

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-213600

(P2017-213600A)

(43) 公開日 平成29年12月7日(2017.12.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
B 2 2 D 11/11 (2006.01)	B 2 2 D 11/11 D	4 E 0 0 4
B 2 2 D 11/04 (2006.01)	B 2 2 D 11/04 3 1 1 J	
B 2 2 D 11/116 (2006.01)	B 2 2 D 11/116	
B 2 2 D 27/02 (2006.01)	B 2 2 D 27/02 U	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2017-92912(P2017-92912)
 (22) 出願日 平成29年5月9日(2017.5.9)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-108612(P2016-108612)
 (32) 優先日 平成28年5月31日(2016.5.31)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 504174135
 国立大学法人九州工業大学
 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
 (74) 代理人 100090697
 弁理士 中前 富士男
 (74) 代理人 100176142
 弁理士 清井 洋平
 (74) 代理人 100127155
 弁理士 来田 義弘
 (72) 発明者 河野 晴彦
 福岡県飯塚市川津680-4 国立大学法人九州工業大学内
 (72) 発明者 岩永 貴裕
 福岡県飯塚市川津680-4 国立大学法人九州工業大学内
 Fターム(参考) 4E004 AA09 MB11

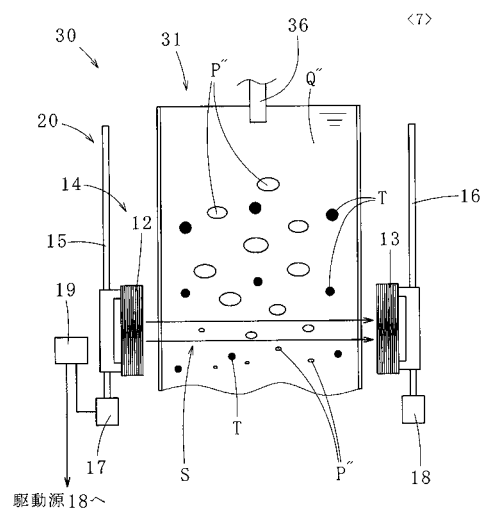
(54) 【発明の名称】 気泡又は介在物もしくは双方の除去装置及び除去方法

(57) 【要約】

【課題】電磁ブレーキを作用させた導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を安定的に取り除く除去装置及び除去方法を提供する。

【解決手段】収容体31に入れられて流れが生じている導電性流体Q' 'から気泡P' '及び介在物Tの一方又は双方を取り除く除去装置30であって、収容体31を間に挟んで鉛直方向に非平行な向きに間隔を空けて配された第1、第2の印加部12、13を有し、第1の印加部12から第2の印加部13に向けた直流磁場Sを発生させて、導電性流体Q' '中に導電性流体Q' 'の流れを抑制するブレーキ領域を設けるブレーキ発生手段14と、収容体31に対し第1、第2の印加部12、13を昇降させる昇降手段20とを備える。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

収容体に入れられて流れが生じている導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を取り除く除去装置であって、
前記収容体を間に挟んで鉛直方向に非平行な向きに間隔を空けて配された第 1、第 2 の印加部を有し、該第 1 の印加部から該第 2 の印加部に向けた直流磁場を発生させて、前記導電性流体中に該導電性流体の流れを抑制するブレーキ領域を設けるブレーキ発生手段と、前記収容体に対し前記第 1、第 2 の印加部を昇降させる昇降手段とを備えることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の気泡又は介在物もしくは双方の除去装置において、前記第 1、第 2 の印加部は水平方向の前記直流磁場を発生させることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の気泡又は介在物もしくは双方の除去装置において、前記収容体は連続鑄造設備の鑄型であり、前記導電性流体は溶鋼であることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去装置。

【請求項 4】

収容体に入れられて流れが生じている導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を取り除く除去方法であって、
前記収容体を間に挟んで鉛直方向に非平行な向きに間隔を空けて第 1、第 2 の印加部を配置し、該第 1 の印加部から該第 2 の印加部に向けて発生した直流磁場によって、前記導電性流体中に該導電性流体の流れを抑制するブレーキ領域を設け、前記収容体に対し前記第 1、第 2 の印加部を昇降させて前記ブレーキ領域を上下動させることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の気泡又は介在物もしくは双方の除去方法において、前記第 1、第 2 の印加部は水平方向の前記直流磁場を発生させることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去方法。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 記載の気泡又は介在物もしくは双方の除去方法において、前記収容体は連続鑄造設備の鑄型であり、前記導電性流体は溶鋼であることを特徴とする気泡又は介在物もしくは双方の除去方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、導電性流体から気泡及び / 又は介在物を取り除く除去装置及び除去方法に関する。

