(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 1 月 21 日(21.01.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/009514 A1

(51) 国際特許分類:
B22D 11/22 (2006.01) *B22D 11/16* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/068956

(22) 国際出願日: 2014 年 7 月 16 日(16.07.2014)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(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: 北田 宏(KITADA, Hiroshi); 〒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).

(74) 代理人: 山本 典輝, 外(YAMAMOTO, Noriaki et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目１６番１０号 オークビル京橋３階 東京セントラル特許事務所内 Tokyo (JP).

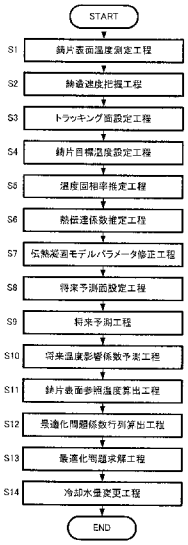
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, 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).

[続葉有]

(54) **Title**: SECONDARY COOLING CONTROL METHOD FOR CONTINUOUS CASTING MACHINE AND SECONDARY COOLING CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称 : 連続鋳造機の２次冷却制御方法及び２次冷却制御装置



S1 Cast slab surface temperature measurement process
S2 Casting speed ascertainment process
S3 Tracking surface setting process
S4 Cast slab target temperature setting process
S5 Temperature/solid-phase rate estimation process
S6 Heat transfer coefficient estimation process
S7 Heat transfer/solidification model parameter correction process
S8 Future prediction surface setting process
S9 Future prediction process
S10 Future temperature influence coefficient prediction process
S11 Cast slab surface reference temperature calculation process
S12 Optimization problem coefficient matrix calculation process
S13 Optimization problem solution process
S14 Cooling water amount changing process

(57) **Abstract**: The main purpose of the present invention is to provide a secondary cooling control method for a continuous casting machine such that it is possible to improve the accuracy of controlling the overall surface temperature of a cast slab to a predetermined target temperature. The present invention has a cast slab surface temperature measurement process, a casting speed ascertainment process, a tracking surface setting process, a cast slab target temperature setting process, a temperature/solid-phase rate estimation process, a heat transfer coefficient estimation process, a heat transfer/solidification model parameter correction process, a future prediction surface setting process, a future prediction process, a future temperature influence coefficient prediction process, a cast slab surface reference temperature calculation process, an optimization problem coefficient matrix calculation process, an optimization problem solution process, and a cooling water amount changing process. By repeated changing of the amount of cooling water in each cooling zone in the cooling water amount changing process, the surface temperature of a future prediction surface of the cast slab at a future prediction surface position is controlled to a target surface temperature for the cast slab set in the cast slab target temperature setting process, while each tracking surface is being moved to the exit of a cooling zone subjected to secondary cooling control at an arbitrary time during the casting.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/009514 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

本発明は、鋳片全体の表面温度を予め定めた目標温度に制御する際の精度を高めることが可能な、連続鋳造機の２次冷却制御方法を提供することを主目的とする。 本発明は、鋳片表面温度測定工程と、鋳造速度把握工程と、トラッキング面設定工程と、鋳片目標温度設定工程と、温度固相率推定工程と、熱伝達係数推定工程と、伝熱凝固モデルパラメータ修正工程と、将来予測面設定工程と、将来予測工程と、将来温度影響係数予測工程と、鋳片表面参照温度算出工程と、最適化問題係数行列算出工程と、最適化問題求解工程と、冷却水量変更工程とを有し、該冷却水量変更工程で冷却ゾーン毎の冷却水量の変更を繰り返すことにより、鋳造中の任意の時刻において各トラッキング面が２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口まで移動する間に、将来予測面の、将来予測面位置における鋳片の表面温度を、鋳片目標温度設定工程で定めた鋳片の表面温度の目標値に制御する。

明　細　書

発明の名称 ：

連続鋳造機の２次冷却制御方法及び２次冷却制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、連続鋳造機の２次冷却帯において、一部または全部の鋳片鋳造方向若しくは幅方向の表面温度分布を制御する、連続鋳造機の２次冷却制御方法および２次冷却制御装置に関する。

背景技術

[0002] 鋼の連続鋳造においては、例えば垂直曲げ型連続鋳造機では、垂直な鋳型から引き出した鋳片を一旦湾曲させた後、一定湾曲半径で引抜き、その後矯正部において曲がりをなくした状態の鋳片として抽出し、切断する。ところが、ストランド（「鋳型＋２次冷却帯群＋ローラー群を有する引抜き装置」のセットを意味する。以下において同じ。）の曲げ部においては鋳片の下側表面に、矯正部においては鋳片上側表面に引っ張り応力がかかるため、鋳片表面の温度が脆化域とよばれる範囲にある場合、横ひび割れと呼ばれる表面割れ疵が発生することがある。このため、ストランドの曲げ部および矯正部において、鋳片表面部温度が上記脆化域を回避するように、冷却水量分布を適切に設定することが必要である。冷却水量分布の適切な設定は、例えば、一定鋳造速度の場合には冷却ゾーン水量分布を、事前にシミュレーションなどで適正な値に定めておくことで達成できる。

[0003] ところが、連々鋳における次の取鍋到着が遅れる場合には、連々鋳が中断しないように鋳造速度を所定値より低下させて到着を待つため、鋳造速度を操業中に変化させる必要がある。このとき、変更中の鋳造速度について、事前に鋳造速度に対して設定した各ゾーン水量を補間して設定する従来のカスケード水量制御では、鋳片の鋳型湯面から切断までの時間に対する冷却履歴が乱れ、表面の横ひび割れなどの鋳片品質不良が発生する。

[0004] また、鋳片表面のスケール付着などの影響により、冷却水量と表面の熱伝

達係数との関係が事前のシミュレーションで仮定したものから変化する場合がある。このような場合にも鋳片表面温度が脆化域に入り、横ひび割れが発生することがある。

[0005] このような問題に対し、これまでに、いわゆるモデル予測制御による制御方法が開示されている。例えば、特許文献１には、引抜き鋳片を定間隔毎にトラッキングし、各トラッキング面の温度分布を伝熱モデルに基づき逐次的に計算し、鋳片引抜き軌跡をいくつかのゾーンに分割した各ゾーンの出側における計算温度と実測温度との関係から学習された熱伝達係数によって上記モデルを修正し、上記軌跡に沿って設けられた測温点における各トラッキング面の温度分布を上記修正モデルに基づいて一定時刻毎に予測するとともに、当該位置における目標温度と予測温度の差から求めたフィードフォワード水量と、実測温度と目標温度の差から求めたフィードバック水量と、を合計した水量を鋳片に散布する表面温度制御方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開昭５７－１５４３６４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献１に開示されているフィードフォワード水量の算出方法では、冷却ゾーンに存在するトラッキング点毎に、各々が冷却ゾーン出口の測温点に到達する時点での温度を予測し、各トラッキング点が測温点に到達する時の温度予測値が目標値に一致する予測水量密度を求め、さらに当該冷却ゾーンの全トラッキング面について予測水量密度の重みつき平均値をフィードフォワード水量とする。この技術では、鋳型側の冷却ゾーンから順に、フィードフォワード水量を求める手続きと、この手続きで求めたフィードフォワード水量を用いた当該冷却ゾーンにおける温度分布の再計算を行って再計算温度を求める手続きとを行い、再計算温度を、下流側に隣接している冷却ゾーン

の入口における初期温度とする手続きを繰返し、全冷却ゾーンの冷却水量を決定する。ところがこの技術では、再計算温度を下流側に隣接している冷却ゾーン入口における初期温度としても、下流側に隣接している冷却ゾーンの入口以外のトラッキング点の温度計算（再計算温度を求めた冷却ゾーンの下流側に隣接している冷却ゾーンよりもさらに下流側に存在している冷却ゾーンにおけるトラッキング点の温度計算）には、フィードフォワード水量の影響が表れない。したがって、特許文献１に開示されている技術では、温度予測計算において、上流側の水量変化が正しく反映されるまでの所要時間が長くなり、場合によっては水量がハンチングするなどの問題が発生していた。その結果、鋳片全体の表面温度を予め定めた目標温度に制御する際の精度が低下しやすかった。

[0008] そこで、本発明は、鋳片全体の表面温度を予め定めた目標温度に制御する際の精度を高めることが可能な、連続鋳造機の２次冷却制御方法および２次冷却制御装置を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の第１の態様は、連続鋳造機の鋳型から引き抜かれた鋳片を冷却する２次冷却帯を、鋳片の鋳造方向に複数の冷却ゾーンへと分割し、鋳片へ向けて噴射される冷却水量を各冷却ゾーンで制御することにより、鋳片の表面温度を制御する方法において、予め定めたストランド内の温度測定点における鋳片の表面温度を、鋳片の鋳造中に測定する鋳片表面温度測定工程と、連続鋳造機の鋳造速度を把握する鋳造速度把握工程と、鋳片の断面内温度、鋳片の表面温度、および、鋳片の固相率分布を計算する対象であるトラッキング面を、鋳型内湯面位置から少なくとも２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの領域で、予め定めた間隔で設定するトラッキング面設定工程と、トラッキング面における、鋳片の表面温度の目標値を定める鋳片目標温度設定工程と、鋳造が進むことにより、トラッキング面が鋳片の鋳造方向へ予め定めた間隔だけ進む毎に、伝熱方程式に基づく伝熱凝固モデルにより、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、鋳片の表面温度、および、鋳片の固相率分布を

算出して更新する温度固相率推定工程と、伝熱凝固モデルで用いる鋳片の表面の熱伝達係数を、上記冷却水量を含む鋳造条件を用いて算出する熱伝達係数推定工程と、鋳片表面温度測定工程で測定された鋳片の表面温度と、温度固相率推定工程で推定された鋳片の表面温度との差を用いて、伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータを修正する伝熱凝固モデルパラメータ修正工程と、トラッキング面設定工程で設定されたトラッキング面の集合の中から、予め定めた鋳造方向に一定の間隔で、将来時刻における鋳片の表面温度、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、および、鋳片の固相率分布を予測する将来予測面を設定する将来予測面設定工程と、鋳造が進むことによって、任意の将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む間に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、それぞれの将来予測面が将来予測面位置に到達するときの鋳片の表面温度、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、および、鋳片の固相率分布を、将来予測面設定工程で用いた間隔毎に、伝熱凝固モデルを用いて繰り返し予測して更新する将来予測工程と、鋳造が進むことによって、任意の将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む毎に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、各冷却ゾーンの冷却水量がステップ関数状に変化した場合の、それぞれの将来予測面が将来予測面位置に到達するまでに通過する、各トラッキング面位置における鋳片の表面温度を予測し、該予測した鋳片の表面温度と、将来予測工程で予測した鋳片の表面温度との偏差を求め、該偏差を用いて、ステップ関数状に変化する冷却水量に対する変化影響係数を求める将来温度影響係数予測工程と、鋳片目標温度設定工程で設定した鋳片の表面温度の目標値と、将来温度影響係数予測工程で予測した、将来予測面が将来予測面位置に到達する時点における鋳片の表面温度の予測値との間の値である、時間に応じて決定される参照目標温度を算出する鋳片表面参照温度算出工程と、現在時刻における各冷却ゾーンの冷却水量を決定変数とし、将来予測工程および将来温度影響係数予測工程の各々においてそれぞれの将来予測面が通過した各将来予測面位置における将来温度影響係数、お

よび、鋳片表面参照温度算出工程で算出した参照目標温度と将来予測工程で予測した鋳片の表面温度との偏差を算出し、それぞれの将来予測面で算出した該偏差の和を最小化する最適化問題の２次計画問題とし、該２次計画問題における決定変数に対する係数行列を算出する最適化問題係数行列算出工程と、上記２次計画問題を数値的に解くことにより、ステップ関数状に変化する冷却水量の変更量の、現在時刻における最適値を求める最適化問題求解工程と、該最適値を、現在の冷却ゾーンの冷却水量へと加えることにより冷却水量を変更する冷却水量変更工程と、を有し、該冷却水量変更工程で冷却水量の変更を繰り返すことにより、鋳造中の任意の時刻において各トラッキング面が２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口まで移動する間に、将来予測面の、将来予測面位置における鋳片の表面温度を、鋳片目標温度設定工程で定めた鋳片の表面温度の目標値に制御することを特徴とする、連続鋳造機の２次冷却制御方法である。

[0010] 本発明の第２の態様は、連続鋳造機の鋳型から引き抜かれた鋳片を冷却する２次冷却帯を、鋳片の鋳造方向に複数の冷却ゾーンへと分割し、鋳片へ向けて噴射される冷却水量を各冷却ゾーンで制御することにより、鋳片の表面温度を制御する装置であって、予め定めたストランド内の温度測定点における鋳片の表面温度を、鋳片の鋳造中に測定する鋳片表面温度測定部と、連続鋳造機の鋳造速度を把握する鋳造速度把握部と、鋳片の断面内温度、鋳片の表面温度、および、鋳片の固相率分布を計算する対象であるトラッキング面を、鋳型内湯面位置から少なくとも２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの領域で、予め定めた間隔で設定するトラッキング面設定部と、トラッキング面における、鋳片の表面温度の目標値を定める鋳片目標温度設定部と、鋳造が進むことにより、トラッキング面が鋳片の鋳造方向へ予め定めた間隔だけ進む毎に、伝熱方程式に基づく伝熱凝固モデルにより、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、鋳片の表面温度、および、鋳片の固相率分布を算出して更新する温度固相率推定部と、伝熱凝固モデルで用いる鋳片の表面の熱伝達係数を、冷却水量を含む鋳造条件を用いて算出する熱伝達係数推定部と、鋳

