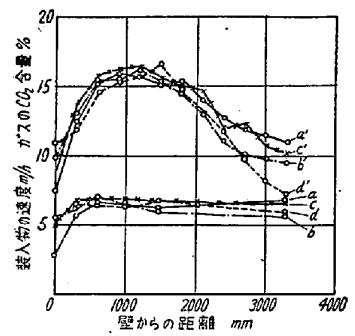


Fig. 5. シャフト上部半径方向での装入物運動速度およびガス中 CO₂ 含量の比較 a, b, c, d-1955年11月2日および26日ならびに12月2日および8日の装入物運動速度 a', b', c', d'-上に対応するガス中 CO₂ 含量

循環帯の中間の No. 8 羽口よりのところに、1 h 14 mn 停滞した後 No. 9 羽口循環帯で速かに消失したが、12 mn 後の出鉄試料は放射能を示した。これはアンプルがはじめ O_2 と CO_2 が少ししか侵入しないところに入りこみ、この間加炭され熔融された Co^{60} は熔融生成物とともに熔融浴へ降下したためであろう。

実験 8 (黒鉛アンプルを中心に落した) では、放射能は連続的に増大し、最大値に達し、徐々に減少し、この後速かに出鉄したところ、おわりに放射能を認めた、したがってアンプルは羽口レベルを通過して熔融浴中へ降下したものとみられる。

鋼製アンプルの場合 (Fig. 6 の 4, 5, 6, 7) は、これを周辺に落したときも、中心に落したときも、羽口水準での放射能はずつと早くから認められ、曲線の max. はより平らであった。これはおそらくアンプルが炉腹で加炭熔融され、 Co^{60} は熔融に溶解したことを示すものであろう。また熔融物が塊状原料 (とくにコークス) を追いつくとき一部はその気孔や空隙に留ると考えられるから、アンプルが熔融したところにあつたすべての塊状原料が測定レベルを通過するまで、十分強い放射能が検知されたものとみられる。鋼製アンプルの実験では、放射能が 4~5 回の出鉄について認められたのに、黒鉛アンプルでは 3~4 回であつたのもこのことを示すものであろう。

さらに湯溜での「コークス」の運動をしらべるため、前に述べた大きい黒鉛アンプルを No. 9 羽口から、挿入した (Fig. 3 実験 9 および 10)。実験 9 では嵩比重 1.65 で 110mC の RI を入れたアンプルを中心に 500 mm 手前のところに入れ No. 8, 9, 10 羽口先端に固定した計数管と、No. 9 羽口中心線にそつて 500 mm ずつ移動させた計数管とによつて測定した。

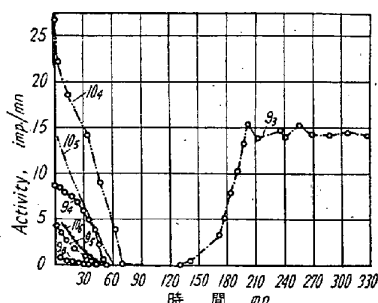


Fig. 7. 第 6 レベルにおける放射能の測定結果 (曲線の番号は実験番号, index No. は測定点) 示し、またこのあとの放射能の急減は、アンプルが鉍滓浴に入つたことを示している。しかしこのあと約 1 h の間放射能が認められず、No. 10 羽口先端で放射能が漸増し (9) 70mn

後 15400 imp/mn に達し、これが 19 時間継続し、しかも 5 回の出鉄で放射能が認められなかつた。これはこの期間にあつたいちじるしい炉底冷えのため、アンプルが下から羽口附近へ浮上つた後、炉壁に附着したことによるものであろう。

実験 10 ではアンプルの肉厚を減じて嵩比重を 1.35 とした (280mC) が、この場合は一たん放射能が自然放射能まで低下後はどの点でも再増加してはず、しかもつぎの出鉄で放射能が検出されたから、アンプルは降下して熔融浴に入つてすぐ破れたものとみられる。

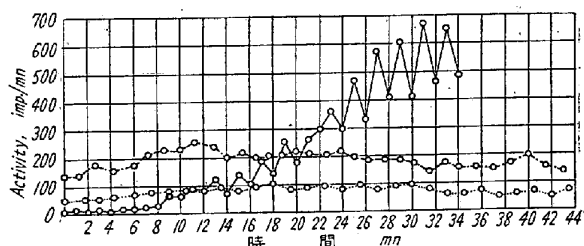


Fig. 8. 湯溜に 320mC の放射性コバルトを挿入した後出鉄したときのスキンマーでの銑鉄の放射能変化

降下直後およびその後 2 回の出鉄の放射能を、スキンマーと主ランナーの間で測定した結果を Fig. 8 に示した。これによると出鉄のはじめには、放射能は自然放射能に近く、9mn から増加しはじめ、おわりに max. になつてから少し減少した。これは Co が開孔後に降下しはじめたこと、および設計炉底の下にある熔融の溜りから、Co をふくむ新しい熔融と十分混合していない熔融が出て来たことを示す。

