

(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9月29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号

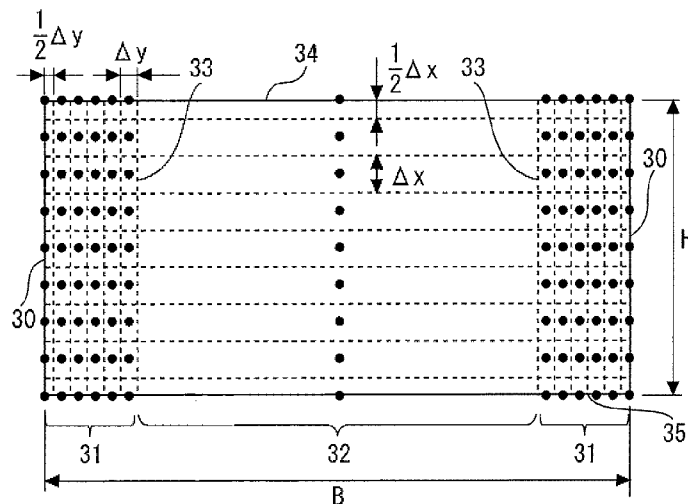
WO 2016/151854 A1

- (51) 国際特許分類:
B21B 37/76 (2006.01) *B21B 45/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059433
- (22) 国際出願日: 2015年3月26日(26.03.2015)
- (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: 東芝三菱電機産業システム株式会社
(TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC INDUSTRIAL
SYSTEMS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1040031 東京
都中央区京橋三丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 下田 直樹(SHIMODA, Naoki); 〒1040031
東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電
機産業システム株式会社内 Tokyo (JP). 井波 治
樹(INAMI, Haruki); 〒1040031 東京都中央区京橋
三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株
式会社内 Tokyo (JP). 木原 美怜(KIHARA, Mirei);
〒1040031 東京都中央区京橋三丁目1番1号
東芝三菱電機産業システム株式会社内 Tokyo
(JP).
- (74) 代理人: 高田 守, 外(TAKADA, Mamoru et al.); 〒
1040045 東京都中央区築地1丁目12番22号
コンワビル7階 特許業務法人 高田・高橋国
際特許事務所 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,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロピア (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),

[続葉有]

(54) Title: TEMPERATURE CALCULATION METHOD, TEMPERATURE CALCULATION DEVICE, HEATING CONTROL METHOD, AND HEATING CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 温度計算方法、温度計算装置、加熱制御方法、及び加熱制御装置



(57) Abstract: A temperature calculation method includes dividing a cross-section of a hot rolled steel plate that is perpendicular to a longitudinal direction thereof into a plurality of rectangular elements and calculating the temperature for each rectangular element using the finite difference method. A first region 31, which is a region that includes an edge part of the cross-section, is divided such that the plurality of rectangular elements is lined up in the direction of plate thickness and also the plurality of rectangular elements is lined up in the direction of plate width. A second region 32, which is wider than the first region 31 and includes the center of the cross-section, is divided such that the plurality of rectangular elements is lined up in the direction of plate thickness and is not divided in the direction of plate width.

(57) 要約: 温度計算方法は、熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を複数の矩形要素に分割すること、及び、有限差分法を用いて矩形要素の各々の温度を計算すること、を含む。断面のエッジ部を含む領域である第一領域31は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶとともに複数の矩形要素に板幅方向に並ぶように分割される。断面の中心を含み、第一領域31より広い領域である第二領域32は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶように分割され、板幅方向には分割されない。

WO 2016/151854 A1

WO 2016/151854 A1



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：

温度計算方法、温度計算装置、加熱制御方法、及び加熱制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、温度計算方法、温度計算装置、加熱制御方法、及び加熱制御装置に関する。

背景技術

[0002] 熱間圧延では、鋼板の温度履歴に応じて相変態の状況が変わり、最終的な製品の強度などの機械的性質が変化する。このため、鋼板の各部の温度を管理することが極めて重要である。下記特許文献 1 には、熱間圧延における鋼板の長手方向に対して垂直な断面の温度分布を計算する装置が開示されている。特許文献 1 の装置は、鋼板の断面における外周から中央まで、空間刻み幅ごとに輪状に複数の要素に分割し、分割された要素毎の予測温度を差分法により算出する。

[0003] 熱間圧延における鋼板は、エッジ部の温度が板幅方向中央部の温度に比べて低くなりやすい。エッジ部の低温を補正する設備として、圧延ラインにエッジヒータが備えられる場合がある。エッジヒータは、鋼板のエッジ部のみを誘導加熱で加熱する。

[0004] 下記特許文献 2 には、エッジヒータから圧延機までの間の、空冷、クーラント、及びロール接触によるエッジ部の抜熱量を計算し、圧延機の入側でエッジ部が目標温度になるように、エッジヒータによる加熱量を補正する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本特許第 5 3 9 1 2 0 5 号公報

特許文献2：日本特開 2 0 1 2 - 1 4 8 3 1 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 特許文献 1 の装置は、分割された各々の輪状の要素の代表温度を計算する。最も外側の要素は、鋼板の上面及び側面を含む。したがって、特許文献 1 の装置による計算結果は、鋼板の上面の温度と側面の温度とが等しくなる。特許文献 1 の装置は、鋼板の板幅方向の中央付近の温度と、エッジ部の温度との差が大きい場合には、鋼板の温度分布を正確に計算することが困難である。
- [0007] 特許文献 2 における抜熱量の計算には、クーラント圧力、板速度などの、抜熱量に影響する変数を基にした簡易式が用いられる。当該簡易式の係数は、実験的に求める必要がある。そのため、計算精度を上げるには、いろいろな鋼種及びサイズの実験を行い、係数を求める必要がある。
- [0008] 本発明は、上述のような課題を解決するためになされた。本発明の目的は、計算負荷を抑制しつつ、熱間圧延される鋼板の品質をエッジ部も含めて向上することに寄与する温度計算方法、温度計算装置、加熱制御方法、及び加熱制御装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0009] 本発明の温度計算方法は、熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を複数の矩形要素に分割すること、及び有限差分法を用いて矩形要素の各々の温度を計算すること、を含み、断面のエッジ部を含む領域である第一領域は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶとともに複数の矩形要素に板幅方向に並ぶように分割され、断面の中心を含み、第一領域より広い領域である第二領域は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶように分割され、板幅方向には分割されないものである。
- [0010] 本発明の加熱制御方法は、鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータより下流側の位置において、第二領域の代表温度と、第一領域の代表温度との温度差を測定すること、上記温度計算方法を用いて、温度差を計算すること、及び温度差の測定値と、温度差の計算値と、温度差の目標値とに基づいて、エッジヒータの出力または加熱量を制御すること、を含むものである。

[0011] 本発明の温度計算装置は、熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を複数の矩形要素に分割する手段と、有限差分法を用いて矩形要素の各々の温度を計算する手段と、を備え、断面のエッジ部を含む領域である第一領域は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶとともに複数の矩形要素に板幅方向に並ぶように分割され、断面の中心を含み、第一領域より広い領域である第二領域は、複数の矩形要素が板厚方向に並ぶように分割され、板幅方向には分割されないものである。

[0012] 本発明の加熱制御装置は、上記温度計算装置と、鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータより下流側の位置において、第二領域の代表温度と、第一領域の代表温度との温度差を測定する手段と、温度計算装置を用いて、温度差を計算する手段と、温度差の測定値と、温度差の計算値と、温度差の目標値とに基づいて、エッジヒータの出力または加熱量を制御する手段と、を備えるものである。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、熱間圧延される鋼板の温度分布をエッジ部も含めて正確に計算でき、鋼板の品質をエッジ部も含めて向上することに寄与することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の実施の形態1が適用される圧延システムを示す構成図である。

[図2]図1に示す圧延システムが備える制御装置のハードウェア構成図である。

[図3]鋼板の長手方向に対して垂直な断面が複数の矩形要素に分割された状態を示す図である。

[図4]鋼板の長手方向に対して垂直な断面が複数の矩形要素に分割された状態の他の例を示す図である。

[図5]矩形要素の熱収支を模式的に示す図である。

[図6]本発明の実施の形態2における圧延システムのエッジヒータ制御部のブロック図である。

[図7]中心－エッジ間温度差の板幅方向の測定位置を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。なお、各図において共通する要素には、同一の符号を付して、重複する説明を省略する。

[0016] 実施の形態 1.