【背景技術】

【0002】

溶鋼から鑄片を生産する技術において、各メーカーは生産性の向上及び品質レベルの向上にしのぎを削っている。一般的に生産性の向上と品質レベルの向上はトレードオフの関係にあり、その 2 つを同時に達成することは容易ではない。

連続鑄造工程では、鑄型に注がれた溶鋼が温度の低下によって凝固し始めるため、高品質な製品を生産する点においては、鑄型内の溶鋼の流れを制御することが重要である。

【0003】

溶鋼の流れの制御には電磁ブレーキを利用することができ、その具体例が、特許文献 1 ~ 6 に記載されている。

例えば、特許文献 1 には、直流磁場印加装置を設けて鑄型内の溶鋼に電磁ブレーキを生じさせ、鑄型の下方に交流移動磁場装置を設けて鑄型内に溶鋼の上昇流を生じさせる技術が

10

20

30

40

50

記載されている。

【0004】

また、溶鋼の制御についての解析結果が非特許文献1、2に開示されている。非特許文献1には、鑄型内の溶鋼の下降流に対して静磁場を作用させることにより流れが抑制される効果をシミュレーションによって評価した結果が記載されている。そして、非特許文献2には、浸漬ノズルから注入される溶鋼の流れ及び電磁攪拌流を考慮したメニスカスの流動制御についてのシミュレーション結果が報告されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-212723号公報

【特許文献2】特開2000-273581号公報

【特許文献3】特開2001-47195号公報

【特許文献4】特開2002-45955号公報

【特許文献5】特開2002-239691号公報

【特許文献6】特開平8-224643号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】森下雅史、外3名、「スラブ幅方向に静磁場を印加した連続鑄造機内の溶鋼流動挙動に関する基礎検討」、鉄と鋼 Vol. 87(2001) No. 4、p167-174

【非特許文献2】中島潤二、外1名、「連続鑄造鑄片品質向上のための非金属介在物低減技術の開発」、新日鉄技報 第394号(2012)、p42-47

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、溶鋼の流れを計算する従来のシミュレーションは、その大半が溶鋼を単一の流体と見なして行ったものであり、溶鋼に含まれる気泡や介在物の除去に資する研究例は極めて少ない。気泡や介在物については、浮力による上昇により溶鋼の自由表面から除去されることから、溶鋼の下降を抑制する電磁ブレーキによって、効果的に溶鋼から除去されているものと考えられていた。

【0008】

しかしながら、本発明者らによる検証により、直流磁場を利用した電磁ブレーキを用いることで、溶鋼の流れと共に気泡及び介在物の上昇が著しく抑制され、その上昇の抑制は、密度が同じであれば、気泡又は介在物が微細であるほど顕著となることが明らかになった。従って、微細な気泡や介在物を含んだ状態で溶鋼が固化するという課題が存在する。そして、近年求められているスループットの増加により、溶鋼の下降速度は速まる傾向がある。従って、溶鋼の下降の速さに対する気泡及び介在物の上昇の速さの相対値は低下していることとなり、上記課題はより顕在化するものと考えられる。

【0009】

また、上記課題は、溶鋼に限ったものではなく、導電性流体全般に共通するものである。本発明は、かかる事情に鑑みてなされるもので、電磁ブレーキを作用させた導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を安定的に取り除く除去装置及び除去方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

前記目的に沿う第1の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置は、収容体に入れられて流れが生じている導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を取り除く除去装置であって、前記収容体を間に挟んで鉛直方向に非平行な向きに間隔を空けて配された第1、第2の印加部を有し、該第1の印加部から該第2の印加部に向けた直流磁場を発生

10

20

30

40

50

させて、前記導電性流体中に該導電性流体の流れを抑制するブレーキ領域を設けるブレーキ発生手段と、前記収容体に対し前記第1、第2の印加部を昇降させる昇降手段とを備える。ここで、収容体とは導電性流体が内側に入れられているものであり、収容体には底が有るタイプ及び底が無いタイプが存在し、これは以下も同様である。また、「介在物」とは、導電性流体より単位体積当たりの質量（以下、「密度」とも言う）が小さい介在物、即ち、導電性流体中で浮力により上昇する介在物を意味し、これは以下も同様である。なお、以下、単に「介在物」と記載する際には、導電性流体より密度が小さい介在物を意味するものとする。

【0011】

第1の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置において、前記第1、第2の印加部は水平方向の前記直流磁場を発生させるのが好ましい。

10

【0012】

第1の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置において、前記収容体は連続鋳造設備の鋳型であり、前記導電性流体は溶鋼であるのが好ましい。

