

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年4月21日(21.04.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/060164 A1

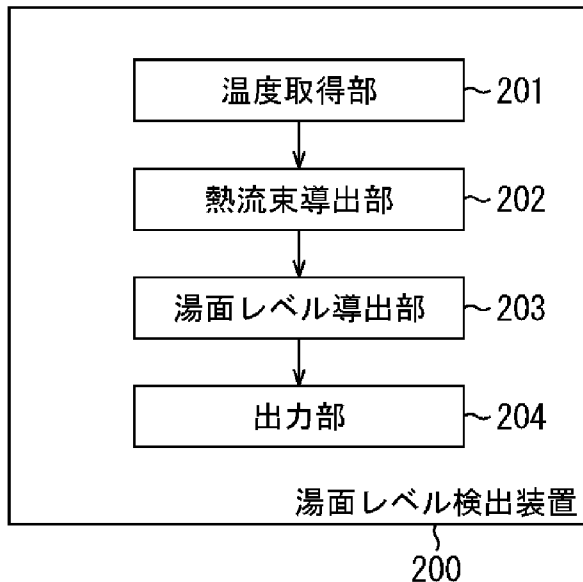
- (51) 国際特許分類:
B22D 11/16 (2006.01) G01F 23/22 (2006.01)
B22D 11/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/079040
- (22) 国際出願日: 2015年10月14日(14.10.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-210712 2014年10月15日(15.10.2014) JP
- (71) 出願人: 新日鐵住金株式会社(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中川 淳一(NAKAGAWA, Junichi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 平本 祐二
- (74) 代理人: 國分 孝悦(KOKUBUN, Takayoshi); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1丁目17番8号 NBF池袋シティビル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: DEVICE, METHOD, AND PROGRAM FOR DETECTING MOLTEN-METAL SURFACE LEVEL IN CONTINUOUS CASTING MOLD

(54) 発明の名称: 連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置、方法およびプログラム

図2



(57) Abstract: A heat flux derivation unit (202) derives the value q_y of the y-axis component of a heat flux vector. A molten-metal-surface-level derivation unit (203) derives, as a molten-metal surface level, the position of maximum absolute value of the y-axis component value q_y of a heat flux vector, the y-axis component vector of which is in the opposite direction from a casting direction.

(57) 要約: 熱流束導出部(202)は、熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y を導出する。湯面レベル導出部(203)は、y軸成分ベクトルが鋳造方向とは逆向きとなる熱流束ベクトルの、y軸方向成分の値 q_y の絶対値が最大となる位置を湯面レベルとして導出する。

FIG. 2.
200 Molten-metal-surface level detection device
201 Temperature acquiring unit
202 Heat flux derivation unit
203 Molten-metal-surface-level derivation unit
204 Output unit

WO 2016/060164 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置、方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置、方法およびプログラムに関し、連続鋳造鋳型内の湯面レベルを検出するために用いて好適なものである。

背景技術

[0002] 連続鋳造設備を操業する際に、連続鋳造鋳型内の湯面レベルを検出して、湯面レベルを安定に制御する必要がある。溶鋼のオーバーフローや浮遊物の巻き込み等を防止することで、鋳片の内部品質の向上を図ることができるからである。湯面レベルとは、溶鋼の表面の高さ位置をいう。連続鋳造鋳型内の湯面レベルを検出する技術として、特許文献1、2に記載の技術がある。尚、以下の説明では、連続鋳造鋳型を必要に応じて鋳型と略称する。

[0003] 特許文献1には、以下の技術が開示されている。鋳型の鋳造方向（鋳型の高さ方向）に沿って等間隔に複数個の測温素子を鋳型内に埋設する。各測温素子の点における温度の時間変化率を演算し、当該時間変化率の最大値を示す測温素子（ n ）を検出する。当該測温素子（ n ）の時間変化率と、当該測温素子（ n ）に隣接する2つの測温素子（ $n-1$ ）、（ $n+1$ ）の時間変化率とを結ぶ二次曲線の最大値を示す位置を求め、当該位置を湯面レベルとする。

[0004] また、特許文献2には、以下の技術が開示されている。鋳型の鋳造方向（鋳型の高さ方向）に沿って間隔をおいて複数の熱電対を鋳型内に埋設する。湯面レベルの検出に際し、まず、初期温度分布を与えることと、仮の湯面レベル（分割位置）を決めることとを行う。仮の湯面レベルが決まると、熱電対で計測された温度変化を用いて、伝熱逆問題解析により、当該仮の湯面レベルでの最大の熱流束と最小の熱流束を算出する。このような仮の湯面レベ

ルでの最大の熱流束と最小の熱流束を、仮の湯面レベルの位置を変更して算出する。算出した仮の湯面レベルの位置のうち、予め実験を行うことにより規定した最大の熱流束および最小の熱流束との差が最も小さくなる仮の湯面レベルを、実際の湯面レベルとする。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開昭53-26230号公報

特許文献2：特許第4681127号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1に記載の技術は、鑄型の鑄造方向の温度が最大となる位置が湯面近傍にあり、この位置が、湯面レベルと或る相関があるという経験則に基づくものである。このように経験則に基づく場合、湯面レベルの検出精度が低くなる虞がある。

[0007] また、特許文献2に記載の技術では、非定常二次元熱伝導方程式で伝熱逆問題解析を行う際に、温度分布の初期値（初期条件）が必要になる。また、鑄造方向における熱流束が離散化した値として計算される。したがって、特許文献2に記載の技術でも、湯面レベルの検出精度が低くなる虞がある。特に、鑄型内の溶鋼の状態が急激に変化して、熱流束の時間変化が大きくなる場合に、湯面レベルの検出精度が低くなる虞がある。

[0008] 本発明は以上の点に鑑みてなされたものであり、連続鑄造鑄型内の湯面レベルの検出精度を高めることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の連続鑄造鑄型内の湯面レベル検出装置は、連続鑄造鑄型の鑄造方向に沿って当該連続鑄造鑄型内に埋設された複数の温度測定手段により測定された温度を取得する温度取得手段と、前記温度取得手段で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内

壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値を導出する熱流束導出手段と、前記熱流束導出手段で導出された、前記連続鑄造鑄型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出手段と、を有し、前記湯面レベル導出手段は、前記鑄造方向成分のベクトルが前記鑄造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鑄造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前記湯面レベルとして導出することを特徴とする。

[0010] 本発明の連続鑄造鑄型内の湯面レベル検出方法は、連続鑄造鑄型の鑄造方向に沿って当該連続鑄造鑄型内に埋設された複数の温度測定工程により測定された温度を取得する温度取得工程と、前記温度取得工程で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値を導出する熱流束導出工程と、前記熱流束導出工程で導出された、前記連続鑄造鑄型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出工程と、を有し、前記湯面レベル導出工程は、前記鑄造方向成分のベクトルが前記鑄造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鑄造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前記湯面レベルとして導出することを特徴とする。

[0011] 本発明のプログラムは、連続鑄造鑄型の鑄造方向に沿って当該連続鑄造鑄型内に埋設された複数の温度測定工程により測定された温度を取得する温度取得工程と、前記温度取得工程で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値を導出する熱流束導出工程と、前記熱流束導出工程で導出された、前記連続鑄造鑄型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鑄造方向成分の値に基づいて、前記連続鑄造鑄型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出工程と、をコンピュータに実行させ、前記湯面レベル導出工程は、前記鑄造方向成分のベクトルが前記鑄造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鑄造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前

記湯面レベルとして導出することを特徴とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、連続鋳造鋳型内の湯面レベルの検出精度を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出システムの構成の一例を示す図である。

[図2]図2は、連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置の機能的な構成の一例を示す図である。

[図3A]図3Aは、非定常伝熱逆問題の座標系の空間 x －時刻 t の2次元断面の一例を示す図である。

[図3B]図3Bは、非定常伝熱逆問題の座標系の空間 x －空間 y の2次元断面の一例を示す図である。

[図4]図4は、湯面レベル検出装置の動作の一例を説明するフローチャートである。

[図5]図5は、湯面レベル検出装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図6]図6は、実施例における熱電対の位置を示す図である。

[図7A]図7Aは、鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値と y 軸方向の位置との関係の一例を概念的に示す図である。

[図7B]図7Bは、鋳型内の温度と y 軸方向の位置との関係を概念的に示す図である。

[図8]図8は、湯面レベルを実測するための装置の構成の一例を示す図である。

[図9]図9は、発明例で検出した湯面レベルと、既存の手法で検出した湯面レベルと、実測した湯面レベルを示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] (連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出システム)

図1は、連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出システムの構成の一例を示す図である。図1は、連続鋳造機を、その高さ方向（y軸方向）に沿って切った断面を示す。

図1において、連続鋳造機は、タンディッシュ11と、浸漬ノズル12と、鋳型（モールド）13と、ピンチロール14a～14dと、を有する。尚、連続鋳造機は、公知の技術で実現できる。したがって、ここでは、連続鋳造機の詳細な説明を省略する。

