

文 献

1) 温度による影響が不明確であつた $f_0^{(Cr)}$ を SiO_2 飽和スラッグと平衡にある鉄クロム系溶液における珪素および酸素の溶解度から実験的に求めた。

その結果, 1600°C における $f_0^{(Cr)}$ の値はすでに求められていた坂尾らの値とよく一致した。その温度依存性は次の実験式によつて示される。

$$\log f_0^{(Cr)} = -(369/T - 0.137) [\%Cr] + 0.0024 [\%Cr]^{1.75}$$

2) Fe-Cr 系溶液における珪素と酸素の平衡恒数を 1600°, 1650°, 1700°C において求めた。

平衡恒数 K_{Si} と温度との関係は次の式であらわされる。

$$\log K_{Si} = -33210/T + 13.01$$

3) $f_0^{(Cr)}$ を用い, その他の相互作用係数を用い 18% Cr, 8% Ni ステンレス鋼における珪素と酸素の平衡恒数を求めた。その結果さきに求めた平衡恒数と比較的に近い値を得た。

- 1) 小島, 佐野:
- 2) D. C. HILTY, H. P. RASSBACH and W. CRAFTS; J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 180 (1955), p. 116
- 3) 佐野, 坂尾: 学振19委-3996 (1955)
- 4) 小島, 佐野: 鉄と鋼, 49 (1963), p.1446
- 5) 坂尾, 佐野: 日本金属学会誌, 26 (1962), p.236
- 6) D. C. HILTY, W. D. FORGENG and R. L. FOLKMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met & Pet. Eng., 203 (1955), p. 253
- 7) 的場, 郡司, 桑名: 鉄と鋼, 43 (1959) p. 1328
- 8) J. CHIPMAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 180 (1955), p. 97
- 9) N. A. GOKCEN and J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met & Pet. Eng., 192 (1952), p. 171
- 10) H. M. CHEN and J. CHIPMAN: Trans. Amer. Soc. Metals, 38 (1947), p. 70
- 11) E. T. TURKDOGAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 178 (1954), p. 278
- 12) 齋藤, 和田: 日本金属学会誌, 25 (1961), p.159
- 13) 坂尾, 佐野: 日本金属学会誌, 23 (1959) p. 671

扁平リムド鋼塊の S の偏析におよぼす 造塊条件の影響および濃厚偏析の生因について*

(大型扁平リムド鋼塊の偏析の研究—II)

森永孝三**・北川一智***・佐藤 進****

泉 総一***・星野 彰***

Influence of the Ingot-Making Condition on Segregation of S and Mechanism of High Segregation in Rimmed Steel Slab Ingot.

(Study on segregation in large rimmed steel slab ingots—II)

Kozō MORINAGA, Kazutomo KITAGAWA, Susumu SATŌ

Sōichi IZUMI and Akira HOSHINO

Synopsis:

In order to establish the adequate method to reduce high segregation at the top center of rimmed steel ingot, the effect of the ingot dimension was investigated in the 1st report. In this paper, the effect of the capping method, the track time and sulphur content in the ladle which are connected with segregation during solidification are investigated; moreover, origins of the high segregation at the top center of the ingot and inverse U typed streak

* 昭和37年10月本会講演大会にて発表 昭和38年9月16日受付

** 富士製鉄室蘭製鉄所研究所(現)富士製鉄広畑製鉄所技術管理部 *** 富士製鉄室蘭製鉄所研究所

**** 富士製鉄室蘭製鉄所研究所, 工博

segregations are discussed.

The obtained results are as follows.

(1) It is scarcely possible to reduce the high segregation of a large ingot of low carbon rimmed steel (about 16t weight), by improving only the form of the ingot-cap (e.g. enlarging) and the capping method (e.g. put the cap earlier, water-cooling of the ingot top) as far as the normal open top ingot is concerned.

(2) By shortening the track time, the high segregating zone is enlarged, as the 1st peak at the top center of the ingot is removed to top side, while the 2nd peak is done to bottom side, at the sametime the latter is often raised abnormally. It about 2hr and 50min. of the track time is necessary (though complete solidifying time-about 30min) to prevent the increase of the segregating zone, as the thickness of the ingot is 800mm (ingot weight is about 14t).

(3) It is effective for segregation to reduce sulphur content in the ladle, because the max. segregating ratio is increased linearly in accordance with the increase of sulphur content in the ladle, and its gradient is comparatively large, when sulphur content is 0.015 to 0.021% in the ladle.

(4) It is assumed that there are two kinds of segregation which are made up of the high segregating zone at the top center of the ingot; the 1st peak appears mainly by the rising and concentration of sulphur in molten steel during rimming action and the adiabatic effect of trapped CO bubbles in the segregating zone, while the 2nd peak occurs through the coagulation and precipitation of sulphide in the final solidifying zone. And it seems that the rising of sulphur in that case is connected with inverse U type streak segregations which are heavily distributed in the core zone.

(Received 16 Sept. 1963)

I. 結 言

さきに筆者らは、扁平型リムド鋼塊頭部の濃厚偏析におよぼす鋼塊形状の影響をを検討し、大型扁平鋼塊を設計する場合には、特に短辺厚さ、鋼塊高さの影響を考慮する必要があることを報告した。ここでは、さらに引続き各種の造塊要因のうちで、特に鋼塊の偏析に大きな影響を与えると考えられる蓋掛方法、トラックタイムおよび取鍋Sの影響について調査するとともに、濃厚偏析の生因についても検討した。

リムド鋼塊の偏析におよぼす蓋掛けの影響については従来からその効果が調査されているが、あまりはつきりした結果が得られていないようである。偏析傾向の大きい大型鋼塊の場合には、早期にリミングアクションを抑制し、リム層を減少すれば偏析軽減に有効と考えられるので、重量が大きく、かつ鑄型壁との間隙の小さい蓋の使用および鋼塊頭部の水冷効果について調査した。一方トラックタイムについては、短かすぎると鋼塊内部性状の異常や未凝固圧延の危険性があり、長過ぎると均熱炉の熱効率の問題や、鑄型、台車の回転率など現場の設備上の問題があるので、これらの点を総合的に検討した上で、適正な時間を決めなければならないが、ここではトラックタイムと偏析との関連について検討した。取鍋Sについては、これが低下すれば当然偏析軽減に大きな効果を持つと考えられるが、その程度は、鋼塊形状、造塊条件によつて異なつてくるので、当所の作業条件下での