【0013】

前記目的に沿う第2の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去方法は、収容体に入れられて流れが生じている導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を取り除く除去方法であって、前記収容体を間に挟んで鉛直方向に非平行な向きに間隔を空けて第1、第2の印加部を配置し、該第1の印加部から該第2の印加部に向けて発生した直流磁場によって、前記導電性流体中に該導電性流体の流れを抑制するブレーキ領域を設け、前記収容体に対し前記第1、第2の印加部を昇降させて前記ブレーキ領域を上下動させる。

20

【0014】

第2の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去方法において、前記第1、第2の印加部は水平方向の前記直流磁場を発生させるのが好ましい。

【0015】

第2の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去方法において、前記収容体は連続鋳造設備の鋳型であり、前記導電性流体は溶鋼であるのが好ましい。

【0016】

本発明者らは、電磁場下における導電性流体の流れと気泡の相互作用を計算可能な数値解析コード（数値解析実行ファイル）を開発し（以下、当該数値解析コードを、単に「解析コード」とも言う）、解析コードを用いて、導電性流体中の気泡の動きを解析した。解析コードによる解析スキームは、流れ場及び電磁場の式の離散化に有限要素法を適用し、変形する自由表面の形状をレベルセット法を用いて計算するものである。本解析スキームで用いた流れ場及び電磁場の支配方程式を以下に示す。

30

【0017】

【数1】

$$\rho_H \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu_H \nabla^2 \mathbf{v} - \rho_H G e_z - \Gamma \kappa \delta_\epsilon + \hat{\mu} H a^2 \mathbf{J} \times \mathbf{B}$$

・・・(式1)

40

【0018】

【数2】

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \dots (式2)$$

【0019】

【数 3】

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad \dots (式 3)$$

【0020】

【数 4】

$$\mathbf{J} = \sigma_H (-\nabla \Psi + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \dots (式 4)$$

【0021】

【数 5】

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla F = 0 \quad \dots (式 5)$$

【0022】

上記の式 1 及び式 2 はそれぞれ非圧縮性流体の運動方程式及び非圧縮性流体の連続の式であり、式 3 は電荷保存則を示し、式 4 はオームの法則を示す。式 5 はレベルセット関数 F の移流方程式であり、気液界面（自由表面）の運動学的条件を表す。なお、式 1～式 5 において、物理量には無次元化を適用し、 v 、 p 、 ρ 、 \mathbf{J} 、 \mathbf{B} はそれぞれ、速度、圧力、電位、電流密度及び磁束密度であり、無次元数 G 、 μ_H 、 $H a$ はそれぞれ、ガリレイ数、表面張力数及びハルトマン数である。そして、 ρ_H 、 μ_H 、 σ_H は、位置に依存する値で、それぞれ密度、粘性係数及び電気伝導率の比を表わし、 \mathbf{e}_z は z 軸の正方向の基本ベクトルを意味し、 \mathbf{n} は気相から液相へ向かう界面上の外向き単位法線ベクトルを意味し、 δ は \mathbf{n} の界面上における発散値を意味し、 δ は近似デルタ関数を意味する。また、式 1 の $H a^2 \mathbf{J} \times \mathbf{B}$ の直前の μ に類似の文字は気体の粘性係数に対する流体の粘性係数の割合を意味する。

10

20

【0023】

また、解析コードによって解析する解析モデル M は、図 1 に示すように、気泡 P を含む導電性流体 Q からなり、気泡 P の初期形状を球形とし、気泡 P の代表長さ L を気泡 P の直径と定める。解析モデル M は $5 L \times 5 L \times 10 L$ の寸法を有し、等分割直交格子により形成されているものとし、直流磁場は水平方向（ y 方向）に印加されているとする。解析コードによる解析によって、ハルトマン数（ $H a$ ）が 0、25、50 である 3 つの解析モデル M を対象に、所定時間経過した際の気泡 P の高さ位置及び気泡 P の形状を求めた結果を図 2 に示す。

30

【0024】

図 2 に示す結果より、ハルトマン数の増加に伴い、気泡 P の上昇が遅くなり、気泡 P が球形に近づくことが分かる。気泡 P の上昇が遅くなるのは、導電性流体 Q の流れを抑制する電磁ブレーキ（ $\mathbf{v} \times \mathbf{B} \times \mathbf{B}$ ）が、気泡 P の浮力による上向きの流れ場と逆向き（下向き）に作用すること、並びに、電磁ブレーキによる導電性流体 Q の流れの抑制度が $H a^2$ の大きさに応じて大きくなること（式 1 参照）に起因する。そして、気泡 P がハルトマン数の増加に伴い球形に近くなるのは、気泡 P の上昇の抑制によって、気泡 P に作用する表面張力の影響が大きくなることが要因である。