図 1 は、本発明の実施の形態 1 が適用される圧延システムを示す構成図である。図 1 に示す圧延システム 20 は、スラブ加熱炉 1、高圧デスケーリング装置 2、エッジャー 3、粗圧延機 4、第一温度計 5、第二温度計 6、エッジヒータ 7、クロップシャー 8、仕上入側デスケーリング装置 9、仕上圧延機 10、第三温度計 11、ランアウトラミナースプレー冷却装置 12、第四温度計 13、コイラー 14、及び制御装置 100 を備える。圧延システム 20 により熱間圧延される鋼板は、鋼板の長手方向（図 1 中の横方向）に搬送される。鋼板の長手方向及び板厚方向の双方に垂直な方向が板幅方向である。鋼板の板幅は、例えば 900 mm～2000 mm 程度である。圧延される前の鋼板（スラブ）の板厚は、例えば 200 mm～250 mm 程度である。仕上圧延機 10 を出た鋼板の板厚は、例えば 1 mm～25 mm 程度である。

[0017] スラブ加熱炉 1 は、圧延される前の鋼板（スラブ）を、例えば 1200℃ 程度に加熱する。高圧デスケーリング装置 2 は、スラブ加熱炉 1 を出た鋼板に対し、上下から高圧水を噴射することで、鋼板の表面からスケールを除去する。エッジャー 3 は、鋼板の板幅方向の圧延を行う。粗圧延機 4 は、鋼板の板厚方向の粗圧延を行う。第一温度計 5 は、粗圧延機 4 により粗圧延された鋼板の温度を測定する。第二温度計 6 は、エッジヒータ 7 で加熱される前の鋼板の温度を測定する。

[0018] エッジヒータ 7 は、鋼板の長手方向に延びるエッジ部を誘導加熱により加熱する。エッジヒータ 7 は、鋼板のパスラインを上下から挟み込むように対になった誘導加熱コイルを有する。エッジヒータ 7 は、誘導加熱コイルに高

周波電流を流すことで発生した磁界により、鋼板のエッジ部に渦電流を発生させ、そのジュール熱により鋼板のエッジ部のみを加熱する。

[0019] デスケーリングの水冷、あるいはロール伝熱などによって鋼板の表面温度が一時的に低下しても、その後、鋼板内部からの熱伝導による復熱効果で、表面温度が上昇する場合がある。鋼板は、板厚に比べ、板幅が圧倒的に長い。このため、板厚方向への復熱に比べて、板幅方向の復熱の方が時間がかかる。その結果、鋼板のエッジ部の温度が板幅方向中央部の温度に比べて低くなりやすい。エッジ部の温度と、板幅方向中央部の温度との差が大きいと、幅方向の品質が不均一になる。エッジヒータ 7 で鋼板のエッジ部のみを加熱することで、エッジ部の温度が低くなることを抑制できる。

[0020] クロップシャー 8 は、鋼板の先端部及び尾端部を切断する。仕上入側デスケーリング装置 9 は、仕上圧延機 10 の入側において鋼板の表面からスケールを除去する。仕上圧延機 10 は、鋼板を所定の板厚に仕上げ圧延する。第三温度計 11 は、仕上圧延機 10 により仕上げ圧延された鋼板の温度を測定する。ランアウトラミナースプレー冷却装置 12 は、鋼板を冷却する。第四温度計 13 は、ランアウトラミナースプレー冷却装置 12 により冷却された鋼板の温度を測定する。コイラー 14 は、鋼板を巻き取る。

[0021] 第一温度計 5、第二温度計 6、第三温度計 11、及び第四温度計 13 は、放射温度計である。第一温度計 5、第二温度計 6、第三温度計 11、及び第四温度計 13 は、鋼板の表面（上面）の温度を測定する。

[0022] 制御装置 100 は、圧延システム 20 が備える上述した各設備と接続される。制御装置 100 は、その機能上、要素分割部 100 a、温度計算部 100 b、及びエッジヒータ制御部 100 c を備える。要素分割部 100 a は、圧延システム 20 において熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を、温度計算のための複数の矩形要素に分割するステップを実行する。温度計算部 100 b は、要素分割部 100 a により分割された矩形要素の各々の温度を、有限差分法を用いて計算するステップを実行する。温度計算部 100 b は、矩形要素の各々の予測温度または推定温度等を計算する。エッジ

ヒータ制御部１００ｃは、温度計算部１００ｂの計算結果に基づいて、エッジヒータ７の出力または加熱量を制御するステップを実行する。さらに、制御装置１００は、温度計算部１００ｂの計算結果を用いて、圧延プロセスの諸量（圧延荷重、圧延トルク、冷却水量など）を計算または制御しても良い。

[0023] 次に、図２を参照して、制御装置１００のハードウェア構成の一例を説明する。図２は、図１に示す圧延システム２０が備える制御装置１００のハードウェア構成図である。図２に示すように、本実施の形態１の制御装置１００は、プロセッサ１０１、ＲＯＭ（リードオンリーメモリ）１０２、ＲＡＭ（ランダムアクセスメモリ）１０３、受信装置１０４、送信装置１０５、ハードディスクドライブ１０６、及びバス２００を備える。プロセッサ１０１、ＲＯＭ１０２、ＲＡＭ１０３、受信装置１０４、送信装置１０５、及びハードディスクドライブ１０６は、バス２００を介して相互に接続される。

[0024] ＲＯＭ１０２、ＲＡＭ１０３、及びハードディスクドライブ１０６は、記憶装置である。ＲＯＭ１０２は、不揮発性半導体等で構成され、プロセッサ１０１が実行するオペレーションシステム等のプログラムを記憶している。ＲＡＭ１０３は、揮発性半導体等で構成され、プロセッサ１０１が各種処理を実行する上で必要なプログラム及びデータ等を一時的に記憶する。ハードディスクドライブ１０６は、プロセッサ１０１が実行するプログラムを記憶している。

[0025] 受信装置１０４は、圧延システム２０の第一温度計５、第二温度計６、第三温度計１１、及び第四温度計１３により測定される温度情報を受信する。さらに、受信装置１０４は、圧延システム２０が備える図示しない他のセンサ等により検出されるプロセス値等を受信する。送信装置１０５は、プロセッサ１０１により生成された各種の制御信号を、高圧デスケーリング装置２、エッジャー３、粗圧延機４、エッジヒータ７、クロップシャー８、仕上入側デスケーリング装置９、仕上圧延機１０、ランアウトラミナースプレー冷却装置１２、コイラー１４等の各設備へ送信する。

[0026] 制御装置 100 の要素分割部 100 a、温度計算部 100 b、エッジヒータ制御部 100 c 等の機能及び動作は、記憶装置に記憶されたプログラムをプロセッサ 101 が実行することによって実現される。なお、複数組のプロセッサ及び記憶装置が連携することで制御装置 100 の機能及び動作を実現するように構成しても良い。

[0027] 次に、要素分割部 100 a が、鋼板の長手方向に対して垂直な断面を、温度計算に用いる複数の矩形要素に分割する方法について説明する。図 3 は、鋼板の長手方向に対して垂直な断面が複数の矩形要素に分割された状態を示す図である。鋼板の板幅を B とする。鋼板の板厚を H とする。図 3 中の破線は、矩形要素間の境界を示す。鋼板の側面 30 は、鋼板の長手方向に延びる側面である。

[0028] 図 3 に示すように、要素分割部 100 a は、鋼板の長手方向に対して垂直な断面を、第一領域 31 と第二領域 32 とに分ける。第一領域 31 は、当該断面のエッジ部を含む領域である。第一領域 31 は、鋼板の側面 30 を含む領域である。第二領域 32 は、当該断面の板幅方向の中心を含む領域である。第二領域 32 は、第一領域 31 より広い領域である。第二領域 32 は、当該断面から第一領域 31 を除いたすべての領域である。領域境界 33 は、第一領域 31 と第二領域 32 との境界である。領域境界 33 は、鋼板の側面 30 に対して平行である。第一領域 31 の板幅方向の長さ、すなわち鋼板の側面 30 から領域境界 33 までの距離は、第二領域 32 の板幅方向の長さに比べて、小さい。

[0029] 要素分割部 100 a は、第一領域 31 内で複数の矩形要素が板厚方向に並ぶように、第一領域 31 を分割する。要素分割部 100 a は、第一領域 31 内で複数の矩形要素が板幅方向に並ぶように、第一領域 31 を分割する。すなわち、要素分割部 100 a は、第一領域 31 を、板厚方向及び板幅方向にそれぞれ分割する。

[0030] 要素分割部 100 a は、第二領域 32 内で複数の矩形要素が板厚方向に並ぶように、第二領域 32 を分割する。要素分割部 100 a は、第二領域 32