定量的な影響度を検討した。最後に、リムド鋼塊濃厚偏析部の検鏡を行なうと共に、Bar test によるリミング中のSの鋼塊頭部側への濃化状況の調査を行ない、上記の結果と総合して、濃厚偏析の生因を考察した。

II. 試験鋼塊および調査方法

(1) 造塊条件の影響の調査

本調査に用いた鋼塊はいずれも短辺厚さ800mmの重量6~16tの範囲のもので上記の造塊要因の影響を明らかにするため、対象とした要因以外の造塊条件はできる限り同一とした。Table 1, Table 2にそれぞれ蓋掛方法、トラックタイムの調査の試験条件を示したが、使用した蓋の重量は、380kg, 780kg, 1000kgの3種類で、その形状はいずれもフラット型で、各々の蓋の鑄型長辺短辺との間隙はそれぞれ215mm, 140mm, 110mmおよび210mm, 165mm, 100mmである。蓋掛方法としては通常作業通り蓋掛後放冷した場合と380kgの蓋および4mm厚さの鉄板を使用し撒水冷却した場合について比較した。トラックタイムの調査はこの種の鋼塊の完全凝固時間²⁾を基準とし、これよりも1.3, 1.0, 0.3~0.5hr 短かい120min, 140min, 170~180minの場合について調査した。取鍋Sの影響の調査については、Table 3にその取鍋分析値を示した。

偏析の調査は、前報¹⁾と同様、上述の試験鋼塊をスラブに圧延後、その軸心に沿つて縦に切断し、その面のサルフアープリントおよびチェック分析の結果によつた。

Table 1. Data on test of influence of capping practice on segregation.

Ingot weight [kg]	Dimension of mould (mean)	Dimension of cap.		Capping practice		[S] ladle [%]
	Width × Thickness [mm]	Length × Width [mm]	Weight [kg]	Capping time [min]	Cooling practice	
16,300	1405×800 (1380×770)*	1160×570	1000	18	Air cool	0.018
〃	〃	1100×440	700	23	〃	〃
〃	〃	950×350	380	32	〃	〃
16,300	1405×800 (1380×770)*	950×350	380	23	Air cool	0.015
〃	〃	〃	〃	21	Water cool	〃
〃	〃	1000×400	Steel sheet	20	〃	〃

* Number in () shows the dimension of top of mould.

なお、同様な調査を鋼塊横断面についても行なった。チエック分析試料の採取は、10mm φ のドリルを使用した。

Table 2. Data on test of influence of track time on segregation.

Ingot weight [kg]	Dimension of ingot	Track time [min]	[S] of ladle [%]
	Thickness× Width×Height [mm]		
14,400	800×1240×2150	212	0.017
〃	〃	166	〃
〃	〃	138	〃
14,400	800×1240×2150	210	0.017
〃	〃	180	〃
〃	〃	120	〃

(2) 濃厚偏析の生因調査

リムド鋼塊の頭部濃厚偏析および逆U線状偏析の調査は、サルファープリントによるマクロ的な観察および検鏡によるミクロ的観察によつた。ここで調査の対称とした試験鋼塊の造塊条件、取鍋分析値を Table 4 に示した。また、リミングアクション中の濃厚偏析の生成状況は、鑄型内に溶鋼を注入後、一定時間ごとに 12mm φ の Bar を鑄型底部まで挿入し³⁾、Bar に附着凝固した溶鋼を分析し（分析は附着凝固した溶鋼（厚さ18mm）の中、表面6mmを除去しその内側6mmの部分を試料とした）溶鋼の偏析状況の変化を調査した。この際、溶鋼表面下100mmの位置でポンプ試料も採取した。

III. 調査結果

(1) 偏析におよぼす造塊条件の影響

Table 3. Data on test of influence of ladle [S] on segregation.

Ingot weight [kg]	Dimension of ingot	Track time [min]	Ladle analysis [%]				
	Thickness × Width×Height [mm]		C	Mn	Si	P	S
16,300	800×1405×2150	210	0.06	0.32	0.01	0.013	0.015
14,400	800×1240×2150	〃	0.06	0.32	0.01	0.013	0.017
16,300	800×1405×2150	〃	0.09	0.35	0.01	0.016	0.018
16,300	800×1400×2150	〃	0.10	0.36	0.01	0.016	0.021

Table 4. Ingot making practice and ladle analysis of ingots (the segregation zone of ingot top and the rising segregate studied.)

Ingot	Ingot weight [kg]	Capping time [min]	Hitting time [min]	Ladle analysis [%]				
				C	Mn	Si	P	S
Rimmed	7,400	16	—	0.07	0.33	0.005	0.010	0.021
Capped	6,500	0	1.8	0.10	0.49	0.010	0.010	0.017

(a) 蓋の形状、蓋掛方法の影響

重量および形状の異なる3種類の蓋 (重量 380 kg, 780 kg, 1000 kg) を現場作業的にできるだけ早期に掛け

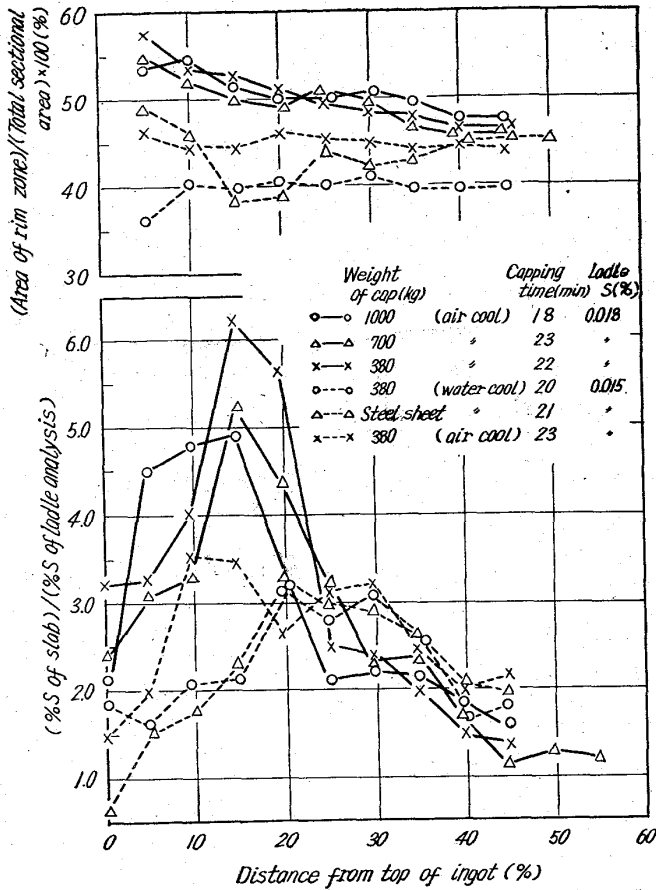


Fig. 1. Influence of capping practice on area of rim zone and distribution of sulphur.