40

【0025】

そして、一樣な磁場において、大きさの異なる 2 つの気泡 P_1 、 P_2 （気泡 P_1 、 P_2 の半径 r はそれぞれ $0.5 L$ 、 $0.25 L$ ）が導電性流体 Q 内で上昇する様子を解析コードでシミュレーションした結果（2 つの気泡 P_1 、 P_2 の重心位置の時間的变化）を図 3 に示す。図 3 に示す結果より、気泡 P_1 は気泡 P_2 に比べ速く上昇することが確認できる。気泡 P_1 、 P_2 は、大きいほど大きい浮力が作用して、速く上昇することが分かる。このため、導電性流体 Q の自由表面に到達するまでに要する時間は、小さい気泡 P_2 が大きい

50

気泡 P 1 に比べて長くなる。

【 0 0 2 6 】

図 2、図 3 に示す結果より、直流磁場の印加によって導電性流体の流れを制御する場合、導電性流体中で直流磁場により流れが抑制される領域（以下、「ブレーキ領域」とも言う）においては、ブレーキ領域に位置する気泡の上昇が大きく抑制され、特に、微細な気泡はブレーキ領域内に留まる時間が長くなることが確認できた。なお、これは介在物についても同様であり、密度が同じ介在物であれば、小さいものが大きいものに比べ、ブレーキ領域内に留まる時間が長くなる。

以上の結果を踏まえ、上述した第 1 の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置及び第 2 の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去方法によって、直流磁場による電磁ブレーキの効果を維持しつつ気泡及び介在物を安定的に除去できることを、図 4 に示す気泡・介在物除去装置 1 0 を例に説明する。

【 0 0 2 7 】

気泡・介在物除去装置 1 0 を用いて気泡 P ' が取り除かれる導電性流体 Q ' は、図 4 に示すように、複数の気泡 P ' を含み、収容体 1 1 に入れられている。

気泡・介在物除去装置 1 0 は、収容体 1 1 を中心に収容体 1 1 の左右にそれぞれ配されたコイル 1 2、1 3（それぞれ第 1、第 2 の印加部の一例）及びコイル 1 2、1 3 に電流を与える図示しない電源部を有し、コイル 1 2 からコイル 1 3 に向けた直流磁場 S を発生させて、導電性流体 Q ' 中に導電性流体 Q ' の流れを抑制するブレーキ領域を設けるブレーキ発生手段 1 4 を備えている。ブレーキ領域は、導電性流体 Q ' において、直流磁場 S が生じている領域である。

【 0 0 2 8 】

また、気泡・介在物除去装置 1 0 は、コイル 1 2、1 3 がそれぞれ昇降可能に取り付けられたガイド機構 1 5、1 6、コイル 1 2 をガイド機構 1 5 に沿って昇降させる駆動源 1 7、コイル 1 3 をガイド機構 1 6 に沿って昇降させる駆動源 1 8、及び、駆動源 1 7、1 8 の作動を制御する制御部 1 9 を有している。気泡・介在物除去装置 1 0 においては、収容体 1 1 に対しコイル 1 2、1 3 を昇降させる昇降手段 2 0 が、主としてガイド機構 1 5、1 6、駆動源 1 7、1 8 及び制御部 1 9 によって構成されている。

【 0 0 2 9 】

コイル 1 2、1 3 は、電気が流れている状態で直流磁場 S を発生させる。ブレーキ領域は、コイル 1 2、1 3 の昇降と共に上下に移動する。コイル 1 2 の高さ位置に対するコイル 1 3 の高さ位置は常に同じであり、コイル 1 2、1 3 は、水平方向の直流磁場 S を発生させる。

なお、以下、特に記載しない場合、コイル 1 2、1 3 には電気が流れているものとする。

【 0 0 3 0 】

コイル 1 2、1 3 の基準高さ位置は、図 4 に示すように、導電性流体 Q ' の高さ方向中央より下側であり、コイル 1 2、1 3 が基準高さ位置に配された状態で、基準高さ位置、即ちブレーキ領域に在る気泡 P ' は、浮力による上昇が抑制されている。

コイル 1 2、1 3 が、図 5 (A) に示すように、基準高さ位置から上昇するに伴いブレーキ領域が上昇し、基準高さ位置で上昇が抑制されていた気泡 P ' は上昇の抑制が無い状態となって上昇する。上昇したコイル 1 2、1 3 は、導電性流体 Q ' が存在する所定の高さで停止する。以下、そのコイル 1 2、1 3 の停止位置を上側停止位置とも言う。

【 0 0 3 1 】

基準高さ位置から上昇した気泡 P ' は、図 5 (B) に示すように、コイル 1 2、1 3 が停止している上側停止位置まで上昇し、上側停止位置に設けられたブレーキ領域で気泡 P ' の上昇速度が低下する。