を板幅方向には分割しない。すなわち、要素分割部 100a は、第二領域 32 を、板厚方向にのみ分割し、板幅方向には分割しない。第二領域 32 の矩形要素の板幅方向の長さは、第二領域 32 自体の板幅方向の長さに等しい。第二領域 32 の矩形要素は、板幅方向の長さが板厚方向の長さに比べて圧倒的に長い。すなわち、第二領域 32 の矩形要素は、細長い。

[0031] 鋼板の長手方向に対して垂直な断面を上記のように分割することで、この断面の二次元温度分布を正確に計算できる。なお、第一領域 31 の板厚方向の分割の数と、第二領域 32 の板厚方向の分割の数とは、等しいことが望ましい。

[0032] 板厚方向の中心部から、鋼板の上面 34 または下面 35 までの、板厚方向に並ぶ矩形要素の数を N_T とする。図 3 の例では $N_T = 5$ であるが、 N_T の値はこれに限定されるものではない。鋼板の上面 34 から下面 35 まで、板厚方向に並ぶ矩形要素の数は、 $2N_T - 1$ となる。鋼板の上面 34 を含む矩形要素及び鋼板の下面 35 を含む矩形要素を除いた矩形要素の、板厚方向の長さを Δx とする。鋼板の上面 34 を含む矩形要素の板厚方向の長さは、 $\Delta x / 2$ である。鋼板の下面 35 を含む矩形要素の板厚方向の長さは、 $\Delta x / 2$ である。

[0033] 本実施の形態では、鋼板の上面 34 または下面 35 を含む矩形要素を除く矩形要素については、板厚方向の長さをいずれも Δx とし、均一にしている。このような方法に限らず、鋼板の上面 34 または下面 35 を含む矩形要素を除く矩形要素についても、板厚方向の長さを異ならせても良い。例えば、板厚方向の中心部から、鋼板の上面 34 または下面 35 に近づくにつれて、矩形要素の板厚方向の長さが小さくなるようにしても良い。

[0034] 熱間圧延プロセスにおいて、鋼板のエッジ部の温度が低下すると、局所的に、板幅方向の急な温度勾配が生じる。第一領域 31 は、そのような板幅方向の急な温度勾配が生じる部分を包含するように設定される。第二領域 32 では、板幅方向の温度勾配はほとんど生じないとみなせる。よって、第二領域 32 を板幅方向に分割しなくても、鋼板の温度分布を正確に計算できる。

本実施の形態では、第一領域 3 1 のみを板幅方向にも分割し、第二領域 3 2 を板幅方向に分割しないことで、全体の矩形要素の数を少なくできる。このため、計算負荷の増加を抑制しつつ、熱間圧延プロセスにおける鋼板の温度分布を、エッジ部も含めて、正確に計算できる。

[0035] 第一領域 3 1 内で板幅方向に並ぶ矩形要素の数を NW とする。図 3 の例では $NW = 6$ であるが、 NW の値はこれに限定されるものではない。第二領域 3 2 の板幅方向の矩形要素の数は、1 である。鋼板の一方の側面 3 0 を含む第一領域 3 1 と、反対側の側面 3 0 を含む第一領域 3 1 とは、対称的に分割される。したがって、鋼板の一方の側面 3 0 から反対側の側面 3 0 までの、板幅方向に並ぶ矩形要素の数は、 $2NW + 1$ となる。

[0036] 第一領域 3 1 の矩形要素のうち、側面 3 0 を含む矩形要素を除いた矩形要素の板幅方向の長さを Δy とする。側面 3 0 を含む矩形要素の板幅方向の長さは、 $\Delta y / 2$ である。一つの第一領域 3 1 の板幅方向の長さは、 $(NW - 1) * \Delta y + \Delta y / 2$ となる。第二領域 3 2 の板幅方向の長さは、鋼板の板幅 B から、2箇所第一領域 3 1 を除いた部分の長さとなる。よって、第二領域 3 2 の板幅方向の長さは、 $B - (2NW - 1) * \Delta y$ となる。

[0037] 温度計算部 100b は、各々の矩形要素の代表温度を計算する。各々の矩形要素の代表温度は、図 3 中の黒点の位置の温度である。鋼板の表面（上面 3 4、下面 3 5、側面 3 0）を含む矩形要素を除いた矩形要素、すなわち鋼板の内部の矩形要素の代表温度は、当該矩形要素の中心位置の温度である。鋼板の表面（上面 3 4、下面 3 5、側面 3 0）を含む矩形要素の代表温度は、当該表面の温度である。

[0038] 図 3 に示す例では、第一領域 3 1 の矩形要素の板幅方向の長さは、鋼板の側面 3 0 を含む矩形要素を除き、いずれも等しい大きさ（ Δy ）になっている。

[0039] 鋼板の板幅 B は、例えば、900mm～2000mm程度である。第一領域 3 1 の板幅方向の長さ、すなわち鋼板の側面 3 0 から領域境界 3 3 までの距離は、例えば、100mm～150mm程度が望ましい。第二領域 3 2 の

板幅方向の長さは、両側の第一領域 3 1 の板幅方向の長さの合計よりも長いことが望ましい。第二領域 3 2 の板幅方向の長さを長くすることで、計算負荷の増加をより確実に抑制できる。

[0040] 第一領域 3 1 は、エッジヒータ 7 の加熱領域を包含するように設定されることが望ましい。すなわち、第一領域 3 1 の板幅方向の長さは、エッジヒータ 7 で加熱される部分の板幅方向の長さ以上であることが望ましい。これにより、エッジヒータ 7 で加熱された後の鋼板の板幅方向の温度勾配をより正確に計算できる。

[0041] 図 4 は、鋼板の長手方向に対して垂直な断面が複数の矩形要素に分割された状態の他の例を示す図である。以下、図 4 に示す例について、上述した図 3 に示す例との相違点のみを説明する。図 4 に示す例では、領域境界 3 3 に近い位置から、鋼板の側面 3 0 に近づくにつれて、第一領域 3 1 の矩形要素の板幅方向の長さが徐々に小さくなる。第一領域 3 1 の温度勾配は、第二領域 3 2 に近い部分では比較的小さく、側面 3 0 に近い部分で比較的大きい。このため、図 4 のように第一領域 3 1 を分割することで、矩形要素の数を抑制しつつ、第一領域 3 1 の板幅方向の温度勾配をより正確に計算できる。

[0042] 第一領域 3 1 の各々の矩形要素の板幅方向の長さを、側面 3 0 から領域境界 3 3 に向かって、順に、 Δy_1 , Δy_2 , Δy_3 , $\dots$, Δy_{NW} とする。図 4 に示す例では、 $\Delta y_1 < \Delta y_2 < \Delta y_3 < \dots < \Delta y_{NW}$ としている。第一領域 3 1 の矩形要素の板幅方向の長さを 1 個ずつ異ならせることで、矩形要素の数を抑制しつつ、第一領域 3 1 の板幅方向の温度勾配をより正確に計算できる。このような構成に限らず、第一領域 3 1 の矩形要素の板幅方向の長さを、2 個ずつ、3 個ずつ、あるいは数個ずつ、異ならせるようにしても良い。

[0043] 第二領域 3 2 の矩形領域の板幅方向の長さを Δy_{NW+1} とする。 Δy_{NW+1} は、第二領域 3 2 自体の板幅方向の長さに等しい。図 4 に示す例では、 Δy_{NW+1} は、次式で計算できる。

$$\Delta y_{NW+1} = B - 2 * (\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 + \dots + \Delta y_{NW})$$

[0044] 圧延システム20における、鋼板の上面34及び下面35の境界条件、並びに左右の側面30の境界条件は、次のように考えられる。上面34及び下面35の境界条件としては、下面35のみが搬送ローラとの接触伝熱が考えられる。また、水スプレーにおいて、上面34側と下面35側とで、異なる流量を噴射できる。このように、鋼板の上面34の境界条件と下面35の境界条件とは、異なる場合が考えられる。これに対し、鋼板の左右の側面30に関しては、通常、左右の設備の差異あるいは環境の差異は無いと想定できる。すなわち、鋼板の左右の側面30の境界条件は、ほぼ同等とみなすことができる。したがって、左側の側面30を含む第一領域31の温度分布と、右側の側面30を含む第一領域31の温度分布とは、ほぼ等しいとみなすことができる。このため、本実施の形態の制御装置100は、第一領域31に対する有限差分法の計算として、左側の側面30を含む第一領域31と、右側の側面30を含む第一領域31とのいずれか一方のみについて計算し、他方の計算を省略する。これにより、有限差分法の計算負荷をほぼ半分にすることが可能となる。