て放冷した鋼塊および蓋(380 kg 蓋, 4mm 厚さ鉄板) 掛け後頭部に撒水冷却した鋼塊の軸心方向のSの分布状況とリム層面積率(スラブ横断面に対するリム層の面積割合%)を Fig. 1 に示した。図中、実線で示したグラフは、いづれも蓋の重量と形状を変えて、早期にリミングアクション停止の効果を得ようとしたものであるが、Fig. 1 の結果からわかるように、重量の大きな蓋を注入後早期に掛けた鋼塊と小さな蓋を比較的遅い時期に掛けた鋼塊との間にリム層の面積率、S偏析ともに大きな差が認められず、単にこのような蓋の形状、重量の改良によつてリミングアクションを早期に抑制し偏析の軽減を計るのは困難なようである。特に、重量 1000 kg の蓋を掛けた鋼塊では、ブリードの発生が見られ、成品の品質上からはもちろん、作業上からも問題があると思われる。一方、頭部水冷は期待したほど、大きな効果が得られなかったが、頭部の閉塞状況も良好でリム層面積率は約5%減少し、鋼塊頭部側の濃厚偏析もかなり分散した傾向が認められる。Photo. 1 に水冷鋼塊の偏析の分散状況をスラブのサルファープリントで示した。なお、水冷鋼塊のうちでは、380 kg の蓋を掛けた後、撒水冷却したものがリム層厚さも鋼塊全長にわたつて均一で最も良好な状況を示した。

(b) トラックタイムの影響

同一チャージから注入した 14 t 鋼塊について軸心方向のSの分布状況(鋼塊上半分の)におよぼすトラックタイムの影響を Fig. 2 に示した。これによると短辺厚さ 800mm のこの種の鋼塊では、完全凝固時間²⁾に等しいトラックタイム (3 hr 20min) の場合は偏析のピ

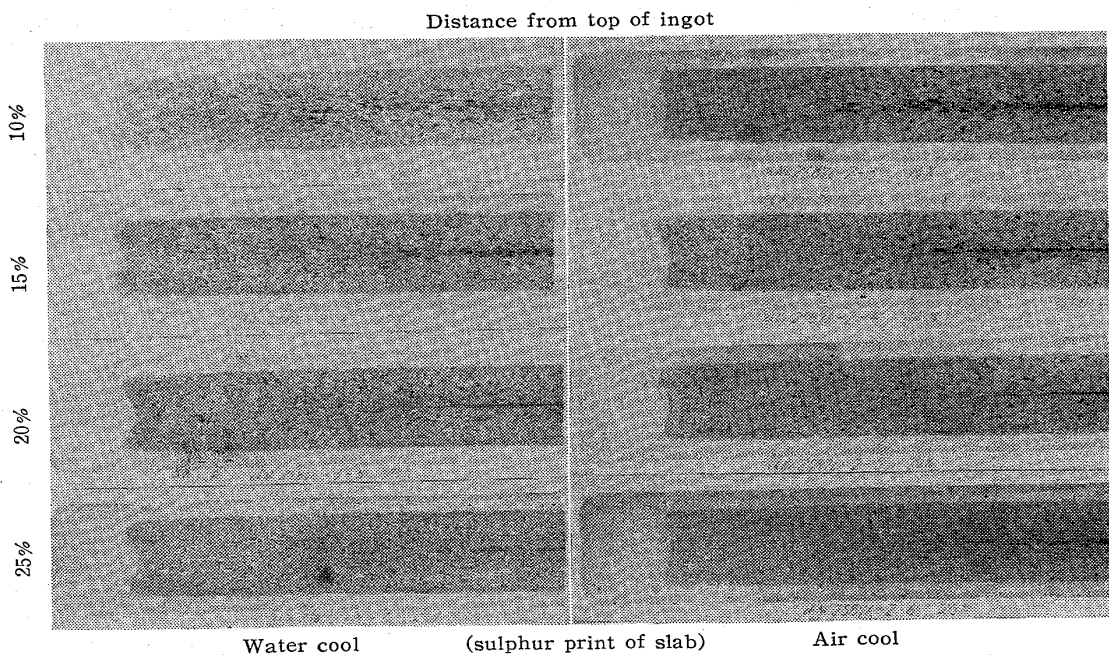


Photo. 1. Influence of capping practice on the segregation of ingot top.

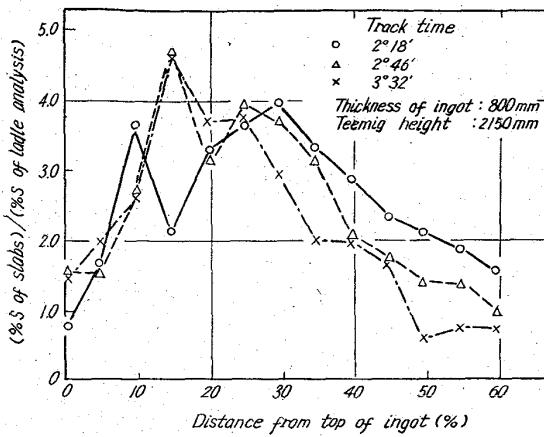


Fig. 2. Effect of track time on distribution of sulphur.

ークは1つしか認められないが、2 hr 50min 程度になると偏析は2つのピークに分かれ始め、2 hr 20min 程度では完全に2つに分離し、それとともに濃厚偏析の範囲がいちじるしく広がる。このような偏析の挙動は、短辺厚さを変化した場合と非常によく似ているが、第1のピークがトラックタイムの影響を受けてその位置を変化するのにたいして、短辺厚さを変えても変化しない。トラックタイムの影響としては上記のほかこれが特に短かい場合に第2のピークの異常な上昇が認められる。Fig. 3に別なチャージの鋼塊のSの分布状況をSの偏析曲線とこれに対応するスラブのサルファープリントで示した。この図ではトラックタイムが偏析のピーク的位置にあたる影響は Fig. 2 の場合とほぼ同様な傾向が認められるが、トラックタイムが 2 hr の鋼塊では第2の