片表面温度測定部で測定された鋳片の表面温度と、温度固相率推定部で推定された鋳片の表面温度との差を用いて、伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータを修正する伝熱凝固モデルパラメータ修正部と、トラッキング面設定部で設定されたトラッキング面の集合の中から、予め定めた鋳造方向に一定の間隔で、将来時刻における鋳片の表面温度、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、および、鋳片の固相率分布を予測する将来予測面を設定する将来予測面設定部と、鋳造が進むことによって、任意の将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む間に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、それぞれの将来予測面が将来予測面位置に到達するときの鋳片の表面温度、鋳造方向に垂直な鋳片の断面内温度、および、鋳片の固相率分布を、将来予測面設定部で用いた間隔毎に、伝熱凝固モデルを用いて繰り返し予測して更新する将来予測部と、鋳造が進むことによって、任意の将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む毎に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、各冷却ゾーンの冷却水量がステップ関数状に変化した場合の、それぞれの将来予測面が将来予測面位置に到達するまでに通過する、各トラッキング面位置における鋳片の表面温度を予測し、該予測した鋳片の表面温度と、将来予測部で予測した鋳片の表面温度との偏差を求め、該偏差を用いて、ステップ関数状に変化する冷却水量に対する変化影響係数を求める将来温度影響係数予測部と、鋳片目標温度設定部で設定した鋳片の表面温度の目標値と、将来温度影響係数予測部で予測した、将来予測面が将来予測面位置に到達する時点における鋳片の表面温度の予測値との間の値である、時間に応じて決定される参照目標温度を算出する鋳片表面参照温度算出部と、現在時刻における各冷却ゾーンの冷却水量を決定変数とし、将来予測部および将来温度影響係数予測部の各々においてそれぞれの将来予測面が通過した各将来予測面位置における将来温度影響係数、および、鋳片表面参照温度算出部で算出した参照目標温度と将来予測部で予測した鋳片の表面温度との偏差を算出し、それぞれの将来予測面で算出した該偏差の和を最小化する最適化問題の２次計画問題

とし、該２次計画問題における決定変数に対する係数行列を算出する最適化問題係数行列算出部と、上記２次計画問題を数値的に解くことにより、ステップ関数状に変化する冷却水量の変更量の、現在時刻における最適値を求める最適化問題求解部と、該最適値を、現在の冷却ゾーンの冷却水量へと加えることにより冷却水量を変更する冷却水量変更部と、を有し、該冷却水量変更部で、冷却水量の変更を繰り返すことにより、鋳造中の任意の時刻において各トラッキング面が２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口まで移動する間に、将来予測面の、将来予測面位置における鋳片の表面温度を、鋳片目標温度設定部で定めた鋳片の表面温度の目標値に制御することを特徴とする、連続鋳造機の２次冷却制御装置である。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、鋳片全体の表面温度を、予め定めた目標温度に常に一致するように制御することが可能な、連続鋳造機の２次冷却制御方法および２次冷却制御装置を提供することができる。その結果、いかなる鋳造速度でも、また鋳造速度が鋳造中に変化した場合でも、連続鋳造機の曲げセグメントや矯正セグメントにおいて、表面温度を鋼の脆化域を回避するように制御することが可能になる。したがって、本発明によれば、表面疵による欠陥のない鋳片を製造することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]連続鋳造機９および冷却制御装置１０を説明する図である。

[図2]鋳造方向に垂直な鋳片断面の分割と格子点の例を示す図である。

[図3]本発明の冷却制御方法を説明する図である。

[図4]各将来予測面がその下流側に隣接する将来予測面位置まで移動する間に、表面温度を評価するトラッキング面の位置と、温度を予測する相対時刻との関係を説明する図である。

[図5]冷却制御装置１０に備えられている各部の関係とやりとりする情報を説明するブロック線図である。

[図6A]鋳造速度低下時に、本発明の冷却制御方法を適用した場合における、

各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図6B]鋳造速度低下時に、本発明の冷却制御方法を適用した場合における、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図6C]鋳造速度低下時に、本発明の冷却制御方法を適用した場合における、各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図6D]鋳造速度低下時に、本発明の冷却制御方法を適用した場合における、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図6E]鋳造速度低下時に、本発明の冷却制御方法を適用した場合における、鋳造速度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図7A]鋳造速度低下時に、従来のカスケード水量制御を適用した場合における、各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図7B]鋳造速度低下時に、従来のカスケード水量制御を適用した場合における、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図7C]鋳造速度低下時に、従来のカスケード水量制御を適用した場合における、各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図7D]鋳造速度低下時に、従来のカスケード水量制御を適用した場合における、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図7E]鋳造速度低下時に、従来のカスケード水量制御を適用した場合における、鋳造速度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図8A]鋳造中に第３冷却ゾーンの出口目標温度を変更した場合に、本発明の

冷却制御方法で冷却水量を調節して表面温度を制御した場合における、鋳片表面温度の実績値および目標温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図8B]鋳造中に第３冷却ゾーンの出口目標温度を変更した場合に、本発明の冷却制御方法で冷却水量を調節して表面温度を制御した場合における、冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図8C]鋳造中に第３冷却ゾーンの出口目標温度を変更した場合に、本発明の冷却制御方法で冷却水量を調節して表面温度を制御した場合における、鋳造速度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図9A]第４冷却ゾーンのスプレー熱伝達係数が低下した場合に、本発明の冷却制御方法で冷却水量を調節して鋳片表面温度を制御した場合における、鋳片表面温度の実績値および目標温度と時間との関係についての結果を示す図である。

[図9B]第４冷却ゾーンのスプレー熱伝達係数が低下した場合に、本発明の冷却制御方法で冷却水量を調節して鋳片表面温度を制御した場合における、冷却水量と時間との関係についての結果を示す図である。

[図9C]第４冷却ゾーンのスプレー熱伝達係数が低下した場合に、本発明の冷却制御方法で冷却水量を調節して鋳片表面温度を制御した場合における、鋳造速度と時間との関係についての結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、以下に説明する形態は本発明の例示であり、本発明は以下に説明する形態に限定されない。

[0014] 図１は、本発明を実施する連続鋳造機９、および、本発明にかかる連続鋳造機の２次冷却制御装置（以下において、「冷却制御装置」ということがある。）１０を説明する図である。図１では、連続鋳造機９および冷却制御装置１０を簡略化して示している。

本発明を実施する連続鋳造機９では、外側が凝固したストランドをロール対で挟んで支持しながら、駆動装置を備えたピンチロールによって、鋳型１

からストランドが所定の引抜き速度（鋳造速度）で引抜かれる。符号４は溶鋼メニスカスである。鋳造方向に所定の間隔をあけて配置された隣接する支持ロールの間には、鋳片５へ向けて冷却水を散布するミストスプレー２（またはスプレー２）の噴出口が設置される。散布される冷却水の流量は、冷却水配管に設置した流量調整弁３により制御される。流量調整弁３の開度は、冷却制御装置１０から与えられる水量指示値に基づいて調節される。冷却水配管は、鋳片５の鋳造方向長さを複数個に区分した冷却ゾーン（冷却ゾーン境界線６によって区分された冷却ゾーン）に対応して設置されるので、ストランド内の鋳造方向冷却水量分布は、冷却ゾーンごとに制御される。以下の説明において、鋳型直下の冷却ゾーンから順に、第１冷却ゾーン、第２冷却ゾーン、…ということがある。なお、「鋳造方向」とは、鋳片の長手方向をいう。

[0015] ストランド内における鋳片５の温度および固相率の分布は、鋳型内湯面から最終ロール出側まで鋳造方向に一定間隔で設置した計算点で、鋳片５に垂直な断面を設定し、各断面内の温度および固相率分布を、各計算点における冷却条件を反映した熱伝達係数の境界条件のもとで離散化した、熱伝導方程式を解くことで計算する。熱伝導方程式の初期条件には、計算対象位置に存在する断面の上流側に隣接する断面の、温度および固相率の計算結果を設定する。そして、当該上流側に隣接する計算点から対象計算位置へ、鋳片引抜きにより断面が移動するまでの計算を繰り返すことにより、鋳片全体の温度および固相率を計算することができる。

[0016] 熱伝導方程式の離散化には、例えば図２に示した直交する格子の二次元モデルを用いる。各格子点（ｉ、ｊ）における温度T_{ij}、単位質量あたりのエンタルピーH_{ij}、および、単位質量あたりの固相率f_{ij}を変数とし、各格子点（ｉ、ｊ）における物性定数を、温度依存性を考慮して、密度ρ_{ij}、比熱C_{ij}、および、熱伝導率λ_{ij}として表す。このとき、エンタルピーH_{ij}、温度T_{ij}、および、固相率f_{ij}の関係は、式（１）で表される。

[0017]

[数1]

$$H_{ij} = \rho_{ij} C_{ij} T_{ij} + \rho_{ij} \left(1 - f_{ij}\right) L_{ij} \qquad \text{式（１）}$$

[0018] 時間刻みΔｔの間に、鋳造方向位置ｚからｚ＋Δｚまで引き抜かれる断面の、エンタルピーＨ$_{ｉｊ}$および固相率ｆ$_{ｉｊ}$の分布の時間変化は、離散化した熱伝導方程式（２）、（４）、（７）、初期条件式（３）、および、境界条件式（５）、（６）、（８）、（９）を用いて表される。以下の式において、上付き添え字ｚは鋳造方向位置を表し、鋳型内湯面位置をｚ＝０とする。熱伝導方程式における時間刻みΔｔは、鋳造方向の断面設置刻みΔｚと時刻ｔ－１における鋳造速度ｖ（ｔ－１）を用いて、Δｔ＝Δｚ／ｖ（ｔ－１）に変換される。鋳片表面からの抜熱は、鋳片５へ向けて散布された冷却水による冷却、ロールとの接触、および、放射等、鋳造方向断面位置による冷却方法の違いを考慮した境界条件を反映して設定する。ここでは、式（５）および式（８）に示した、外部を代表する温度Ｔ$_{Ｅ}$と表面温度Ｔ$_{ｉｊ}^{ｚ}$との差の１次式で表した時の、熱伝達係数Ｋ$_{ｘ}$またはＫ$_{ｙ}$で代表した。

[0019] [数2]

$$\rho_{ij} C_{ij} \left\{H_{ij}^{z+\Delta z}(t+1) - H_{ij}^{z}(t)\right\} / \Delta t$$
$$= 1/\Delta x_i \left\{-q_{i+1/2,j}^{z}(t) + q_{i-1/2,j}^{z}(t)\right\} + 1/\Delta y_i \left\{-q_{i,j+1/2}^{z}(t) + q_{i,j-1/2}^{z}(t)\right\} \qquad \text{式（２）}$$

[0020] [数3]

$$\text{初期条件：温度} T_{ij}^{z}(t)\text{、固相率} f_{ij}^{z} \quad \left(i = 1, \cdots, I+1,\ j = 1, \cdots, J+1\right) \qquad \text{式（３）}$$

[0021] 上記式（２）において、ｑ$_{ｉ＋１／２、ｊ}^{ｚ}$は、鋳造方向位置ｚ－１における鋳片幅方向の格子点（ｉ、ｊ）から格子点（ｉ＋１、ｊ）への熱流束であり、鋳片幅方向内部をｉ＝２、…、Ｉとするとき、下記式（４）で表される。以下において、鋳片幅方向を、単に「幅方向」ということがある。

[0022]

[数4]

$$q^z_{i+1/2,j} = -\lambda_{i+1/2,j}\left(T^z_{i+1,j} - T^z_{ij}\right)/\Delta x \qquad \text{式（4）}$$

[0023] なお、上記式（１）におけるＬ$_{ij}$は、格子点（ｉ、ｊ）における凝固潜熱λ$_{i+1/2,j}$＝（λ$_{i+1,j}$＋λ$_{ij}$）／２である。上記式（２）におけるΔｘ$_i$は格子点（ｉ－１／２、ｊ）から格子点（ｉ＋１／２、ｊ）までの距離であり、上記式（２）におけるΔｙ$_i$は格子点（ｉ、ｊ－１／２）から格子点（ｉ、ｊ＋１／２）までの距離である。また、幅方向境界条件は、短辺表面をｉ＝１とするとき、鋳造方向位置ｚ－１における熱伝達係数Ｋ$_x$および外部代表温度Ｔ$_E$を用いて下記式（５）で表される。

[0024] [数5]

$$q^z_{i-1/2,j} = K_x\left(T^z_{ij} - T_E\right) \qquad \text{式（5）}$$

[0025] また、幅方向中央線上をｉ＝Ｉ＋１とするとき、幅方向中央線上では、下記式（６）で表される対称境界条件を仮定する。

[0026] [数6]

$$q^z_{i+1/2,j} = 0 \qquad \text{式（6）}$$

[0027] また、上記式（２）において、ｑ$^z_{i,j+1/2}$は、厚み方向の格子点（ｉ、ｊ）から格子点（ｉ、ｊ＋１）への熱流束であり、厚み方向内部をｊ＝２、…、Ｊとするとき、下記式（７）で表される。

[0028] [数7]

$$q^z_{i,j+1/2} = -\lambda_{i,j+1/2}\left(T^z_{i,j+1} - T^z_{ij}\right)/\Delta y \qquad \text{式（7）}$$

[0029] なお、λ$_{i,j+1/2}$＝（λ$_{i,j+1}$＋λ$_{ij}$）／２である。上記式（７）において、Δｙは格子点（ｉ、ｊ）から格子点（ｉ、ｊ＋１）までの距離である。また、厚み方向境界条件は、長辺表面をｊ＝１とするとき、鋳造方向位置ｚ－１における熱伝達係数Ｋ$_y$および外部代表温度Ｔ$_E$を用いて下記式（８）で