[0045] 以下、本実施の形態において、有限差分法を用いて各々の矩形要素の温度（代表温度）を計算する方法について説明する。以下では、図4に示す例の矩形要素の温度を計算する方法について説明する。なお、図3に示す例の矩形要素の温度を計算する場合には、 $2 * \Delta y_1 = \Delta y_2 = \Delta y_3 = \dots = \Delta y_{NW}$ として計算すれば良い。

[0046] まず、各々の矩形要素のボリュームを計算する。以下の説明では、インデックスとして*i*及び*j*を用いて、各々の矩形要素を区別する。インデックス*i*は、板厚方向の矩形要素の順番を表す。鋼板の上面34から下面35に向かって、順に、 $i = 1, 2, 3, \dots, 2NT - 1$ とする。インデックス*j*は、板幅方向の矩形要素の順番を表す。鋼板の側面30から中央に向かって、順に、 $j = 1, 2, 3, \dots, NW, NW + 1$ とする。 $j = 1 \sim NW$ は、第一領域31の矩形要素に相当する。 $j = NW + 1$ は、第二領域32の矩形要素に相当する。上から*i*番目、側面30から*j*番目の矩形要素のこと

を、第 i_j 要素と称する（図 5 参照）。第 i_j 要素のボリュームを $V_{i,j}$ [mm^2] とする。各矩形要素は、鋼板の長手方向については、単位長を有するものとする。計算を簡単にするため、 $V_{i,j}$ は、各矩形要素の体積を鋼板長手方向の単位長で割った値を示すものとする。このため、 $V_{i,j}$ は、面積の単位を有する。また、後述する各矩形要素の熱収支の計算においても、計算を簡単にするため、熱量を鋼板長手方向の単位長で割った値を用いて計算する。

[0047] 第 1_j 要素は、鋼板の上面 3 4 を含む矩形要素である。第 1_j 要素のボリューム $V_{1,j}$ は、次式で計算できる。

[数1]

$$V_{1,j} = \frac{1}{2} \Delta x \cdot \Delta y_j$$

[0048] 第 i_j 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2NT-2$) は、鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 を含まない矩形要素である。第 i_j 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2NT-2$) のボリューム $V_{i,j}$ は、次式で計算できる。

[数2]

$$V_{i,j} = \Delta x \cdot \Delta y_j$$

[0049] 第 $(2NT-1)\_j$ 要素は、鋼板の下面 3 5 を含む矩形要素である。第 $(2NT-1)\_j$ 要素のボリューム $V_{2NT-1,j}$ は、次式で計算できる。

[数3]

$$V_{2NT-1,j} = \frac{1}{2} \Delta x \cdot \Delta y_j$$

[0050] 熱間圧延プロセスの鋼板は、図 1 に示すようなライン上を搬送される間に、熱放射、空冷及び水冷による冷却（熱伝達）、加工発熱、圧延機のロールとの伝熱などの、正負の様々な熱を受ける。有限差分法の計算の時間刻みを Δt とする。温度計算部 100b は、各々の矩形要素について、時間刻み Δt の間における熱収支を計算する。図 5 は、矩形要素の熱収支を模式的に示す図である。矩形要素の熱収支における各種の熱量は、一般的な伝熱理論及

び圧延理論で使用する理論式を用いて算出できる。まず、鋼板の上面 34 または下面 35 を含み、側面 30 を含まない矩形要素について、熱収支を計算する方法を説明する。

[0051] 第 1 __ j 要素 (j = 2, 3, . . . , NW + 1) は、鋼板の上面 34 を含み、側面 30 を含まない矩形要素である。第 1 __ j 要素 (j = 2, 3, . . . , NW + 1) の熱収支は、次式のように表現できる。

[数4]

$$\Delta Q_{1,j} = -Q_{rad}^{Top} - Q_{water}^{Top} - Q_{conv}^{Top} + Q_{fric}^{Top} - Q_{roll}^{Top} + Q_{def} + Q_{EH} - Q_{cond\_x}^{1to2} + Q_{cond\_y}^{(j-1)to(j)} - Q_{cond\_y}^{(j)to(j+1)}$$

[0052] 第 (2 N - 1) __ j 要素 (j = 2, 3, . . . , NW + 1) は、鋼板の下面 35 を含み、側面 30 を含まない矩形要素である。第 (2 N - 1) __ j 要素 (j = 2, 3, . . . , NW + 1) の熱収支は、次式のように表現できる。

[数5]

$$\Delta Q_{2NT-1,j} = -Q_{rad}^{Bot} - Q_{water}^{Bot} - Q_{conv}^{Bot} + Q_{fric}^{Bot} - Q_{roll}^{Bot} + Q_{def} + Q_{EH} + Q_{cond\_x}^{(2NT-2)to(2NT-1)} + Q_{cond\_y}^{(j-1)to(j)} - Q_{cond\_y}^{(j)to(j+1)}$$

[0053] ここで、

$\Delta Q_{1,j}$ [W/mm] : 第1__j 要素 ($j = 2, 3, \dots, NW+1$) の熱収支

$\Delta Q_{2NT-1,j}$ [W/mm] : 第 $(2NT-1)$ __j 要素 ($j = 2, 3, \dots, NW+1$) の熱収支

Q_{rad}^{Top} [W/mm] : 鋼板の上面 3 4 からの熱放射量

Q_{rad}^{Bot} [W/mm] : 鋼板の下面 3 5 からの熱放射量

Q_{water}^{Top} [W/mm] : 水冷による鋼板の上面 3 4 からの流出熱量

Q_{water}^{Bot} [W/mm] : 水冷による鋼板の下面 3 5 からの流出熱量

Q_{conv}^{Top} [W/mm] : 空冷による鋼板の上面 3 4 からの流出熱量

Q_{conv}^{Bot} [W/mm] : 空冷による鋼板の下面 3 5 からの流出熱量

Q_{fric}^{Top} [W/mm] : 圧延ロールバイトにおいて鋼板の上面 3 4 へ流入する摩擦熱量

Q_{fric}^{Bot} [W/mm] : 圧延ロールバイトにおいて鋼板の下面 3 5 へ流入する摩擦熱量

Q_{roll}^{Top} [W/mm] : 圧延ロールバイトにおける鋼板の上面 3 4 からロールへの熱伝導量

Q_{roll}^{Bot} [W/mm] : 圧延ロールバイトにおける鋼板の下面 3 5 からロールへの熱伝導量

Q_{def} [W/mm] : 圧延ロールバイトにおける鋼板の加工発熱量

Q_{EH} [W/mm] : エッジヒータ 7 による加熱量

$Q_{cond\_x}^{1to2}$ [W/mm] : 第1__j 要素から第2__j 要素への、板厚方向 (x 方向) の熱伝導量

$Q_{cond\_x}^{(2NT-2)to(2NT-1)}$ [W/mm] : 第 $(2NT-2)$ __j 要素から第 $(2NT-1)$ __j 要素への、板厚方向 (x 方向) の熱伝導量

$Q_{cond\_y}^{(j-1)to(j)}$ [W/mm] : 第 i __ $(j-1)$ 要素から第 i __ j 要素への、板幅方向 (y 方向) の熱伝導量

$Q_{cond\_y}^{(j)to(j+1)}$ [W/mm] : 第 i __ j 要素から第 1 __ $(j+1)$ 要素への、板幅方向 (y 方向) の熱伝導量

である。

[0054] 鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 からの熱放射量 Q_{rad}^{Top} 及び Q_{rad}^{Bot} は、上面 3 4 及び下面 3 5 の温度に基づいて計算できる。上面 3 4 または下面 3 5 の熱放射の熱流束に、各矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで、当該

矩形要素の上面 3 4 または下面 3 5 からの熱放射量 Q_{rad}^{Top} または Q_{rad}^{Bot} を計算できる。

[0055] 水冷による鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 からの流出熱量 Q_{water}^{Top} 及び Q_{water}^{Bot} は、上面 3 4 及び下面 3 5 の温度、水温、及び熱伝達係数に基づいて計算できる。上面 3 4 または下面 3 5 の水冷の熱流束に、各矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の上面 3 4 または下面 3 5 の水冷の流出熱量 Q_{water}^{Top} または Q_{water}^{Bot} を計算できる。鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 の水冷の流出熱量 Q_{water}^{Top} 及び Q_{water}^{Bot} は、水冷域のみで算入される。水冷域は、鋼板が水で冷却される領域である。本実施の形態では、水冷域は、高圧デスケーリング装置 2、仕上入側デスケーリング装置 9、及びランアウトラミナースプレー冷却装置 1 2 を含む。図 1 に示す仕上圧延機 1 0 は、複数のスタンドを備える。仕上圧延機 1 0 のスタンド間に、水スプレー装置が備えられる場合がある。水冷域は、そのような水スプレー装置など、鋼板が水で冷却されるすべての領域を含む。