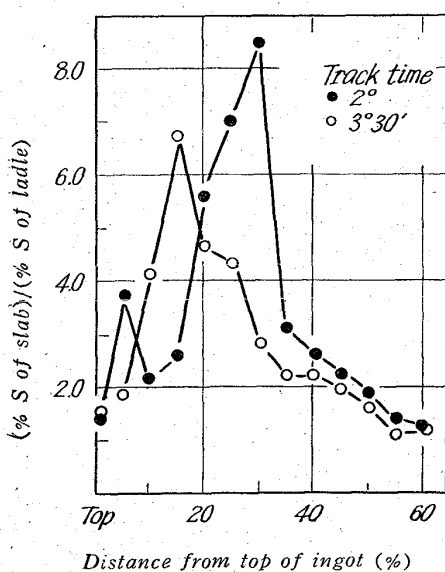
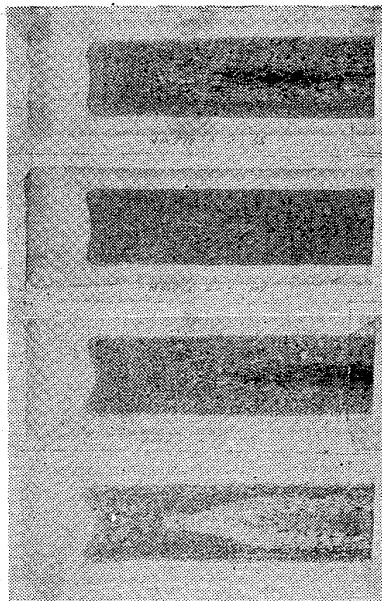


Fig. 3. Influence of track time on distribution of sulphur.



Sulphur print from each position of slab. (Track time 2hr)

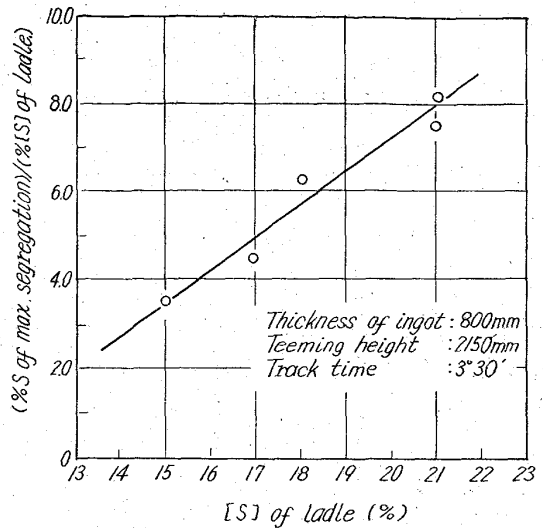


Fig. 4. Influence of ladle analysis on degree of segregation.

ピークが異常に高く、また、濃厚偏析部より鋼塊底部側（鋼塊頭部から45%の位置）では鋼塊内部が逆偏析の状態になっているのがわかる。

(c) 取鍋Sの影響

取鍋Sの低下は、鋼塊のコア内に分散されるS量を減少するが、その程度は本調査の範囲内では必ずしも鋼塊全長にわたって一様ではなく、特に濃厚偏析部でのSの低下がいちじるしく、鋼塊軸心方向のSの偏析程度を減少させることがわかった。Fig. 4に取鍋S量と最高偏析度との関係を示した。これによるとこの程度の取鍋Sの範囲では両者の関係はほぼ直線的である。

(2) 頭部濃厚偏析および逆U線状偏析の生因調査

(a) 偏析部のサルファープリントおよび検鏡

Photo. 2(a)に単重7tのリムド鋼塊のサルファープリントを示すが、これからわかるように頭部濃厚偏析（この場合にはピークは1個）は気泡性の偏析で、かなり広範囲に分布し、逆U線状偏析がリム層前面からこの濃厚偏析部分をつなぐように流線状に分布していることがわかる。一方、ほぼ同一単重のキャブド鋼塊のサルファープリントをPhoto. 2(b)に示すが、これはリムド鋼塊のそれに比較して頭部濃厚偏析の範囲は小

さいが、逆U線状偏析は非常に明瞭に現われている。これは、キャップド鋼は、リミングアクションを早期に強制的に停止しているためで、逆U線状偏析の生因がリミングアクションと密接な関係があることを物語るものであり、また、頭部濃厚偏析は、リミングアクションの継続時間によりその大きさが変わってくることをよく示しているものと考えられる。

Photo. 3 (a) にリムド鋼塊頭部濃厚偏析部分のサルファープリントを示すが、これによると濃厚偏析部分は気泡に沿った凝固方向の内側に存在していることがわかる。Photo. 3 (a) の内で最も偏析の濃厚な部分 (A) を検鏡すると Photo. 3 (b) に示すように FeS 含有量の高いフレーク状の硫化物が一次品の粒界に析出しており、(A) より偏析度の低い部分では Photo. 3 (c), (d) に示すような MnS·MnO, FeS·MnS·MnO 球状介在物がみとめられる。

次に、逆U線状偏析についても、リムド鋼塊について同様にサルファープリント、検鏡により調査した。この場合、筆者らは前述のサルファープリントの様相から逆U線状偏析は凝固前面に生じた不純物元素の濃化した溶鋼がリミングアクションに伴う気泡の上昇および溶鋼の対流によつて上昇する過程で凝固したものと考え、一部研究者の間には、この生成機構として収縮亀裂⁴⁾ 上昇気泡の軌跡⁵⁾ に起因するとの説もあるので、この点の検討を主とした。Photo. 4 にその結果を示したが、これからわかるようにリムド鋼のこの種の偏析部はマトリックスと比較して特に異常は認められず、収縮孔も存在していないので、収縮亀裂が原因となつて生成したものとは考えられない。気泡との関連については、リムド鋼では必ずしも気泡との関連が明らかでなく、また、一部の鋼塊では、凝固方向に沿つて成長したと思われる気泡が逆U線状偏析を横切つているのが多数認められたので逆U線状偏析は上昇気泡の軌跡ではなく、生長する凝固前面ですでに形成された不純物元素の濃化した溶鋼が上昇する過程でトラップされ生成したものであると考えられる。