[0015] タンディッシュ11は、取鍋から供給された溶鋼（金属溶湯）Mを一時的に貯留する。

鋳型13は、タンディッシュ11と間隔を有して、タンディッシュ11の下方に配置される。鋳型13は、例えば、2つの短辺部13a、13bと、2つの長辺部と、を有する。2つの短辺部13a、13bは、幅方向（x軸方向）において相互に対向するように間隔を有して配置される。2つの長辺部は、奥行き方向（x軸およびy軸と垂直な方向）において相互に対向するように間隔を有して配置される。2つの長辺部と2つの短辺部13a、13bにより囲まれる領域は、中空の直方体形状の領域になる。この領域が、鋳型13の内部の領域になる。また、鋳型13の外壁面には、溝が形成される。この溝に冷却水を流すことにより、鋳型13は水冷される。尚、図1では、表記の都合上、長辺部と短辺部のうち、短辺部のみを示す。

[0016] 浸漬ノズル12は、タンディッシュ11に貯留されている溶鋼Mを鋳型13の内部に注入する。浸漬ノズル12は、その基端がタンディッシュ11の底面に位置するとともに、先端側の所定の領域が鋳型13の内部に位置するように配置される。また、浸漬ノズル12の内部とタンディッシュ11の内部は連通している。尚、タンディッシュ11から浸漬ノズル12に供給される溶鋼Mの供給量は、スライディングノズルまたはストッパーにより調節される。

[0017] 鋳型13から下方に引き出された鋼の搬送経路に沿うように、複数対のピンチロール14a～14dが配置される。尚、図1では、二対のピンチロー

ル14a~14dのみを示す。しかしながら、実際には、搬送経路の長さに応じて、より多くのピンチロールが配置される。ピンチロール14a~14dの外側には、複数の冷却スプレーが配置される。複数の冷却スプレーは、鋳型13から下方に引き出された鋼を冷却するための冷却水を当該鋼に対して噴射する。

[0018] このように、鋳型13の内部の注入された溶鋼は、鋳型13で冷却され、その表面から凝固殻15a、15bが形成されて凝固する。表面は凝固殻15a、15bとなっているが内部は凝固していない鋼が、ピンチロール14a~14dによって挟まれながら鋳型13の下端部から連続的に引き出される。このようにして鋳型13から引き出される過程で、冷却スプレーから噴射される冷却水によって鋼の冷却を進めることで、内部まで鋼を凝固させる。このようにして凝固した鋼は、連続鋳造機の下流側で所定の大きさに切断され、スラブ、ブルーム、ビレット等、断面の形状が異なる鋳片が製造される。

[0019] 以上のようにして連続鋳造機で鋳片を製造する際に、鋳型13の内部の溶鋼にパウダー17を随時添加する。パウダー17の薄膜は、鋳型13の内部の溶鋼の表面に加え、鋳型13の内壁面と凝固殻15a、15bとの間にも存在する。このようにしてパウダー17を添加することにより、溶鋼の保温と、溶鋼の酸化の防止と、溶鋼中の介在物の吸収と、凝固殻15a、15bの潤滑性の確保と、溶鋼の熱の抜熱の調整とを行う。このようにして鋳型13内のメニスカス近傍での凝固殻15a、15bを均一に生成することにより、凝固殻15a、15bの表面割れを防止するとともに、鋳型13と凝固殻15a、15bの焼き付きを防止する。

[0020] 鋳型13には、鋳造方向(y軸方向)に沿って複数の熱電対18が埋設される。複数の熱電対18の数は3以上であるのが好ましい。後述する熱流束の計算精度に応じて、複数の熱電対18の数と、相互に隣接する2つの熱電対18の間隔を決定することができる。また、図1に示す例では、複数の熱電対18は、鋳型13の内壁面と外壁面のうち相対的に内壁面に近い領域に

埋設される。ただし、複数の熱電対 18 は、鋳型 13 の内部に埋設されていれば、必ずしも、このような領域に埋設されていなくてもよい。図 1 に示すように、本実施形態では、短辺部 13 a に複数の熱電対 18 が埋設される場合を例に挙げて説明する。しかしながら、短辺部 13 a に加えてまたは替えて短辺部 13 b および 2 つの長辺部の少なくとも何れか 1 つに複数の熱電対が埋設されていてもよい。鋳型 13 の内壁面を稼働面、外壁面を水冷面という。鋳型 13 の各面のうち、溶鋼に接する面が稼働面である。ただし、図 1 に示すようにパウダー 17 を添加する場合には、鋳型 13 の各面のうち、パウダー 17 と接する面が稼働面である。

[0021] (連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置 200)

図 2 は、連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置 200 の機能的な構成の一例を示す図である。連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置を必要に応じて湯面レベル検出装置と略称する。

湯面レベル検出装置 200 は、複数の熱電対 18 により測定された温度を用いて、非定常伝熱逆問題解析を行う。ここで、非定常伝熱逆問題とは、計算領域を支配する非定常熱伝導方程式を基にして、領域内部の温度情報を既知として領域境界での温度や熱流束などの境界条件または初期条件を推定する問題を指す。これに対して、非定常伝熱順問題は、既知である境界条件を基にして、領域内部の温度情報を推定する問題を指す。

[0022] 湯面レベル検出装置 200 は、非定常伝熱逆問題解析を行うことで得られた内外挿温度関数を用いて、鋳型 13 の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向（鋳型 13 の鋳造方向）成分の値を計算する。後述するように、内外挿温度関数は、位置 (x, y) および時刻 t における鋳型 13 の温度を示す関数である。

[0023] 湯面レベル検出装置 200 は、鋳型 13 の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値に基づいて湯面レベルを検出する。湯面レベルは、鋳型 13 内の溶鋼の表面の高さ位置（ y 軸方向の位置）である。

[0024] 鋳型 13 の役割は、溶鋼の冷却および凝固である。このため、非定常伝熱

逆問題解析を行うことにより湯面レベルを検出することを検討する際には、 x 軸方向（鋳型13の抜熱方向）における熱流束の振る舞いが着目され、 y 軸方向（鋳型13の鋳造方向）の熱流束の振る舞いは着目されていなかった。また、熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値は、 x 軸方向成分の値よりも小さい。このため、特許文献2に記載の技術のように離散的な値をとる熱流束を導出する手法では、熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値を用いると誤差が大きくなり、熱流束の計算精度がさらに低下する要因になる。以上のことから、これまで、非定常伝熱逆問題解析を行うことにより湯面レベルを検出する場合を含め、非定常伝熱逆問題解析を行って鋳型13の熱流束を導出する場合には、熱流束ベクトルの x 軸方向成分の値が用いられていた。

[0025] これに対し、本発明者らは、鋳型13内の湯面上にはパウダー17が供給されることから、「鋳型13内の湯面上では、パウダー17による抜熱の影響で、熱流束ベクトルの y 軸方向成分のベクトルのうち、鋳造方向とは逆向きとなる（すなわち、湯面の法線方向を向く）ベクトルの大きさは、鋳型13の他の部位と比べて大きくなる」という推論に基づき、湯面レベルを検出することに想到した。このような着想の下、本実施形態の湯面レベル検出装置200を実現するに至った。以下、本実施形態の湯面レベル検出装置200の具体的な構成の一例を説明する。

[0026] 湯面レベル検出装置200は、温度取得部201と、熱流束導出部202と、熱流束導出部202と、湯面レベル導出部203とを有する。

<温度取得部201>

温度取得部201は、複数の熱電対18で測定された温度[K]を入力し、複数の熱電対18で同じ時刻に測定された温度を出力する。温度取得部201は、このような温度の出力を所定のサンプリング時間ごとに行う。例えば、温度取得部201は、サンプリング時間が経過する度に、複数の熱電対18で測定された温度を入力して出力する。

[0027] <熱流束導出部202>

鋳型13の温度を推定するための内外挿温度関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ を、

温度取得部 201 から出力された温度に基づいて、鋳型 13 の鋳造方向（ y 軸方向）－抜熱方向（ x 軸方向）の 2 次元断面の温度分布の時間変化を予測する数式とする。

[0028] 図 3 A は、非定常伝熱逆問題の座標系の一例を示す図である。図 3 A では、 y 軸方向の或る位置における空間 x －時刻 t の 2 次元断面上の情報量の定義点を示す。図 3 B も、非定常伝熱逆問題の座標系の一例を示す図である。図 3 B では、或る時刻 t における空間 x －空間 y の 2 次元断面上の情報量の定義点を示す。図 3 A と図 3 B は、同一の 3 次元座標（空間 x －空間 y －時刻 t の座標）の 2 次元断面を表したものである。

[0029] 図 3 A および図 3 B において、 x 軸は、鋳型 13 の内壁面を $x = 0$ とする軸であり、鋳型 13 の抜熱方向の位置を示す。 y 軸は、鋳型 13 の上端を $y = 0$ とする軸であり、鋳型 13 の鋳造方向の位置を示す。 x 軸と y 軸は、空間軸である。 t 軸は、時間軸である。

[0030] 図 3 A および図 3 B において、黒丸で示すプロットは、それぞれ、情報量の定義点である。この情報量の定義点は、熱電対 18 の位置と当該熱電対 18 で温度が測定された時刻とを示す。この定義点における情報量は、熱電対 18 で測定された温度を含む。