[0056] 空冷による鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 からの流出熱量 Q_{conv}^{Top} 及び Q_{conv}^{Bot} は、上面 3 4 及び下面 3 5 の温度、気温、及び熱伝達係数に基づいて計算できる。上面 3 4 または下面 3 5 の空冷の熱流束に、各矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の上面 3 4 または下面 3 5 の空冷の流出熱量 Q_{conv}^{Top} または Q_{conv}^{Bot} を計算できる。鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 の空冷の流出熱量 Q_{conv}^{Top} 及び Q_{conv}^{Bot} は、空冷域のみで算入される。空冷域は、鋼板の上面 3 4 及び下面 3 5 が空気に接触して冷却される領域である。

[0057] 圧延ロールバイトにおける熱量 Q_{fric}^{Top} 、 Q_{fric}^{Bot} 、 Q_{roll}^{Top} 、 Q_{roll}^{Bot} 、及び Q_{def} は、粗圧延機 4 及び仕上圧延機 1 0 のロールバイト内のみで算入される。圧延ロールバイトにおける摩擦熱量 Q_{fric}^{Top} 及び Q_{fric}^{Bot} は、板速度、圧下量、摩擦係数等を用いて計算できる。ロールバイト内の上面 3 4 または下面 3 5 の摩擦熱の熱流束に、各矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の上面 3 4 または下面 3 5 の摩擦熱量 Q_{fric}^{Top}

、または Q_{fric}^{Bot} を計算できる。

[0058] 圧延ロールバイトにおけるロールへの熱伝導量 Q_{roll}^{Top} 及び Q_{roll}^{Bot} は、上面 34、下面 35、及びロールの、温度及び熱伝導率等を用いて計算できる。ロールバイト内の上面 34 または下面 35 のロールへの熱伝導の熱流束に、各矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の上面 34 または下面 35 の、ロールへの熱伝導量 Q_{roll}^{Top} または Q_{roll}^{Bot} を計算できる。

[0059] 圧延ロールバイトにおける加工発熱量 Q_{def} は、圧下量、材料変形抵抗等を用いて計算できる。圧延ロールバイトにおける加工発熱量 Q_{def} は、総発熱量を各矩形要素のボリューム $V_{i,j}$ の比率で各矩形要素に分配することで計算できる。

[0060] エッジヒータ 7 による加熱量 Q_{EH} は、エッジヒータ 7 内のみで算入される。エッジヒータ 7 による加熱量 Q_{EH} は、第一領域 31 の矩形要素のうちの一部の矩形要素に対してのみ算入される。本実施の形態では、鋼板の側面 30 からの距離が所定距離以下の矩形要素に対してのみ、エッジヒータ 7 による加熱量 Q_{EH} を算入する。すなわち、 $j_{EH} < NW$ を満たす j_{EH} を予め決めておき、第 $i \sim j$ 要素 ($j = 1, 2, 3, \dots, j_{EH}$) に対してのみ、エッジヒータ 7 による加熱量 Q_{EH} を算入する。 j_{EH} は、エッジヒータ 7 の加熱領域（エッジヒータ 7 が加熱する部分の板幅方向の長さ）に基づいて決めることができる。エッジヒータ 7 による加熱量 Q_{EH} は、対象となる矩形要素群に対して、総加熱量を、各矩形要素のボリューム $V_{i,j}$ の比率で各矩形要素に分配することで計算できる。

[0061] 矩形要素間の熱伝導量は、双方の矩形要素の温度と、熱伝導率とに基づいて計算できる。矩形要素間の板厚方向（x 方向）の熱伝導量は、熱伝導の熱流束に、当該矩形要素の板幅方向の長さを乗じることで計算できる。矩形要素間の板幅方向（y 方向）の熱伝導量は、熱伝導の熱流束に、当該矩形要素の板厚方向の長さを乗じることで計算できる。

[0062] なお、鋼板の下面 35 を含む矩形要素の熱収支の計算においては、鋼板の

下面 3 5 から搬送ローラへの熱伝導量をさらに算入しても良い。

[0063] 次に、鋼板の側面 3 0 を含み、上面 3 4 及び下面 3 5 を含まない矩形要素について、熱収支を計算する方法を説明する。第 i_1 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2N-2$) は、鋼板の側面 3 0 を含み、上面 3 4 及び下面 3 5 を含まない矩形要素である。以下、第 i_1 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2N-2$) の熱収支について説明するが、前述した熱収支との相違点のみを説明する。第 i_1 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2N-2$) の熱収支は、次式のよう表現できる。

[数6]

$$\Delta Q_{i,1} = -Q_{rad}^{Side} - Q_{water}^{Side} - Q_{conv}^{Side} + Q_{def} + Q_{EH} + Q_{cond\_x}^{(i-1)to(i)} - Q_{cond\_x}^{(i)to(i+1)} - Q_{cond\_y}^{1to2}$$

[0064] ここで、

$\Delta Q_{i,1}$ [W/mm] : 第 i_1 要素 ($i = 2, 3, \dots, 2N-2$) の熱収支

Q_{rad}^{Side} [W/mm] : 鋼板の側面 3 0 からの熱放射量

Q_{water}^{Side} [W/mm] : 水冷による鋼板の側面 3 0 からの流出熱量

Q_{conv}^{Side} [W/mm] : 空冷による鋼板の側面 3 0 からの流出熱量

$Q_{cond\_x}^{(i-1)to(i)}$ [W/mm] : 第 $(i-1)\_1$ 要素から第 i_1 要素への、板厚方向 (x 方向) の熱伝導量

$Q_{cond\_x}^{(i)to(i+1)}$ [W/mm] : 第 i_1 要素から第 $(i+1)\_1$ 要素への、板厚方向 (x 方向) の熱伝導量

$Q_{cond\_y}^{1to2}$ [W/mm] : 第 i_1 要素から第 i_2 要素への、板幅方向 (y 方向) の熱伝導量

である。

[0065] 鋼板の側面 3 0 からの熱放射量 Q_{rad}^{Side} は、側面 3 0 の温度に基づいて計算できる。側面 3 0 の熱放射の熱流束に、各矩形要素の板厚方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の側面 3 0 の熱放射量 Q_{rad}^{Side} を計算できる。

[0066] 水冷による鋼板の側面 3 0 からの流出熱量 Q_{water}^{Side} は、側面 3 0 の温

度、水温、及び熱伝達係数に基づいて計算できる。鋼板の側面 30 の水冷の流出熱量 $Q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ は、水冷域のみで算入される。側面 30 の水冷の熱流束に、各矩形要素の板厚方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の側面 30 の水冷の流出熱量 $Q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ を計算できる。

[0067] 空冷による鋼板の側面 30 からの流出熱量 $Q_{\text{conv}}^{\text{Side}}$ は、側面 30 の温度、気温、及び熱伝達係数に基づいて計算できる。鋼板の側面 30 の空冷の流出熱量 $Q_{\text{conv}}^{\text{Side}}$ は、空冷域のみで算入される。側面 30 の空冷の熱流束に、各矩形要素の板厚方向の長さを乗じることで、当該矩形要素の側面 30 の空冷の流出熱量 $Q_{\text{conv}}^{\text{Side}}$ を計算できる。

[0068] 水冷域では、鋼板の側面 30 に水が直接が掛けられることは少ない。側面 30 の水冷は、鋼板の上面 34 に掛けられた水の一部が側面 30 へ流れることによるものがほとんどである。したがって、側面 30 の水冷の熱流束は、上面 34 の水冷の熱流束に比べて、小さいと考えられる。これらの事項に鑑みて、本実施の形態では、以下のように計算しても良い。

[0069] 側面 30 の水冷の熱流束を $q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ [W/mm^2] とし、上面 34 の水冷の熱流束を $q_{\text{water}}^{\text{Top}}$ [W/mm^2] とする。ゼロより大きく 1 より小さい所定の調整係数を β とする。 $q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ は、次式で表すことができる。

$$q_{\text{water}}^{\text{Side}} = \beta * q_{\text{water}}^{\text{Top}}$$

[0070] 上記の式で計算した $q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ を用いて側面 30 の水冷の流出熱量 $Q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ を計算することで、計算負荷をさらに軽減できる。なお、上記の計算に代えて、以下のようにしても良い。側面 30 の水冷の熱伝達係数を $h_{\text{water}}^{\text{Side}}$ とし、上面 34 の水冷の水冷の熱伝達係数を $h_{\text{water}}^{\text{Top}}$ とする。 $h_{\text{water}}^{\text{Side}}$ は、次式で表すことができる。

$$h_{\text{water}}^{\text{Side}} = \beta * h_{\text{water}}^{\text{Top}}$$

上記の式で計算した $h_{\text{water}}^{\text{Side}}$ を用いて側面 30 の水冷の熱流束を計算し、その熱流束を用いて側面 30 の水冷の流出熱量 $Q_{\text{water}}^{\text{Side}}$ を計算することで、上記と類似の効果が得られる。