つぎの出鉄 (Fig. 8 b) で放射能が減少し、そのつぎの出鉄 (Fig. 8 c) で曲線が十分ゆるやかになつているのは、熔融がよく混合されたことを示している。

これによつて湯溜のことなつた部分で溶解された銑鉄がよく混合されることが知られたが、この混合は湯溜につぎつぎに新しい銑鉄が降下することおよび、掘れた炉底に溜つている多量の銑鉄の存在のため、十分なものでない。

V. 結 論

1. シャフト上部断面における装入物降下速度は一様でなく、時間とともに変化する。また炉壁のすぐそばでは速度は最小で、最大速度は大低炉壁から 600 mm のところにあるが、時には中心にあることもある。

2. コークス塊および鉍石塊の若干は装入物を追いつつ、中心の方へずれる。下部では降下速度のよりはげしい部分は炉形にしたがつて変り、よりはげしく動く

塊は上部とは逆方向に水平移動する。この水平移動は炉の断面における降下速度の相異によつておこり、「コークス」および「鉍石」の径 40mm, 長さ 60mmの円筒状塊の水平移動は 1270~2500mm である。

3. 装入面から熔解帯までの間での鉍石によるコークスの追いこしは、羽口水準までのその平均値にくらべていちじるしく小さい。鉍石部分の熔解後のコークスの運動はいちじるしく速く、ほとんど2倍になる。羽口までの降下時間は計算できる。

4. コークス塊は羽口前で、ある時間円運動をおこなうが時々その燃焼帯に出入したり、他の燃焼帯へ移つた

りする。

燃焼帯の境界よりさきに降下したコークスは、熔鉄、熔滓浴に入り、ついで浮上つて、燃焼帯へ移動する。そして燃焼帯で、ある時間回転することがある。このコークスの運動は、湯溜のこととなつた部分で熔解される銑鉄の混合をいちじるしく促進する。

5. シャフト上部の断面におけるガス中 CO_2 含量は所与の部分での鉍石とコークスの割合だけでなく、装入物の降下速度にも依存する。速度の増大につれて CO_2 は増す。(昭和 33—8月寄稿)

—特許記事 1330 頁よりつづく—

昭 33—8156 鉄粉の製造方法
(略)

(山崎覚三) 山形 章

昭 33—8157 極めて純度の高い鉄の製造法

(長田梅吉外1) 同人

低電圧の鉄または鋼製電極間に発生するアークによりスケールを溶融させ、これにより生ずる鉍滓の下部にアークを飛ばして 3000°C 前後の高熱を発生させ、鉄のスクラップを逐次装入して溶解し、不純物を焼却または浮上させて鉍滓と共に除去する方法。

昭 33—8158

特にニッケル、コバルト、クロームおよびマンガンを含有する鉄鉍石より不銹鋼、耐熱鋼の製造方法
(略)

(堀居太郎) 同人

昭 33—8160 微細な黒鉛を有する鑄鉄鑄物を製造する方法

(沢村宏外1) K.K. 島津製作所

酸化チタンまたはこれを主成分として還元剤を含めた高融点の固体粉末を鑄鉄浴中の内部に導入懸架し固体酸化チタンと液体鑄鉄浴間の固相—液相間の接触反応により酸化チタンを還元して鑄鉄中にチタンを拡散分布させる方法。

昭 33—8161

鉄金属の処理剤

(チエスター・エミル・ピエニオセック)

ユニオン・カーバイド・コーポレーション (米)

(略)

昭 33—8162 鋼の真空処理装置

(ウエルネル・クーベット外1) (独)

三菱製鋼 K.K., K.K. 日本製鋼所, K.K. 神戸製鋼所

主として熔融液状の鋼を収容する真空室と、ポンプ装置と、特に蒸発した鋼成分から凝結した粉塵を捕集するフィルターとよりなる鋼の真空処理装置において、水銀柱 1mm 以下の真空度を生じさせる装置に油をパッキング媒体または駆動媒体とするポンプの外、前方に接続した少くとも一つの送風機を設け、かつ布フィルター装置を、送風機と油密式ポンプとの間に配置したもの。

特許出願公告 (昭和 33—9—17)

昭 33—8255 熔鉍炉への送風を自動的に配分する装置

(フロイド・アール・デモン)

ユナイテッド・ステーツ・スチール・コーポレーション (米)

各羽口への空気の供給は該羽口への管系内の制御弁によつて制御され、制御弁の位置は該管系内の流量決定装置に従つて変化可能となつていて、標準圧力源、この標準圧力を変化する装置、各羽口に組合されて相当する制御弁の位置を制御する自動的調整器、第1の空気流量決定装置の各々からのインパルスとその組合された調整器に連結する装置、前記標準圧力源からのインパルスを前記調整器の各々に連結する装置を備えたもの。