

DH脱ガス過程における取鍋内溶鋼の攪拌-混合現象について*

70631

成田 貴一**・牧野 武久***

On the Agitation and Mixing of Molten Steel in a Ladle during DH Degassing Treatment

Kiichi NARITA and Takehisa MAKINO

Synopsis:

The behavior of agitated flow and the mixing efficiency of molten steel in a ladle during DH degassing treatment was analogized by observing the motion of glycerin solution in a model equipment. The results were as follows.

- (1) The motion of the fluid after spouting out from a degassing vessel into a ladle is changed by the moving speed of ladle and the viscosity of fluid.
- (2) The volume of fluid, which is lifted up into degassing vessel from the ladle at one cycle of ladle lifting, does not depend on the viscosity of fluid but on the moving speed of a ladle.
- (3) The number of cycles required for mixing addition agent uniformly in the ladle is related to the moving speed of ladle and the viscosity of fluid, and is also closely related to the volume of fluid lifted up into degassing vessel.

(Received Mar. 30, 1970)

1. 緒 言

清浄度のすぐれた鋼を大量にかつ安価に製造するひとつの方法として、ここ数年来DH脱ガス装置が製鋼工場にひろくとり入れられるようになり、脱ガス処理用鋼としての新しい鋼種の開発も進みつつある。DH脱ガス法は取鍋あるいは真空槽を上下させることにより、取鍋内の溶鋼の一部を真空槽内に吸上げて減圧下の雰囲気と接触させ、溶鋼中の水素および酸素をすみやかに除去すると同時に、装置特有の攪拌流によつて合金剤の添加ならびに非金属介在物の浮上分離を効率よくおこなえるという利点をもっている。このような脱ガス過程における各種精錬反応あるいは合金添加の挙動は、溶鋼流の特性によつて大きな影響をうけるものと考えられ、DH脱ガス法に関する最近の研究においてもこのような立場から解析している例が多い^{1)~3)}。そこで著者らは脱ガス過程における溶鋼流の特性を、おもに取鍋内溶鋼の攪拌混合という立場から把握するために、取鍋の昇降運動によつて生ずる攪拌の状態および混合効率におよぼす諸因子の作用について、グリセリン水溶液を用いた模型実験によつて観察した。その結果を以下かんたんに述べる。

2. 実験方法

2.1 実験装置

本実験に用いた装置は、脱ガス槽ならびに取鍋の模型、

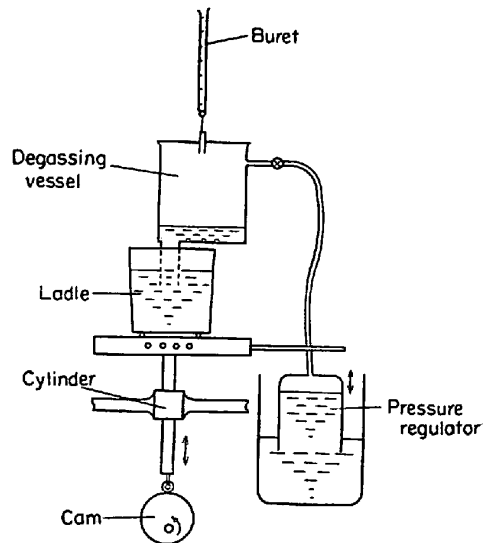


Fig. 1. Model equipment for DH degassing process.

取鍋の昇降駆動装置および圧力調整装置からなり、その概略図を示すと Fig. 1 のとおりである。脱ガス装置の模型は実際の装置と幾何学的にほぼ相似形で、およそ1/13の大きさをもった透明アクリル樹脂製のものを用いた。取鍋の昇降は直流電動機の回転をカムを用いて上

* 昭和44年10月本会講演大会にて発表
昭和45年3月30日受付

** (株)神戸製鋼所 中央研究所 理博工博

*** (株)神戸製鋼所 中央研究所

下運動にかえることによっておこない、その運動が実作業の場合とほぼ相似形になるようにカムを選んだ。

実作業の場合、脱ガス槽内を真空にすることにより、取鍋内の溶鋼は大気と接している面からおよそ 1480 mmの高さまで吸上げられるが、本実験の場合には比重がほぼ 1 に近いグリセリン水溶液を用いているため、取鍋内の液体を幾何学的に相似な高さにまで吸上げるための圧力差は大気圧に比較してひじょうに小さい。したがって取鍋内の液体が脱ガス槽内に吸上げられて脱ガス槽内の容積が減少すると、それにもなつて圧力が增加するので、規定の吸上量をうることができない。そこで本実験では Fig. 1 に示したように取鍋の昇降とまったく同じ上下運動をする適当な断面積をもつた円筒を水浴中に挿入し、脱ガス槽内の容積と円筒内の容積の和を一定にすることにより、脱ガス槽内の圧力をつねに一定に保つた。

2.2 取鍋内の液体の流れの観察方法

取鍋内の液体中に着色スポンジの小片を浮遊させ、その運動を追跡することにより流れの状態を観察した。また脱ガス槽内に合金が投入され、高濃度の溶鋼が取鍋内に吐出（としゆつ）されたのちの流れの方向を推定するため、脱ガス槽上部にあけた小さな穴からビュレットを用いて黒色染料を添加し、それが攪拌流によつて取鍋内にひろがっていくようすを観察した。

2.3 取鍋内の液体の混合速度の測定方法

脱ガス槽内に投入された合金が取鍋内の溶鋼に均一に混合される速度を推定するため、脱ガス槽上部のビュレットから塩化カリウム水溶液を添加し、取鍋内の液体の電気伝導度の変化を検出することによつて混合時間を測定した。測定装置は Fig. 2 に示したように、2組の白金対電極、オシレーター、交流ブリッジおよびペンレコーダーからなり、液体中に電解質が存在しない場合には交流ブリッジの対辺抵抗を調整して電流を最小しておく。脱ガス槽内に電解質水溶液が添加されて取鍋内に吐出されると2対の電極付近の液濃度に差異が生ずるため、交流ブリッジの平衡がやぶれて濃度差に対応する電位差が生ずる。この電位差を連続的に測定し、ある時間経過後、対電極で検出される電気伝導度に差がなくなり、交流ブリッジがふたたび平衡になつたとき取鍋内の液体が均一に混合されたものとして、これに要した時間をもつて混合時間とした。また取鍋内に設置する電極の位置は攪拌流の強い底部と比較的に攪拌流の弱い液面付近を選んだ。