[0071] 次に、鋼板の上面 34 または下面 35 と、側面 30 との双方を含む矩形要

素について、熱収支を計算する方法を説明するが、前述した熱収支との相違点のみを説明する。第 1 __ 1 要素は、鋼板の上面 3 4 と側面 3 0 とを含む、角の矩形要素である。第 1 __ 1 要素の熱収支は、次式のように表現できる。

[数7]

$$\Delta Q_{1,1} = -Q_{rad}^{Top} - Q_{rad}^{Side} - Q_{water}^{Top} - Q_{water}^{Side} - Q_{conv}^{Top} - Q_{conv}^{Side} + Q_{fric}^{Top} - Q_{roll}^{Top} + Q_{def} + Q_{EH} - Q_{cond\_x}^{1to2} - Q_{cond\_y}^{1to2}$$

[0072] 第 (2 N - 1) __ 1 要素は、鋼板の下面 3 5 と側面 3 0 とを含む、角の矩形要素である。第 (2 N - 1) __ 1 要素の熱収支は、次式のように表現できる。

[数8]

$$\Delta Q_{(2NT-1),1} = -Q_{rad}^{Bot} - Q_{rad}^{Side} - Q_{water}^{Bot} - Q_{water}^{Side} - Q_{conv}^{Bot} - Q_{conv}^{Side} + Q_{fric}^{Bot} - Q_{roll}^{Bot} + Q_{def} + Q_{EH} + Q_{cond\_x}^{(2NT-2)to(2NT-1)} - Q_{cond\_y}^{1to2}$$

[0073] なお、鋼板の側面 3 0 を含む矩形要素の熱収支の計算においては、鋼板の側面 3 0 からエッジャー 3 のエッジャーロールへの熱伝導量をさらに算入しても良い。

[0074] 次に、鋼板の上面 3 4、下面 3 5、及び側面 3 0 のいずれも含まない、内部の矩形要素について、熱収支を計算する方法を説明するが、前述した熱収支との相違点のみを説明する。第 i __ j 要素 (i = 2, 3, ..., 2 N T - 2) (j = 2, 3, ..., N W + 1) は、そのような内部の矩形要素である。これらの矩形要素は、四方がすべて他の矩形要素に隣接している。第 i __ j 要素 (i = 2, 3, ..., 2 N T - 2) (j = 2, 3, ..., N W + 1) の熱収支は、次式のように表現できる。

[数9]

$$\Delta Q_{i,j} = Q_{cond\_x}^{(i-1)to(i)} - Q_{cond\_x}^{(i)to(i+1)} + Q_{cond\_y}^{(j-1)to(j)} - Q_{cond\_y}^{(j)to(j+1)} + Q_{def} + Q_{EH}$$

[0075] 温度計算部 1 0 0 b は、上述した各矩形要素のボリューム $V_{i,j}$ 及び熱収支 $\Delta Q_{i,j}$ に基づいて、時間刻み Δt の間の各矩形要素の温度変化量を次式により計算する。

[数10]

$$\Delta T_{i,j} = \frac{\Delta Q_{i,j}}{\rho \cdot C_p \cdot V_{i,j}} \cdot \Delta t$$

[0076] ここで、

$\Delta T_{i,j}$ [K] : 時間刻み Δt の間の第 i — j 要素の温度変化量

ρ [kg/mm³] : 鋼板の密度

$Cp_{i,j}$ [J/kg/K] : 第 i — j 要素の比熱

である。

[0077] 続いて、温度計算部 100b は、上述した時間刻み Δt の間の各矩形要素の温度変化量 $\Delta T_{i,j}$ に基づいて、時間刻み Δt が経過した後の各矩形要素の温度を次式により計算する。

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + \Delta T_{i,j}$$

[0078] ここで、

$T_{i,j}^k$ [K] : 時間ステップ k における第 i — j 要素の温度

$T_{i,j}^{k+1}$ [K] : 時間刻み Δt 後の時間ステップ $(k+1)$ における第 i — j 要素の温度

である。

[0079] 温度計算部 100b は、有限差分法を用いて、時間刻み Δt ごとに、上記のようにして各矩形要素の熱収支、温度変化量、及び温度を計算する。これにより、温度計算部 100b は、計算開始から計算終了まで、時間刻み Δt ごとの各時間ステップでの各矩形要素の温度を計算できる。各矩形要素の温度を計算することで、鋼板の長手方向に垂直な断面の温度分布が得られる。

[0080] 要素分割部 100a は、鋼板が圧延されることで鋼板の断面形状が変化した場合には、新たな断面を複数の矩形要素に分割する。断面が分割し直された場合には、各矩形要素のボリューム $V_{i,j}$ が再計算される。要素分割部 100a は、鋼板の板厚が薄くなるにつれて、板厚方向の分割数を少なくしても良い。

[0081] 温度計算部 100b が計算を開始する位置は、例えば、鋼板（スラブ）がスラブ加熱炉 1 を出た位置とすることができる。スラブ加熱炉 1 では、鋼板（スラブ）が所定温度に加熱されるように制御される。温度計算部 100b

は、スラブ加熱炉 1 を出たときに鋼板（スラブ）全体が均一な温度に加熱されているとみなし、当該所定温度を各矩形要素の初期温度としても良い。また、スラブ加熱炉 1 で加熱中の鋼板の温度分布が数値計算されている場合には、温度計算部 100b は、その計算結果に基づいて、各矩形要素の初期温度を定めても良い。

[0082] 温度計算部 100b が計算を終了する位置は、例えば、コイラー 14 の手前の第四温度計 13 の位置とすることができる。温度計算部 100b は、第一温度計 5、第二温度計 6、第三温度計 11、または第四温度計 13 で測定された鋼板の表面温度に基づいて、計算結果を補正しても良い。

[0083] 前述したように、熱間圧延プロセスにおける鋼板のエッジ部は、温度が低下しやすい。また、エッジヒータ 7 で加熱された場合には、鋼板のエッジ部のみで温度が上昇する。このため、鋼板のエッジ部は、温度変化及び温度勾配が大きくなりやすい。本実施の形態によれば、第一領域 31 を板幅方向にも複数に分割することで、温度変化及び温度勾配が大きい鋼板のエッジ部の温度分布を正確に計算できる。第二領域 32 では、板幅方向に沿って温度がほぼ均一になる。このため、第二領域 32 を板幅方向に分割しなくても、鋼板の温度分布を正確に計算できる。本実施の形態によれば、第二領域 32 を板幅方向に分割せず、板厚方向にのみ分割することで、矩形要素の総数の増加を抑制できる。その結果、計算負荷の増加を抑制できる。本実施の形態によれば、実操業のオンライン制御計算においても、計算機の負荷を十分に軽減できる。

[0084] なお、本発明では、有限差分法の計算の時間刻み Δt に関して、空冷域、水冷域、及び圧延域の境界条件の変化に応じて、時間刻み Δt 当たりの温度変化量がほぼ同等になるように、時間刻み Δt を変更する方法を使用しても良い。当該方法は、日本特許第 5391205 号に開示されている。当該方法によれば、1 つの時間ステップごとの温度変化量の精度を確保しつつ、計算回数を低減でき、実操業のオンライン制御計算の計算機負荷をさらに軽減できる。

[0085] 図 1 に示す圧延システム 20 において鋼板が搬送される過程では、熱放射、空冷対流、デスケリング及びラミナースプレーなどの水冷却、圧延中の加工発熱、摩擦発熱、及びロール伝熱など、多種の伝熱現象が発生する。鋼板の表面（上面 34、下面 35、及び側面 30）の温度は、時々刻々に変化する。鋼板の表面温度が変化することで、鋼板の表面の温度と内部の温度との差が生じる。そのような温度差に起因する熱伝導により、鋼板の内部の温度も変化していく。粗圧延段階などの板厚が厚い状態では、デスケリングの水冷、あるいはロール伝熱などによって表面温度が一時的に低下した後に、鋼板内部からの熱伝導による復熱効果で、表面温度が上昇する場合がある。このように、境界条件の変化により、鋼板の表面温度は一様に低下せず、低下と上昇を繰り返す変化を示す。上記のような多種の境界条件の変化により、鋼板の表面の温度変化が大きい。鋼板の内部の温度変化は、主として熱伝導によるので、比較的緩やかである。これらのことから、鋼板の長手方向に対し垂直な断面の中に、複雑に変化する温度分布が生じる。本実施の形態によれば、有限差分法を用いて各矩形要素の温度を計算することで、そのような複雑に変化する温度分布を正確に計算できる。