[0031] 破線で示すプロットも、それぞれ、情報量の定義点である。この情報量の定義点は、鋳型 13 の外壁面における位置と当該外壁面における熱流束を推定する時刻とを示す。本実施形態では、鋳型 13 の外壁面に、熱電対等の温度測定手段がない場合を例に挙げて説明する。そこで、この定義点の情報量を、鋳型 13 を構成する材料と水との間の熱伝達係数 γ と水温 u_w とを既知として定まる熱流束とする。

[0032] 以上の黒丸で示すプロットと破線で示すプロットを情報量の定義点とする。すなわち、図 3 A に示す黒丸で示すプロットと破線で示すプロットと、図 3 B に示す黒丸で示すプロットと破線で示すプロットとにより示される、 x 軸－ y 軸－ t 軸の 3 次元座標上の点のそれぞれが情報量の定義点となる。

[0033] 図 3 A において、タイミング t_N は、複数の熱電対 18 で最新の温度が測定

されたタイミングである。図3Aでは、複数の熱電対18で測定された温度が取得されるたびに、新しいものから順に7個の温度測定タイミング（タイミング $t_0 \sim t_N$ の7つのタイミング）を、情報量の定義点を定める時刻 t として採用する場合を例に挙げて説明する。すなわち、熱流束導出部202は、新たに複数の熱電対18で測定された温度が取得されると、7個の温度測定タイミングのうち、最も古い温度測定タイミングを含む情報量の定義点を7個の情報量の定義点から除外する。そして、熱流束導出部202は、最新の温度測定タイミングを含む情報量の定義点を7個の情報量の定義点に加える。尚、情報量の定義点を定める時刻 t の数は、7つに限定されない。

[0034] また、図3Bでは、複数の熱電対18が、 y 軸方向に沿って等間隔で7個配置される場合を例に挙げて示す。しかしながら、相互に隣接する2つの熱電対の間隔は等間隔でなくてもよい。また、複数の熱電対18の数は7個に限定されない。

[0035] 熱流束導出部202は、以上の情報量の定義点における情報量に基づいて、内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ に含まれる重みベクトル λ_j を導出する。

ここで、内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ の一例について説明する。

まず、2次元非定常熱伝導方程式は、以下の(1)式で表される。

[0036] [数1]

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0, \quad 0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < t < t_{\max} \dots (1)$$

[0037] (1)式において、 a は、鋳型を構成する材料の熱拡散係数 $[m^2/s]$ の平方根である。また、 $0 < x < 1$ および $0 < y < 1$ は、 x 軸および y 軸の座標 (x, y) を、 $[0, 1]$ で規格化していることを示す。すなわち、鋳型13の内壁面における x 軸の座標が「0」、外壁面における x 軸の座標が「1」になるように、 x 軸のそれぞれの座標を定める。また、鋳型13の上端における y 軸の座標が「0」、下端における y 軸の座標が「1」になるよう

に、 y 軸のそれぞれの座標を定める。

鋳型13の外壁面（冷却面）における境界条件は、以下の（2）式で表される。

[0038] [数2]

$$-\beta \frac{\partial u}{\partial x}(1, y, t) = \gamma \left(u(1, y, t) - \frac{g(t)}{\gamma} \right) \quad \dots (2)$$

[0039] （2）式において、 $g(t)$ は、水温 u_w [K]と、鋳型13を構成する材料と水との間の熱伝達係数 γ [W/m²K]との積（ $g(t) = u_w \times \gamma$ ）である。 β は、鋳型13を構成する材料の熱伝導率 [W/mk]である。水温 u_w と、鋳型13を構成する材料と水との熱伝達係数 λ と、鋳型13を構成する材料の熱伝導率 β は、何れも予め設定される値である。水温 u_w としては、例えば、所定時間の平均値を用いることができる。

[0040] （2）式は、鋳型13の外壁面における熱流束のつり合いを示す式である。すなわち、（2）式は、以下の第1の熱流束と第2の熱流束とが等しいことを示す式である。第1の熱流束は、鋳型13の外壁面における鋳型13の抜熱方向の温度勾配と、鋳型13を構成する材料の熱伝導率 β とに基づく熱流束である。第2の熱流束は、鋳型13の外壁面における温度 $u(1, y, t)$ と水温 u_w との差と、鋳型13を構成する材料と水との間の熱伝達係数 γ とに基づく熱流束である。

本実施形態では、熱電対温度関数 $u(x^*, y^*, t)$ を以下の（3）式で表す。

[0041] [数3]

$$u(x^*, y^*, t) = h(t), \quad x^* \in [0, 1], y^* \in [0, 1] \quad \dots (3)$$

（3）式において、 x^* は、熱電対18の位置の x 軸の座標である。 y^* は、熱電対18の位置の y 軸の座標である。熱電対温度関数 $u(x^*, y^*, t)$ は、熱電対18で測定される温度を示す関数であって、熱電対18の位置

(x, y) および時刻 t の関数である。 $h(t)$ は、熱電対 18 により測定された時刻 t における温度である。また、 $x^*, y^* \in [0, 1]$ は、熱電対 18 の x 軸および y 軸の座標 (x^*, y^*) を、 $[0, 1]$ で規格化していることを示す。すなわち、鋳型 13 の内壁面における x 軸の座標が「0」、外壁面における x 軸の座標が「1」になるように、熱電対 18 の x 軸の座標を定める。また、鋳型 13 の上端における y 軸の座標が「0」、下端における y 軸の座標が「1」になるように、熱電対 18 の y 軸の座標を定める。

本実施形態では、内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ を以下の (4) 式で表す。

[0042] [数4]

$$\hat{u}(x, y, t) = \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j) \quad \dots (4)$$

[0043] (4) 式において、内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ は、(1) 式で示す 2 次元非定常熱伝導方程式を満たす温度であり、温度 u の近似解である。

[0044] x_j, y_j は、任意の基準位置ベクトル (x_j, y_j) の要素 (x 軸の座標、 y 軸の座標) である。 t_j は、任意の基準時刻である。基準位置ベクトル (x_j, y_j) および基準時刻 t_j で定まる 3 次元座標上の点は、中心点と呼ばれる。通常は、基準位置ベクトル (x_j, y_j) および基準時刻 t_j を、前述した情報量の定義点と一致させるので、本実施形態でもこのようにする。ただし、基準位置ベクトル (x_j, y_j) および基準時刻 t_j を、前述した情報量の定義点と一致させなくてもよい。

[0045] j は、前述した中心点 (基準位置ベクトル (x_j, y_j) と任意の基準時刻 t_j とにより定まる 3 次元座標上の点) を識別する変数であり、1 から $m+1$ の範囲の整数である。

[0046] m は、 $n_{p1} \times n_t$ で表され、 l は、 $n_{p2} \times n_t$ で表される。

n_{p1} は、鋳型 13 の外壁面における中心点 j の数である。鋳型 13 の外壁

面における中心点 j は、内外挿温度関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ が (2) 式を満足するように設定される、 n_{p2} は、熱電対 18 の位置である。熱電対 18 の位置は、内外挿温度関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ が (3) 式を満足するように設定される。 n_t は、時刻の数である。この時刻は、内外挿温度関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ が (2) 式および (3) 式を満足するように設定される。以上のように、 m は、鋳型 13 の外壁面における位置と時刻とにより定まる中心点 j の数である。また、 l は、熱電対 18 の位置と時刻とにより定まる中心点 j の数である。

[0047] 本実施形態では、中心点 j を情報量の定義点と一致させている。したがって、図 3 A および図 3 B に示す例では、 j の最大値 $m+1$ は、黒丸で示すプロットと破線で示すプロットの合計になる。具体的に、鋳型 13 の外壁面における位置と時刻とにより定まる中心点 j の数は、49 ($=7 \times 7$) であり、熱電対 18 の位置と時刻とにより定まる中心点 j の数 l は、49 ($=7 \times 7$) である。

[0048] $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ は、以下の (5) 式および (6) 式で定まる基底関数である。

[0049] [数5]

$$\phi(x, y, t) = F(x, y, t+T) \quad \dots (5)$$

$$F(x, y, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-(x^2+y^2)/4a^2t} H(t) \quad \dots (6)$$

[0050] (6) 式において、 $H(t)$ は、ヘビサイド関数である。(6) 式は、(1) 式に示す 2次元非定常熱伝導方程式を満たす基本解の形で表現された式である。尚、基本解とは、温度 u の初期条件が δ 関数で表される場合の 2次元非定常熱伝導方程式の解 (温度 u) である。(5) 式において、 T は、2次元非定常熱伝導方程式の基本解の拡散プロフィールを調整するパラメータであり、予め設定される。 T は 0 を上回る値である。

[0051] 以上のように、基底関数 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ は、中心点 j (