なお塩化カリウムが拡散によつて液体中を移動する影響をしらべるため、取鍋内の液体を静止させたのち、塩

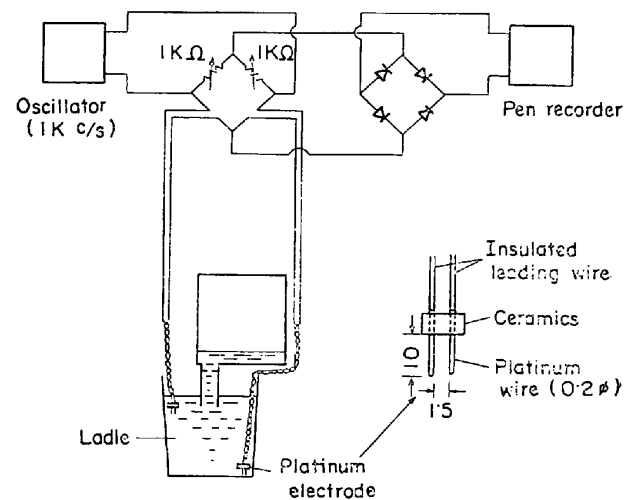


Fig. 2. Apparatus for measurement of time required for mixing.

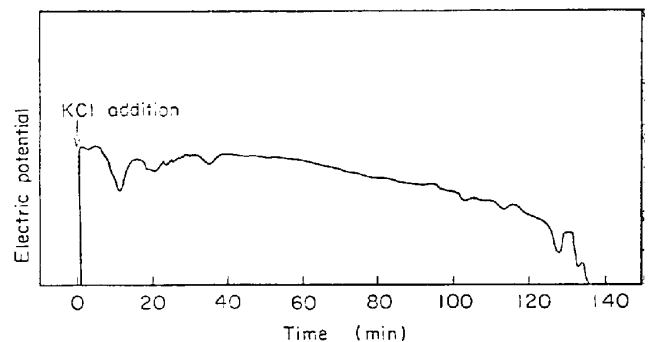


Fig. 3. Change of electric potential after addition of KCl in water at static state.

化カリウムの結晶をガラス棒の先に付着させてできるだけ静かに一方の電極付近に添加して、両極間に電解質の濃度差をつくり、電気伝導度の変化をしらべた結果を示すと Fig. 3 のとおりである。Fig. 3 からあきらかなように塩化カリウムの添加によつて両極間に生じた電位差は、ひじょうに長い時間ほぼ一定値を示しており、したがって塩化カリウムが拡散によつて移動する速度は、本実験における液体の流れに比較して十分小さいものとして無視した。

以上のような方法によつて混合時間を測定した一例を示すと Fig. 4 のとおりである。

また脱ガス槽内に吸上げられる液面の上限と下限の差を測定し、この値を用いて吸上量を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 取鍋内の液体の流れ

取鍋に入れた水あるいはグリセリン水溶液中に着色スポンジの小片を浮遊させ、その運動を観察した。脱ガス槽から吐出された液体は取鍋底部に向かつて下降し、底

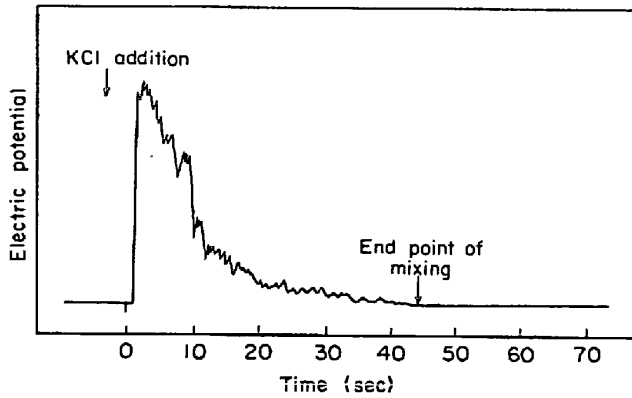


Fig. 4. Example for measurement of time required for mixing.