そして、コイル 1 2、1 3 が、図 5 (C) に示すように、上側停止位置から基準高さ位置まで降下するに伴いブレーキ領域が降下することで、上側停止位置に在った気泡 P ' は、ブレーキ領域による上昇の抑制が解除された状態となって上昇する。

従って、気泡・介在物除去装置 1 0 は、気泡 P ' をブレーキ領域で留めた時間を低減でき

10

20

30

40

50

、導電性流体 Q から気泡 P ' を安定的に取り除くことが可能である。

【 0 0 3 2 】

また、気泡・介在物除去装置 1 0 において、収容体 1 1 内の導電性流体中に介在物が存在している場合、気泡・介在物除去装置 1 0 は、コイル 1 2、1 3 の昇降によって、介在物をブレーキ領域で留めた時間を短縮し、介在物を導電性流体の表面まで効率的に浮上させることができる。導電性流体の表面に浮上した介在物は容易に取り除くことができるため、気泡・介在物除去装置 1 0 は、導電性流体から介在物を安定的に取り除くことを可能とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 3 】

第 1 の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置及び第 2 の発明に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去方法は、収容体に対し第 1、第 2 の印加部を昇降させるので、電磁ブレーキを作用させた導電性流体から気泡及び介在物の一方又は双方を安定的に取り除くことが可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 4 】

【 図 1 】 気泡の移動が解析される解析モデルの説明図である。

【 図 2 】 ハルトマン数が異なる同解析モデルの解析結果を示す説明図である。

【 図 3 】 大きさが異なる気泡の上昇のシミュレーション結果を示す説明図である。

【 図 4 】 本発明の気泡又は介在物もしくは双方の除去装置を示す説明図である。

【 図 5 】 (A) ~ (C) は、同除去装置によって気泡を上昇させる様子を示す説明図である。

【 図 6 】 本発明の一実施の形態に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置が用いられる連続鋳造設備の説明図である。

【 図 7 】 同除去装置の説明図である。

【 図 8 】 (A) ~ (C) は、実施例における気泡とブレーキ領域の関係を示す説明図である。

【 図 9 】 実施例及び比較例のシミュレーション結果を示す説明図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 5 】

続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施の形態につき説明し、本発明の理解に供する。

図 6、図 7 に示すように、本発明の一実施の形態に係る気泡又は介在物もしくは双方の除去装置（以下、「気泡・介在物除去装置 3 0」とする）は、連続鋳造設備 3 2 に設けられた鋳型（収容体の一例）3 1 を間に挟み水平方向に間隔を空けて配されたコイル 1 2、1 3（それぞれ第 1、第 2 の印加部の一例）を有し、コイル 1 2 からコイル 1 3 に向けた直流磁場 S を発生させて、鋳型 3 1 に入れられた溶鋼（導電性流体の一例）Q ' ' 中に溶鋼 Q ' ' の流れを抑制するブレーキ領域を設けるブレーキ発生手段 1 4 と、鋳型 3 1 に対しコイル 1 2、1 3 を昇降させる昇降手段 2 0 とを備える。

【 0 0 3 6 】

なお、気泡・介在物除去装置 3 0 において、気泡・介在物除去装置 1 0 と同様の構成については、同じ符号を付して詳細な説明は省略する。

連続鋳造設備 3 2 は、溶鋼 Q ' ' の流れに沿って鋳型 3 1 の上流側に設けられた取鍋 3 3 及びタンディッシュ 3 4 と、鋳型 3 1 から送り出された凝固する工程を経た溶鋼 Q ' ' を所定の経路に沿って搬送する複数のロール 3 5 を備えている。

【 0 0 3 7 】

鋳型 3 1 には、タンディッシュ 3 4 から浸漬ノズル 3 6 を介して溶鋼 Q ' ' が供給され、鋳型 3 1 内の溶鋼 Q ' ' に流れを生じさせている。コイル 1 2、1 3 は、同一高さ位置に配され、ブレーキ発生手段 1 4 は、水平方向の直流磁場 S を発生させて溶鋼 Q ' ' 中にブレーキ領域を設けることで、鋳型 3 1 内の溶鋼 Q ' ' の流れを抑制することができる。ブ

10

20

30

40

50

レーキ領域はコイル12、13の昇降に伴って昇降する。

【0038】

また、浸漬ノズル36は、溶鋼Q' 'と共に不活性ガスを鑄型31内に注入するため、鑄型31内の溶鋼Q' 'は、気泡P' 'を含んだ状態にある。そして、溶鋼Q' '内には、溶鋼Q' '中で浮力により上昇する介在物(例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2)Tが存在している。

