

態となり、この過冷度がはなはだしくなればこの富化層をとび越えて母液に凝固が起こり、富化層は殻内に融液として取り残されてここにV偏析が生成される。この際過冷された母液の結晶核としては、恐らく部分的に富化層を突き抜けている凝固殻の突端が起点となるであろう。かくしていつたん母液に凝固がはじまると、母液の過冷が回復するまで急速な凝固が起こり、偏析部が融液として取残される。すなわちこのようにV偏析帯では凝固の進行が平均速度より著しく偏して遅速を生じると考えることによりその成因を説明できる。この裏付けとしては、Table 1Aに前報のsemi-steelのV偏析およびその周辺のC, P, Sの分析値を示すが、Aの場合と異なりP, SだけでなくC値もかなり多くの差を生じていることが判る。これはA偏析がCの拡散により浮力を失つて凝固殻内にとち込められるのに反して、V偏析の場合には浮上の機会を失つた偏析帯が強制的にとじ込められたと考えてよからう。

#### 4. 押湯下の負偏析およびアバタ状偏析の成因

押湯を電弧で加熱している際、これを途中で突然打切ると小野寺<sup>2)</sup>らも述べているように、負偏析帯を生じることがある。写真1に6t鋼塊の負偏析帯の生成状況を示し、その周辺の分析値をTable 1Bに示す。

かかる負偏析帯の成因も底部負偏析の成因と同様に説明がつく。すなわち加熱により強制的に凝固を遅らせている状態から通電を打切ると、急速に凝固が始まる。この際凝固殻の生長速度が前述の下部負偏析帯の場合と類似であれば、母液は頭部加熱により高温に保たれているので富化層の浮上は容易で、ここに負偏析を生じると考えれば十分説明できる。このことは鋼塊頂部に生じるアバタ状偏析と結び合せばさらに良く説明できる。

すなわちこの負偏析層より浮上する粒状または塊状の偏析相は、鋼塊頂部の頂部偏析帯に至つて両者の比重差が少ないために浮上が停止する。一方頂部の凝固は早く完了するので爾後拡散の時間を与えられずにアバタ状の偏析として残留すると考えられる。このことは第II報のTable 1の分析値よりも明らかであり、P, Sの差に比べ比重を支配するC%にほとんど差が無いことより納得できる。

#### 5. 結 言

以上によりV偏析、底部および頭部負偏析あるいはアバタ状偏析など鋼塊の軸心上に生じる偏析現象を、偏析相の粒状化による浮上現象と結び合せて考えれば容易に説明できることを示した。

今後さらに扁平鋼塊のごとく横凝固の凝固様式が異なる場合のAおよびV偏析の調査により上述のAおよびA偏析の生成現象に対する説明の裏付けを行ないたい。

#### 文 献

- 1) 小野寺: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 1259
- 2) 小野寺: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 447

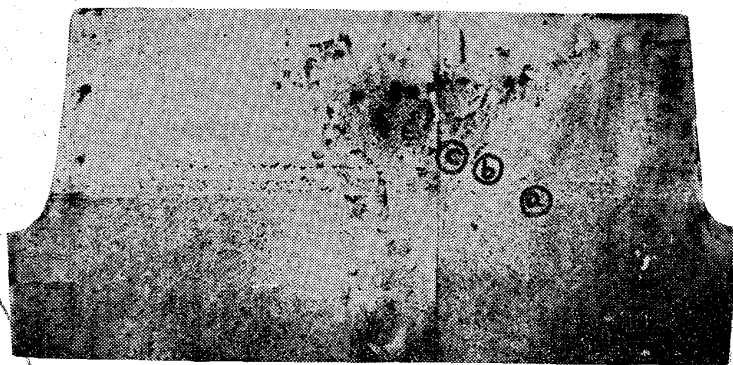


Photo. 1. Sulphur print of feeder head of 6t ingot.

### (85) 取鍋内における合金鉄の混合状況について

富士製鉄, 広畑製鉄所

大久保静夫・工博宮川一男・野村悦夫

○富永忠男・森 孝

Study on Mixing of Ferroalloys in Ladle.

Shizuo OKUBO, Dr. Kazuo MIYAKAWA,

Etsuo NOMURA, Tadao TOMINAGA,

and Takashi MORI.