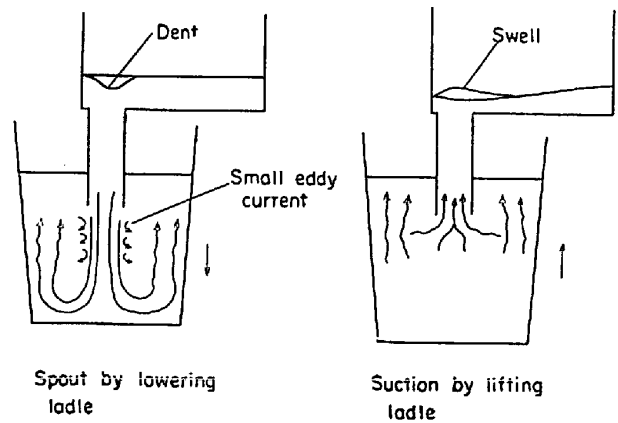
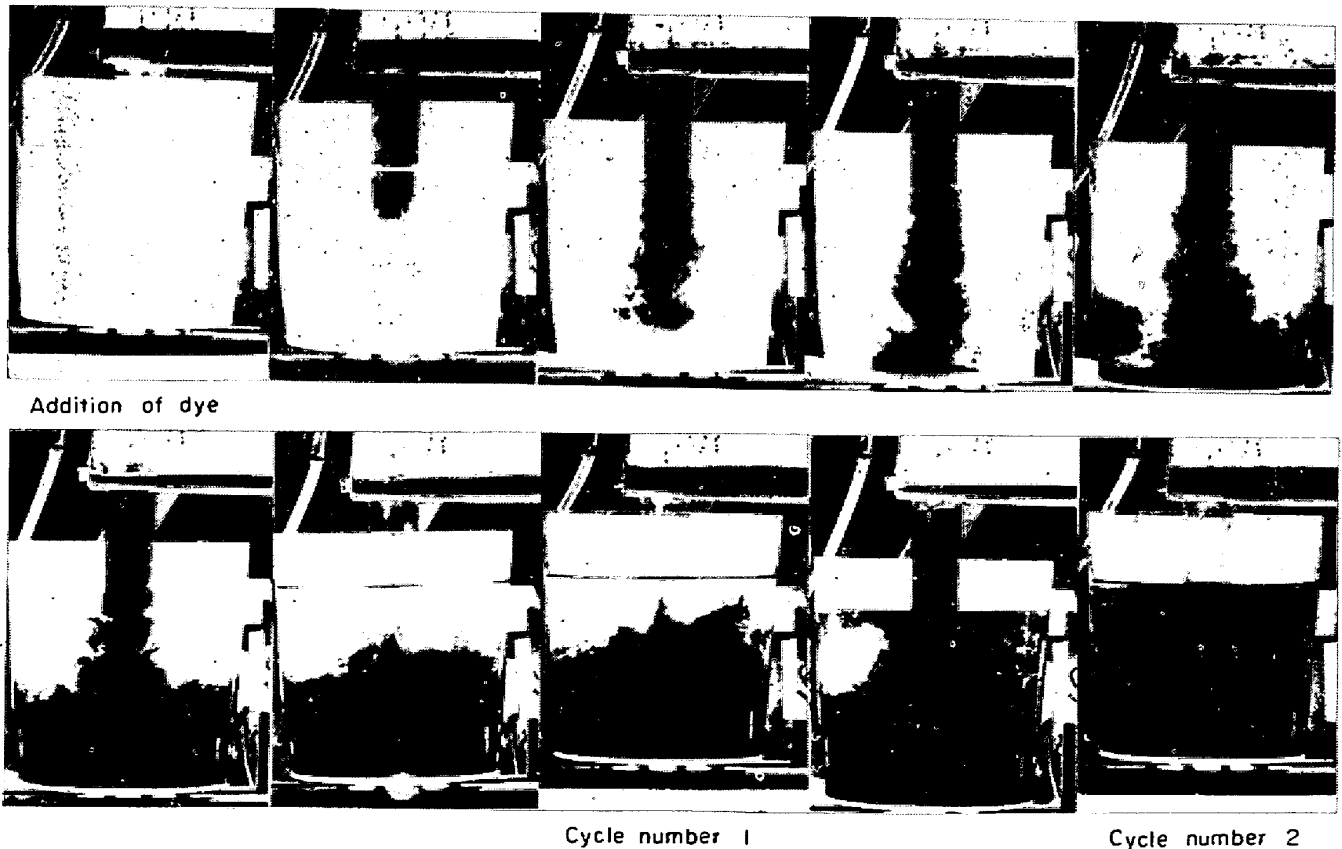


Fig. 5. Flow pattern of agitated fluid in ladle.

部に達したのち向きをかえて上部へと上昇しながらひろがつていく。取鍋底部ではひじょうに強い攪拌流が生じているが、液面付近では比較的ゆるやかな流れしか生じていない。代表的な流れのようすを模式的に示すと Fig. 5 のとおりである。流れの強さや局所的な流れの形は取鍋の昇降速度や液体の粘性などによつて変化するので、その詳細な挙動をしらべるため、脱ガス槽内に添加した黒色染料が取鍋内に混合されていくようすを 16 mm 撮影機によつて撮影した。その結果を分解写真によつて示すと Photo. 1 ~ Photo. 4 のとおりである。使用

した液体は水 (密度 1 g/cm^3 , 粘性係数 1 c.p) および 60% グリセリン水溶液 (密度 1.15 g/cm^3 , 粘性係数 11 c.p) で、取鍋の昇降周期を 2.7 sec , 6.8 sec および 12.7 sec の 3 段階に変化させた。なお黒色染料の添加は取鍋の昇降を数回以上くりかえして攪拌流が定常状態になつたのち、取鍋が上昇し終わる直前におこなつた。これらの写真からあきらかなように、吐出時および吸上時の流れのようすは取鍋の昇降周期および液体の粘性によつて変化していることがわかる。

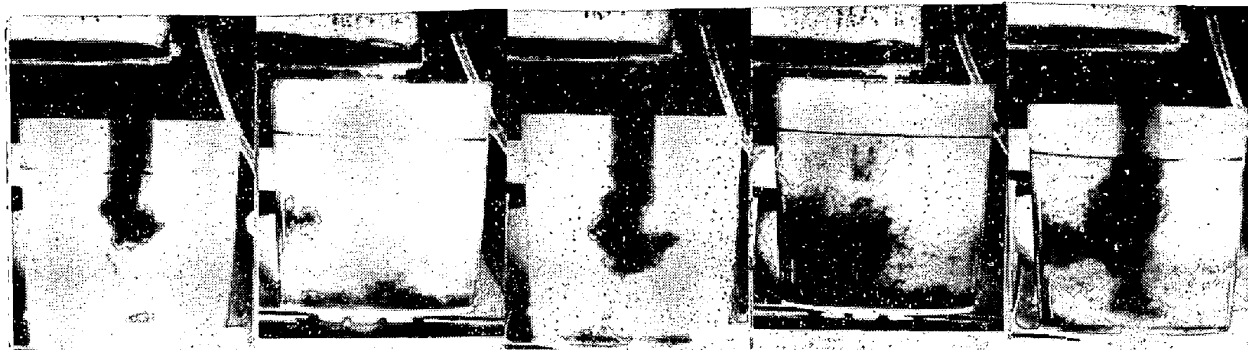


(Periodic time for ladle lifting : 6.8 sec/cycle Fluid used : water)
Photo. 1. Behavior of agitated flow in ladle.



Addition of dye

Cycle number 1



Cycle number 2

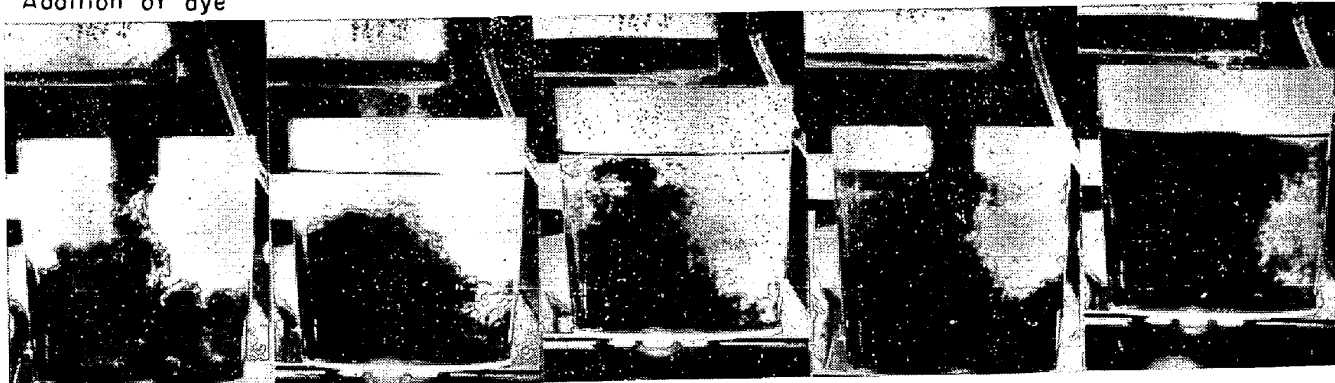
Cycle number 3

(Periodic time for ladle lifting : 2.7 sec/cycle Fluid used : water)

Photo. 2. Behavior of agitated flow in ladle.