[0086] 圧延荷重、圧延トルクなどの圧延プロセスの諸量は、鋼板温度により変化する。本実施の形態によれば、鋼板温度を精度良く計算することができるので、圧延プロセスの諸量を精度良く計算できる。

[0087] 熱間圧延では、鋼板の温度履歴に応じて相変態の状況が変わり、最終的な製品の強度などの機械的性質が変化する。このため、鋼板の温度を管理することが極めて重要である。圧延システム 20 では、第一温度計 5、第二温度計 6、第三温度計 11、及び第四温度計 13 を用いて、鋼板の温度を測定及び管理する。圧延システム 20 が備えるこれらの放射温度計は、通常、鋼板の上面 34 の板幅方向の中央部の温度を測定する。このため、通常、鋼板の温度管理は、板幅方向の中央部の温度を用いて行われる。板幅方向の中央部の温度とエッジ部の温度との差が大きいと、エッジ部のみ機械的性質が異なることになり、好ましくない。本実施の形態では、鋼板の温度分布を、エッ

ジ部も含めて正確に計算できる。エッジヒータ制御部 100c は、温度計算部 100b で計算された各矩形要素の温度に基づいて、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御する。本実施の形態では、エッジヒータ 7 の加熱領域を包含する第一領域 31 を板幅方向にも複数に分割することで、エッジヒータ 7 で加熱される鋼板のエッジ部の温度分布を正確に計算できる。その正確な計算結果に基づいてエッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御することで、板幅方向の中央部の温度とエッジ部の温度との差が小さくなるように、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を高精度に制御することが可能となる。

[0088] 実施の形態 2.

次に、図 6 及び図 7 を参照して、本発明の実施の形態 2 について説明するが、上述した実施の形態 1 との相違点を中心に説明し、同一部分または相当部分は同一符号を付し説明を省略する。

[0089] 本実施の形態 2 における圧延システム 20 は、実施の形態 1 とほぼ同様の機器構成を備える。図 6 は、本実施の形態 2 における圧延システム 20 のエッジヒータ制御部 100c のブロック図である。図 6 では、本実施の形態 2 における圧延システム 20 が備える機器の一部を省略している。

[0090] 本実施の形態 2 において、エッジヒータ制御部 100c は、エッジヒータ 7 より下流側の位置において、鋼板の第二領域 32 の代表温度と、第一領域 31 の代表温度との温度差を測定するステップを実行する。当該温度差を以下「中心－エッジ間温度差」と称する。第一領域 31 の代表温度は、鋼板のエッジ部の代表温度に相当する。第二領域 32 の代表温度は、鋼板のエッジ部以外の部分の代表温度、または、鋼板の板幅方向の中央部の代表温度に相当する。エッジヒータ制御部 100c は、実施の形態 1 で説明した有限差分法による計算方法を用いて、中心－エッジ間温度差を計算するステップを実行する。エッジヒータ制御部 100c は、中心－エッジ間温度差の測定値と、中心－エッジ間温度差の計算値とに基づいて、補正係数を学習するステップを実行する。エッジヒータ制御部 100c は、当該補正係数を用いて、中心－エッジ間温度差の計算値を補正するステップを実行する。エッジヒータ

制御部 100c は、中心－エッジ間温度差の測定値と、中心－エッジ間温度差の補正された計算値と、中心－エッジ間温度差の温度差の目標値とに基づいて、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御するステップを実行する。以下、これらのステップについて、詳細に説明する。

- [0091] エッジヒータ 7 は、通常、粗圧延機 4 と仕上圧延機 10 との間に設置される。本実施の形態では、第三温度計 11 または第四温度計 13 を用いて、中心－エッジ間温度差を測定する。第三温度計 11 または第四温度計 13 として、スキャン型放射温度計を用いることで、中心－エッジ間温度差を容易に測定できる。スキャン型放射温度計は、測定点を板幅方向に走査することで、鋼板の上面 34 において板幅方向の複数点の温度を測定できる。第三温度計 11 は、仕上圧延機 10 の出側での鋼板温度を測定する。第四温度計 13 は、コイラー 14 の入側での鋼板温度を測定する。これらの測定位置では、鋼板表面が安定しており、温度測定が安定する。
- [0092] 図 7 は、中心－エッジ間温度差の板幅方向の測定位置を説明するための図である。スキャン型放射温度計は、鋼板の側面 30 からの距離で定義される何点かの位置の温度と、鋼板の板幅方向の中心位置の温度とを測定する。本実施の形態では、鋼板の上面 34 の板幅方向の中心位置 36 の温度を、鋼板の第二領域 32 の代表温度として用いる。鋼板の上面 34 において側面 30 からの距離が y_E となる位置 37 の温度を、第一領域 31 の代表温度として用いる。
- [0093] 有限差分法により計算される矩形要素の温度は、当該矩形要素内の平均温度に相当する。要素分割部 100a は、第一領域 31 の代表温度を測定する位置 37 が、いずれかの矩形要素の板幅方向の中心に一致するように、第一領域 31 を分割することが望ましい。これにより、中心－エッジ間温度差の計算値をより正確に求めることができる。ここで、第一領域 31 の矩形要素のうち、側面 30 から E 番目の矩形要素の板幅方向の中心が、第一領域 31 の代表温度を測定する位置 37 に一致すると仮定する。図 7 では、便宜上、 $E = 3$ としているが、 E が 4 以上でも良いことは言うまでもない。この場合

、次式が成り立つ。

[数11]

$$y_E = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \cdots + \Delta y_{E-1} + \frac{1}{2} \Delta y_E$$

$$T_E^{Cal} = T_{1\_jE}$$

[0094] ここで、

T_E^{Cal} [K] : 第一領域 3 1 の代表温度を測定する位置 3 7 の温度の計算値

T_{1_jE} [K] : 第 1 __ j E 要素の温度の計算値

j E = E

である。

[0095] 第一領域 3 1 の代表温度を測定する位置 3 7 が、いずれかの矩形要素の板幅方向の中心に一致しない場合には、以下のようにして、隣接する矩形要素の温度を線形補間することで、 T_E^{Cal} を高精度に計算できる。まず、第 1 __ j E-1 要素の板幅方向の中心と、第 1 __ j E 要素の板幅方向の中心との間に、第一領域 3 1 の代表温度を測定する位置 3 7 があると仮定する。第 1 __ j E-1 要素の板幅方向の中心から、位置 3 7 までの距離を Δy_{EM} とする。 T_E^{Cal} は、次式で計算できる。

[数12]

$$T_E^{Cal} = T_{1\_jE-1} + \frac{2 \cdot \Delta y_{EM}}{\Delta y_{E-1} + \Delta y_E} (T_{1\_jE} - T_{1\_jE-1})$$

[0096] 中心－エッジ間温度差を次式で表す。

[数13]

$$\Delta T_{CE}^{FDT} = T_C^{FDT} - T_E^{FDT}$$

[0097] ここで、

ΔT_{CE}^{FDT} [K] : 中心－エッジ間温度差

T_C^{FDT} [K] : 第二領域 3 2 の代表温度

T_E^{FDT} [K] : 第一領域 3 1 の代表温度

である。

[0098] 本実施の形態では、中心－エッジ間温度差 ΔT_{CE}^{FDT} として、以下の３種の値を用いる。

$\Delta T_{CE\_aim}^{FDT}$ [K] : 中心－エッジ間温度差の目標値

$\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}$ [K] : 有限差分法による中心－エッジ間温度差の計算値

$\Delta T_{CE\_act}^{FDT}$ [K] : 第三温度計 1 1 または第四温度計 1 3 により測定された中心－エッジ間温度差の測定値（実績値）

[0099] 第二領域 3 2 の代表温度の計算値は、第二領域 3 2 の上面 3 4 を含む矩形要素、すなわち第 1 __ (NW + 1) 要素の温度の計算値に相当する。第 1 __ (NW + 1) 要素の温度の計算値を T_{1_NW+1} [K] とする。中心－エッジ間温度差の計算値は、次式で表される。

$$\Delta T_{CE\_cal}^{FDT} = T_{1\_NW+1} - T_E^{Cal}$$

[0100] エッジヒータ制御部 1 0 0 c は、上述した中心－エッジ間温度差の計算値及び測定値が、中心－エッジ間温度差の目標値の近くに推移するように、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御する。中心－エッジ間温度差の目標値は、例えば 2 0 K 程度に設定することが望ましい。