表される。

[0030] [数8]

$$q^{z}_{i,j-1/2} = K_y\left(T^{z}_{ij} - T_E\right) \qquad \text{式（8）}$$

[0031] また、厚み中央線上をｊ＝Ｊ＋１とするとき、厚さ方向中央線上では、下記式（９）で表される対称境界条件を仮定する。

[0032] [数9]

$$q^{z}_{i,j+1/2} = 0 \qquad \text{式（9）}$$

[0033] 鋳造方向位置ｚ＋ΔｚにおけるエンタルピーＨ$_{ij}^{z+\Delta z}$を算出した後、完全液相のｆ$_{ij}^{z+\Delta z}$＝０または完全固相のｆ$_{ij}^{z+\Delta z}$＝１の場合には、上記式（１）に各々の値を代入することにより、温度Ｔ$_{ij}^{z+\Delta z}$を求める。一方、０＜ｆ$_{ij}^{z+\Delta z}$＜１の場合、温度Ｔ$_{ij}^{z+\Delta z}$は、液相中の溶質濃度で定まる状態図で表される、液相線温度Ｔ$_{L}$（Ｃ$_{k}$）（Ｃ$_{k}$は溶質成分ｋの濃度）に一致する。Ｓｃｈｅｉｌの式などで知られるように、液相中の溶質濃度は固相率に依存するので、下記式（１０）で表されるモデルを使用し、当該式（１０）と上記式（１）とを連立した方程式の解として、ｆ$_{ij}^{z+\Delta z}$およびＴ$_{ij}^{z+\Delta z}$を求める。

[0034] [数10]

$$T^{z+\Delta z}_{ij} = T_L\left\{C_k\left(f^{z+\Delta z}_{ij}\right)\right\} \qquad \text{式（１０）}$$

[0035] ミストスプレー２から散布された冷却水が衝突する、鋳片の表面から流出する熱流束が、下記式（１１）で表されるとき、熱伝達係数ｋは下記式（１２）で求める。

[0036] [数11]

$$q = cT_S^{\alpha} D_W^{\beta} v_a^{\gamma} \qquad \text{式（１１）}$$

[0037] [数12]

$$k = q/(T_S - T_E) \qquad \text{式（１２）}$$

ここで、T_Sは表面温度［℃］、D_wは表面水量密度［Ｌ／ｍ^2］、ν_aはミストスプレー空気流速［ｍ／ｓ］であり、α、β、γ、及び、ｃは各々定数である。

[0038] 冷却制御装置１０は、鋳片５の引抜き速度と、タンディッシュ内における溶鋼温度と、冷却水温とを用いて、温度評価点における鋳片表面温度の予測値を求める。さらに、この予測値と各冷却ゾーン内において予め定めた温度評価点における鋳片表面温度の目標値との偏差と、冷却水量と、により定められる評価関数を最小化するように、各冷却ゾーンの冷却水量の最適値を算出する。本発明にかかる連続鋳造機の２次冷却制御方法（以下において、「本発明の冷却制御方法」ということがある。）では、一回の制御周期内で行う、以下に説明する計算を繰り返すことにより、各トラッキング面における鋳片表面温度を、予め定めた鋳片表面温度の目標値に制御する。本発明の冷却制御方法を説明する図３を参照しつつ、本発明の冷却制御方法について、以下に説明する。

[0039] 図３に示したように、本発明の冷却制御方法は、鋳片表面温度測定工程（Ｓ１）と、鋳造速度把握工程（Ｓ２）と、トラッキング面設定工程（Ｓ３）と、鋳片目標温度設定工程（Ｓ４）と、温度固相率推定工程（Ｓ５）と、熱伝達係数推定工程（Ｓ６）と、伝熱凝固モデルパラメータ修正工程（Ｓ７）と、将来予測面設定工程（Ｓ８）と、将来予測工程（Ｓ９）と、将来温度影響係数予測工程（Ｓ１０）と、鋳片表面参照温度算出工程（Ｓ１１）と、最適化問題係数行列算出工程（Ｓ１２）と、最適化問題求解工程（Ｓ１３）と、冷却水量変更工程（Ｓ１４）と、を有している。

[0040] 鋳片表面温度測定工程（以下において、「Ｓ１」ということがある。）は、予め定めたストランド内の鋳片表面上の温度測定点における、鋳片表面温度を、鋳造中に、鋳片表面温度計７を用いて測定する工程である。

[0041] 鋳造速度把握工程（以下において、「Ｓ２」ということがある。）は、鋳造速度測定ロール８を用いて、連続鋳造機９の鋳片引抜速度（鋳造速度）を逐次測定することにより、鋳造速度を把握する工程である。このほか、Ｓ２は、例えば、冷却制御装置１０の上位計算機（不図示）から、鋳造速度の設定値に関するデータを受信することにより、鋳造速度を把握する工程、とすることもできる。

[0042] トラッキング面設定工程（以下において、「Ｓ３」ということがある。）は、鋳片断面内温度、鋳片表面温度、および、固相率分布を計算する対象であるトラッキング面を、鋳型内湯面位置から少なくとも２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの領域で、予め定めた間隔で設定する工程である。

[0043] 鋳片目標温度設定工程（以下において、「Ｓ４」ということがある。）は、Ｓ３で設定したトラッキング面における、鋳片表面温度の目標値を定める工程である。

[0044] 温度固相率推定工程（以下において、「Ｓ５」ということがある。）は、鋳造が進むことにより、Ｓ３で定めたトラッキング面が鋳片の鋳造方向へ予め定めた間隔だけ進む毎に、伝熱方程式に基づく伝熱凝固モデルにより、鋳造方向に垂直な鋳片断面内の温度、鋳片表面温度、および、固相率分布を算出して更新する工程である。

Ｓ５では、鋳片の鋳造方向に一定間隔で設定した垂直な断面における、温度および固相率分布の、前回制御周期からの変更量を、鋼が凝固する際の変態発熱を考慮した熱伝導方程式を解くことにより、算出する。

より具体的には、現在時刻をｔとし、上記式（２）乃至式（１０）を時刻ｔ－１と時刻ｔとの間の変数間の関係式とみなして、鋳型内湯面に隣接する計算点から２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの各計算点における、断面の温度および固相率分布を計算する。

[0045] 熱伝達係数推定工程（以下において、「Ｓ６」ということがある。）は、伝熱凝固モデルで用いる鋳片表面の熱伝達係数（上記式（５）及び式（８）で表される熱伝達係数）を、現在時刻ｔにおける伝熱凝固モデルパラメータ

の推定値と、時刻ｔ－１における冷却水量等の鋳造条件を用いて、算出する工程である。

[0046] 伝熱凝固モデルパラメータ修正工程（以下において、「Ｓ７」ということがある。）は、Ｓ１で測定された鋳片の表面温度と、Ｓ５で推定された鋳片表面温度との差を用いて、伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータを修正する工程である。

[0047] 伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータの修正は、Ｓ１で測定された鋳片の表面温度とＳ５で推定された鋳片表面温度の推定値との誤差に、補正係数をかけた値を、モデルパラメータ修正量として、伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータに加えることによって行う。鋳片の表面温度の測定点（以下において、「測温点」または「測温位置」ということがある。）が複数ある場合、補正係数は、行列またはベクトルで表される。伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータの修正に用いる補正係数は、推定対象のパラメータ毎に以下の手順で求める。なお、「伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータ」とは、例えば、熱流束のモデル式（１１）の右辺における係数ｃや、温度等に対する指数α，β，γ等のことをいう。

[0048] １）補正対象のパラメータについて、現在の値から微小に変更した値を設定する。

２）予め定めた時間Ｔａを現在からさかのぼり、現在時刻ｔにおいて測温位置z_kにある断面が時刻ｔ－Ｔａにあった位置z_k（ｔ－Ｔａ）における、温度および固相率の断面内分布を初期値とする。そして、時刻ｔ－Ｔａにおける位置z_k（ｔ－Ｔａ）から、現在時刻ｔにおける測温位置z_kまでの冷却条件の履歴を与えて、上記式（２）乃至（１０）の計算を繰返すことにより、現在時刻ｔにおいてパラメータを微小変更した場合の、測温点における温度推定値を算出する。上記遡及時間範囲Ｔａは、補正対象パラメータが、測温位置z_kにある断面の状態に影響を及ぼす範囲に限定すればよい。

３）各パラメータ修正量に対する温度変化量の関係を表す線型関係式を、

下記手順で求める。

パラメータθ_lを$\Delta\theta_l$だけ変更したときに、Ｓ５で推定した表面温度Ｔｋ（ｔ）に対し、上記２）で算出した表面温度推定値が$T_k+\Delta T_{kl}$に変化したとすると、ΔT_{kl}は下記式（１３）で表すことができる。

[0049] [数13]

$$\Delta T_{kl} = A^a_{kl}\Delta\theta_l \qquad \text{式（１３）}$$

式（１３）におけるA^a_{kl}の推定値は、下記式（１４）で表される。

[0050] [数14]

$$A^a_{kl} = \Delta T_{kl}(t)/\Delta\theta_l \qquad \text{式（１４）}$$

なお、A^a_{kl}をｋ行ｌ列の成分とする行列をA^aと書くと、全修正対象パラメータによる、測温点における表面温度への影響を合わせた温度変化推定値は、$\Delta\theta_l$を第ｌ成分とするベクトル$\Delta\theta=[\Delta\theta_1 \quad \Delta\theta_2 \quad \cdots \quad \Delta\theta_l]^T$を用いて、$A^a\Delta\theta$と表される。

[0051] パラメータの最適修正量は、下記式（１５）で表される、各測温点の温度測定値T^a_k（ｔ）とT_k（ｔ）との偏差ϕ^a_k（ｔ）を並べたベクトルϕ^a（ｔ）を、修正後パラメータによる温度変化$A^a\Delta\theta$が、数値的計算誤差やデータのばらつきを考慮して最もよく近似するように決定する。

[0052] [数15]

$$\phi^a_k(t) = T^a_k(t) - T_k(t) \qquad \text{式（１５）}$$

[0053] すなわち、ΔA^aをゲイン行列A^aの各成分の誤差を表す行列とするとき、

[0054] [数16]

$$J = \left\langle \left| \phi^a(t) - \left(A^a + \Delta A^a\right)\Delta\theta \right|^2 \right\rangle \qquad \text{式（１６）}$$

を最小化する値を求める。ただし、$\langle x\rangle$は変数ｘの期待値を表す。

[0055] Ｊの最小値は解析的に解くことができ、Ｊを最小化するパラメータ修正量

Δθ（ｔ）は、下記式（１７）で表される。

[0056] [数17]

$$\Delta\theta(t) = \left(A^{aT}A^{a} + \left\langle \Delta A^{aT}\Delta A^{a} \right\rangle\right)^{-1} A^{a}\phi^{a}(t) \qquad \text{式（１７）}$$

ただし、<ΔＡ^{a}>＝０とする。ゲイン行列からなる<ΔＡ^{aT}ΔＡ^{a}>は、ゲイン行列の各成分の相関が０であると仮定すれば、対角成分ΔＡ$^{a}{}_{ii}$の分散を各々同じ位置の対角成分とする行列で表されるので、プロセスなどの知識により予め定めておく。

以上のようにして求めたパラメータ修正量Δθ（ｔ）を現在のパラメータに加えた

[0057] [数18]

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \Delta\theta(t) \qquad \text{式（１８）}$$

を、次回時刻以降の制御操作量算出に用いる。

[0058] 将来予測面設定工程（以下において、「Ｓ８」ということがある。）は、Ｓ３で設定したトラッキング面の集合の中から、予め定めた鋳造方向に一定の間隔で、将来時刻における鋳片表面温度、鋳片断面内温度、および、固相率分布を予測する将来予測面を設定する工程である。

[0059] 将来予測工程（以下において、「Ｓ９」ということがある。）は、鋳造が進むことによって、Ｓ８で設定した任意の将来予測面が現在時刻から下流側に隣接する将来予測面位置まで進む間に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、Ｓ８で設定した各将来予測面が上記下流側に隣接する将来予測面位置に到達するときの鋳片表面温度、鋳片断面内温度、および、固相率分布を、Ｓ８で定めた間隔（伝熱計算間隔）毎に上記伝熱凝固モデルを用いて繰り返し予測して更新する工程である。Ｓ９では、現在時刻における鋳造速度、各冷却ゾーンの冷却水量、および、Ｓ７で修正した伝熱凝固モデルのパラメータの値を用いて、鋳片表面温度、鋳片断面内温度、および、固相率分布を予測する。予測計算の初期値には、Ｓ５で求めた現在時刻ｔにおける

各将来温度予測面の鋳片表面温度、鋳片断面内温度、および、固相率分布の値を用いる。なお、「将来予測面位置」とは、Ｓ８で設定された将来予測面の位置である。

[0060] 図４は、Ｓ８で設定した各将来予測面がその下流側に隣接する将来予測面位置まで移動する間に、表面温度を評価するトラッキング面の位置と、温度を予測する相対時刻との関係を説明する図である。以下において、トラッキング面の位置を「トラッキング面位置」ということがある。図４では、「●」で示した時刻に表面温度が予測されることを示している。図４に示した、複数の「●」を結んだ斜めの直線の傾きは、現在時刻ｔにおける鋳造速度ｖ（ｔ）に相当する。Ｓ９では、将来予測面ｉのトラッキング面位置z_iにおける鋳片表面温度予測値を、将来予測温度T^{pred}_{ij}とする。