Addition of dye

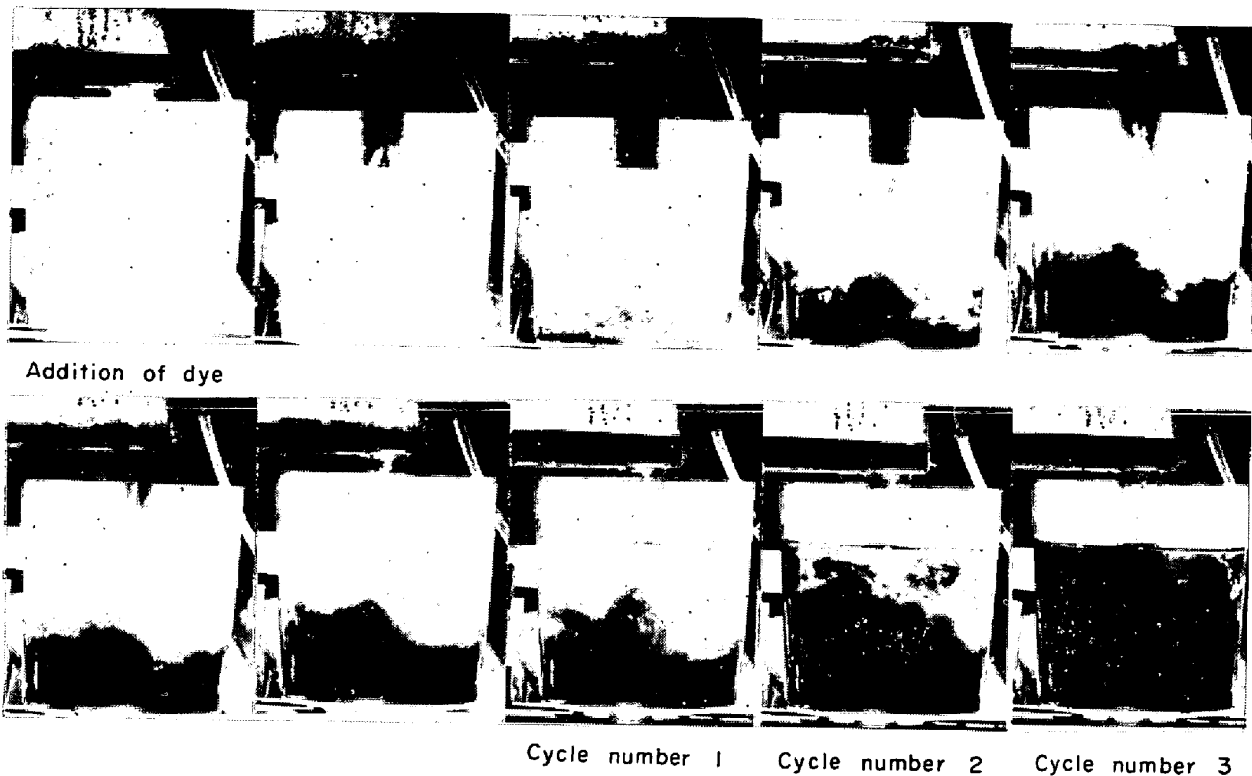


Cycle number 1

Cycle number 2

(Periodic time for ladle lifting : 12.7 sec/cycle Fluid used : water)

Photo. 3. Behavior of agitated flow in ladle.



(Periodic time for ladle lifting : 6.8 sec/cycle Fluid used : 60% glycerin solution)

Photo. 4. Behavior of agitated flow in ladle.

(1) 昇降周期の影響

Photo. 1 および Photo. 2 を比較すると、取鍋の昇降周期が小さい場合（昇降速度が大）には、吸上量ならびに吐出量が小さく、吐出された液体が取鍋底部にまでじゅうぶんゆきとどかないため、取鍋底部から上部へ向かつて上昇しながらひろがつていく力が弱いことがわかる。また昇降速度が大きいと脱ガス槽内での滞留時間が短いので、脱ガス槽内に添加された黒色染料がよく混合されないうちに吐出されてしまう。そして一度吐出された液体が取鍋内にとどまらずにそのままふたたび脱ガス槽内に吸上げられてしまう傾向も強くあらわれており、混合という立場からすると効率が悪い。一方取鍋の昇降周期が大きい場合（昇降速度が小）には、脱ガス槽から吐出された液体はいきおいよく取鍋底部に衝突し、そのはねかえりによつて効率よく上部へひろがつていく。しかも取鍋内に吐出された液体のほとんどが取鍋内にとどまっていることがわかる。ここで液体の流れの形を検討するときによく用いられるフルード数（流体の速度と装置の大きさの平方根の比）を模型と実際の装置とで近似的に一致させると、模型実験の場合の周期はおよそ 7sec となり、Photo. 1 に示された液体の挙動とほぼ相似性をもつていると考えてさしつかえない。

つぎにさらに昇降周期を大きくした場合について

Photo. 3 において考えてみると、脱ガス槽から吐出された液体のひろがりのようすは Photo. 1 の場合とほとんど同じであり、したがつて昇降周期をある値以上に大きくとつても混合の効率にはあまり影響をおよぼさないと考えられる。