(b) Bar test によるリミング時の溶鋼中Sの挙動調査

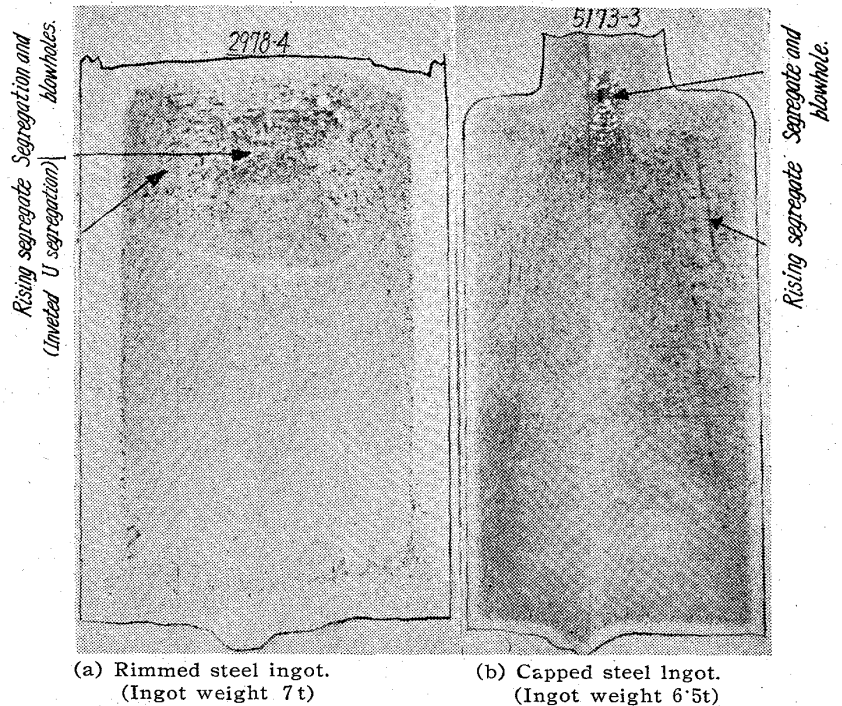


Photo. 2. Sulphur prints from rimmed and capped steel ingot.

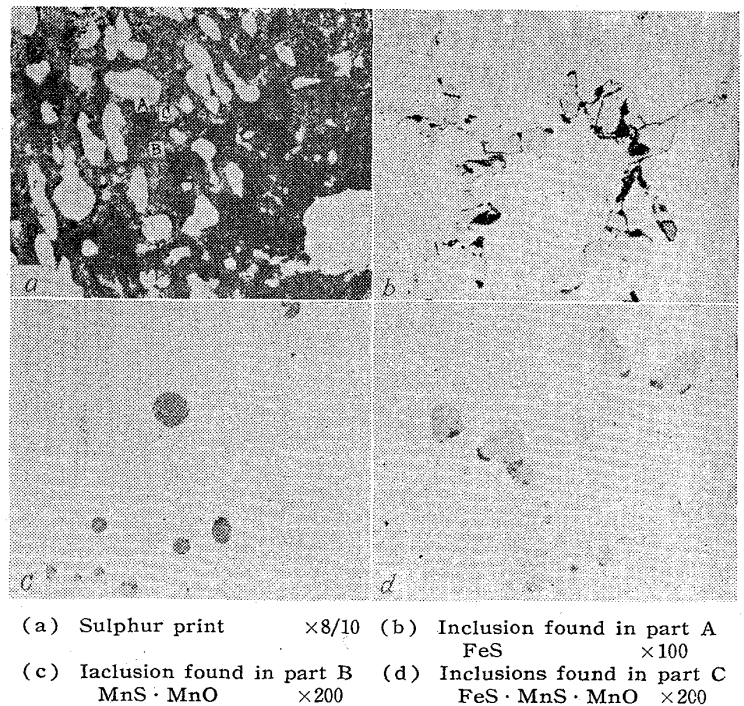
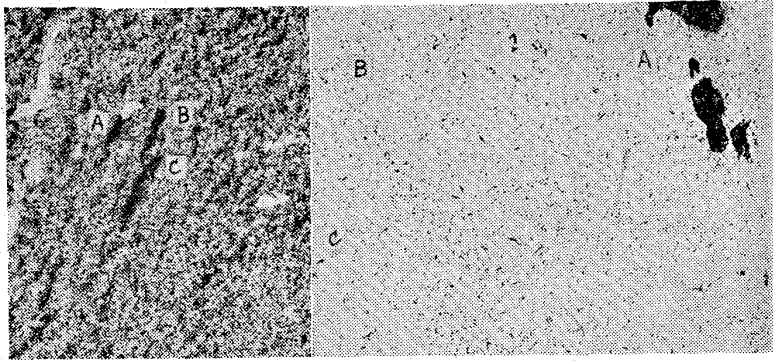


Photo. 3. Sulphur print of segregation zone in the top of rimmed steel ingot and inclusions found in segregation zone. (1/2)

(a) においてサルファープリントなどの検討の結果からリムド鋼塊頭部の濃厚偏析および逆U線状偏析の根源はリミングアクションによるものとする旨述べたが、まだリミング中の鑄型内溶鋼中のSの濃化はどのようにして進行するのか明らかでなく、わずかに鑄型上部表面近くの溶鋼を bomb でくみその状況を調査した結果⁶⁾が



Outside of ingot. $\times 1$ Sulphur print from rimmed steel. Matrix $\times 10$ Segregation zone Matrix

Photo. 4. Sulphur prints and micro structures of rising segregates in rimmed steel ingot. (1/2)

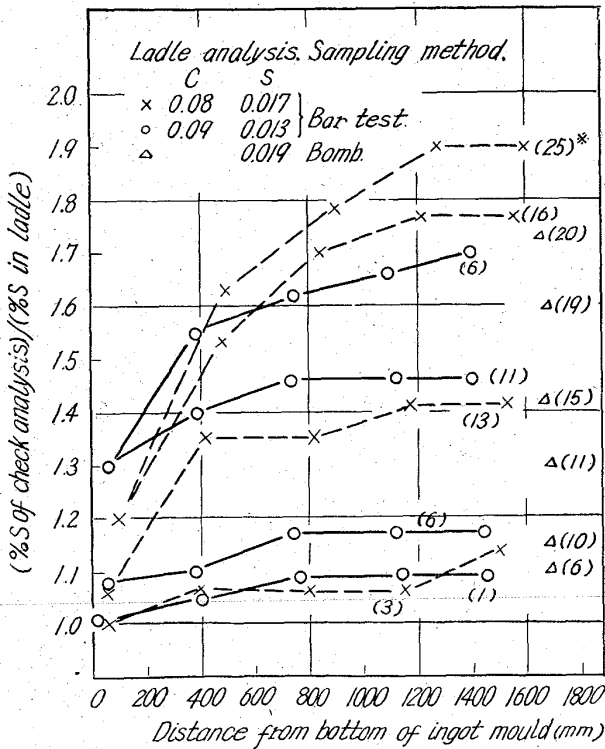
直前には、溶鋼表面下 100~400mm の範囲(鋼塊高さ 5~23%)では取鍋Sの約2倍程度に達し、鋼塊底部では、1.3倍、中央部では1.6倍程度であることが明らかになった。