基準ベクトル (x_j, y_j) および基準時刻 t_j を基準とした場合の、2次元非定常熱伝導方程式を満たす基本解の形で表現された関数である。

[0052] λ_j は、基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ の内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ に対する重みを表す重みベクトルである。重みベクトル λ_j は、基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ の内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ に対する影響と、当該基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ と異なる他の基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ の内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ に対する影響とのバランスで定まる。基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ は中心点 j ごとに存在し、重みベクトル λ_j も中心点 j ごとに存在する。

[0053] 以上のように、内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ は、基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ および重みベクトル λ_j の積の、中心点 j のそれぞれにおける値の総和で表される。

重みベクトル λ_j は、以下の (7) 式～(10) 式で表される。

[0054] [数6]

$$A\lambda = b \quad \dots (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x}(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi(x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) \\ \phi(x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j) \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots (9)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

[0055] (8) 式、(10) 式において、 k は、情報量の定義点を識別する変数であり、1 から m までの整数である ($k = 1, \dots, m$)。 s は、情報量の定義点を識別する変数であり、 $m + 1$ から $m + l$ までの整数である ($s = m + 1, \dots, m + l$)。 j は、1 から $m + l$ までの整数である ($j = 1,$

・・・, $m+1$)。

行列Aは、 $(m+1) \times (m+1)$ 行列である。bおよび λ は、 $(m+1)$ 次元列ベクトルである。前述したように、 $(m+1)$ は、中心点jの数である。

[0056] (8)式において、 $A = []$ の[]内の「 $\beta \partial \phi / \partial x (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j)$ 」は、行列Aのk行j列成分を表し、「 $\phi (x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j)$ 」は、行列Aのs行j列成分を表す。

[0057] $b = []$ の[]内の g_k には、(2)式に示す $g(t)$ が与えられる。この[]内の g_k は、行列bのk行成分を表す。また、 $b = []$ の[]内の h_{s-m} には、(3)式に示す $h(t)$ が与えられる。この[]内の h_{s-m} は、行列bのs行成分を表す。

[0058] 前述したように、kは、情報量の定義点を識別する変数であり、1からmまでの整数である($k=1, \dots, m$)。mは、 $n_{p1} \times n_t$ で表される。 n_{p1} は、鋳型13の外壁面における中心点jの数である。鋳型13の内壁面におけるx軸の座標が「0」、外壁面におけるx軸の座標が「1」になるように、x軸の座標を定める。したがって、(8)式において、 x_k は「1」になる。

[0059] (7)式～(10)式は、(1)式の2次元非定常熱伝導方程式、(2)式の鋳型13の外壁面における境界条件、(3)式の熱電対温度関数(各位置 (x^*, y^*) ・各時刻tにおいて、鋳型13の内部の熱電対により計測される温度)、および(4)式の内外挿温度関数を満足するよう、情報量の定義点の情報を、(2)式および(4)式の連立方程式に代入して当該連立方程式を解くことにより、重みベクトル λ_j を導出するための式である。連立方程式に代入する前記情報量の定義点の情報には、情報量の定義点の位置、熱電対18の温度、熱電対18の温度の測定タイミング、水温 u_w 、鋳型13を構成する材料の熱伝導率 β 、鋳型13を構成する材料と水の熱伝達係数 γ 、および鋳型13を構成する材料の熱拡散係数aが含まれる。水温 u_w 、鋳型1

3を構成する材料の熱伝導率 β 、鋳型13を構成する材料と水の熱伝達係数 γ 、および鋳型13を構成する材料の熱拡散係数 a については、情報量の定義点により異ならせてもよいし、同じにしてもよい。また、(2)式および(4)式の連立方程式を解く際には、中心点 j の位置も当該連立方程式に代入する。

[0060] 熱流束導出部202は、以上のようにして(7)式～(10)式により、重みベクトル λ_j を導出する。

熱流束導出部202は、温度取得部201から温度を取得する度に、以上の処理を行う。

本実施形態では、熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y は、以下の(11)式で表される。

[0061] [数7]

【数7】

$$q_y = \beta \frac{\partial \hat{u}(x=0, y, t)}{\partial y} \\ = -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3(t-t_j)\sqrt{\pi(t-t_j)}} H(t-t_j) \quad \dots (11)$$

[0062] したがって、熱流束導出部202は、鋳型13を構成する材料の熱伝導率 β と、鋳型13を構成する材料の熱拡散係数 a と、基準時刻 t_j と、中心点 j の数 $m+1$ と、以上のようにして導出した重みベクトル λ_j とを(11)式に代入することにより、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y を導出する。

[0063] <湯面レベル導出部203>

湯面レベル導出部203は、熱流束導出部202で導出された熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y から、熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y と y 軸方向の位置との関係を導出する。湯面レベル導出部203は、この関係から、熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y が負の値を有し且つ絶対値が最大(すなわち最小)となる位置を、湯面レベルとして導出する。本実施形態

では、図1に示すように y 軸を定義する。したがって、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y が最小（負の値のうち絶対値が最大）となる位置が湯面レベルになる。尚、図1に示す向きとは逆向きに y 軸を定義した場合、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y が最大となる位置が湯面レベルになる。このように、湯面レベル導出部203は、 y 軸成分ベクトルが鋳造方向とは逆向きとなる（すなわち、湯面の法線方向を向く）熱流束ベクトルの、 y 軸方向成分の値 q_y の絶対値が最大となる位置を湯面レベルとして導出する。

[0064] <出力部204>

出力部204は、湯面レベル導出部203により導出された湯面レベルの情報を出力する。湯面レベルの情報の出力形態としては、コンピュータディスプレイへの表示、湯面レベル検出装置200の内部の記憶媒体や可搬型記憶媒体への記憶、および外部装置への送信のうち、少なくとも1つを採用することができる。

[0065] (フローチャート)

次に、図4のフローチャートを参照しながら、本実施形態の湯面レベル検出装置200の動作の一例を説明する。

ステップS401において、温度取得部201は、複数の熱電対18で測定された温度を取得する。

[0066] 次に、ステップS402において、熱流束導出部202は、重みベクトル λ_j の導出に必要な数の温度が取得されたか否かを判定する。具体的に、熱流束導出部202は、熱電対18に対する情報量の定義点の数として1個の温度が取得されるまで待機する。図3Aおよび図3Bに示す例では、熱流束導出部202は、 y 軸方向に7個の情報量の定義点があり、 t 軸方向に7個の情報量の定義点があるので、49個の温度が取得されるまで待機する。尚、既に49個の温度が取得されている場合に、同一の時刻において、 y 軸方向の7個の情報量の定義点に対応する温度が取得されると、熱流束導出部202は、同一の時刻における、 y 軸方向の7個の情報量の定義点に対応する温

度のうち、最も古い時刻における温度を削除し、今回取得した温度を追加する。

[0067] この判定の結果、重みベクトル λ_j の導出に必要な数の温度が取得されていない場合には、ステップS401に戻る。そして、重みベクトル λ_j の導出に必要な数の温度が取得されるまで、ステップS401、S402の処理を繰り返し行う。そして、重みベクトル λ_j の導出に必要な数の温度が取得されると、ステップS403に進む。

[0068] ステップS403に進むと、熱流束導出部202は、(7)式～(10)式により、重みベクトル λ_j を導出する。

次に、ステップS404において、熱流束導出部202は、(11)式により、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y を導出する。

[0069] 次に、ステップS405において、湯面レベル導出部203は、熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y とy軸方向の位置との関係を導出する。湯面レベル導出部203は、導出した関係から、熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y が負の値を有し且つ絶対値が最大(すなわち最小)となる位置を、湯面レベルとして導出する。

[0070] 次に、ステップS406において、出力部204は、湯面レベル導出部203により導出された湯面レベルの情報を出力する。

次に、ステップS407において、湯面レベル検出装置200は、湯面レベルの導出を終了するか否かを判定する。この判定は、例えば、湯面レベル検出装置200に対するオペレータによる操作に基づいて行われる。

[0071] この判定の結果、湯面レベルの導出を終了しない場合には、ステップS401に戻る。そして、ステップS401で新たに温度が取得される度に、ステップS402～S407の処理を繰り返し行う。

一方、湯面レベルの導出を終了する場合には、図4のフローチャートによる処理を終了する。

[0072] (連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置200のハードウェア)

図5は、湯面レベル検出装置200のハードウェア構成の一例を示す図である。

図5に示すように、湯面レベル検出装置200は、CPU (Central Processing Unit) 501と、ROM (Read Only Memory) 502と、RAM (Random Access Memory) 503と、PD (Pointing Device) 504と、HD (Hard Disk) 505と、表示装置506と、スピーカ507と、I/F (Interface) 508と、システムバス509とを有する。

[0073] CPU 501は、湯面レベル検出装置200における動作を統括的に制御する。CPU 501は、システムバス509を介して、湯面レベル検出装置200の各構成部(502~508)を制御する。

ROM 502は、CPU 501の制御プログラムであるBIOS (Basic Input/Output System) やオペレーティングシステムプログラム(OS)、CPU 501が、前述した図4に示すフローチャートによる処理を実行するために必要なプログラム等を記憶する。