#### 1. 緒 言

転炉出鋼時において、取鍋添加の合金鉄を均一に溶解させることは重要である。特にハイテン鋼等の合金鉄を多量に使用する鋼種では、合金鉄の取鍋での投入位置および投入場所を誤ると、鋼浴成分に不均一を生ずるおそれがある。そこでフェロアロイの混合状況を調査する目的で、RIを含むシリコンマンガンを取鍋に投入する試験を行なつた。また合金鉄の溶解と混合状況は、取鍋内での湯の流動と密接な関係があると考えられるので、これについては模型実験を行なつて観察した。ここにこれ等の結果について報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 RIによる実験

RIは<sup>60</sup>Coまたは<sup>59</sup>Feを用いた。合金鉄はSi-Mnを用いた。Si-Mnは粒度50×40×50mm程度で、組成は、Si 14~18%, Mn 60~65%である。RIはSi-Mnに均一に溶解させるか、あるいはSi-Mnの中央に3mmφの孔をあけて埋め込み、その上に鉄粉を詰めて栓をした。RIの投入時期はTable 1に示すように、出鋼初期から末期までの各段階および出鋼終了後である。転炉出鋼中におけるRIを含むSi-Mnの取鍋への投入は、人手によるかあるいは投入シュートを通して行なつた。出鋼後のRIの挿入は棒の先端に<sup>59</sup>Feカプセルを取付けて行なつた。挿入場所は取鍋の側壁から約30cm、溶鋼表面から深さ約50cmの所である。

実験は出鋼後取鍋を注入台に運搬してただちに注入する場合と、holding timeを取つた後注入する場合について行なつた。試料は出鋼後測温デッキにおいては取鍋の上部から、注入台においては注入始め時と各鋼塊の注入終了時に採取した。RI用試料の大きさは、15mmφ×30mm、化学分析用試料は38mmφ×50mmである。試料の放射能測定はシンチレーションカウンターにより

Table 1. Classification of experiments.

Test No.	Charge No.	Tracer	Time of RI addition	Tapping time	Tapping speed
1 2	Ta 9135 Ta 9310	<sup>60</sup> Co (inserted in alloys)	After tapped 20% of steel After tapped 40% of steel	2'10 2'27	40*3t/min 36*2
3 4	Fa 3380 Ra 6761	<sup>59</sup> Fe (metallic)	After the end of tapping	2'07 3'40	43*2 25*2
5 6 7 8 9	Ra 7074 Ra 7075 Ra 7131 Ra 7107 Ra 7108	<sup>60</sup> Co (uniformly dissolved)	After tapped 68% of steel " 75% " " 90% " " 95% " " 95% "	3'05 3'20 3'10 2'10 2'20	29*8 27*7 28*5 42*3 39*5

行ない、吹止試料をバックグラウンドとした。測定精度は ±8% である。

2.2 模型実験

取鍋の模型は透明なアクリル樹脂でつくり、流体は水を用いた。一般に流動の相似則ではフルード数とレイノルズ数をとるが、水と溶鋼では模型の寸法比を適当に取れない。転炉出鋼時においては、重力により落下する出鋼流の運動エネルギーが、取鍋中の溶鋼の流動の起動力となつていたので、フルード数支配と考へて 1/15 の模型をつくつた。流線の軌跡はステレン樹脂 (比重 1.03) またはインクによつて観察した。

3. 実験結果と考察

3.1 RI による実験

RI を含む Si-Mn を取鍋に投入した場合の各鋼塊ごとの比放射能の分布を Fig. 1 に示す。この図によれば、溶鋼 20% 出鋼時から 75% 出鋼時までの間に RI を投入した場合には、各鋼塊ごとの RI の比放射能はほぼ同じで、RI が十分均一に混合されていることがわかる。