[0061] 将来温度影響係数予測工程（以下において、「Ｓ１０」ということがある。）は、鋳造が進むことにより、Ｓ８で設定した将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む毎に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、各冷却ゾーンの冷却水量がステップ関数状に変化した場合の、各将来予測面がその下流側に隣接する将来予測面位置に到達するまでに通過する各トラッキング面位置における鋳片表面温度を予測し、この予測した鋳片表面温度とＳ９で予測した鋳片表面温度との偏差を求め、この偏差を用いて、ステップ関数状に変化する冷却水量に対する変化影響係数（「将来温度影響係数」とも称する。）を求める工程である。

Ｓ１０では、各冷却ゾーンｋについて、現在時刻ｔで各冷却水量q_k（ｔ）をステップ状にΔq_kだけ変更した場合に、将来予測面ｉがその鋳造方向下流側に隣接する将来予測面の位置z_jに到達するときの鋳片表面温度T^k_{ij}を予測し、Ｓ９で求めたT^{pred}_{ij}との間の偏差ΔT^k_{ij}（ｔ）＝$T^k_{ij}-T^{pred}_{ij}$とΔq_kとの関係を

[0062] [数19]

$$\Delta T^k_{ij} = M^k_{ij}\Delta q_k \qquad \text{式（１９）}$$

と表した時の係数M^k_{ij}を将来温度影響係数として求める。Ｓ１０では、各将来予測面について、ｊ行ｋ列成分に将来温度影響係数M^k_{ij}を並べた表面温度変化ゲイン行列M_iを算出する。

[0063] 鋳片表面参照温度算出工程（以下において、「Ｓ１１」ということがある。）は、Ｓ４で設定した鋳片表面温度の目標値と、Ｓ１０で予測した、将来予測面が将来予測面位置に到達する時点における鋳片表面温度の予測値との間の値である、時間に応じて決定される中間目標値（Ｓ１０の予測計算を繰り返すたびにＳ４で設定した鋳片表面温度の目標値に漸近する温度）である参照目標温度を算出する工程である。

Ｓ１１では、例えば、現在時刻において第ｉ冷却ゾーンの入り口にある断面の、温度評価点z_jにおける参照目標温度T^{ref}_{ij}は、下記式（２０）に示したように、将来予測温度T^{pred}_{ij}と目標温度T^{tgt}_jとの間を時間t_{ij}の指数関数に従う比で内分する温度として定めることができる。Ｓ１１は、時間の関数で表される参照目標温度軌道T^{ref}_{ij}（ｔ）を求める工程、とすることができる。

[0064] [数20]

$$T_{ij}^{ref} = T_j^{tgt} + \exp\left(-t_{ij}/T_r\right)\left(T_{ij}^{pred} - T_j^{tgt}\right) \qquad \text{式（２０）}$$

ここで、T_rは、予め定めた減衰パラメータに相当する時定数である。

[0065] 最適化問題係数行列算出工程（以下において、「Ｓ１２」ということがある。）は、現在時刻ｔにおける各冷却ゾーンの冷却水量を決定変数とし、Ｓ９およびＳ１０の各々において各将来予測面が通過した各将来予測面位置における将来温度影響係数と、参照目標温度と鋳片表面将来予測温度との偏差を算出し、算出した当該偏差の各将来予測面に関する和を最小化する最適化問題の２次計画問題とし、この２次計画問題における決定変数に対する係数行列を算出する工程である。

Ｓ１２では、Ｓ１１の評価時刻ｔにおける各評価位置z_jの鋳片表面温度応答T^{pred}_{ij}（ｔ）＋ΔT_{ij}（ｔ）と参照目標温度軌道T^{ref}_{ij}（ｔ）との偏

差の重み付き二乗和と、各冷却ゾーンにおける冷却水量の変更ステップ幅Δq_kの二乗和との合計を評価関数とし、この評価関数を最小化するΔq＝［Δq_1　Δq_2　…　Δq_K］^{T}を求める。評価関数は下記式（２１）で表される。

[0066] [数21]

$$J=\sum_i\left(T_i^{pred}+\Delta T_i-T_i^{ref}\right)^T Q\left(T_i^{pred}+\Delta T_i-T_i^{ref}\right)+\Delta q^T R\Delta q \qquad \text{式（２１）}$$

ここで、$Tpred_i$、$Tref_i$、および、ΔT_iは、それぞれ、式（２２）、式（２３）、および、式（２４）で表される。

[0067] [数22]

$$T_i^{pred}=\left[T_{i1}^{pred}\quad T_{i2}^{pred}\quad\cdots\quad T_{iJ}^{pred}\right]^T \qquad \text{式（２２）}$$

[0068] [数23]

$$T_i^{ref}=\left[T_{i1}^{ref}\quad T_{i2}^{ref}\quad\cdots\quad T_{iJ}^{ref}\right]^T \qquad \text{式（２３）}$$

[0069] [数24]

$$\Delta T_i=\left[\Delta T_{i1}\quad \Delta T_{i2}\quad\cdots\quad \Delta T_{iJ}\right]^T \qquad \text{式（２４）}$$

評価関数の温度偏差の項は、Ｓ１０で求めたゲイン行列を用いて下記式（２５）のように書き換えることができ、さらに、冷却水量の変更ステップ幅Δq_kに無関係な項を除けば、上記評価関数の最小化は、下記式（２６）で表されるＪ’の最小化と等価である。

[0070] [数25]

$$\Delta T_i(t)=M_i(t)\Delta q \qquad \text{式（２５）}$$

[0071]

[数26]

$$J' = \sum_i \left\{ \Delta q^T M_i(t)^T Q M_i \Delta q + 2\left(T_i^{pred}(t) - T_i^{ref}(t)\right)^T Q M_i(t) \Delta q \right\} + \Delta q^T R \Delta q$$
$$= \Delta q^T \left\{ \sum_i M_i(t)^T Q M_i + R \right\} \Delta q + 2\left(T_i^{pred}(t) - T_i^{ref}(t)\right)^T Q \sum_i M_i(t) \Delta q \qquad \text{式（２６）}$$

[0072] Ｊ’の最小化は、Δｑを決定変数とする２次計画問題である。Ｑは Ｉ×Ｉ次元の非負定行列、ＲはＫ×Ｋ次元の正定行列である。例えば、Ｑには対角成分が負でない定数である対角行列などを用い、Ｒには対角成分が正の定数である対角行列などを用いる。さらに、冷却水量の変更ステップ幅の上限および下限や、冷却水量の上限および下限などに基づく制約条件を加えることにより、ミストスプレー２における物理的な制約を反映することができる。

[0073] 最適化問題求解工程（以下において、「Ｓ１３」ということがある。）は、Ｓ１２における２次計画問題を数値的に解くことにより、現在時刻におけるΔｑの最適値Δｑ*を求める工程である。上記２次計画問題は凸２次計画問題であるため、Δｑに制約がない場合、最適解Δｑ*は、下記式（２７）で求められる。また、Δｑに制約がある場合には、有効制約法などを用いることにより、容易に最適解Δｑ*を求めることができる。

[0074] [数27]

$$\Delta q^* = \left\{ \sum_i M_i(t)^T Q M_i + R \right\}^{-1} \sum_i M_i(t)^T Q \left(T_i^{pred}(t) - T_i^{ref}(t)\right) \qquad \text{式（２７）}$$

[0075] 冷却水量変更工程（以下において、「Ｓ１４」ということがある。）は、Ｓ１３で求めた最適解Δｑ*を、現在の冷却ゾーンの冷却水量ｑ（ｔ）へと加えることにより、

[0076] [数28]

$$q(t+1) = q(t) + \Delta q^* \qquad \text{式（２８）}$$

に変更する。このようにして変更された冷却水量ｑ（ｔ＋１）は、次回の制御周期で用いられる。

[0077] Ｓ１乃至Ｓ１４を有する本発明の冷却制御方法によれば、表面温度を評価するトラッキング面の鋳造方向下流側に隣接している冷却ゾーンの入口以外の位置にも、冷却水量の変更の影響をすぐに反映することができるので、鋳片全体の表面温度を、予め定めた目標温度に常に一致するように制御することが可能になる。したがって、本発明の冷却制御方法によれば、鋳片全体の表面温度を予め定めた目標温度に制御する際の精度を高めることが可能になる。鋳片全体の表面温度を精度良く目標温度に制御することにより、いかなる鋳造速度でも、また鋳造速度が鋳造中に変化した場合でも、連続鋳造機の曲げセグメントや矯正セグメントにおいて、表面温度を鋼の脆化域を回避するように制御することが可能になるので、表面疵による欠陥のない鋳片を製造することが可能になる。

[0078] 以上説明した本発明の冷却制御方法は、例えば、図５に示した冷却制御装置１０を用いて実施することができる。図１および図５に示したように、冷却制御装置１０は、鋳片表面温度測定部７として機能する鋳片表面温度計７と、鋳造速度把握部８として機能する鋳造速度測定ロール８と、トラッキング面設定部１０ａと、鋳片目標温度設定部１０ｂと、温度固相率推定部１０ｃと、熱伝達係数推定部１０ｄと、伝熱凝固モデルパラメータ修正部１０ｅと、将来予測面設定部１０ｆと、将来予測部１０ｇと、将来温度影響係数予測部１０ｈと、鋳片表面参照温度算出部１０ｉと、最適化問題係数行列算出部１０ｊと、最適化問題求解部１０ｋと、冷却水量変更部１０ｌと、を有している。上述のように、鋳片表面温度計７はＳ１で用いられ、鋳造速度測定ロール８はＳ２で用いられる。また、トラッキング面設定部１０ａではＳ３が、鋳片目標温度設定部１０ｂではＳ４が、温度固相率推定部１０ｃではＳ５が、熱伝達係数推定部１０ｄではＳ６が、伝熱凝固モデルパラメータ修正部１０ｅではＳ７が、それぞれ行われる。さらに、将来予測面設定部１０ｆではＳ８が、将来予測部１０ｇではＳ９が、将来温度影響係数予測部１０ｈではＳ１０が、鋳片表面参照温度算出部１０ｉではＳ１１が、それぞれ行われ、最適化問題係数行列算出部１０ｊではＳ１２が、最適化問題求解部１０

ｋではＳ１３が、冷却水量変更部１０ｌではＳ１４が、それぞれ行われる。したがって、冷却制御装置１０を用いることにより、本発明の冷却制御方法を実施することができる。したがって、本発明によれば、鋳片全体の表面温度を、予め定めた目標温度に常に一致するように制御することが可能な、連続鋳造機の２次冷却制御装置を提供することができる。

実施例

[0079] スラブ用連続鋳造機において、鋳型出口直下の第１冷却ゾーンから最終の第１０冷却ゾーンまでを対象に、本発明を適用した実施例を以下に示す。

温度目標値は、鋳造速度一定と仮定して、各冷却ゾーン水量を最適化した場合のストランド伝熱凝固計算による、トラッキング面位置における鋳片表面温度計算値を用いた。本実施例で使用した連続鋳造機は、鋳片幅２３００ｍｍ、鋳片厚３００ｍｍ、鋳型内メニスカス位置から２次冷却帯出口までの距離２８．５ｍのスラブ用連続鋳造機である。本実施例における伝熱計算の更新間隔は２５ｍｍ、トラッキング面の間隔は１２５ｍｍ、将来温度予測面の間隔は１．２５ｍとした。トラッキング面では、鋳片の断面を長辺中心線および短辺中心線で分割した４分の１断面（図２参照）を、厚み方向に２０分割および幅方向に４０分割して、上記伝熱凝固モデルによる計算を行った。

なお、鋳片の鋳片表面温度の測定は、第４冷却ゾーン出側の、メニスカスから５．２５ｍ離れた位置で行い、鋳片長辺面中央で、放射温度計にて測定を行った。

[0080] ［実施例１］

鋳造中に鋳込速度を２５％減少させた場合に本発明の冷却制御方法を適用した（実施例１）。実施例１における、各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を図６Ａおよび図６Ｃに、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を図６Ｂおよび図６Ｄに、鋳造速度と時間との関係についての結果を図６Ｅに、それぞれ示す。鋳造速度を０．８ｍ／ｍｉｎから０．６ｍ／ｍｉｎに急に減少させ、その

５分後に０．８ｍ／ｍｉｎに戻した場合、実施例１における、各冷却ゾーン出口の鋳片表面温度と目標温度との二乗誤差平方根は、１２℃から１８℃の間であった。

一方、鋳造中に鋳込速度を２５％減少させた場合に従来の水量カスケード制御を適用したとき（比較例）の結果を、図７Ａ～図７Ｅに示す。具体的には、比較例における、各冷却ゾーン出口での鋳片幅方向中央部表面温度と時間との関係についての結果を図７Ａおよび図７Ｃに、各冷却ゾーンにおける冷却水量と時間との関係についての結果を図７Ｂおよび図７Ｄに、鋳造速度と時間との関係についての結果を図７Ｅに、それぞれ示す。比較例では、実施例１と同じ条件で鋳造速度を変化させたにもかかわらず、各冷却ゾーン出口の鋳片表面温度と目標温度との二乗誤差平方根は、１７℃から２４℃であった。図６Ａ～図６Ｅおよび図７Ａ～図７Ｅに示したように、特に、鋳造速度を０．８ｍ／ｍｉｎから０．６ｍ／ｍｉｎへと低減した後、および、鋳造速度を０．６ｍ／ｍｉｎから０．８ｍ／ｍｉｎに戻した後における第１冷却ゾーンから第５冷却ゾーンまでの冷却水量の制御を比較すると、図６Ａ～図６Ｅに示した実施例１では、図７Ａ～図７Ｅに示した比較例よりも、第１冷却ゾーンから第５冷却ゾーンの冷却水量が冷却ゾーン出口の鋳片表面温度と目標温度との差が少なくなるように、好適な形でずれている様子が確認された。この結果から、本発明によれば、鋳造速度を変更しても、鋳片の表面温度を目標温度に高精度に制御可能であることが確認された。