[0074] RAM 503は、CPU 501の主メモリ、ワークエリア等として機能する。CPU 501は、処理の実行に際して、ROM 502やHD 505から必要なコンピュータプログラムや情報等をRAM 503にロードし、当該コンピュータプログラムや当該情報等に対する処理を実行することで各種の動作を実現する。前述した図4のフローチャートの処理を実行するコンピュータプログラムをHD 505に記憶してもよい。

PD 504は、例えば、マウスやキーボード等からなり、操作者が必要に応じて、湯面レベル検出装置200に対して操作入力を行うための操作入力手段を構成する。

HD 505は、各種の情報やデータ、ファイル等を記憶する記憶手段を構成する。

表示装置506は、CPU 501の制御に基づいて、各種の情報や画像を表示する表示手段を構成する。

スピーカ507は、CPU 501の制御に基づいて、各種の情報に係る音

声を出力する音声出力手段を構成する。

[0075] I/F 508は、CPU 501の制御に基づいて、外部装置と各種の情報等の通信を行う。熱電対18で測定された温度は、I/F 508を介して湯面レベル検出装置200に入力される。

システムバス509は、CPU 501、ROM 502、RAM 503、PD 504、HD 505、表示装置506、スピーカ507およびI/F 508を相互に通信可能に接続するためのバスである。

[0076] (実施例)

本実施形態の手法で検出した湯面レベルと、既存の手法で検出した湯面レベルと、実測の湯面レベルとを比較した。図6に示すように、複数の熱電対18は、鋳型13の短辺部13aに埋設される。図6に示すように、正確にy軸方向に沿って複数の熱電対18を鋳型13に埋設する必要はない。ただし、各熱電対18のx軸の座標を同じ値として、前述した重みベクトル λ_j を導出する。すなわち、重みベクトル λ_j の精度に影響がない範囲であれば、各熱電対18のx軸方向の位置は、厳密に同じでなくてもよい。また、鋳型13の入り側(上側)の水温と鋳型13の出側(下側)の水温を測定してその平均値を計算して冷却水の温度とした。

[0077] 本実施形態の手法では、前述したように、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y を導出する。そして、y軸成分ベクトルが鋳造方向とは逆向きとなる熱流束ベクトルの、y軸方向成分の値 q_y の絶対値が最大となる位置を湯面レベルLと判定する。図7Aに、本実施形態の手法で得られる、鋳型13の内壁面における熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y とy軸方向の位置との関係の一例を概念的に示す。

[0078] 一方、既存の手法では、鋳型13内の温度分布を計算し、経験則に基づいて、最高温度(T_{max}) $\times 0.65$ となる位置を湯面レベルLと判定する。図7Bに、既存の手法で得られる、鋳型13内の温度とy軸方向の位置との関係の一例を概念的に示す。

[0079] 図8に示す装置を用いて、湯面レベルを実測した。鋳型内の溶鋼の湯面に

フロート801を浮かべ、フロート801にロッド802を配置する。また、オッシレーション測定治具803を配置する。そして、ロッド802の先端の動きと、オッシレーション測定治具803の先端の動きをビデオカメラ804で撮影する。ビデオカメラ804で撮影された画像に対して画像処理を行うことにより、湯面のy軸方向の変位をデジタル化して記録する。この湯面のy軸方向の変位から、湯面レベルを求めた。

[0080] 図9に、本実施形態の手法で検出した湯面レベルと、既存の手法で検出した湯面レベルと、実測の湯面レベルとを示す。横軸は時刻を、縦軸は湯面レベルを示す。

既存の手法では、実測の湯面レベルが高くなると検出精度が極端に低下し、実測値に追従できなくなっている。

それに対して、本実施形態の手法では、広範囲に亘り実測値を追従できているのが分かる。湯面レベルの実測精度が5～10mm程度のバラツキがあることを勘案すると、本実施形態の手法により検出した湯面レベルは実測の湯面レベルと良い対応関係にあるといえる。

[0081] 以上述べたように本実施形態では、パウダー17による抜熱という、鑄型13内の溶鋼の湯面位置における熱移動の影響を捉えて湯面レベルを検出する。すなわち、y軸成分ベクトルが鑄造方向とは逆向きとなる熱流束ベクトルの、y軸方向成分の値 q_y の絶対値が最大となる位置を湯面レベルとして導出する。したがって、湯面レベルの検出精度を高めることができる。これにより、湯面レベルを安定に制御することが可能となり、溶鋼のオーバーフローや浮遊物の巻き込み等を防止し、鑄片の内部品質の向上を図ることができる。さらに、浸漬ノズル12の局所の溶損による孔あきトラブルや、浸漬ノズル12の先端の脱落の防止や、鑄型13内の溶鋼の偏流の検知精度の向上等、操業安定化、品質向上に寄与する。

[0082] また、本実施形態では、連続的に値をとる内外挿関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ をyで偏微分した値に、鑄型13を構成する材料の熱伝導率 β を掛けた値を、熱流束ベクトルのy軸方向成分の値 q_y として導出する。したがって、離散

的な値として熱流束を導出する場合に比べ、熱流束の計算精度を高めることができる。

[0083] また、本実施形態では、内外挿関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ を基底関数 $\phi(x - x_j, y - y_j, t - t_j)$ と重みベクトル λ_j との積の総和で表現する。このようにして表現される内外挿関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ と、2次元非定常熱伝導方程式の鋳型13の外壁面における熱流束のつり合いを表す境界条件とを連立方程式として、重みベクトル λ_j を導出する。したがって、使用する熱電対を、y軸方向に沿って一列に配置される複数の熱電対のみにすることができる。すなわち、x軸の方向において複数列の熱電対を配置する必要がなくなる。

産業上の利用可能性

[0084] 本発明は、連続鋳造鋳型内の溶鋼の湯面レベルの検出に利用することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 連続鋳造鋳型の鋳造方向に沿って当該連続鋳造鋳型内に埋設された複数の温度測定手段により測定された温度を取得する温度取得手段と、
- 、
- 前記温度取得手段で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値を導出する熱流束導出手段と、
- 前記熱流束導出手段で導出された、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出手段と、を有し、
- 、
- 前記湯面レベル導出手段は、前記鋳造方向成分のベクトルが前記鋳造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鋳造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前記湯面レベルとして導出することを特徴とする連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。
- [請求項2] 前記非定常伝熱逆問題解析は、非定常熱伝導方程式を満たす内外挿温度関数を用いた非定常伝熱逆問題解析であり、
- 前記内外挿温度関数は、前記連続鋳造鋳型の抜熱方向である x 軸方向の位置 x 、前記連続鋳造鋳型の鋳造方向である y 軸方向の位置 y 、および時刻 t における、前記連続鋳造鋳型の内部の温度を示す関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ であることを特徴とする請求項1に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。
- [請求項3] 前記内外挿温度関数 $u^{\wedge}(x, y, t)$ は、中心点 j ごとに定まる基底関数 ϕ_j と、中心点 j ごとに定まる重みベクトル λ_j との積の、前記中心点 j のそれぞれにおける値の総和で表され、
- 前記中心点 j は、前記連続鋳造鋳型の x 軸方向および y 軸方向の基準となる位置を表す基準位置ベクトル (x_j, y_j) と、基準時刻 t_j とから定まる点であって、前記連続鋳造鋳型の x 軸方向および y 軸方

向の位置と時刻とにより定まる3次元座標上の点であり、

前記基底関数 ϕ_j は、前記中心点 j を基準とした場合の、非定常熱伝導方程式を満たす基本解の形で表現された関数であることを特徴とする請求項2に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。

[請求項4]

前記熱流束導出手段は、以下の(A)式により、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの y 軸方向成分の値 q_y を導出し、

以下の β は、前記連続鋳造鋳型を構成する材料の熱伝導率であり、

以下の a は、前記連続鋳造鋳型を構成する材料の熱拡散係数の平方根であり、

以下の $H(t - t_j)$ は、ヘビサイド関数であり、

以下の $m + 1$ は、前記中心点 j の数であることを特徴とする請求項3に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。

[数1]

$$q_y = -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3(t-t_j)\sqrt{\pi(t-t_j)}} H(t-t_j) \quad \dots (A)$$

[請求項5]

前記連続鋳造鋳型の外壁面における位置と時刻とにより定まる点であって、前記連続鋳造鋳型の x 軸方向および y 軸方向の位置と時刻とにより定まる3次元座標上の点と、前記前記温度測定手段が埋設される位置と時刻とにより定まる点であって、前記連続鋳造鋳型の x 軸方向および y 軸方向の位置と時刻とにより定まる3次元座標上の点をそれぞれ情報量の定義点とし、

前記熱流束導出手段は、前記非定常熱伝導方程式と、前記非定常熱伝導方程式における境界条件と、熱電対温度関数 $u(x^*, y^*, t)$ と、前記内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ とを満足するように、前記非定常熱伝導方程式における境界条件と前記内外挿温度関数 $\hat{u}(x, y, t)$ との連立方程式に前記情報量の定義点の情報を代入して当該連立方程式を解くことにより、前記重みベクトル λ_j を導出し

、当該重みベクトル λ_j を用いて、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記 y 軸方向成分の値 q_y を導出し、