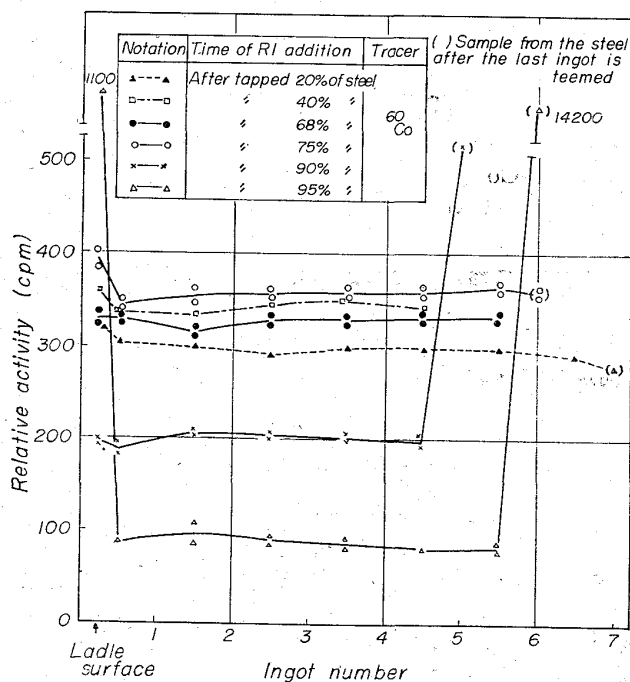


Fig. 1. Concentration of RI for each ingot which was added to the ladle at various time of tapping.

しかし溶鋼 90% および 95% 出鋼時に、RI を含む Si-Mn を投入した場合には、捨型部分の溶鋼の中に異常に高い放射能が検出され、取鍋中の溶鋼成分は均一になつていない。ここで興味あることは、RI を出鋼末期に投入した場合には、比放射能が塊番の最初から最後にかけて直線的に変化するのではなくて、捨型部分以前の各鋼塊ではほぼ同じ計数値を示し、捨型のみ非常に高い値を示すことである。これは取鍋上部の溶鋼の動きは、出鋼後非常に緩慢であるが、それより下部では出鋼時の慣性や対流によつて動いていて、出鋼流に巻き込まれて深く入つた RI はよく混合されるためと考えられる。対流については模型実験のところでも述べる。これらの結果から鋼浴成分の均一化のためには、合金鉄は 75% 程度出鋼時まで全部投入し終ることが必要であることがわかる。

次に各鋼塊ごとの取鍋下試料の分析値を Fig. 2 に示す。分析はカントバックによつて行なつた。再現精度は Si:  $\sigma=0.006\%$ , Mn:  $\sigma=0.01\%$  である。この図で A は取鍋へ約 50% 溶鋼を出鋼したときに合金鉄の投入を開始し、90% 出鋼終了時まで投入を続けた場合で、この時捨型部分の Mn および Si の分析値が異常に高い。

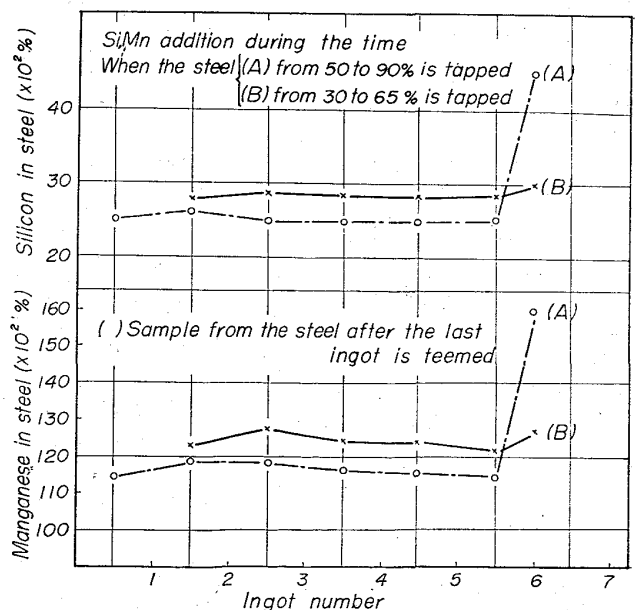


Fig. 2. Ladle analyses for each ingot.