IV. 考察

IIIにおいて、偏析におよぼす造塊条件の影響および頭部濃厚偏析、逆U線状偏析の生因について調査した結果を述べたが、ここではこれらの結果について考察しよう。

- (1) 偏析におよぼす造塊条件の影響
- (a) 蓋の形状、蓋掛方法の影響

リムド鋼塊の頭部を機械的に凝固閉塞させて早期にリミングアクションを停止させることにより偏析を軽減する方法はメカニルキャド鋼において、その効果が実証されている。本調査は、このようなキャド鋼の効果を普通の open top 鑄型を用いた極軟リムド鋼塊に適用しようとしたものであるが、前述のように期待されたほどの偏析軽減の効果は得られなかった。このような結果については、次のようなことがその原因として考えられる。(i) 蓋掛けにより完全な頭部の閉塞が行なわれなかった。II, (1), (a)で述べたように蓋の面積、重量を大きくして溶鋼注入後比較的早期に蓋掛けしたものと、小型の蓋を遅い時期に掛けたものとの間にリム層面積率の差が認められなかったことは、大型の蓋が溶鋼との密着が悪く完全な蓋掛けの効果がなかったことを示しているが、それとともにこのような極軟リムド大型鋼塊ではリミングアクションによるガスの圧力が高く、早期の蓋掛けに際してブリード発生傾向が強くなり、リミングアクションの抑制効果が少ないものと思われる。なお、本調査の結果では、蓋掛後の水冷は、完全な頭部閉塞という点からは効果があるようである。(ii) 蓋掛時期を早くするのは困難である。通常 open top 鑄型に極軟リムド鋼を注入し、蓋を掛ける場合、鑄型壁から溶鋼表面に張りだしてくるリム部が蓋を支えるのに十分な程度に発達してから掛けなければならないので、現状の作業では安全上の問題も含めて、注入後 15~20min 程度が必要である。一方、早期の蓋掛けによつて顕著な偏析軽減効果が認められるキャド鋼塊の蓋掛時間は通常 3min 程度とされ、得られるリム層面積率も 20%程度である。しかし、本調査で最も良好な蓋掛効果が得られた鋼塊(注入後 20min で 380kg の蓋を掛けた後撒水冷却)でもそのリム層面積率は約40%を示し、上記の値の2倍程度になっているので、本調査の範囲での早期蓋掛では、顕



Number in () shows the times past after filling. Fig. 5. Behavior of [S] in mould during rimming action.

あるのみで、鑄型内部の状況はほとんどわかっていないのが現状である。そこで、この点を明らかにするため、Bar test を行ない特に鑄型内底部までの状況を調査した。なおこの場合、溶鋼表面近くでの bombによる試料採取も併用した。得られた結果を Fig. 5 に示すが、これからわかるように、リミングアクションを伴う凝固の進行は、残存溶鋼中のSの濃化をもたらすが、注入直後から 10min 程度まではSは鑄型内の頭部から底部にわたつて全体的にほぼ一様に分散されているが、その後は時間の経過とともに鑄型上方でのSの濃化が起り、蓋掛

著な偏析軽減効果が得られなかつたものと考えられる。以上の諸点から考えると通常の open top 鑄型を使用し早期蓋掛けによるリミングアクションの阻止によつて極軟リムド大型鋼塊の偏析軽減を計るには、蓋の形状、蓋掛方法の改善だけでなく、溶鋼注入後鑄型上部への脱酸剤の投入などブリードの抑制および頭部凝固を促進させる方法を併用して、より早期に完全な頭部閉塞が可能なるようにする必要がある。

(b) トラックタイムの影響

さきに、大型リムド鋼塊のトラックタイムを短くすると、頭部濃厚偏析は2つのピークに分離し、偏析範囲がいちじるしく拡がる傾向があり、また第2のピークを異常に高くする場合があることを報告したが、この場合のトラックタイムとピークの位置および濃厚偏析の範囲（ここでは便宜上偏析度3以上の範囲をとつた）との関係を図示すると Fig. 6 のようになる。同図から、トラックタイムの短縮による偏析範囲の増加は、この種の鋼塊（短辺厚さ 800mm）では、完全凝固時間の30min前程度から顕著になる。Fig. 3 に示した第2のピークの異常な上昇なども考慮すれば、偏析の点からは少なくとも3 hr 程度のトラックタイムを必要とする。この時間は、完全凝固時間のほぼ 85% に相当し、岡田ら⁸⁾が熱的な検討によつて求めた最適トラックタイム（凝固完了時間の75%）よりかなり長い時間になる。なお上述のようにトラックタイムの短縮によつていちじるしい偏析の範囲および偏析度の増加が生ずる原因としては、均熱炉装入時の鋼塊内未凝固部の増大と凝固速度の遅れが考えられるが、特に Fig. 6 に示した第1のピークの頭部側への移動と Fig. 3 の第2のピークの下部に認められる逆偏析の存在は、上記の事実を物語っていると同時に、リムド鋼塊の濃厚偏析の生因を考察する上に重要な知識を提

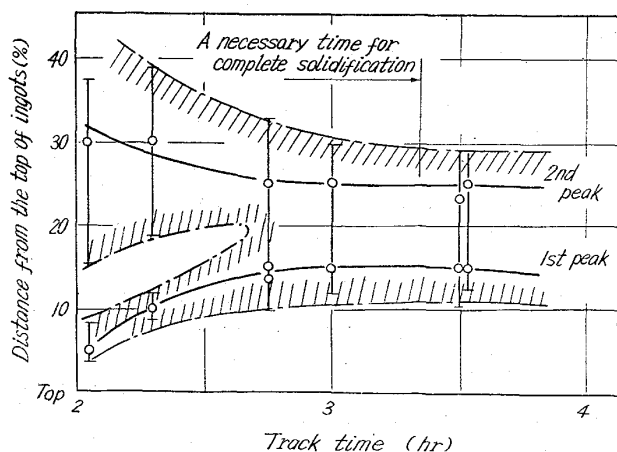


Fig. 6. Relation between track time and position of max. S segregation.