[0081] ［実施例２］

鋳造中に第３冷却ゾーンの温度目標値を２０℃低下させるように変更した場合に本発明の冷却制御方法を適用した（実施例２）。なお、この目標温度とは将来予測工程で予測される鋳片表面温度が近付くべき目標値である。実施例２における、鋳片表面温度の実績値および目標温度と時間との関係についての結果を図８Ａに、冷却水量と時間との関係についての結果を図８Ｂに、鋳造速度と時間との関係についての結果を図８Ｃに、それぞれ示す。

図８Ａ～図８Ｃに示したように、温度目標値を低下させた後、第３冷却ゾ

ーンの冷却水量は次第に増加させた結果、第３冷却ゾーンの出口における鋳片表面温度は、２０℃低下させた変更後の目標温度に漸近した。これに対し、温度目標値を低下させた後に、第４冷却ゾーンの冷却水量を若干低減することにより、第４冷却ゾーンの入口における鋳片温度の低下を補償した。その結果、第４冷却ゾーンの出口における鋳片表面温度の変化幅は３℃に抑制された。すなわち、本発明によれば、鋳片の表面温度を目標温度に高精度に制御可能であることが確認された。

なお、実施例２では、第３冷却ゾーンよりも鋳造方向の上流側に位置する第１冷却ゾーンや第２冷却ゾーンにおける冷却水量、および、温度には変化がなかった。そのため、第１冷却ゾーンおよび第２冷却ゾーンの結果の図示は省略し、第３冷却ゾーンおよび第４冷却ゾーンの結果のみを図示した。

[0082] ［実施例３］

事前の冷却水量計算で設定された冷却水量で冷却すると、第４冷却ゾーンの出口における鋳片表面温度が目標温度よりも１６℃高くなると予想された際に、本発明の冷却制御方法によって実際の熱伝達係数を逐次推定しながら、第４冷却ゾーンの冷却水量を調整した（実施例３）。実施例３における、鋳片表面温度の実績値および目標温度と時間との関係についての結果を図９Ａに、冷却水量と時間との関係についての結果を図９Ｂに、鋳造速度と時間との関係についての結果を図９Ｃに、それぞれ示す。

図９Ａ～図９Ｃに示したように、第４冷却ゾーンでは冷却水量を当初の設定値よりも増大させるように制御され、その結果、第４冷却ゾーンの出口における鋳片表面温度を目標値に一致させることができた。この結果から、本発明によれば、鋳片の表面温度を目標温度に高精度に制御可能であることが確認された。

なお、実施例３では、第３冷却ゾーンよりも鋳造方向の上流側に位置する第１冷却ゾーンや第２冷却ゾーンにおける冷却水量、および、温度には変化がなかった。そのため、第１冷却ゾーンおよび第２冷却ゾーンの結果の図示は省略し、第３冷却ゾーンおよび第４冷却ゾーンの結果のみを図示した。

符号の説明

[0083] １…鋳型

２…ミストスプレー

３…流量調整弁

４…溶鋼メニスカス

５…鋳片

６…冷却ゾーン境界線（入口または出口位置）

７…鋳片表面温度計

８…鋳造速度測定ロール

９…連続鋳造機

１０…冷却制御装置

１０ａ…トラッキング面設定部

１０ｂ…鋳片目標温度設定部

１０ｃ…温度固相率推定部

１０ｄ…熱伝達係数推定部

１０ｅ…伝熱凝固モデルパラメータ修正部

１０ｆ…将来予測面設定部

１０ｇ…将来予測部

１０ｈ…将来温度影響係数予測部

１０ｉ…鋳片表面参照温度算出部

１０ｊ…最適化問題係数行列算出部

１０ｋ…最適化問題求解部

１０ｌ…冷却水量変更部

請求の範囲

[請求項1] 連続鋳造機の鋳型から引き抜かれた鋳片を冷却する２次冷却帯を、前記鋳片の鋳造方向に複数の冷却ゾーンへと分割し、前記鋳片へ向けて噴射される冷却水量を各冷却ゾーンで制御することにより、前記鋳片の表面温度を制御する方法において、

予め定めたストランド内の温度測定点における前記鋳片の表面温度を、前記鋳片の鋳造中に測定する、鋳片表面温度測定工程と、

前記連続鋳造機の鋳造速度を把握する、鋳造速度把握工程と、

前記鋳片の断面内温度、前記鋳片の表面温度、および、前記鋳片の固相率分布を計算する対象であるトラッキング面を、鋳型内湯面位置から少なくとも２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの領域で、予め定めた間隔で設定する、トラッキング面設定工程と、

前記トラッキング面における、前記鋳片の表面温度の目標値を定める、鋳片目標温度設定工程と、

鋳造が進むことにより、前記トラッキング面が前記鋳片の鋳造方向へ予め定めた間隔だけ進む毎に、伝熱方程式に基づく伝熱凝固モデルにより、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、前記鋳片の表面温度、および、前記鋳片の固相率分布を算出して更新する、温度固相率推定工程と、

前記伝熱凝固モデルで用いる前記鋳片の表面の熱伝達係数を、前記冷却水量を含む鋳造条件を用いて算出する、熱伝達係数推定工程と、

前記鋳片表面温度測定工程で測定された前記鋳片の表面温度と、前記温度固相率推定工程で推定された前記鋳片の表面温度との差を用いて、前記伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータを修正する、伝熱凝固モデルパラメータ修正工程と、

前記トラッキング面設定工程で設定された前記トラッキング面の集合の中から、予め定めた鋳造方向に一定の間隔で、将来時刻における前記鋳片の表面温度、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、

および、前記鋳片の固相率分布を予測する将来予測面を設定する、将来予測面設定工程と、

鋳造が進むことによって、任意の前記将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む間に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、それぞれの前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達するときの前記鋳片の表面温度、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、および、前記鋳片の固相率分布を、前記将来予測面設定工程で用いた前記間隔毎に、前記伝熱凝固モデルを用いて繰り返し予測して更新する、将来予測工程と、

鋳造が進むことによって、任意の前記将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む毎に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、前記各冷却ゾーンの冷却水量がステップ関数状に変化した場合の、それぞれの前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達するまでに通過する、各トラッキング面位置における前記鋳片の表面温度を予測し、該予測した前記鋳片の表面温度と、前記将来予測工程で予測した前記鋳片の表面温度との偏差を求め、該偏差を用いて、ステップ関数状に変化する前記冷却水量に対する変化影響係数を求める、将来温度影響係数予測工程と、

前記鋳片目標温度設定工程で設定した前記鋳片の表面温度の目標値と、前記将来温度影響係数予測工程で予測した、前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達する時点における前記鋳片の表面温度の予測値との間の値である、時間に応じて決定される参照目標温度を算出する、鋳片表面参照温度算出工程と、

現在時刻における前記各冷却ゾーンの冷却水量を決定変数とし、前記将来予測工程および前記将来温度影響係数予測工程の各々においてそれぞれの前記将来予測面が通過した各将来予測面位置における将来温度影響係数、および、前記鋳片表面参照温度算出工程で算出した前記参照目標温度と前記将来予測工程で予測した前記鋳片の表面温度と

の偏差を算出し、それぞれの前記将来予測面で算出した該偏差の和を最小化する最適化問題の２次計画問題とし、該２次計画問題における決定変数に対する係数行列を算出する、最適化問題係数行列算出工程と、

前記２次計画問題を数値的に解くことにより、ステップ関数状に変化する前記冷却水量の変更量の、現在時刻における最適値を求める、最適化問題求解工程と、

前記最適値を、現在の冷却ゾーンの冷却水量へと加えることにより冷却水量を変更する、冷却水量変更工程と、を有し、

前記冷却水量変更工程で、前記冷却水量の変更を繰り返すことにより、鋳造中の任意の時刻において各トラッキング面が前記２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口まで移動する間に、前記将来予測面の、前記将来予測面位置における前記鋳片の表面温度を、前記鋳片目標温度設定工程で定めた前記鋳片の表面温度の目標値に制御することを特徴とする、連続鋳造機の２次冷却制御方法。

[請求項2] 連続鋳造機の鋳型から引き抜かれた鋳片を冷却する２次冷却帯を、前記鋳片の鋳造方向に複数の冷却ゾーンへと分割し、前記鋳片へ向けて噴射される冷却水量を各冷却ゾーンで制御することにより、前記鋳片の表面温度を制御する装置であって、

予め定めたストランド内の温度測定点における前記鋳片の表面温度を、前記鋳片の鋳造中に測定する、鋳片表面温度測定部と、

前記連続鋳造機の鋳造速度を把握する、鋳造速度把握部と、

前記鋳片の断面内温度、前記鋳片の表面温度、および、前記鋳片の固相率分布を計算する対象であるトラッキング面を、鋳型内湯面位置から少なくとも２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口までの領域で、予め定めた間隔で設定する、トラッキング面設定部と、

前記トラッキング面における、前記鋳片の表面温度の目標値を定める、鋳片目標温度設定部と、

鋳造が進むことにより、前記トラッキング面が前記鋳片の鋳造方向へ予め定めた間隔だけ進む毎に、伝熱方程式に基づく伝熱凝固モデルにより、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、前記鋳片の表面温度、および、前記鋳片の固相率分布を算出して更新する、温度固相率推定部と、

前記伝熱凝固モデルで用いる前記鋳片の表面の熱伝達係数を、前記冷却水量を含む鋳造条件を用いて算出する、熱伝達係数推定部と、

前記鋳片表面温度測定部で測定された前記鋳片の表面温度と、前記温度固相率推定部で推定された前記鋳片の表面温度との差を用いて、前記伝熱凝固モデルにおける鋳造条件に対するパラメータを修正する、伝熱凝固モデルパラメータ修正部と、

前記トラッキング面設定部で設定された前記トラッキング面の集合の中から、予め定めた鋳造方向に一定の間隔で、将来時刻における前記鋳片の表面温度、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、および、前記鋳片の固相率分布を予測する将来予測面を設定する、将来予測面設定部と、

鋳造が進むことによって、任意の前記将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む間に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、それぞれの前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達するときの前記鋳片の表面温度、前記鋳造方向に垂直な前記鋳片の断面内温度、および、前記鋳片の固相率分布を、前記将来予測面設定部で用いた前記間隔毎に、前記伝熱凝固モデルを用いて繰り返し予測して更新する、将来予測部と、

鋳造が進むことによって、任意の前記将来予測面が現在時刻からその下流側に隣接する将来予測面位置まで進む毎に、鋳造速度が現在時刻から変化しないと仮定して、前記各冷却ゾーンの冷却水量がステップ関数状に変化した場合の、それぞれの前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達するまでに通過する、各トラッキング面位置における

前記鋳片の表面温度を予測し、該予測した前記鋳片の表面温度と、前記将来予測部で予測した前記鋳片の表面温度との偏差を求め、該偏差を用いて、ステップ関数状に変化する前記冷却水量に対する変化影響係数を求める、将来温度影響係数予測部と、

前記鋳片目標温度設定部で設定した前記鋳片の表面温度の目標値と、前記将来温度影響係数予測部で予測した、前記将来予測面が前記将来予測面位置に到達する時点における前記鋳片の表面温度の予測値との間の値である、時間に応じて決定される参照目標温度を算出する、鋳片表面参照温度算出部と、

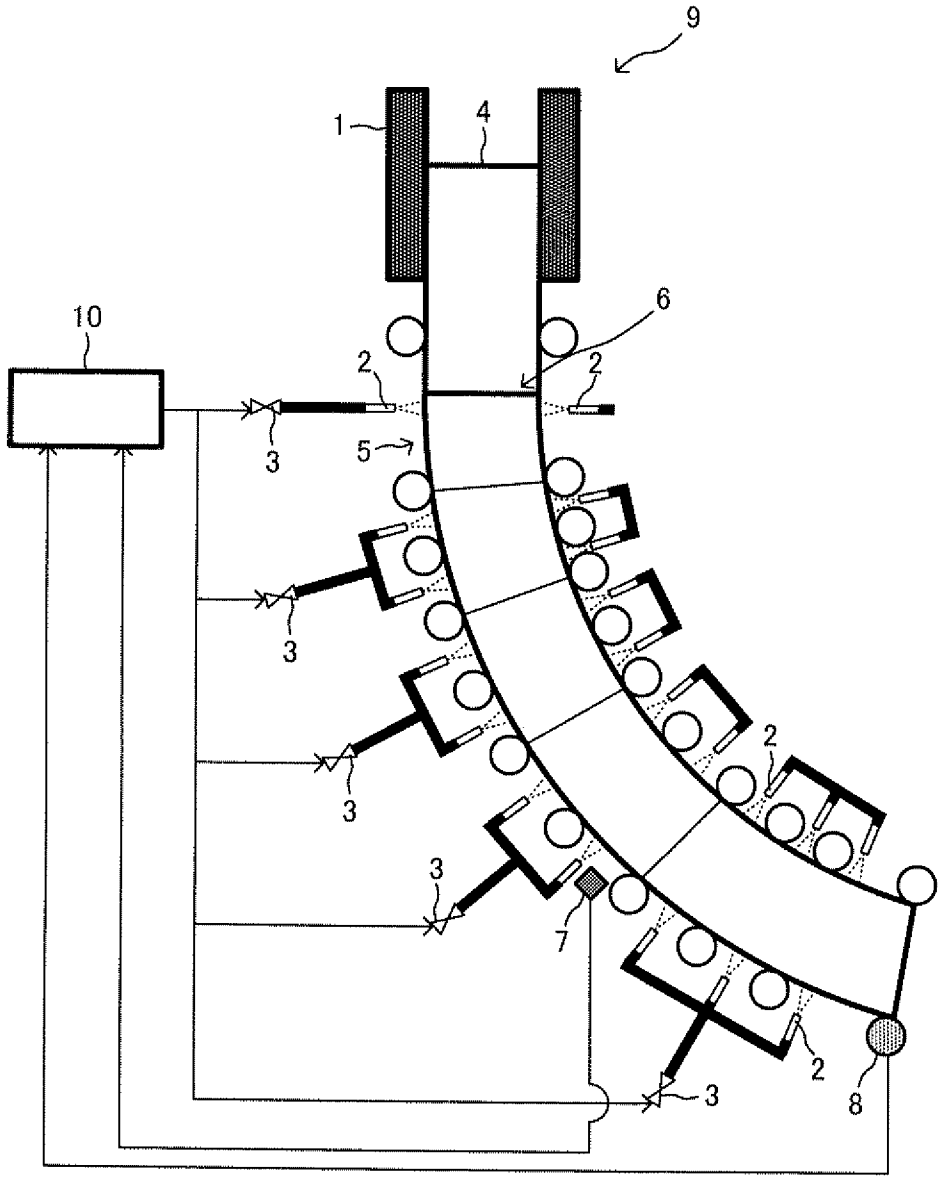
現在時刻における前記各冷却ゾーンの冷却水量を決定変数とし、前記将来予測部および前記将来温度影響係数予測部の各々においてそれぞれの前記将来予測面が通過した各将来予測面位置における将来温度影響係数、および、前記鋳片表面参照温度算出部で算出した前記参照目標温度と前記将来予測部で予測した前記鋳片の表面温度との偏差を算出し、それぞれの前記将来予測面で算出した該偏差の和を最小化する最適化問題の２次計画問題とし、該２次計画問題における決定変数に対する係数行列を算出する、最適化問題係数行列算出部と、