(2) 液体の粘性の影響

取鍋の昇降周期をまったく同じにして、液体の粘性のみを変化させた場合の流れのようすを Photo. 1 および Photo. 4 において比較してみると、取鍋内に生じている流れの形にはそれほど差異がないが、粘性の大きな場合のほうが染料のひろがる速度が小さいことが認められる。すなわち粘性が大きくなると流れの形は変わらないが混合速度が小さくなる。以上のことをまとめるとつぎのようになる。

(1) 取鍋内の流れの形は取鍋の昇降速度によつて変化し、昇降速度をあまり大きくすると混合効率が低下する。

(2) 液体の粘性が大きくなると、流れの形にはあまり顕著な変化はないが、流れのいきおいが弱くなり、混合効率が小さくなる。

したがつて実操業の場合には溶鋼の粘性はほぼ一定であるから、取鍋の昇降速度をどのように選ぶかが問題であり、昇降速度を大きくしすぎないように注意すること

はもちろん、逆に小さくしすぎることにも作業時間を長引かせる原因となるので留意する必要がある。

3.2 取鍋内の液体の混合速度

グリセリン水溶液を用いた模型実験によつて、脱ガス槽内に投入された合金が取鍋内の溶鋼中に均一に混合される速度を推定するためには、模型の大きさを考慮して取鍋の昇降速度およびグリセリン水溶液の物性値(密度、粘性など)などを適当に選び、混合速度におよぼす種々の因子の影響をしらべ、模型と実際の装置との間で共通して成立するような関係を導びくことが必要である。そこでまず混合速度に関係すると思われるおもな因子を考えてみるとつぎのようなものがあげられる。

- (1) 取鍋の昇降周期 T (sec)
- (2) グリセリン水溶液の粘性係数 μ (g/cm·sec)
- (3) グリセリン水溶液の密度 ρ (g/cm³)
- (4) 模型の大きさ D (cm)
- (5) 重力定数 g (cm/sec²)

このほかに一般的には取鍋の L/D など装置の形状の問題を考慮しなければならないが、本実験の場合には模型と実際の装置とがほぼ相似形であるので、大きさの因子としては縮尺のみを考慮した。また溶鋼と取鍋壁とのまさつ、取鍋内の温度分布あるいは合金の溶解反応などの問題は、実験上困難をとまなうので考慮しなかつた。

いま混合速度を混合に要する時間 t によつてあらわすと、この混合時間とさきあげた因子との間の関係は、一般に(1)式で示される。

$$f_1(t, T, \mu, \rho, D, g) = k \text{ (定数)} \dots\dots\dots (1)$$

(1)式で示されるような因子間の関係を実験によつて求める場合、おのおのの因子を独立に変化させてその因子だけの影響をしらべようとすることは多くの労力を要し、とくに D の値をいろいろと変化させることははなはだ困難である。そこでひとつの数学的な手法として次元解析をおこなうと、 π 定理により 6 個の変数は (t/T) 、 $(\mu T/\rho D^2)$ および $(\sqrt{g} T/\sqrt{D})$ なる 3 個の無次元項に集約され、(1)式は(2)式のようにかきなおすことができる。

$$f_2(t/T, \mu T/\rho D^2, \sqrt{g} T/\sqrt{D}) = k \text{ (定数)} \dots (2)$$

すなわち t を含む無次元項 (t/T) は $(\mu T/\rho D^2)$ および $(\sqrt{g} T/\sqrt{D})$ なる 2 個の無次元項の関数としてあらわされることが予想される。したがつてあえて模型の大きさを変化させなくても 3 個の無次元項の間の関係を模型実験によつて求めることができ、実際の装置での混合時間のある程度予想することができる。ここで t/T は取鍋内の液体を均一に混合するのに要する昇降回数(吸上回数)に相当している。そこでこれらの 3 個の無次元

Table 1. Experimental condition.

Factor	Experimental condition
T	2.7~13.0 (sec)
μ	1~38 (c.p)
ρ	1.0~1.19 (g/cm ³)
D	1 (cm)
g	0.98 (10 ³ cm/sec ²)
$\mu T/\rho D^2$	2.7~300
$\sqrt{g} T/\sqrt{D}$	2.7~13

項の間の関係を求めるため、Table 1 に示したような範囲内で T 、 μ および ρ を変化させた場合の t を測定した。まず混合に要した吸上回数 t/T と $\mu T/\rho D^2$ との関係プロットした結果を示すと Fig. 6 のとおりである。この図からあきらかなように t/T と $\mu T/\rho D^2$ との間に相関が認められ、この関係は $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値によつてわずかながら異なつていくことがわかる。すなわち混合に必要な吸上回数は $\mu T/\rho D^2 > 20$ の範囲では $\mu T/\rho D^2$ の増加にとともに急激に増加するが、 $\mu T/\rho D^2 < 20$ の範囲ではその傾向は顕著でない。また $\mu T/\rho D^2$ が小さな範囲では、 $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値によつて吸上回数が増加している。そこで $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値によつて t/T がどのように変化するかをしらべるため、 t/T と $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ との関係プロットしてみると Fig. 7 のようになる。すなわち $\mu T/\rho D^2 < 50$ では吸上回数と $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ との間には関係があり、吸上回数は $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ がおよそ 5 より小さいところで $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の増加とともに減少するが 5 より大きいところではほとんど変化していない。これに対して $\mu T/\rho D^2 > 50$ では吸上回数と $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ との間には相関が認められない。以上のことからつぎのようなことがあきらかになつた。

(1) 取鍋の昇降周期 T を一定に保つて液体の粘性係数と密度との比 μ/ρ を変化させた場合、混合に必要な吸上回数 t/T は μ/ρ が小さい範囲ではそれほど変化しないが、ある値以上では急激に増加する。これは液体の粘性が大きい場合にはその影響が大きい、ある値以下になるとそれほど影響してこないことを示している。

(2) 液体の粘性および密度を一定に保つて昇降周期を変化させた場合、混合に必要な吸上回数の変化は、粘性が小さい範囲ではある昇降周期を境にしてその傾向を異にしている。すなわち $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値がおおよそ 5 以下では昇降周期を大きくすれば吸上回数は減少するが 5 以上ではほとんど変化していない。これは昇降周期を大きくするにしたがい、脱ガス槽から吐出された液体が慣性によつて取鍋内を循環するための時間がじゅうぶん与えられるためであり、またのちにのべるように 1 回の