昇降手段20は、コイル12、13の昇降に伴ってブレーキ領域を鑄型31に対し昇降させ、気泡P' '及び介在物Tの上昇を鈍化させるブレーキ領域の影響を抑えて、気泡P' '及び介在物Tを溶鋼Q' 'の表面まで効率的に浮上させ、気泡P' '及び介在物Tを溶鋼Q' 'から安定的に取り除けるようにする。

10

なお、気泡・介在物除去装置30は、溶鋼から気泡及び介在物の双方を取り除くためではなく、溶鋼から気泡及び介在物の一方を取り除くために採用してもよい。コイル12、13の昇降速度や昇降範囲は、溶鋼から取り除く対象に応じて適宜調整される。

【0039】

また、気泡・介在物除去装置30を用いて溶鋼Q' 'から気泡P' '及び介在物Tの一方もしくは双方を取り除く除去方法は以下に記すものとなる。即ち、当該除去方法は、鑄型31を間に挟んで鉛直方向に非平行な向き(例えば、水平方向)に間隔を空けてコイル12、13を配置して発生させた直流磁場Sによって、溶鋼Q' '中にブレーキ領域を設け、鑄型31に対しコイル12、13を昇降させてブレーキ領域を上下動させるものである。

20

【実施例】

【0040】

次に、本発明の作用効果を確認するために行った数値実験について説明する。

数値実験は、解析モデルMを対象に解析コードを用いて気泡Pの上昇をシミュレーションしたもので、ブレーキ領域Rを解析モデルMに対して固定した場合(比較例)とブレーキ領域Rを解析モデルMに対して昇降させた(図8(A)~(C)参照)場合(実施例)とで、気泡Pの上昇を比較した。

【0041】

解析モデルMの最下位置を0位置、最上位置を10L位置として、実施例は、図8(A)~(C)に示すように、高さ方向に2Lの長さを有するブレーキ領域Rが、ブレーキ領域Rの下端部を基準として2L位置から6L位置の間で昇降し、ブレーキ領域Rが160の無次元速さで降下するものとした。比較例は、ブレーキ領域Rが、下端部を2L位置に配置して固定されているものとした。また、実施例及び比較例共に、気泡Pの初期状態における重心の位置を1L位置とした。

30

【0042】

シミュレーション結果(実施例と比較例に対応する気泡の重心位置の時間的変化)は図9に示すようになった。なお、図9において、"St"は比較例のブレーキ領域Rの位置を示し、"Moving coil"は実施例を示し、"Static coil"は比較例を示し、Haの値はハルトマン数を示す。

図9に示す結果より、実施例は、比較例に比べて気泡Pが速く上昇することが確認できた。なお、介在物に対しても気泡に対するのと同様のシミュレーション結果が得られるのは言うまでもない。

40

【0043】

以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明は、上記した形態に限定されるものでなく、要旨を逸脱しない条件の変更等は全て本発明の適用範囲である。

例えば、気泡又は介在物もしくは双方の除去装置は、連続鑄造設備以外の設備に設けてもよい。連続鑄造設備以外で当該除去装置を設けることができる例として、チョコラルスキー法によってシリコンの単結晶インゴットを製造する設備が挙げられる。当該設備においては、導電性流体にシリコン融液が採用され、収容体としてシリコン融液を収容する坩堝が採用される。

50

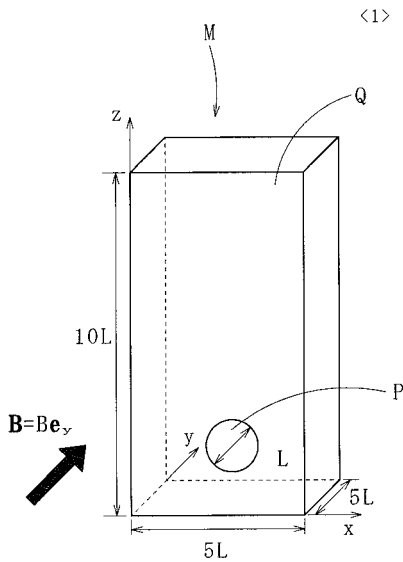
また、直流磁場は、鉛直方向のものでなければ、水平方向のものである必要はなく、例えば、水平方向に傾斜した方向のものであってもよい。