前記２次計画問題を数値的に解くことにより、ステップ関数状に変化する前記冷却水量の変更量の、現在時刻における最適値を求める、最適化問題求解部と、

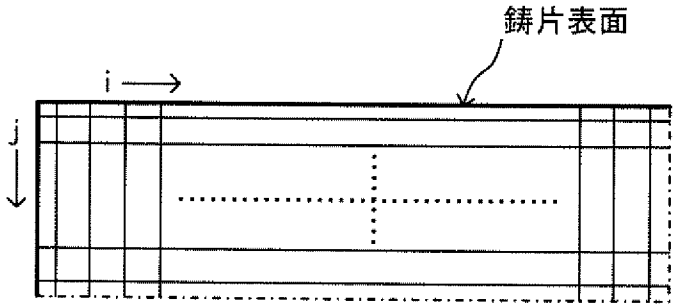
前記最適値を、現在の冷却ゾーンの冷却水量へと加えることにより冷却水量を変更する、冷却水量変更部と、を有し、

前記冷却水量変更部で、前記冷却水量の変更を繰り返すことにより、鋳造中の任意の時刻において各トラッキング面が前記２次冷却制御対象の冷却ゾーン出口まで移動する間に、前記将来予測面の、前記将来予測面位置における前記鋳片の表面温度を、前記鋳片目標温度設定部で定めた前記鋳片の表面温度の目標値に制御することを特徴とする、連続鋳造機の２次冷却制御装置。

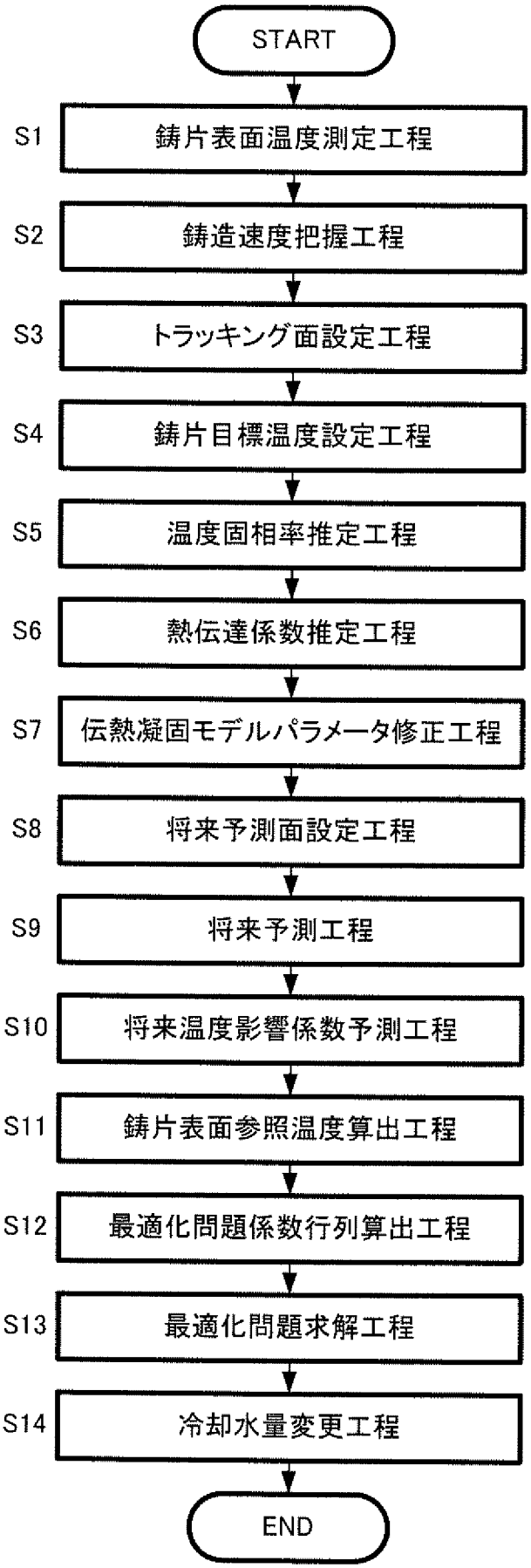
[図1]



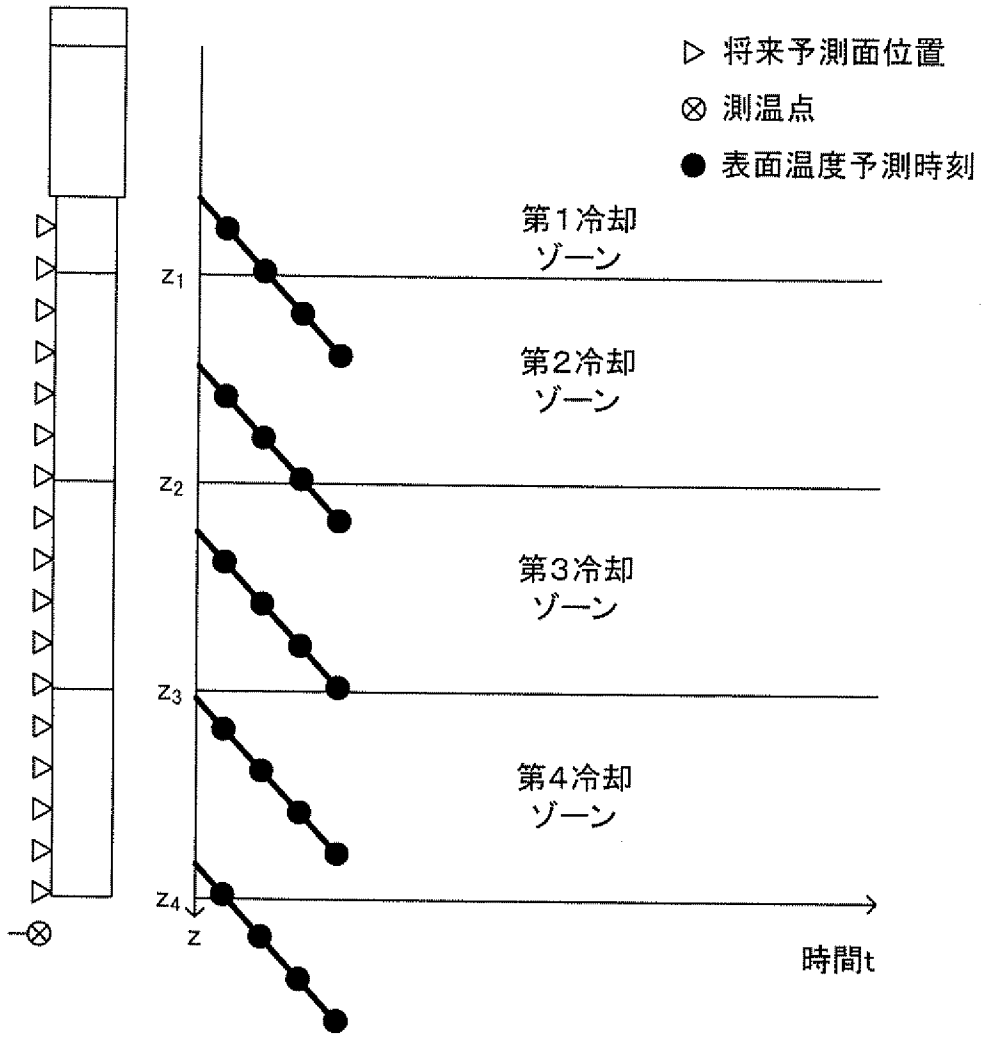
[図2]



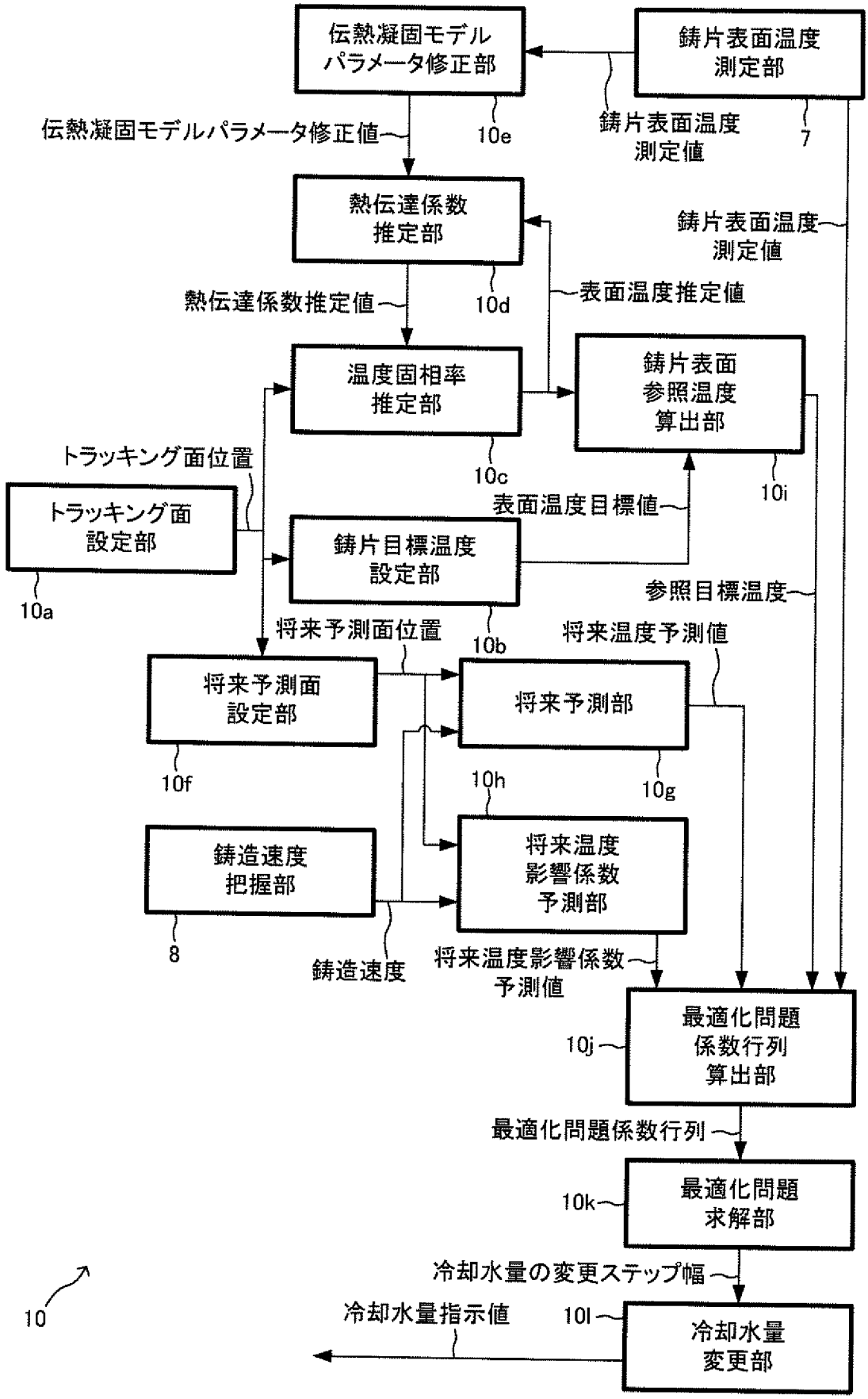
[図3]


START
S1
鋳片表面温度測定工程
S2
鋳造速度把握工程
S3
トラッキング面設定工程
S4
鋳片目標温度設定工程
S5
温度固相率推定工程
S6
熱伝達係数推定工程
S7
伝熱凝固モデルパラメータ修正工程
S8
将来予測面設定工程
S9
将来予測工程
S10
将来温度影響係数予測工程
S11
鋳片表面参照温度算出工程
S12
最適化問題係数行列算出工程
S13
最適化問題求解工程
S14
冷却水量変更工程
END