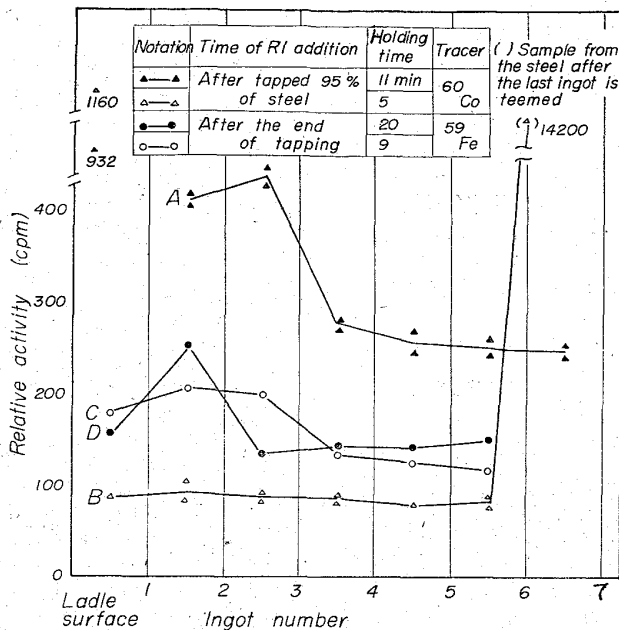


Fig. 3. Effect of holding time in the ladle.

塊番 1 から 5 まではほぼ同じ分析値を示す。この傾向は RI を出鋼末期に投入した場合と同じで、<sup>60</sup>Co を用いても Mn あるいは Si の混合状態を推定できることがわかる。B は取鋼へ 30% 出鋼した時に合金鉄の投入を開始し、65% 出鋼時まで投入を完了した場合である。この時各鋼塊の Si および Mn の分析値はほぼ等しく均一に混合されている。

holding time を取った時の各鋼塊ごとの比放射能を Fig. 3 に示す。ここで holding time というのは、出鋼後測温 デッキでの測温時から注入開始までの時間である。この図で 95% 出鋼時に RI を含む Si-Mn を投入し、11min 間 holding time をとつた A と 5 min 間 holding time をとつた B を比較すると、holding time の短い B では捨型部分に非常に濃厚な RI が偏在しているが、A では最終鋼塊での RI の偏在はなくなっている。また A と B では同程度の線源を投入しているので、holding している間に取鋼内で B → A への濃度変化があると思われる。出鋼直後の取鋼表面の試料の計数値をみると、A、B とも異常に高い値を示すが、holding の間に対流等によつて混合が進行したものであると思われる。A の場合塊番 1 あるいは 2 の比放射能が大きくなっているが、これは RI が比重差で沈降したものである。図中、出鋼後取鋼上部に <sup>59</sup>Fe のカプセルを挿入した場合にも同じ傾向が認められる。<sup>198</sup>Au を用いた実験の報告<sup>1)</sup>でも、注入初期の試料の計数値が異常値を示すことを認めている。

3.2 模型実験

出鋼時における取鋼内溶鋼の攪拌効果は、出鋼速度および取鋼内での出鋼流の流下位置等によつて支配される。

取鋼内での出鋼流の流下位置

は、Fig. 4 に示す 3 つの場合について調査した。溶鋼の攪拌効果は取鋼中心に落下する場合が良好であり、取鋼中心と側壁の中央に落下する場合にはやや弱い。また底部近くで転炉に近い側の取鋼壁よりの所に、流れの弱いよどみを生じる。図中で、×印の位置は、鋼浴の攪拌が大きく合金鉄の投入位置としては適当である。前述の RI を含む Si-Mn の実験の際にはこの位置を狙つた。なお攪拌効果がより良好なのは、出鋼孔を鍋中心線より偏位させた場合で、流体は鍋の下部より最上部まで旋回流が得られ、出鋼終了後の運動持続時間も長い。これとは異なるが Pittsburgh steel Co<sup>2)</sup> では出鋼孔を 8° だけ偏位させて良好な混合効果が得られたと報告している。出鋼速度については、早いほうが攪拌は大きい、RI を使った試験では、出鋼速度 25~40 t/min の間ではほとんど差は認められなかった。

次に holding time を取る場合の取鋼内の湯の動きについて考える。取鋼の上部は鋼滓におおわれているので熱損失は小さいが、側壁および底部ではレンガの熱吸収と放熱によつて溶鋼の温度は低下する。100 t 取鋼での実測によると温度降下は約 1°C/min である。取鋼内の溶鋼に温度勾配ができると、取鋼内で対流が発生する。この状況を知るため取鋼中に湯を入れてインクを投入し、周囲は水で冷却して流線を観察した。Fig. 5 (a) に示すように、湯は取鋼の側壁近傍では上部から下部へ移動し、取鋼高さの半分より下では取鋼の中心に向つて動きその後上方へ向う。取鋼底面では熱放散によつて温度の下つた密度の重い流体が停滞してほとんど動かない部分がある。