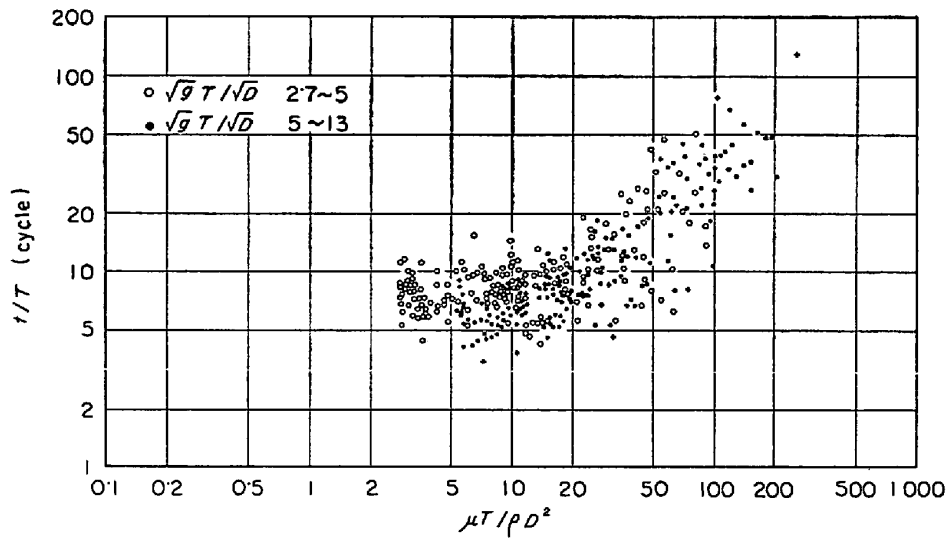


Fig. 6. Relation between number of cycles required for mixing (t/T) and $\mu T/\rho D^2$.

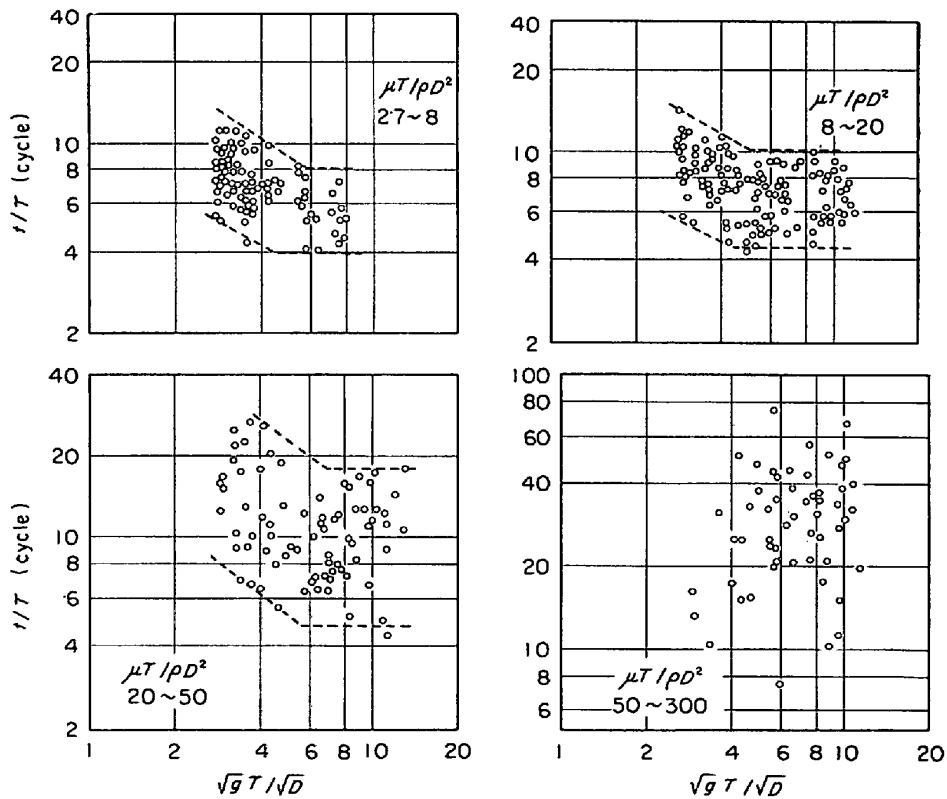


Fig. 7. Relation between number of cycles required for mixing (t/T) and $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$.

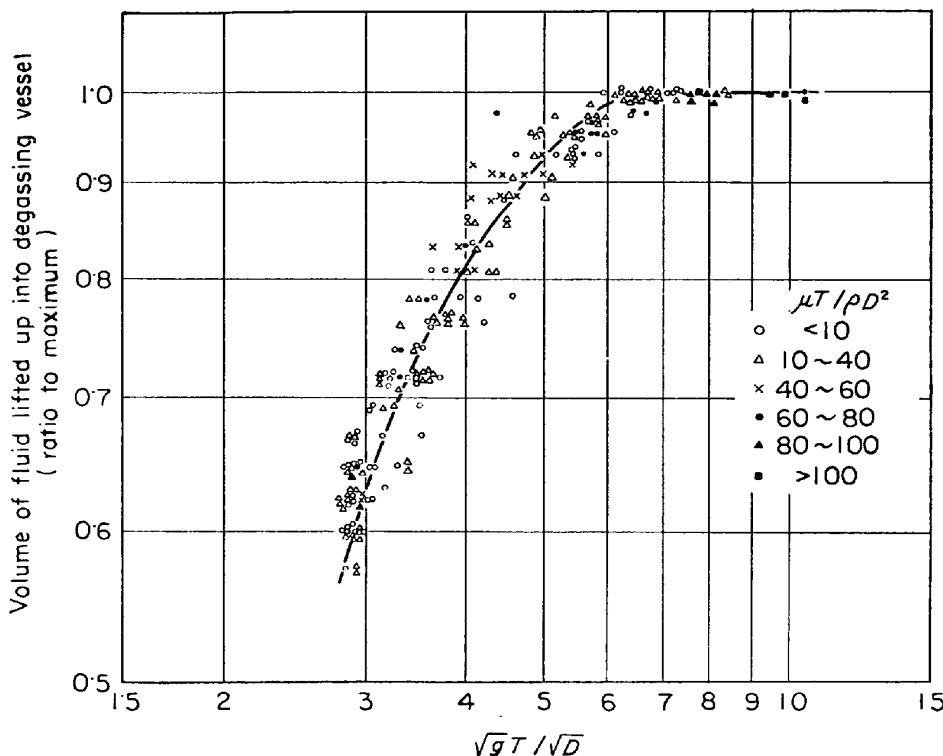


Fig. 8. Relation between volume of fluid lifted up into degassing vessel and $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$.