前記非定常熱伝導方程式における境界条件は、前記連続鋳造鋳型の外壁面における前記 x 軸方向の温度勾配と、前記連続鋳造鋳型を構成する材料の熱伝導率とに基づく熱流束と、前記連続鋳造鋳型の外壁面における温度と水温との差と、前記連続鋳造鋳型を構成する材料と水との間の熱伝達係数とに基づく熱流束と、が等しいことを示す式であり、

前記複数の温度測定手段は、前記連続鋳造鋳型の外壁面と異なる位置に、前記鋳造方向に沿って当該連続鋳造鋳型内に埋設され、

前記熱電対温度関数 $u(x^*, y^*, t)$ は、前記連続鋳造鋳型の x 軸方向における前記温度測定手段の位置 x^* 、前記連続鋳造鋳型の y 軸方向における前記温度測定手段の位置 y^* 、および時刻 t において前記温度測定手段により測定される温度を表す関数であることを特徴とする請求項3または4に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。

[請求項6] 前記複数の温度測定手段の、前記 x 軸方向の位置は同じであることを特徴とする請求項5に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。

[請求項7] 前記重みベクトル λ_j は、以下の(B)式～(E)式で計算され、
以下の m は、前記連続鋳造鋳型の外壁面における位置と時刻とにより定まる前記中心点 j の数であり、

以下の l は、前記温度測定手段の位置と時刻とにより定まる前記中心点 j の数であり

以下の k は、前記情報量の定義点を識別するための1から m までの整数であり、

以下の s は、前記情報量の定義点を識別するための $m+1$ から $m+l$ までの整数であり、

以下の j は、前記中心点 j を識別するための 1 から $m+1$ までの整数であり、

以下の β は、前記連続鋳造鋳型を構成する材料の熱伝導率であり、

以下の γ は、前記連続鋳造鋳型を構成する材料と水との間の熱伝達係数であり、

以下の h_{s-m} は、前記温度測定手段により測定された温度であり、

以下の g_k は、水温と、前記連続鋳造鋳型を構成する材料と水との間の熱伝達係数 γ との積であり、

以下の A は、 $(m+1) \times (m+1)$ 行列であり、

以下の A の $[\]$ 内の $\beta \frac{\partial \phi}{\partial x} (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j)$ は、行列 A の k 行 j 列成分の値であり、

以下の A の $[\]$ 内の $\phi (x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j)$ は、行列 A の s 行 j 列成分の値であり、

以下の b は、 $(m+1)$ 次元列ベクトルであり、

以下の b の $[\]$ 内の g_k は、行列 b の k 行成分の値であり、

以下の b の $[\]$ 内の h_{s-m} は、行列 b の s 行成分の値であり、

以下の λ は、 $(m+1)$ 次元列ベクトルであることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出装置。

[数2]

$$A \lambda = b \quad \dots (B)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) \\ \phi (x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j) \end{bmatrix} \quad \dots (C)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots (D)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots (E)$$

[請求項8] 連続鋳造鋳型の鋳造方向に沿って当該連続鋳造鋳型内に埋設された複数の温度測定工程により測定された温度を取得する温度取得工程と、

、

前記温度取得工程で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値を導出する熱流束導出工程と、

前記熱流束導出工程で導出された、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出工程と、を有し、

、

前記湯面レベル導出工程は、前記鋳造方向成分のベクトルが前記鋳造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鋳造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前記湯面レベルとして導出することを特徴とする連続鋳造鋳型内の湯面レベル検出方法。

[請求項9] 連続鋳造鋳型の鋳造方向に沿って当該連続鋳造鋳型内に埋設された複数の温度測定工程により測定された温度を取得する温度取得工程と、

、

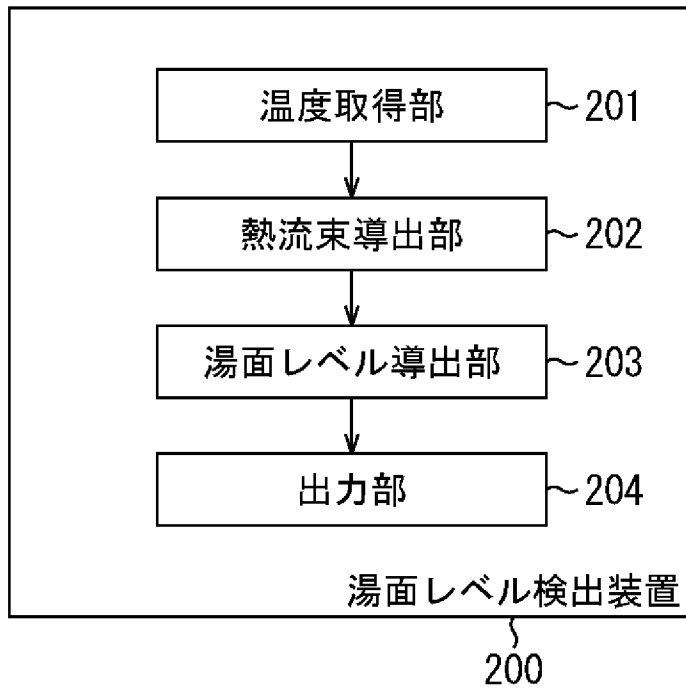
前記温度取得工程で導出された温度から非定常伝熱逆問題解析を行った結果に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値を導出する熱流束導出工程と、

前記熱流束導出工程で導出された、前記連続鋳造鋳型の内壁面における熱流束ベクトルの前記鋳造方向成分の値に基づいて、前記連続鋳造鋳型の内部の湯面レベルを導出する湯面レベル導出工程と、をコンピュータに実行させ、

前記湯面レベル導出工程は、前記鋳造方向成分のベクトルが前記鋳造方向とは逆向きとなる前記熱流束ベクトルの、前記鋳造方向成分の値の絶対値が最大となる位置を前記湯面レベルとして導出することを特徴とするプログラム。

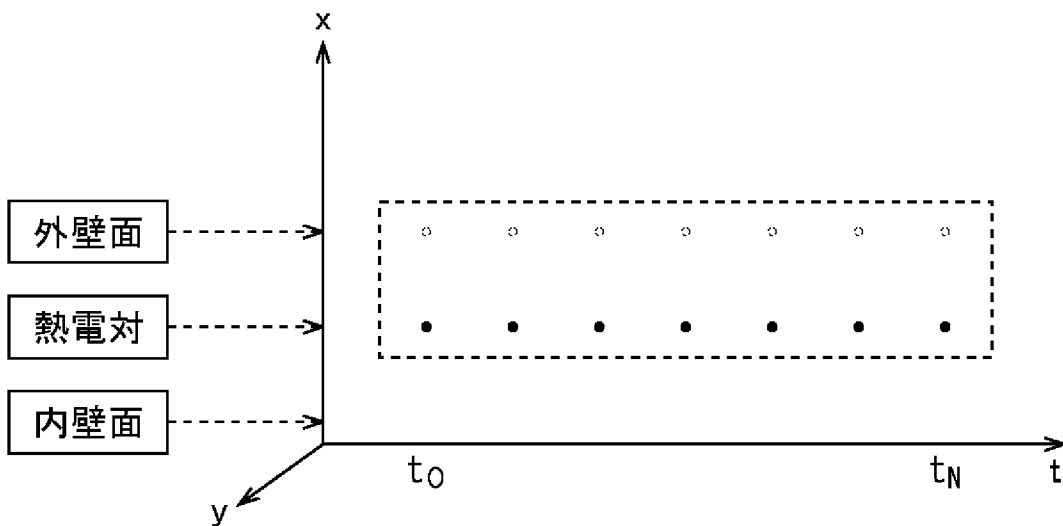
[図2]

図2



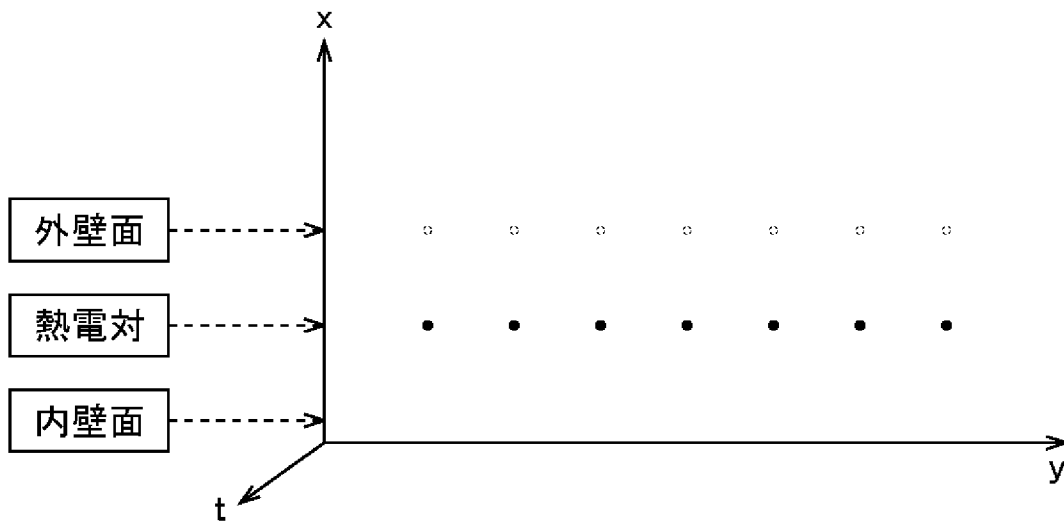
[図3A]