供するものとする。

(c) 取鍋Sの影響

II, (1), (c)で述べたように本実験の範囲（取鍋S 0.015~0.021%）では、取鍋S量と最高偏析度とは、ほぼ直線的な関係にあり、その勾配も比較的大きいので、偏析部の絶対値を低くするには取鍋Sを低下することが特に有効である。筆者らが、鋼板の絞り加工性におよぼすS偏析の影響を調査した結果⁹⁾によると、スラブのチェック分析値で0.1% S以上になると、特にエリクセン値に悪影響がみられるので、Fig. 4の結果と合わせて考えると、この種の鋼塊で濃厚偏析部が上記の値以上にならないためには取鍋Sを少なくとも0.017%以下に抑えることが望ましい。このように本調査の結果では、取鍋Sと最高偏析度との間に正比例的な関係が得られたがK. K. ASCHENDORFF¹⁰⁾らの最近の報告では、取鍋Sが0.020~0.030% Sの範囲ではむしろ取鍋Sの高い方が偏析度が低くなると報告しており、また筆者らがさらに低い取鍋Sの範囲について同様な検討を行なつた結果¹¹⁾では、むしろ取鍋Sの低下によつて偏析度が高くなる傾向が認められた。これらのことから、取鍋Sが本調査の範囲以下、または以上では濃厚偏析のSの絶対値が次第にほぼ一定値に近づく傾向があることも考えられる。

(2) 頭部濃厚偏析および逆U線状偏析の生因について

(a) 頭部濃厚偏析

鋼塊短辺厚さやトラックタイムの影響の調査結果から、リムド鋼塊頭部の濃厚偏析部は、2種類の偏析から構成されることが明らかになつたが、これらの偏析の詳細はまだ不明の点が多いので、今迄の調査結果を総合して考察する。

(i) 頭部気泡性偏析（第1のピークを示す偏析）

鋼塊頭部近くの第1のピークを示す偏析はスラブおよび鋼塊切断面のサルファープリントによると顕著な気泡性偏析の状況を示している。一方、この種の偏析は、トラックタイムが短い場合にかなり頭部側に移動することから比較的凝固の初期に形成し得るものと考えられるが、単なる気泡の断熱効果（いわゆる気泡性偏析の原因）だけでこのような高いSの濃化を考へることは困難でやはり溶鋼の状態ですでにその原因となる鋼塊頭部へのSの濃化が起ると考へねばならない。bar test と溶鋼液取試料によつてリミング時の鑄型内溶鋼中Sの挙動を調査した Fig. 5の結果によると注入後10min程度までは、リム層の成長とともに残存溶鋼中に析出濃化されたSは鑄型内の頭部から底部にわたつて全体的にほぼ均一に分布されるが、その後は時間の経過とともに鑄型上方

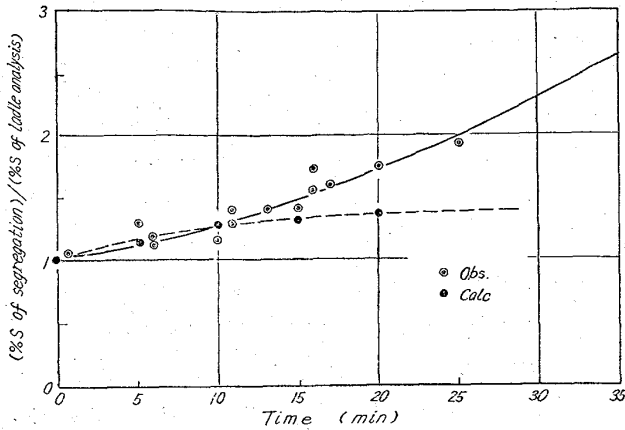


Fig. 7. Segregation of sulphur at the top of ingot during rimming action.

へのSの上昇濃化が起り蓋掛直前(注入後約25min)には、溶鋼表面下100mm~400mmの範囲(注入高さの5~23%)では取鍋Sの約2倍程度に達することがわかる。この状況を時間と鋼塊頭部のS偏析度との関係であらわしたのが、Fig. 7である。図中点線で示したのは、 Fe_{ILD}^{12} の凝固式($K=0.27$ とした)から求めた溶鋼中の平均S量で、蓋掛直前では取鍋S量の約1.4倍程度でbar testの結果では鋼塊頭部から80%程度の位置のS濃度に相当している。一方、鋼塊切断調査の結果からこの種の鋼塊では蓋掛後少なくとも10min程度はリミングアクションが継続することがわかっているため、この点を考慮してFig. 7の曲線を延長すると鑄型上部でのS濃度はリミング中に取鍋Sの約2.5倍を超えることになり、このようにSの濃化した溶鋼が鋼塊頭部に集積したCO気泡の断熱効果によつて凝固の際気泡のふちに凝集するので高い偏析を形成すると考えられる。上述の溶鋼中Sの濃化はbar testの結果からも推測されるように、鑄型内壁から成長する凝固壁の前面に生ずるSの濃化層がリミングアクション時に生ずる気泡および溶鋼流によつて上昇し、これが時間の経過とともにリミングアクションが弱化するために鋼塊頭部側で部分的な対流を生じ、また、成分の濃化した溶鋼は比重が軽いのでこの部分に停滞、集積するものと考えられる。なお、このようなSの上昇は鋼塊頭部が閉塞後もかなりつづくことが逆U偏析の様相から推測される。リミング時の溶鋼中Sの挙動については、古くはHAYES & CHIPMAN¹³⁾が、最近ではK. KUPZOG¹⁴⁾が調査しているが、いずれも鑄型上部での溶鋼液取試料によつており、溶鋼全長にわたるSの挙動については推測がかなり多く含まれている。これに対して、Fig. 5に示したように本調査では溶鋼表面下100mmの位置で液取試料を採取すると