Fig. 5 (b) に注入中の取鋼内の流体の流れを示す。図中の斜線部分は流体の動きの弱いよどみであり、ノズルと反対側の底部のよどみは、注入時間の経過とともに a → b → c と下降する。流体の動きが大きいのは、ノズルの上部近傍である。したがつて注入ノズルからの流体の排出は、必ずしも取鋼下層から順次上層に向うとは言えない。前述したように holding time を取つた時に、Fig. 3 に示したように、注入初期の試料の計数値が異常を示すが、これは RI の沈降、対流および注入中の流動等のかねあいによるものと思われる。

3.3 溶融速度

Si-Mn の溶融温度は 1290°C であり、半径 50 mm φ の粒子が 1600°C の溶鋼中に投入されると、5~10 sec で溶けるはずであるが、実際には粒子群として投入される

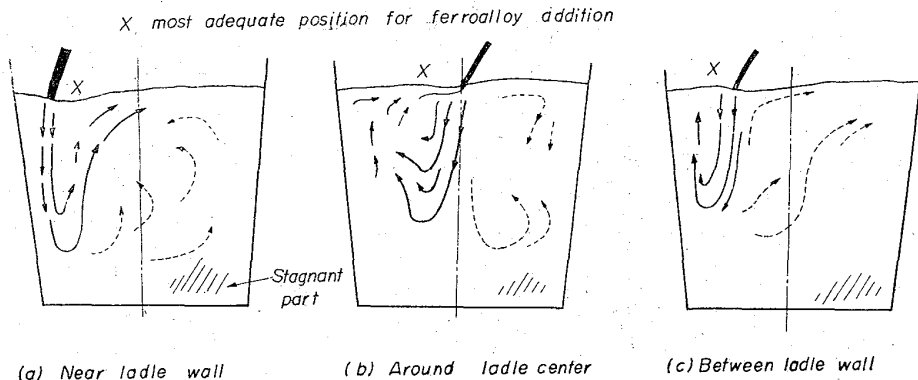


Fig. 4. Metal flow of tapped steel in ladle according to falling positions.

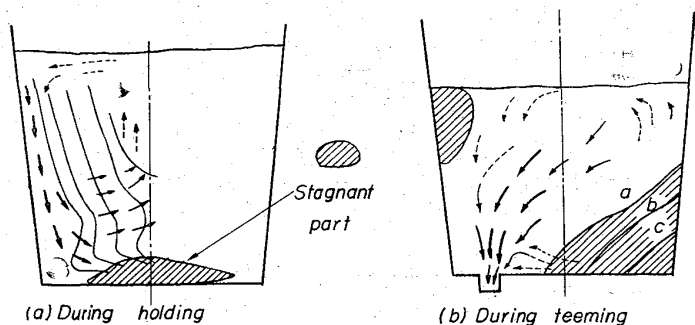


Fig. 5. Metal flow in ladle.

ためその数倍かかると思われる。粒子は小さいほうが早く溶けるはずであるが、15 mm 立方程度の Si-Mn を使った経験では、出鋼に巻き込まれないと溶鋼表面に浮く傾向が認められた。ちなみに Si-Mn の比重は 6.52 で、キルド鋼の比重 7.2 より小さい。

3. 結 言

取鍋内の溶鋼成分の均一化をはかるため、RI および模型実験によつて調査を行なつた結果、次のことが解つた。

- (1) 取鍋内成分の均一化のためには、溶鋼 75% 出鋼時までに合金鉄の投入を完了することが必要で、それより以降に投入すると最終鋼塊の濃度が高くなる傾向がある。
- (2) 出鋼後 10 min 以上 holding time をとれば、対流等によつて溶鋼成分の均一化に効果があると思われる。
- (3) 合金鉄の投入位置は、溶鋼流によく巻き込まれるように Fig. 4 の×印の位置が適当である。

文 献

- 1) 森, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 442
- 2) David R. BAILEY, et ali.: Iron & Steel Eng., 42 (1965) 5, p. 95

(86) 出鋼脱ガス法について

日本製鋼所, 室蘭製作所

守川平四郎・池見 恒夫  
田辺 潤平・○福本 勝

Tapdegassing Process.