図3A



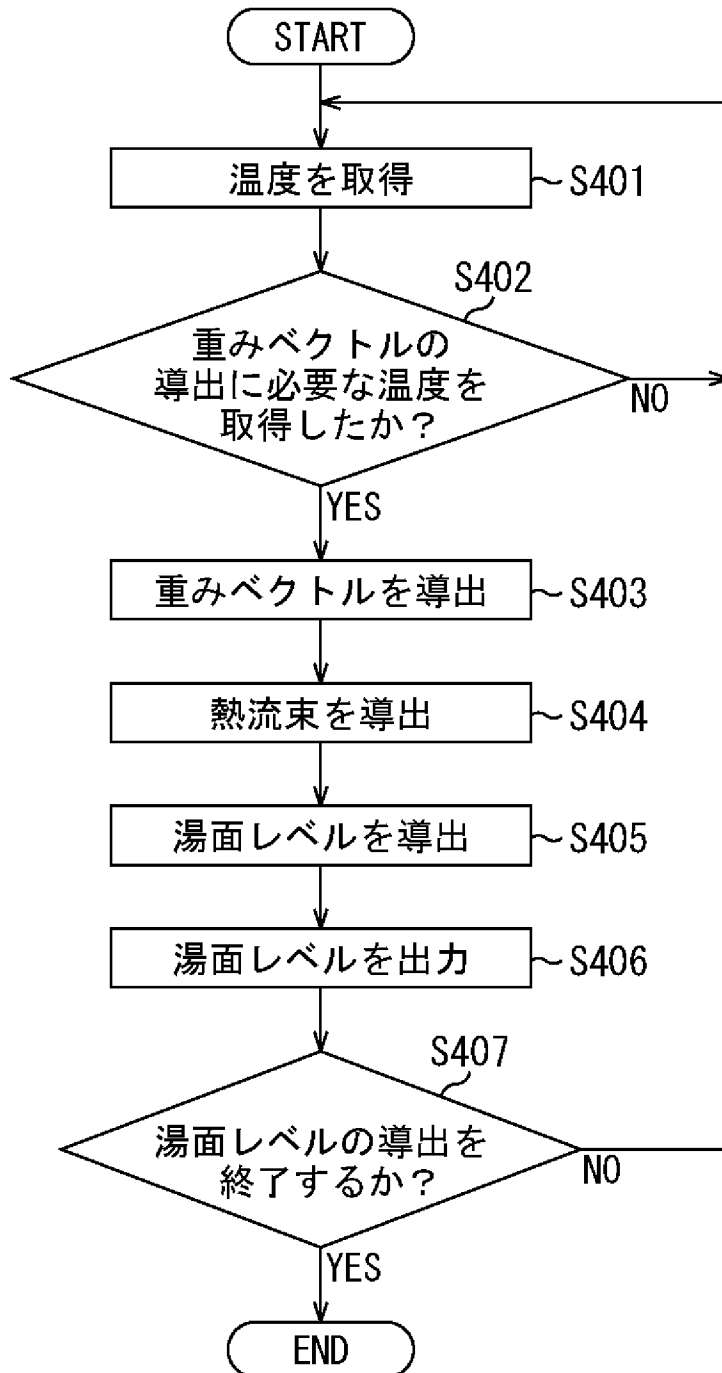
[図3B]

図3B



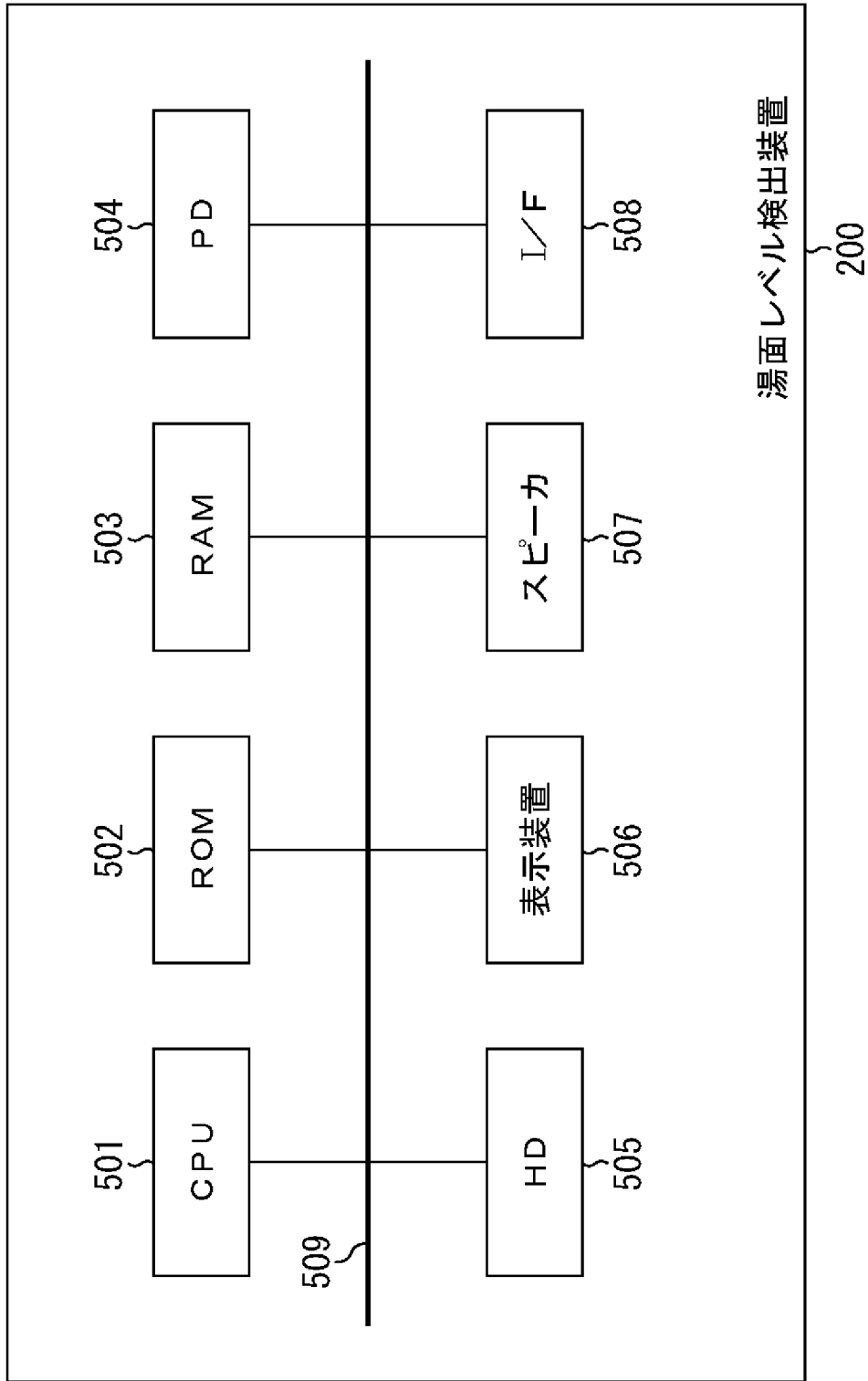
[図4]

図4



[図5]

図5

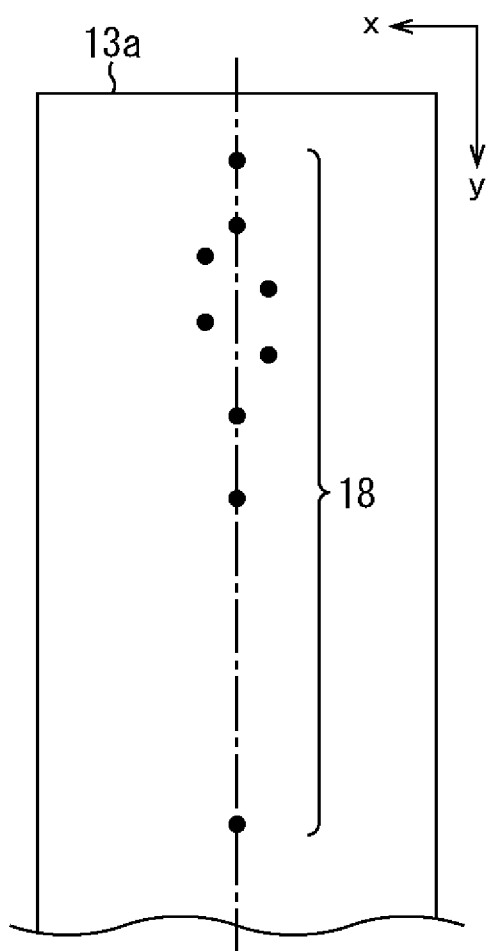


湯面レベル検出装置

200

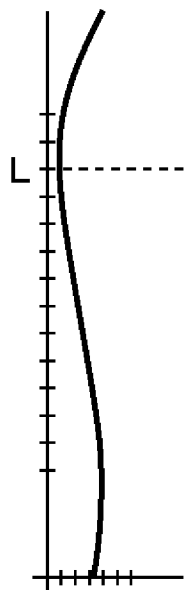
[図6]