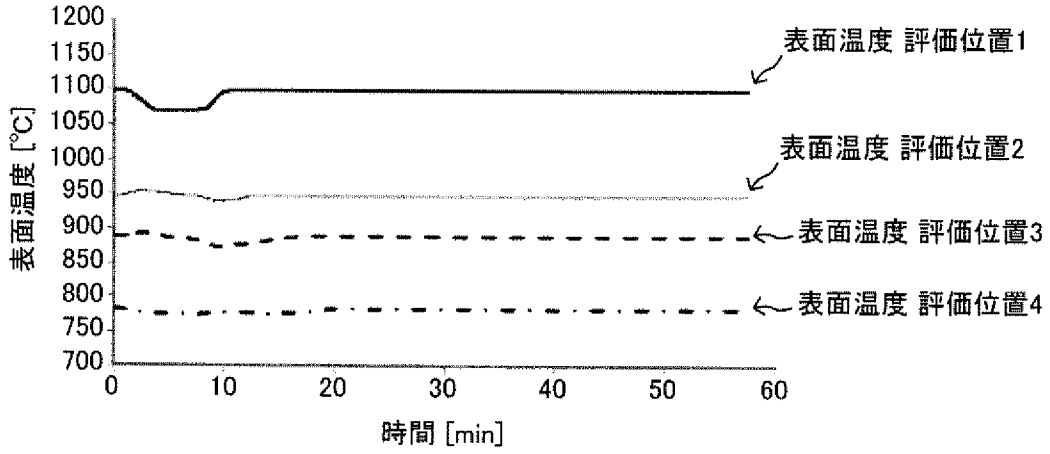
[図4]


▷ 将来予測面位置
⊗ 測温点
● 表面温度予測時刻
第1冷却
ゾーン
第2冷却
ゾーン
第3冷却
ゾーン
第4冷却
ゾーン
z1
z2
z3
z4
z
時間t

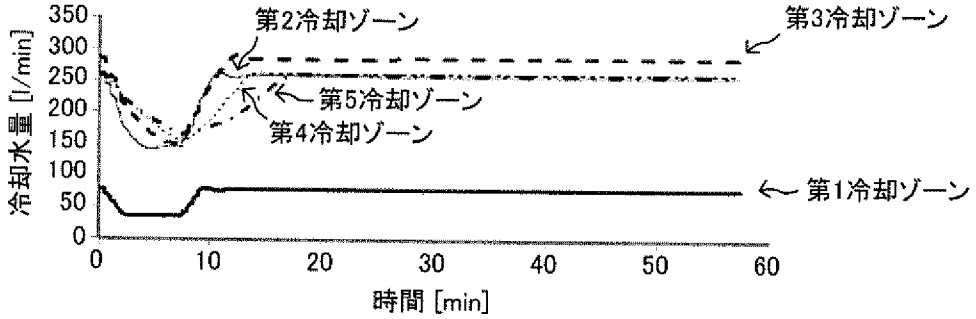
[図5]


伝熱凝固モデル
パラメータ修正部
10e
鋳片表面温度
測定部
7
伝熱凝固モデルパラメータ修正値
鋳片表面温度
測定値
熱伝達係数
推定部
10d
鋳片表面温度
測定値
熱伝達係数推定値
表面温度推定値
温度固相率
推定部
10c
鋳片表面
参照温度
算出部
10i
トラッキング面位置
トラッキング面
設定部
10a
表面温度目標値
鋳片目標温度
設定部
10b
参照目標温度
将来予測面位置
将来温度予測値
将来予測面
設定部
10f
将来予測部
10g
10h
鋳造速度
把握部
8
将来温度
影響係数
予測部
鋳造速度
将来温度影響係数
予測値
最適化問題
係数行列
算出部
10j
最適化問題係数行列
最適化問題
求解部
10k
冷却水量の変更ステップ幅
10
冷却水量指示値
10l
冷却水量
変更部

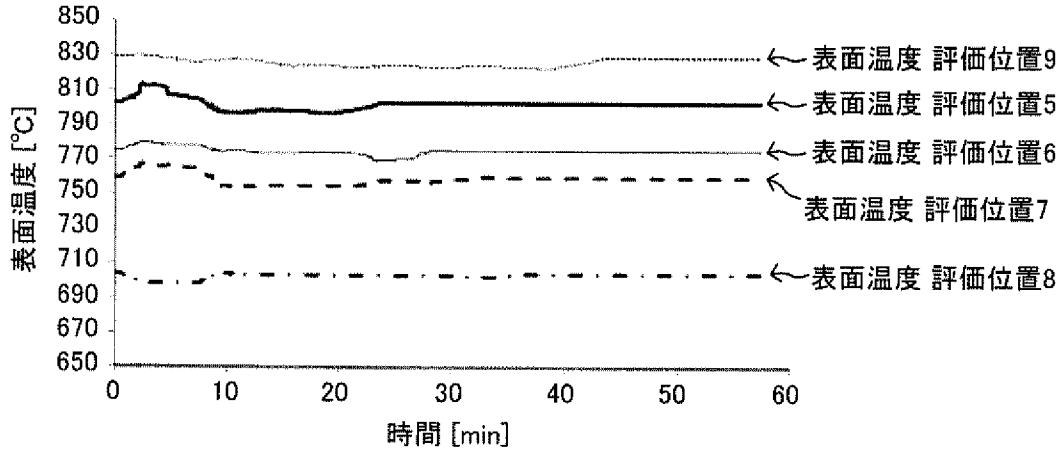
[図6A]


表面温度 評価位置1
表面温度 評価位置2
表面温度 評価位置3
表面温度 評価位置4
表面温度 [°C]
時間 [min]

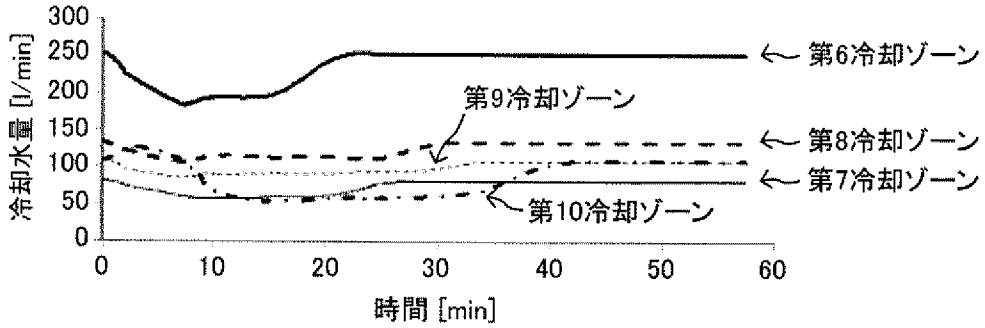
[図6B]


第2冷却ゾーン
第3冷却ゾーン
第5冷却ゾーン
第4冷却ゾーン
第1冷却ゾーン
冷却水量 [l/min]
時間 [min]

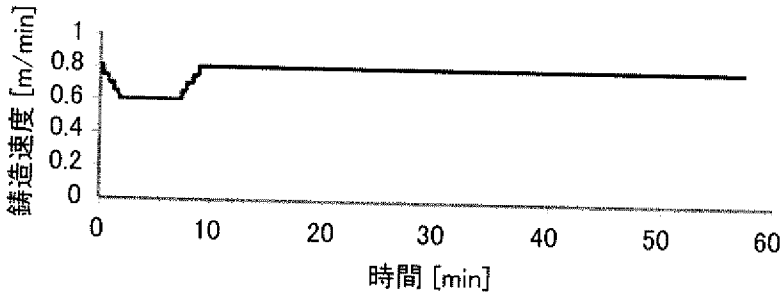
[図6C]


表面温度 評価位置9
表面温度 評価位置5
表面温度 評価位置6
表面温度 評価位置7
表面温度 評価位置8
表面温度 [°C]
時間 [min]

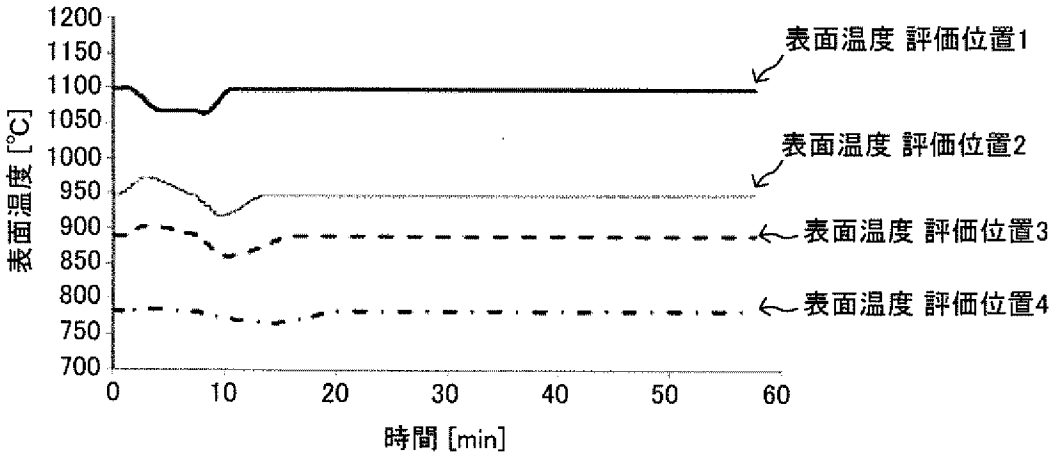
[図6D]



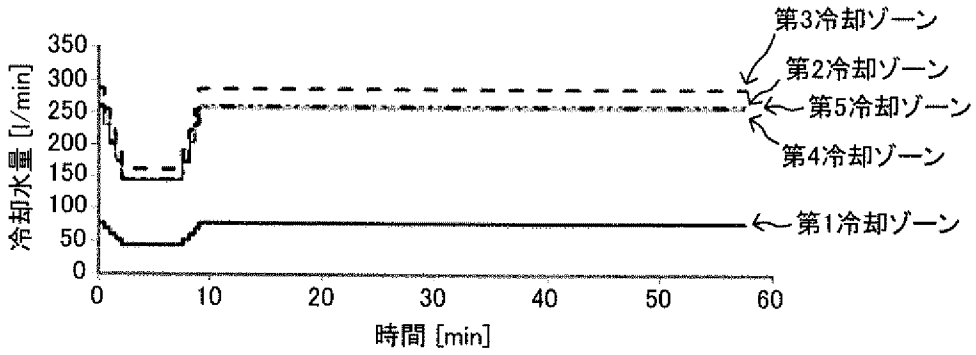
[図6E]



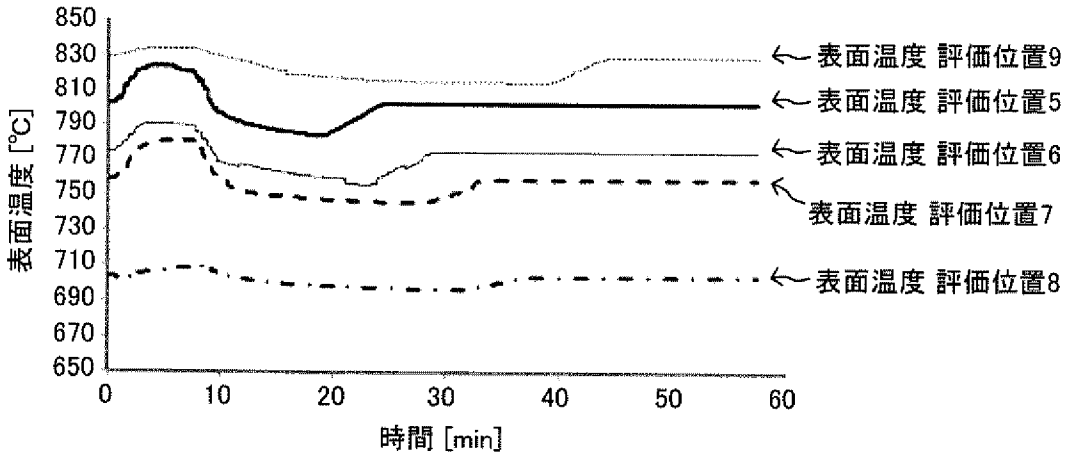
[図7A]



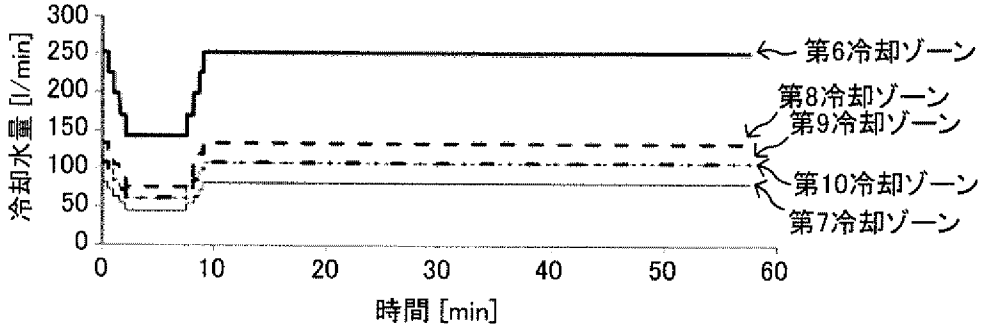
[図7B]