Heishirō MORIKAWA, Tsuneo IKEMI,  
Junpei TANABE and Masaur FUKUMOTO.

1. 結 言

鋼の溶解, 精錬あるいは造塊過程において溶鋼の真空処理を行なうと, 得られる製品の性質が著しく向上することはよく知られている。この真空処理の主たる効果は酸素, 水素, 窒素等のガス成分の除去であるが, これに伴つて酸化物系介在物の減少をはじめ内部性状および材力の向上が期待される。近年, 真空ポンプその他機器類の急速な進歩に伴ない, これらの真空処理が工業的規模で広く行なわれるようになり, 製鋼技術の発展に寄与している。当所においても昭和 34 年に真空造塊設備を設置し, 大型高級鍛造用鋼塊の製造を行なつてきた。す

でに報告したように真空造塊法の採用により大巾な品質改善をはかることができた。昭和 37 年からは, 真空処理による脱酸をさらに有効に行なうとともに, 鑄鋼製品や 1 溶解で数個の鋼塊を製造する場合にも真空処理を行なうべく出鋼脱ガス法を採用した。本報告では当社における出鋼脱ガス法の効果を脱酸, 脱水素および鋼塊内部の清浄度について調べた結果を述べる。

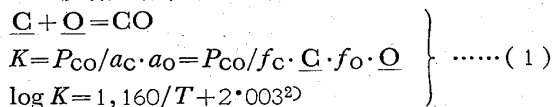
2. 出鋼脱ガス法の概要

装置の概略を Fig. 1 に示す。本法の主たる効果はつぎのとおりである。

- a) 鑄鋼品や 1 溶解で数個の鋼塊を製造する場合にも真空処理を行なうことができる。
  - b) 真空処理を精錬工程に直結することにより時間損失およびこれに伴なう温度降下の防止が可能となる。
  - c) 取鍋中にあらかじめ脱酸剤あるいは合金元素を入れておくことによつて有利に脱酸, 脱水素, 脱窒素を行なうことができる。
  - d) c) の操作による各種合金元素の歩留向上。
- ここで c) 項について若干の説明を加える。

2.1 脱 酸

溶鉄中に単純に溶解している酸素は, 雰囲気中の酸素分圧を  $10^{-6}$  mmHg 程度まで下げても除去することは困難であるが炭素が存在すると,



なる反応を起こし低圧下では C と平衡する O は著しく低下する。しかし, この関係は純粹なる Fe-C-O 系においてのみ成立するものであつて Si, Mn, Al, Cr その他の成分が共存する場合は異なつた様相を呈する。これらの共存元素が溶鋼中で O と結合して酸化物を形成している場合と, 酸化物を形成しないまでも溶鋼中の O および C の活量に対して影響している場合について検討してみる。まず, 前者の場合, 溶鋼の真空処理で酸化物が C

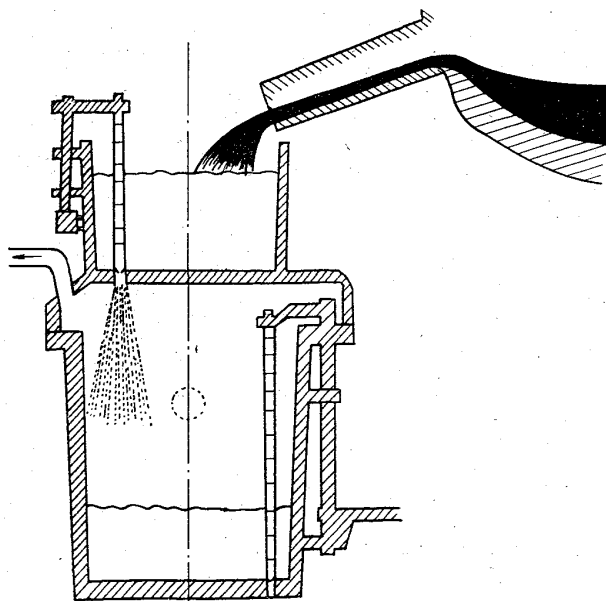


Fig. 1. Artist conception of tapdegassing process.