図6



[図7A]

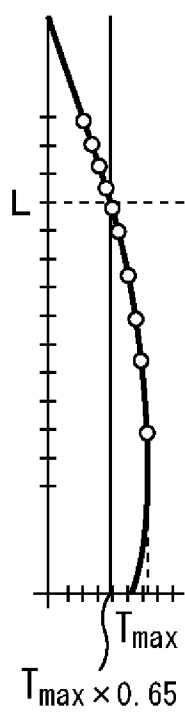
図7A

熱流束
(y方向成分)

[図7B]

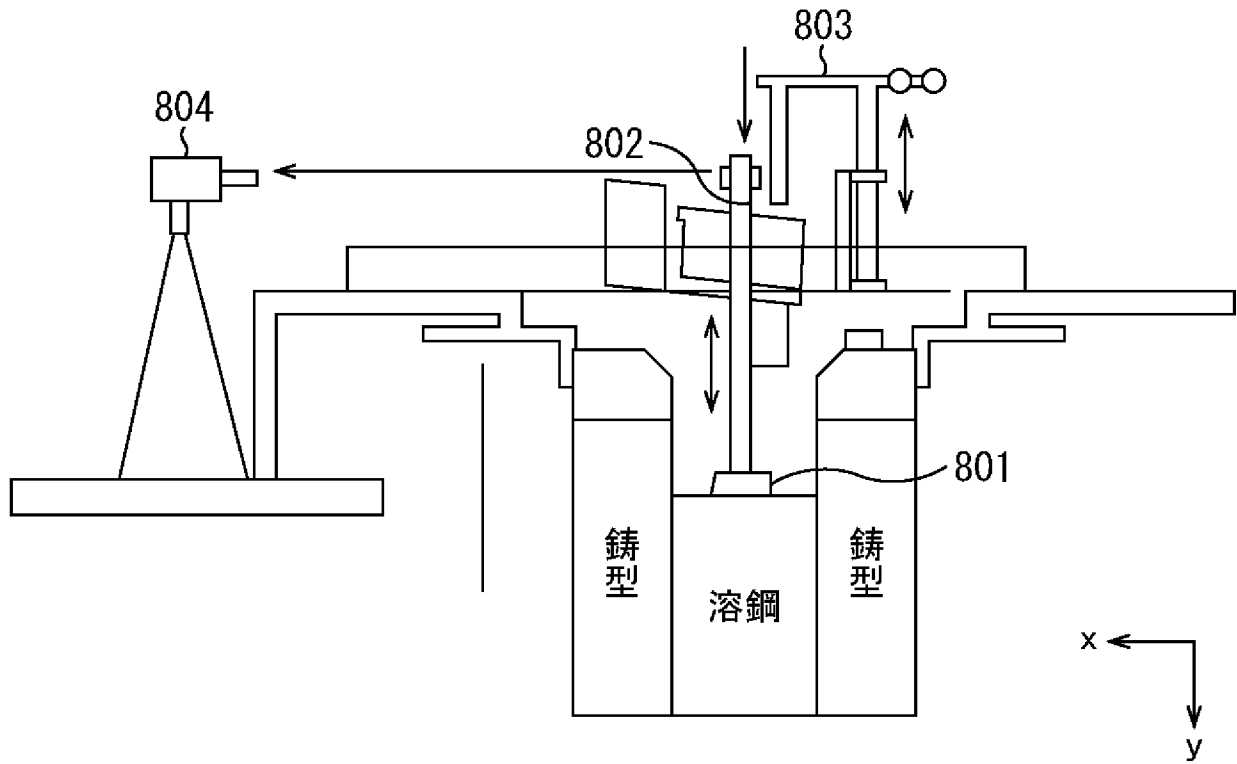
図7B

温度



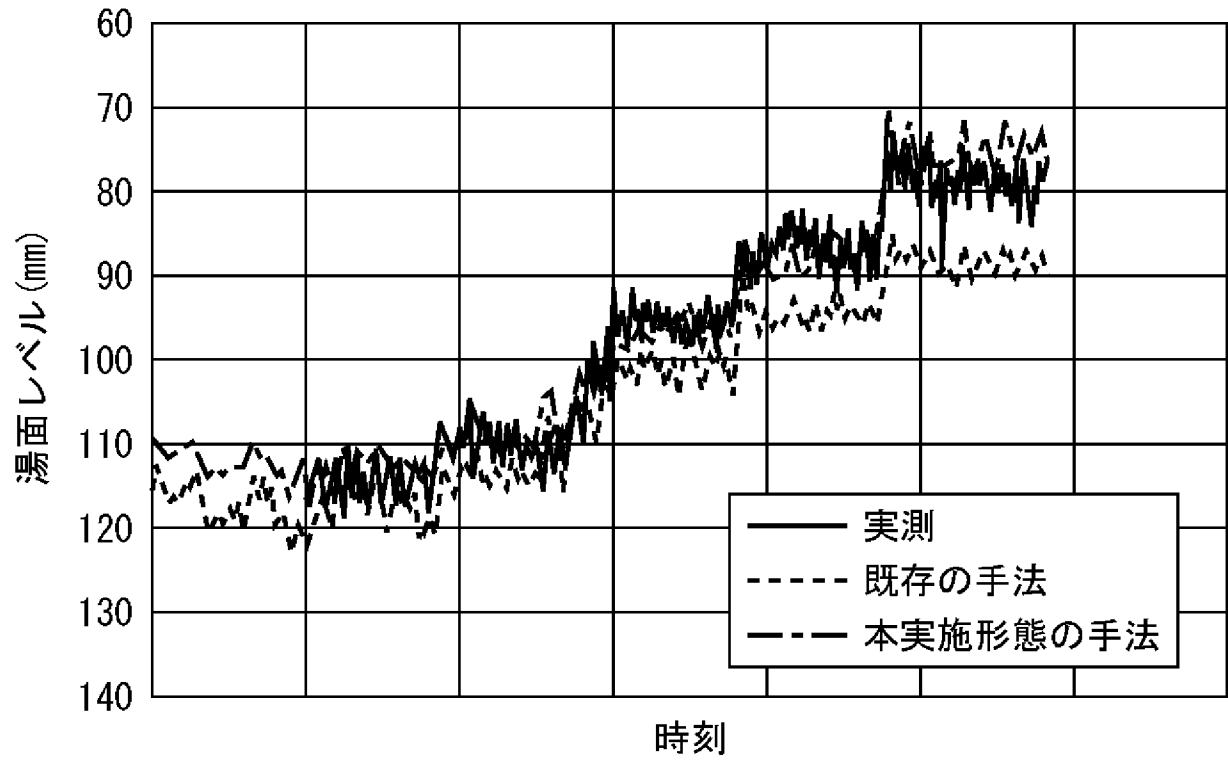
[図8]

図8



[図9]

図9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/079040

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B22D11/16(2006.01)i, B22D11/18(2006.01)i, G01F23/22(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B22D11/16, B22D11/18, G01F23/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-25202 A (Nippon Steel Corp.), 29 January 2004 (29.01.2004), paragraphs [0010] to [0069]; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-9
A	JP 8-281402 A (Hitachi, Ltd.), 29 October 1996 (29.10.1996), paragraph [0034] (Family: none)	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 08 January 2016 (08.01.16)	Date of mailing of the international search report 19 January 2016 (19.01.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/079040

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-251346 A (Nippon Steel Corp.), 09 October 1990 (09.10.1990), Detailed Explanation of the Invention & US 5360051 A DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS(S) & EP 371482 A2 & DE 68928776 C & AU 4577289 A & CA 2003796 A & KR 10-1993-0000090 B & CA 2003796 A1	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. B22D11/16(2006.01)i, B22D11/18(2006.01)i, G01F23/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. B22D11/16, B22D11/18, G01F23/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2016年
 日本国実用新案登録公報 1996-2016年
 日本国登録実用新案公報 1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2004-25202 A（新日本製鐵株式会社）2004.01.29, 段落 [0010]-[0069], 図 1-9（ファミリーなし）	1-9
A	JP 8-281402 A（株式会社日立製作所）1996.10.29, 段落[0034]（フ ァミリーなし）	1-9

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
 08.01.2016

国際調査報告の発送日
 19.01.2016

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁（ISA/J P）
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員） 川崎 良平	4E	4661
電話番号 03-3581-1101 内線 3425		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2-251346 A (新日本製鐵株式会社) 1990. 10. 09, 発明の詳細な説明 & US 5360051 A DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS(S) & EP 371482 A2 & DE 68928776 C & AU 4577289 A & CA 2003796 A & KR 10-1993-0000090 B & CA 2003796 A1	1-9