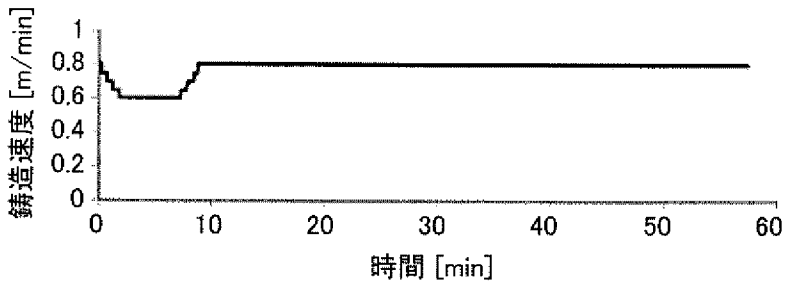
[図7C]


850
830
810
790
770
750
730
710
690
670
650
表面温度 [℃]
0
10
20
30
40
50
60
時間 [min]
表面温度 評価位置9
表面温度 評価位置5
表面温度 評価位置6
表面温度 評価位置7
表面温度 評価位置8

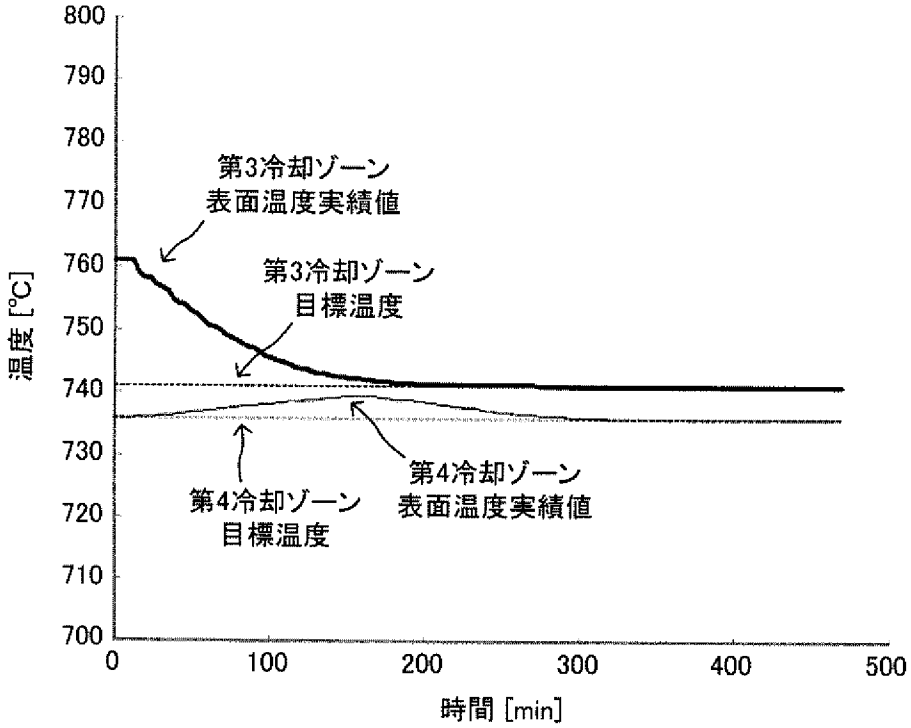
[図7D]


300
250
200
150
100
50
0
冷却水量 [l/min]
0
10
20
30
40
50
60
時間 [min]
第6冷却ゾーン
第8冷却ゾーン
第9冷却ゾーン
第10冷却ゾーン
第7冷却ゾーン

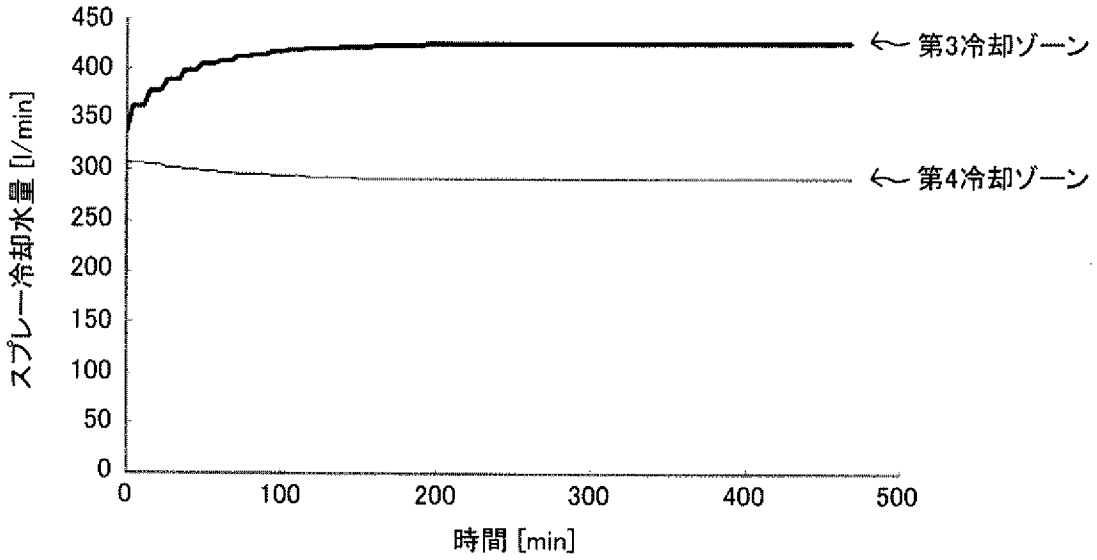
[図7E]


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
鋳造速度 [m/min]
0
10
20
30
40
50
60
時間 [min]

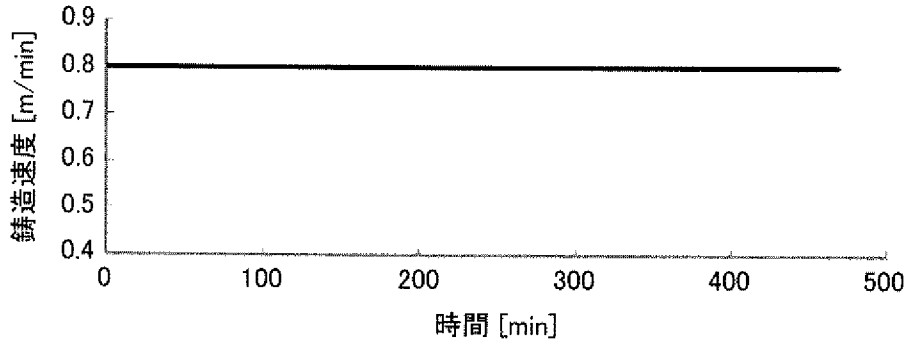
[図8A]


800
790
780
770
760
750
740
730
720
710
700
温度 [℃]
第3冷却ゾーン
表面温度実績値
第3冷却ゾーン
目標温度
第4冷却ゾーン
目標温度
第4冷却ゾーン
表面温度実績値
0
100
200
300
400
500
時間 [min]

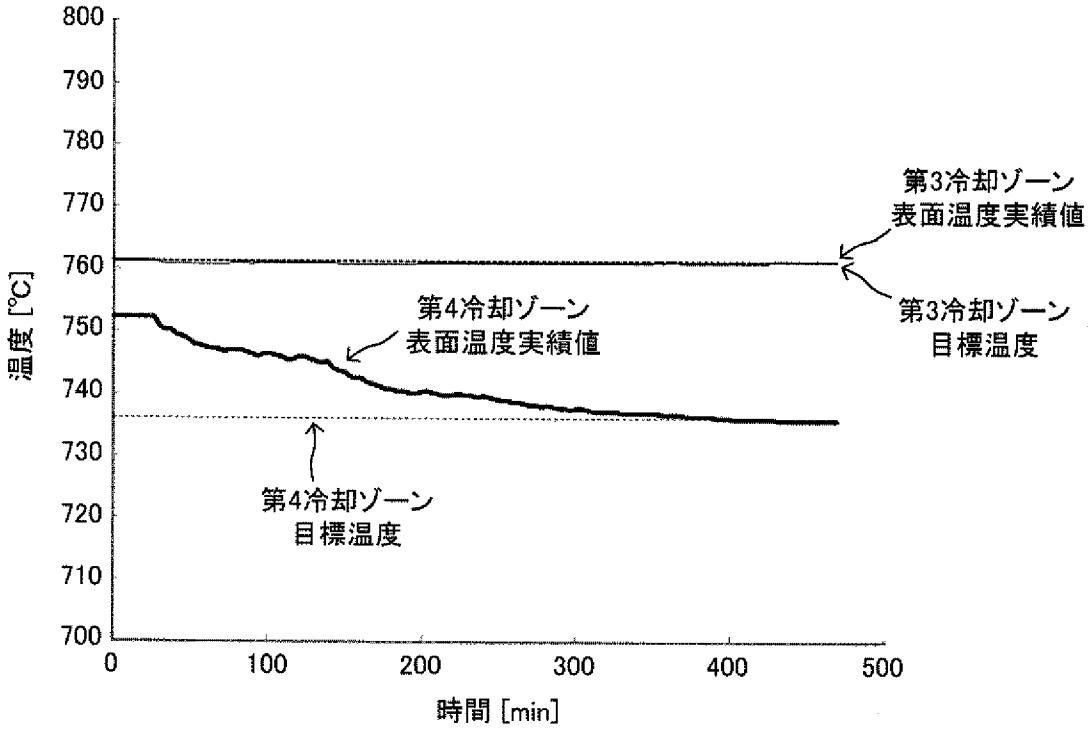
[図8B]


450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
スプレー冷却水量 [l/min]
第3冷却ゾーン
第4冷却ゾーン
0
100
200
300
400
500
時間 [min]

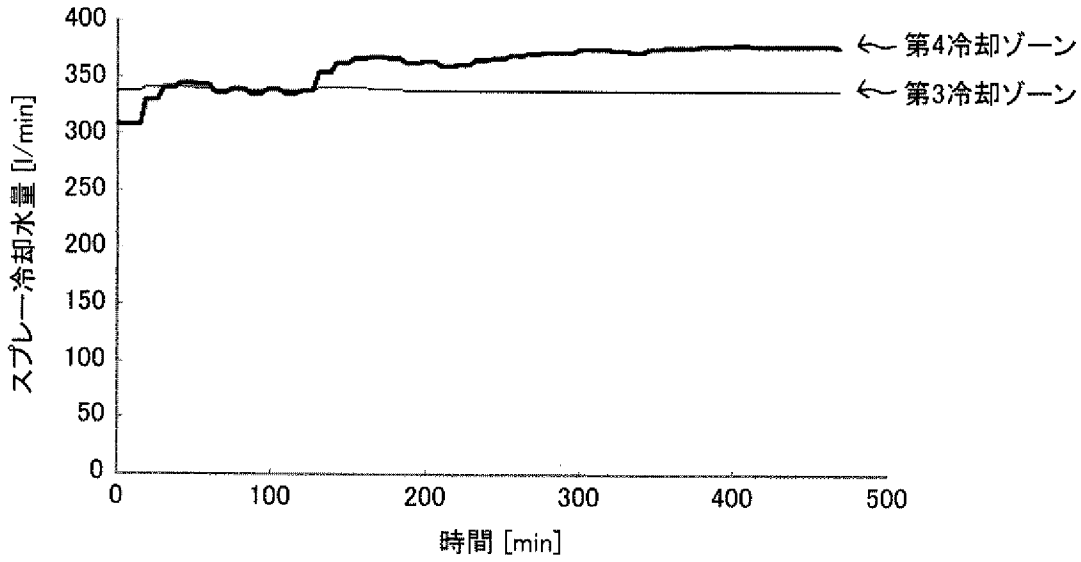
[図8C]


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
鋳造速度 [m/min]
0
100
200
300
400
500
時間 [min]

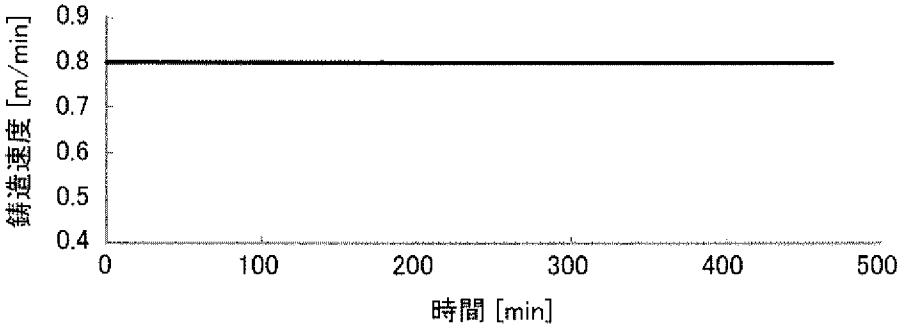
[図9A]


800
790
780
770
760
750
740
730
720
710
700
温度 [℃]
第3冷却ゾーン
表面温度実績値
第3冷却ゾーン
目標温度
第4冷却ゾーン
表面温度実績値
第4冷却ゾーン
目標温度
0
100
200
300
400
500
時間 [min]

[図9B]


400
350
300
250
200
150
100
50
0
スプレー冷却水量 [l/min]
0
100
200
300
400
500
時間 [min]
← 第4冷却ゾーン
← 第3冷却ゾーン

[図9C]


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
鋳造速度 [m/min]
0
100
200
300
400
500
時間 [min]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/068956

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

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
X	JP 2014-014854 A (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.), 30 January 2014 (30.01.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1,2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 August, 2014 (28.08.14)	09 September, 2014 (09.09.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０６８９５６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B22D11/22(2006.01)i, B22D11/16(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.　B22D11/22, B22D11/16

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	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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
X	JP 2014-014854 A (新日鐵住金株式会社) 2014.01.30, 全文全図（ファミリーなし）	1,2

☐　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
「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
「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
「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）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「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
「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
「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
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２８．０８．２０１４	０９．０９．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｅ　９８３２
富永　泰規
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４２５