【符号の説明】

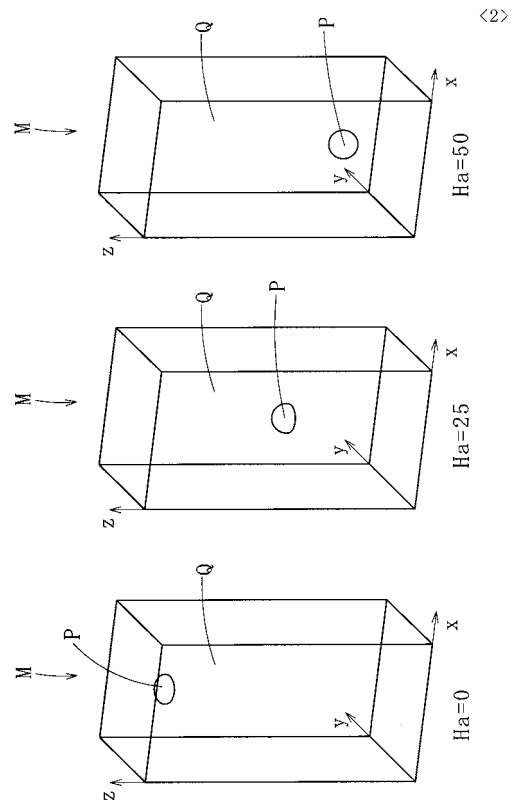
【0044】

10：気泡・介在物除去装置、11：収容体、12、13：コイル、14：ブレーキ発生手段、15、16：ガイド機構、17、18：駆動源、19：制御部、20：昇降手段、30：気泡・介在物除去装置、31：鑄型、32：連続鑄造設備、33：取鍋、34：タンディッシュ、35：ロール、36：浸漬ノズル、M：解析モデル、P、P1、P2、P'、P''：気泡、Q、Q'：導電性流体、Q''：溶鋼、R：ブレーキ領域、S：直流磁場、T：介在物