昇降による吸上量とも関係しており、昇降周期を小さくすると吸上量が減少し、混合の効率が低下するのに対して、昇降周期をある値以上に保てば吸上量がほとんど飽和に達しているからである。そしてさらに昇降周期を大きくしても、慣性によって取鍋内を循環するための時間がじゆうぶん与えられるかわりに、脱ガス槽から取鍋内へ向かつて吐出される速度が減少してくるので、混合に必要な吸上回数はそれ以上減少しないものと考えられる。

3.3 混合速度と吸上量との関係

すでにのべてきたことからあきらかなように、混合に必要な吸上回数が取鍋の昇降周期や液体の粘性によって変化するようすは、脱ガス槽内に吸上げられる液体の量の変化と何らかの形で対応しているものと考えられる。そこで1回の昇降による吸上量と $\mu T/\rho D^2$ および $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ との関係をプロットしてみると Fig. 8 のようになる。ここで吸上量は T をじゆうぶん大きくとつた場合を1としてあらわした。Fig. 8 からあきらかなように吸上量は $\mu T/\rho D^2$ の影響をほとんどうけず、 $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値によって変化していることがわかる。すなわち $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値がおよそ6以下では T を小さくすると急激に減少するが、6以上ではほぼ飽和に達しており、これより昇降周期を大きくしても吸上量はそれ以上増加していない。吸上量が飽和に達するときの $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$

値は Fig. 7 において混合に必要な吸上回数が一定値に近づくときの $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の値にはほぼ一致している。ここで吸上量が $\mu T/\rho D^2$ の値に依存しないということは、 T を一定に保てば粘性の影響をほとんどうけないことを意味しており、この現象は一見すると矛盾しているかのように思えるが、取鍋の昇降運動の途中に取鍋をいったん停止する段階が入っているので、本実験条件の範囲内ではその停止している間に粘性による流れのおくれをとりもどすことができたのであろうと考えられる。

つぎに混合に必要な吸上量の総和を取鍋内の液体量との比であらわし、この全吸上量と $\mu T/\rho D^2$ および $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ との関係を示すと Fig. 9 および Fig. 10 のとおりである。Fig. 9 からあきらかなように混合に必要な全吸上量と $\mu T/\rho D^2$ との関係は、Fig. 6 に示した吸上回数と $\mu T/\rho D^2$ との関係とほぼ同様の傾向にある。また Fig. 10 において $\mu T/\rho D^2$ が比較的小さな範囲では混合に必要な全吸上量は $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ の影響をほとんどうけていないことがわかる。

いつぼう Fig. 7 においてすでにのべたように、 $\mu T/\rho D^2$ の小さな範囲では $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ と吸上回数との間にはある一定の関係があり、 $\sqrt{g} T/\sqrt{D}$ を小さくしていくと吸上回数が増加している。これはとりもなおさず Fig. 8 に示した1回の吸上量が昇降周期によって変化するのと対応している。いつぼう Fig. 10 において粘

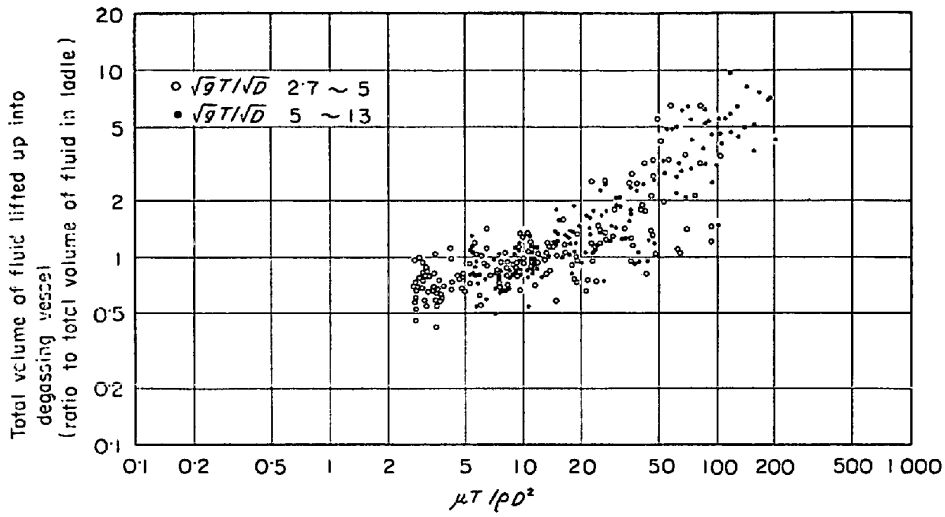


Fig. 9. Relation between total volume of fluid lifted up into degassing vessel to the completion of mixing and $\mu T / \rho D^2$.