も、bar testによつて鋼塊下半分の溶鋼についても調査したので、鋼塊全体にわたるSの挙動を明らかにすることができた。

以上リミング時の溶鋼中Sの挙動について調査した結果を述べたが、一方、第1報¹⁾で述べたように短辺の薄い鋼塊(短辺厚さ550mm程度)では、トラックタイム、取鍋Sを同一にしても、その最高偏析度が大きくバラツクことが認められたので、この原因を調査したところ、脱酸調整と関係があり、脱酸度が弱くて強いリミングアクションが長時間継続したものが最高偏析度は低い値を示し、これと逆の関係のものが高い値を示すことがわかった。これはこの種の短辺の薄い鋼塊ではリム層の占める割合が非常に高い(面積率にして約55%)ため、強いリミングアクションが長時間継続するような条件下ではその凝固は半ば以上が強い攪拌作用の下で進行することになり、コア内の溶鋼中Sが比較的全体に分散されたまま溶鋼が粘稠な状態に近づくので偏析が抑制されるのであろう。これに比して、弱いリミングアクションの下では、攪拌作用が弱く、対流作用が鑄型底部の溶鋼まで達せず上部にのみ生ずるためFig. 5で示したと同様な鑄型上部でのSの濃化が起り、高い偏析を示すことになると思われる。一方、短辺の厚い鋼塊ではリム層の割合が低いので、比較的このような影響が少ないので、最高偏析度のバラツキが小になるものと考えられよう。また、Fig. 5で、リミングの初期から中期にかけて溶鋼中のSが全体に分散されているのは、上述の強いリミングアクションの効果と関連していることが、Mc. CUTCHEON & J. CHIPMAN¹⁴⁾が行なつた低炭リムド鋼塊のガス放出速度の測定結果との比較からも推測される。

(ii) 最終凝固位置の偏析(第2のピークを示す偏析)
濃厚偏析の第2のピークを示す偏析は、トラックタイムの短縮または短辺厚さの増加により、底部側に移動する傾向があり、しかもその発生する位置はほぼ鋼塊の最終凝固位置に相当するので、この生因は従来キルド鋼塊の偏析について論じられているような選択凝固による不純物元素の残留溶鋼中への析出濃化によるものと考えられる。なおこの場合、トラックタイムの短い鋼塊において、しばしば偏析部に異常な状況(異常に高い偏析とその下部に逆偏析を生ずる)が観察されるので、鋼塊の凝固がかなり進行した後も鋼塊内部の未凝固部においてSの相対的な上方への移動が起るものと考えられる。

(iii) 逆U線状偏析

リムド鋼塊の逆U線状偏析の生成機構については、上昇気泡の軌跡、収縮亀裂によるとの説の他に凝固壁の前面に生じた不純物元素が濃化した溶鋼の上昇運動によ

るとする説¹⁵⁾があるが、本調査の結果では前二者はリムド鋼塊の場合の逆U線状偏析の主原因とは考えられず、特に鋼塊頭部側の気泡性偏析に向かつて上昇する逆U線状偏析の様相から、凝固前面に生じた不純物元素の濃化した溶鋼がリングアクションに伴う気泡の上昇および溶鋼の対流によつて上昇する過程で凝固したと考えられ、第3番目の説が正しいように思われる。なお、トラックタイムの短い鋼塊の調査で認められた鋼塊の凝固がかなり進んだ後の鋼塊内未凝固部におけるSの相対的な上昇運動については、溶鋼内での対流作用はこの段階ではほとんど考えられないので、小野寺ら¹⁶⁾がキルド鋼塊の逆V偏析について不純物含有量の高い溶鋼が比重が軽いので上昇しトラップされたと考えているのと同様な機構が適用されるのではないかと思われる。

V. 結 言

リムド鋼塊頭部の濃厚偏析軽減対策を確立するために、第1報では偏析におよぼす鋼塊形状の影響を、本報では造塊条件のうちもつとも凝固と偏析に関係があると考えられる蓋掛方法、トラックタイムおよび取鍋Sの影響を検討するとともに、頭部濃厚偏析および逆U線状偏析の生因について考察した。得られた結果は次の通りである。

(1) 通常の open top 鑄型で、蓋の形状(大型化)および蓋掛方法(早期蓋掛、水冷)の改善のみによつて極軟リムド大型鋼塊(単重約16t)の濃厚偏析を軽減することは困難である。

(2) トラックタイムの短縮は、リムド鋼塊頭部濃厚偏析の第1のピークを頭部側に、第2のピークを底部側に移動せしめて、濃厚偏析の範囲を増大するとともにしばしば第2のピークを異常に高くすることがある。本調査の結果では、短辺厚さ800mmの鋼塊(単重約14t)の偏析範囲の増加を防ぐためにはトラックタイムを2hr 50min程度(完全凝固時間-30min)にする必要がある。

(3) 取鍋S 0.015~0.021%の範囲では、取鍋S量と鋼塊の最高偏析度とは直線的な関係にあり、その勾配も比較的大きいので、濃厚偏析部のSの絶対値を低下す

るには、取鍋Sを低くすることが特に効果的である。

(4) 鋼塊頭部の濃厚偏析部を構成する2個の偏析のうち、第1のピークは主としてリング時のSの鋼塊頭部への上昇濃化とそこに集積したCO気泡の断熱効果に原因し、第2のピークは鋼塊の最終凝固位置へのSの析出濃化によるものと思われる。なお、この場合のSの上昇には、コア層内に多数認められる逆U線状偏析が密接な関係を持つと考えられる。

本研究を行なうにあたり御指導、御鞭撻をいただき、また発表を許可された当社室蘭製鉄所副所長田村純治郎氏、いろいろ御協力を頂いた製鋼部長豊田茂氏、現釜石製鉄所製鋼部副長前田正義氏、平炉課長補佐都築誠毅氏、現本社生産管理部調査役池田保氏、実験を分担された現中央研究所志村一輝氏、研究所田海幹生氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 森永, 北川, 佐藤, 泉: 鉄と鋼, 50(1964)2, p.166
- 2) 岡田, 河野: 製鉄研究, 230 (1960), p. 66
- 3) 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 44 (1958) 8, p. 872
- 4) TENNENBAUM: "The physical chemistry of steelmaking" (1956)
- 5) 小平: "縁付鋼塊の研究" (1937)
- 6) K. KUPZOG, R. HAMMER u. H. RELLERMEYER: Stahl u. Eisen, 82 (1962), p. 394
- 7) 八幡製鉄所: 第22回製鋼部会資料 No. 607, (1962)
- 8) 岡田, 河野: 製鉄研究, 228 (1959), p. 21
- 9) 森永, 他: 鉄と鋼, 49 (1963), 1060
- 10) K. K. ASCHENDROFF, E. KÖHLER, H. SCHROER und B. ABEL: Stahl u. Eisen, 82 (1962), p. 1356
- 11) 森永, 他: 未発表
- 12) A. L. FEILD: Blast. Furn., 15 (1927), p.129
- 13) A. HAYES & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 135 (1939), p. 85
- 14) K. C. McCUTCHEON & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 131 (1938), 206
- 15) 7th Rep. Heterogeneity Committee, Iron & Steel, Special Report No. 16 (1937)
- 16) 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 16