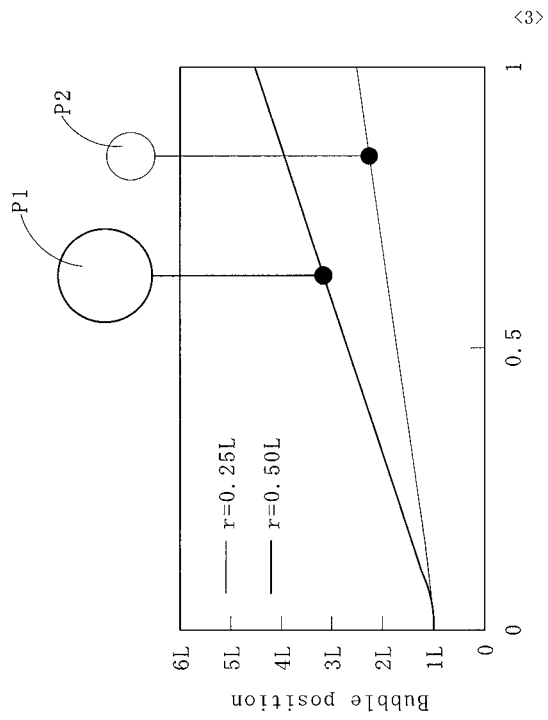
【図1】



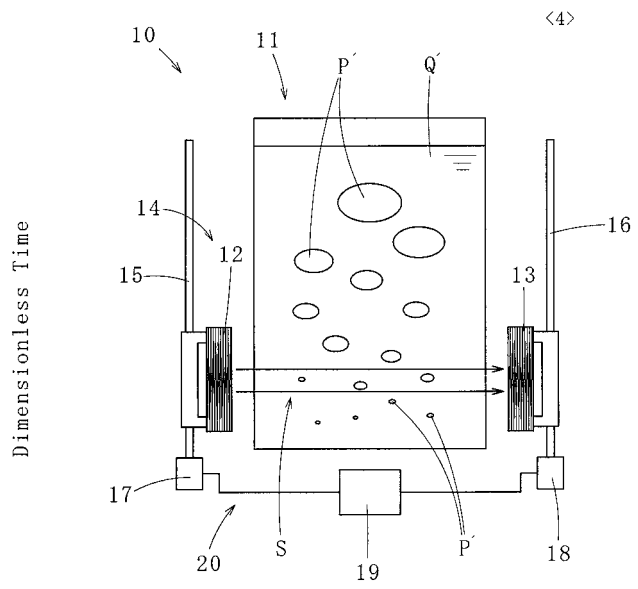
【図2】



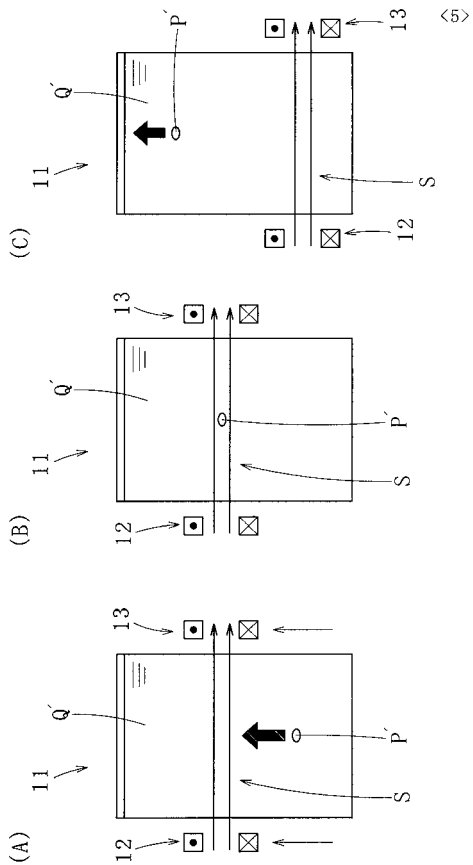
【 図 3 】



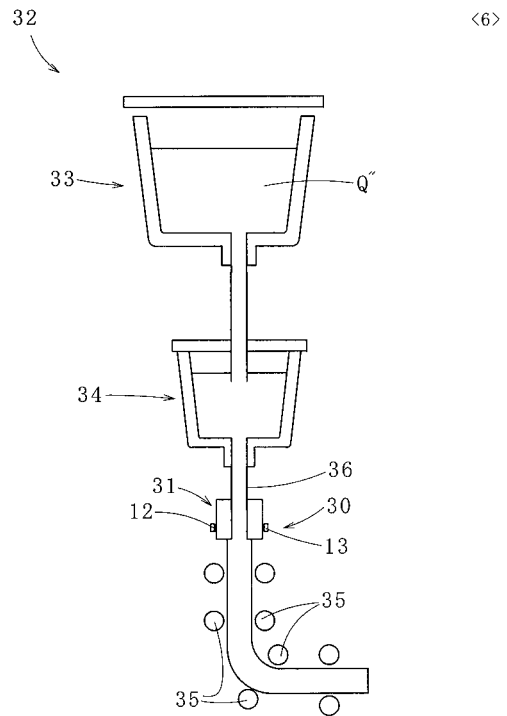
【 図 4 】



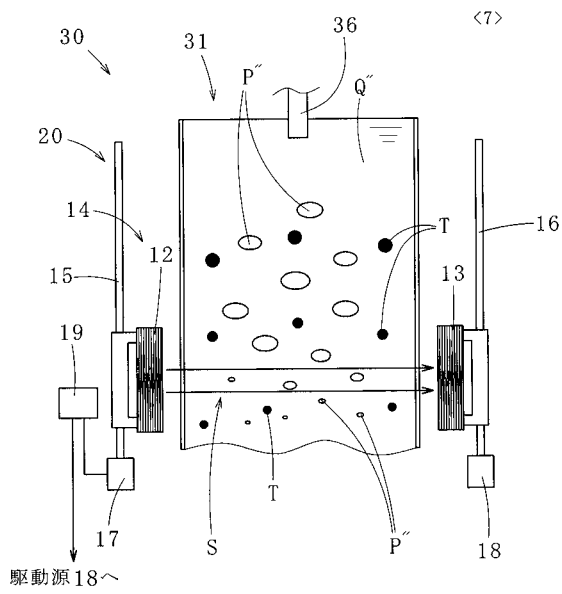
【 図 5 】



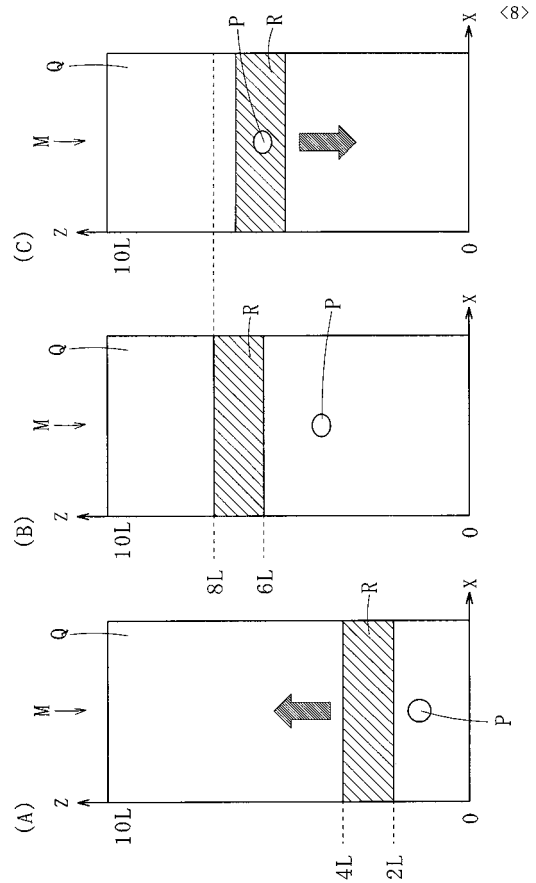
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