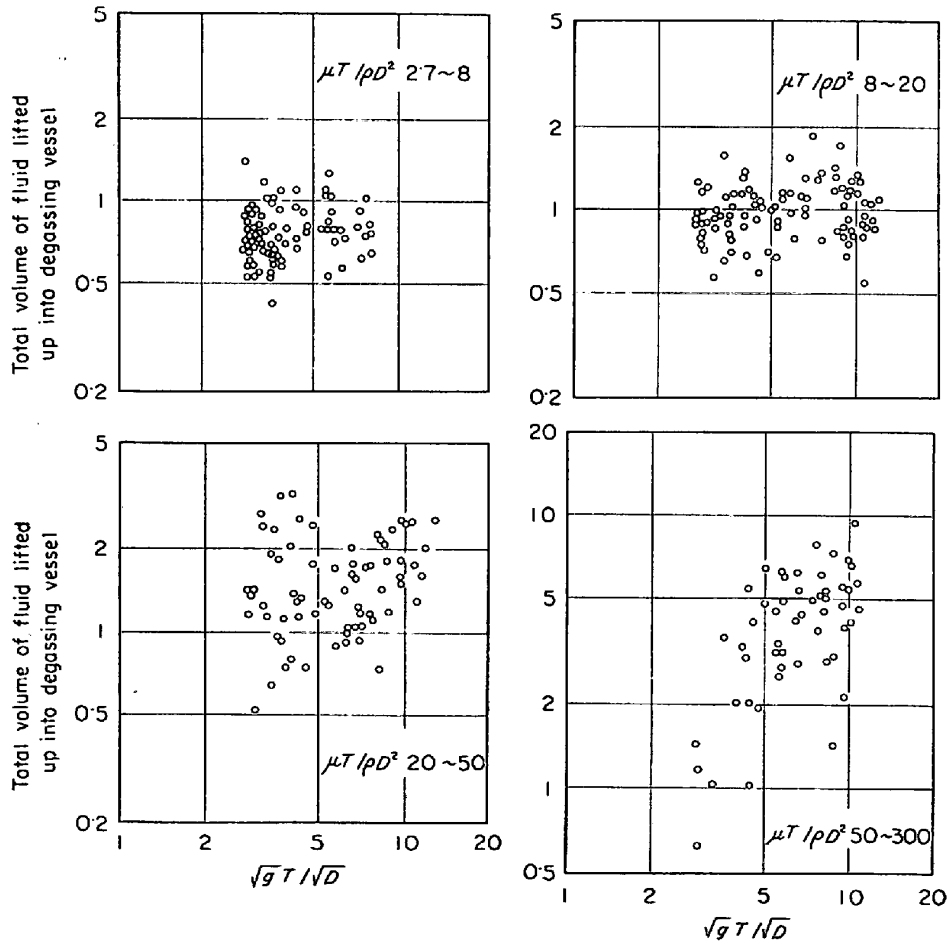


Fig. 10. Relation between total volume of fluid lifted up into degassing vessel to the completion of mixing and $\sqrt{g} T / \sqrt{D}$.

性の大きい範囲では混合に必要な全吸上量が昇降周期とともに増加しているが、これは粘性が大きくなり、しかも昇降周期が大きくなると脱ガス槽から吐出される速度が小さくなつて攪拌力が弱まるため、より多くの吸上量を必要とするからであると考えられる。

3.4 模型実験による測定値と実際の装置との対応

模型実験によつてえられた測定値を実際の装置に適用する場合には、まず $\mu T/\rho D^2$ および $\sqrt{g}T/\sqrt{D}$ の値を一致させなくてはならない。そこで実際の装置でこれらの値を求めてみると

$$\begin{aligned}\mu T/\rho D^2 &\approx 0.1 \\ \sqrt{g}T/\sqrt{D} &\approx 6.9\end{aligned}$$

となる。混合に必要な吸上回数を推定するためには、Fig. 6 あるいは Fig. 7 においてこの2個の無次元項の値に対応する t/T の値を読みとればよいわけであるが、本実験では $\mu T/\rho D^2 > 2.7$, $2.7 < \sqrt{g}T/\sqrt{D} < 13$ の範囲でしか測定していないため、これらの値を同時に一致させることは不可能である。しかしながら本実験の結果から、 $\mu T/\rho D^2$ の値が小さな範囲 ($2.7 < \mu T/\rho D^2 < 50$) では $\sqrt{g}T/\sqrt{D}$ の値が5以上であれば、混合に必要な吸上回数は $\sqrt{g}T/\sqrt{D}$ の影響をほとんどうけないことと、 $2.7 < \mu T/\rho D^2 < 20$ の範囲では吸上回数におよぼす $\mu T/\rho D^2$ の影響が比較的小さいことがあきらかになつてゐる。そこで $\mu T/\rho D^2$ がさらに小さいところ ($0.1 < \mu T/\rho D^2 < 2.7$) においてもこの傾向が大きく変化しないものと仮定すれば、Fig. 6 において $\sqrt{g}T/\sqrt{D} > 5$ に対応した測定点に着目し、 $\mu T/\rho D^2 = 0.1$ に対応する t/T の値を外挿することによつて混合に必要な吸上回数はおよそ3~4回であることが推定される。本実験では合金の溶解反応ということを考慮していないため、実際にはこれよりもわずかながら多い目の吸上回数を必要とするであろう。なお Au を脱ガス槽から投入して、アクチバブル・トレーサー法によつて取鍋内溶鋼の攪拌状態をしらべた結果、およそ4回の吸上げによつてほぼ均一に混合されることがわかつた。

4. 結 言

DH脱ガス過程において、脱ガス槽内に投入された合

金が取鍋内に吐出されたのち、どのような溶鋼流によつて混合されるかその挙動をしらべるため、グリセリン水溶液を用いて模型実験をおこなつた結果つぎのようなことがあきらかになつた。

(1) 取鍋内の液体の流れの状態は、取鍋の昇降周期あるいは液体の粘性によつて変化する。昇降周期をかえた場合、これを小さくしすぎると脱ガス槽内に吸上げられる液体の量が減少し混合効率が低下するが、昇降周期がある程度に大きくすれば取鍋内に吐出された液体がいきおいよく取鍋底部に衝突し、そのはねかえりによる攪拌効果が大きい。また液体の粘性が大きくなると流れのいきおいは弱くなるが、流れの形はそれほど変化しない。

(2) 1回の昇降による吸上量は液体の粘性にはほとんど影響をうけず、昇降周期のみに依存し、昇降周期がある値以下にすると吸上量は急激に減少する。

(3) 混合に必要な吸上回数は昇降周期ならびに液体の粘性によつて変化する。粘性の大きな範囲ではその影響が強くあらわれ吸上回数が激増するが、粘性が小さくなると比較的その影響は弱く、むしろ昇降周期の影響が強くあらわれてくる。すなわち昇降周期がある値より小さな範囲で急激に増加する。この値は1回の昇降による吸上量が変化する点とほぼ一致している。

(4) 混合に必要な全吸上量は粘性が大きい場合をのぞいては昇降周期の影響をほとんどうけず、粘性だけに依存している。

本実験によつて得られた測定値はひじょうにばらつきが大きく、測定方法ならびに電極の挿入位置などを再検討する余地がある。

文 献

- 1) 森, 谷沢, 松田, 田中: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1898
- 2) H. KNÜPPEL and F. OETERS: Arch. Eisenhüttenw., 37 (1966) 8, p. 621
- 3) 大久保, 坂田, 長, 苔林: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, S. 121
- 4) 大久保, 坂田, 長, 苔林: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, S. 122
- 5) 三沢, 鞭: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, S. 123