[0101] エッジヒータ 7 と第三温度計 1 1 または第四温度計 1 3 との間には距離があることから、中心－エッジ間温度差の測定値に基づいて直接エッジヒータ 7 をフィードバック制御する方法では、中心－エッジ間温度差の測定値を目標値へ近づけることが必ずしも容易ではない場合がある。これに対し、本実施の形態では、中心－エッジ間温度差の計算値も利用してエッジヒータ 7 を制御することで、中心－エッジ間温度差の測定値を目標値へ高精度に近づけることが可能となる。さらに、本実施の形態では、中心－エッジ間温度差の計算値を補正するための補正係数を学習することで、中心－エッジ間温度差の測定値を目標値へより高精度に近づけることが可能となる。

[0102] 補正係数を Z_{TE} とする。補正係数 Z_{TE} は、中心－エッジ間温度差の測定値と計算値との比である。補正係数 Z_{TE} は、次式により計算される。

[数14]

$$Z_{TE} = \frac{\Delta T_{CE\_act}^{FDT}}{\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}}$$

[0103] 上記式で計算された補正係数 Z_{TE} は、次式により平滑化された後に、ルックアップテーブルなどに更新保存される。

[数15]

$$Z_{TE}^{UPD} = (1 - \alpha) \cdot Z_{TE}^{TBL} + \alpha \cdot Z_{TE}$$

[0104] ここで、

Z_{TE}^{UPD} : 更新保存される補正係数

Z_{TE}^{TBL} : 更新前のテーブルから読み取った補正係数

α : $0 < \alpha < 1$ を満足する所定の係数である。

次の鋼板の中心－エッジ間温度差を有限差分法により計算する場合には、更新保存された補正係数 Z_{TE}^{UPD} を用いて、次式により計算値を補正する。

[0105] [数16]

$$\Delta T_{CE\_cal}^{FDT} = Z_{TE}^{UPD} \cdot \Delta T_{CE\_cal}^{FDT}$$

[0106] ここで、 $\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}$ は、中心－エッジ間温度差の補正された計算値である。以下の説明では、便宜上、 $\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}$ を単に $\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}$ と表記する。

[0107] 本実施の形態では、上記のような学習計算を鋼板ごとに継続して繰り返す。その結果、中心－エッジ間温度差の計算値の精度を高くできる。

[0108] 次に、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御する方法について説明する。まず、エッジヒータ 7 の加熱量の変更に対する、中心－エッジ間温度差の変化の割合を、有限差分法を用いて、次式により計算する。なお、この計算では、前述した補正係数で計算値を補正する。

[数17]

$$\frac{dT_{CE}}{dQ_{EH}} = \frac{\Delta T_{CE\_cal}^{FDT} (Q_{EH} + \Delta Q_{EH}) - \Delta T_{CE\_cal}^{FDT} (Q_{EH})}{\Delta Q_{EH}}$$

[0109] ここで、

$\frac{dT_{CE}}{dQ_{EH}}$: エッジヒータ 7 の加熱量を Q_{EH} から $(Q_{EH} + \Delta Q_{EH})$ へ変更したときの、中心

－エッジ間温度差の変化の割合

$\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}(Q_{EH} + \Delta Q_{EH})$: エッジヒータ 7 の加熱量を $(Q_{EH} + \Delta Q_{EH})$ として有限差分法を用いて計算した中心－エッジ間温度差の計算値

$\Delta T_{CE\_cal}^{FDT}(Q_{EH})$: エッジヒータ 7 の加熱量を Q_{EH} として有限差分法を用いて計算した中心－エッジ間温度差の計算値

である。

[0110] 続いて、中心－エッジ間温度差の測定値と目標値との偏差を解消するために必要な、エッジヒータ 7 の加熱量の補正量 ΔQ_{EH}^{MOD} を次式により計算する。

[数18]

$$\Delta Q_{EH}^{MOD} = \frac{\Delta T_{CE\_act}^{FDT} - \Delta T_{CE\_aim}^{FDT}}{\frac{dT_{CE}}{dQ_{EH}}}$$

[0111] エッジヒータ制御部 100c は、上記式で計算された補正量 ΔQ_{EH}^{MOD} に基づいて、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御する。例えば、エッジヒータ制御部 100c は、次式を用いて、次の鋼板を加熱するエッジヒータ 7 の出力または加熱量を補正する。

[数19]

$$Q'_{EH} = Q_{EH}^{TBL} + \Delta Q_{EH}^{MOD}$$

[0112] ここで、

Q_{EH}^{TBL} : ルックアップテーブルなどから読み込んだエッジヒータ 7 の加熱量

Q'_{EH} : 次の鋼板に対する、補正されたエッジヒータ 7 の加熱量

である。

[0113] エッジヒータ制御部 100c は、次の鋼板を加熱するエッジヒータ 7 の加熱量が上記のように補正されるように、エッジヒータ 7 の出力または加熱量を制御する信号をエッジヒータ 7 へ送信する。また、エッジヒータ制御部 1

00cは、上記のように補正されたエッジヒータ7の加熱量に基づいて、エッジヒータ7の加熱量のルックアップテーブルを更新することが望ましい。

[0114] 以上説明した方法によれば、中心－エッジ間温度差の測定値（実績値）を目標値に高精度に近づけることができる。本実施の形態によれば、鋼板の板幅方向の中央部の温度とエッジ部の温度との差をより確実に小さくすることができる。その結果、鋼板の品質を、エッジ部も含めて、より高くすることができる。

符号の説明

[0115] 1 スラブ加熱炉、2 高圧デスケーリング装置、3 エッジャー、4 粗圧延機、5 第一温度計、6 第二温度計、7 エッジヒータ、8 クロップシャー、9 仕上入側デスケーリング装置、10 仕上圧延機、11 第三温度計、12 ランアウトラミナースプレー冷却装置、13 第四温度計、14 コイラー、20 圧延システム、30 側面、31 第一領域、32 第二領域、33 領域境界、34 上面、35 下面、36 中心位置、37 第一領域の代表温度を測定する位置、100 制御装置、100a 要素分割部、100b 温度計算部、100c エッジヒータ制御部、101 プロセッサ、104 受信装置、105 送信装置、106 ハードディスクドライブ、200 バス

請求の範囲

- [請求項1] 熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を複数の矩形要素に分割すること、及び
- 有限差分法を用いて前記矩形要素の各々の温度を計算すること、
- を含み、
- 前記断面のエッジ部を含む領域である第一領域は、複数の前記矩形要素が板厚方向に並ぶとともに複数の前記矩形要素に板幅方向に並ぶように分割され、
- 前記断面の中心を含み、前記第一領域より広い領域である第二領域は、複数の前記矩形要素が板厚方向に並ぶように分割され、前記板幅方向には分割されない温度計算方法。
- [請求項2] 前記第二領域に近い位置から前記鋼板の側面に近づくにつれて、前記第一領域の前記矩形要素の前記板幅方向の長さが小さくなる請求項1に記載の温度計算方法。
- [請求項3] 前記鋼板が水冷されるときの前記有限差分法の計算において、前記鋼板の上面の水冷による熱流束または熱伝達係数の値に、ゼロより大きく1より小さい調整係数を乗じた値を、前記鋼板の側面の水冷による熱流束または熱伝達係数の値として用いる請求項1または請求項2に記載の温度計算方法。
- [請求項4] 前記第一領域は、前記鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータの加熱領域を包含する請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の温度計算方法。
- [請求項5] 前記鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータより下流側の位置において、前記第二領域の代表温度と、前記第一領域の代表温度との温度差を測定すること、
- 請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の温度計算方法を用いて、前記温度差を計算すること、及び
- 前記温度差の測定値と、前記温度差の計算値と、前記温度差の目標

値とに基づいて、前記エッジヒータの出力または加熱量を制御すること、

を含む加熱制御方法。

[請求項6] 前記測定値及び前記計算値に基づいて補正係数を学習すること、及び

前記補正係数で前記計算値を補正すること、

を含む請求項5に記載の加熱制御方法。

[請求項7] 熱間圧延される鋼板の長手方向に対して垂直な断面を複数の矩形要素に分割する手段と、

有限差分法を用いて前記矩形要素の各々の温度を計算する手段と、

を備え、

前記断面のエッジ部を含む領域である第一領域は、複数の前記矩形要素が板厚方向に並ぶとともに複数の前記矩形要素に板幅方向に並ぶように分割され、

前記断面の中心を含み、前記第一領域より広い領域である第二領域は、複数の前記矩形要素が板厚方向に並ぶように分割され、前記板幅方向には分割されない温度計算装置。

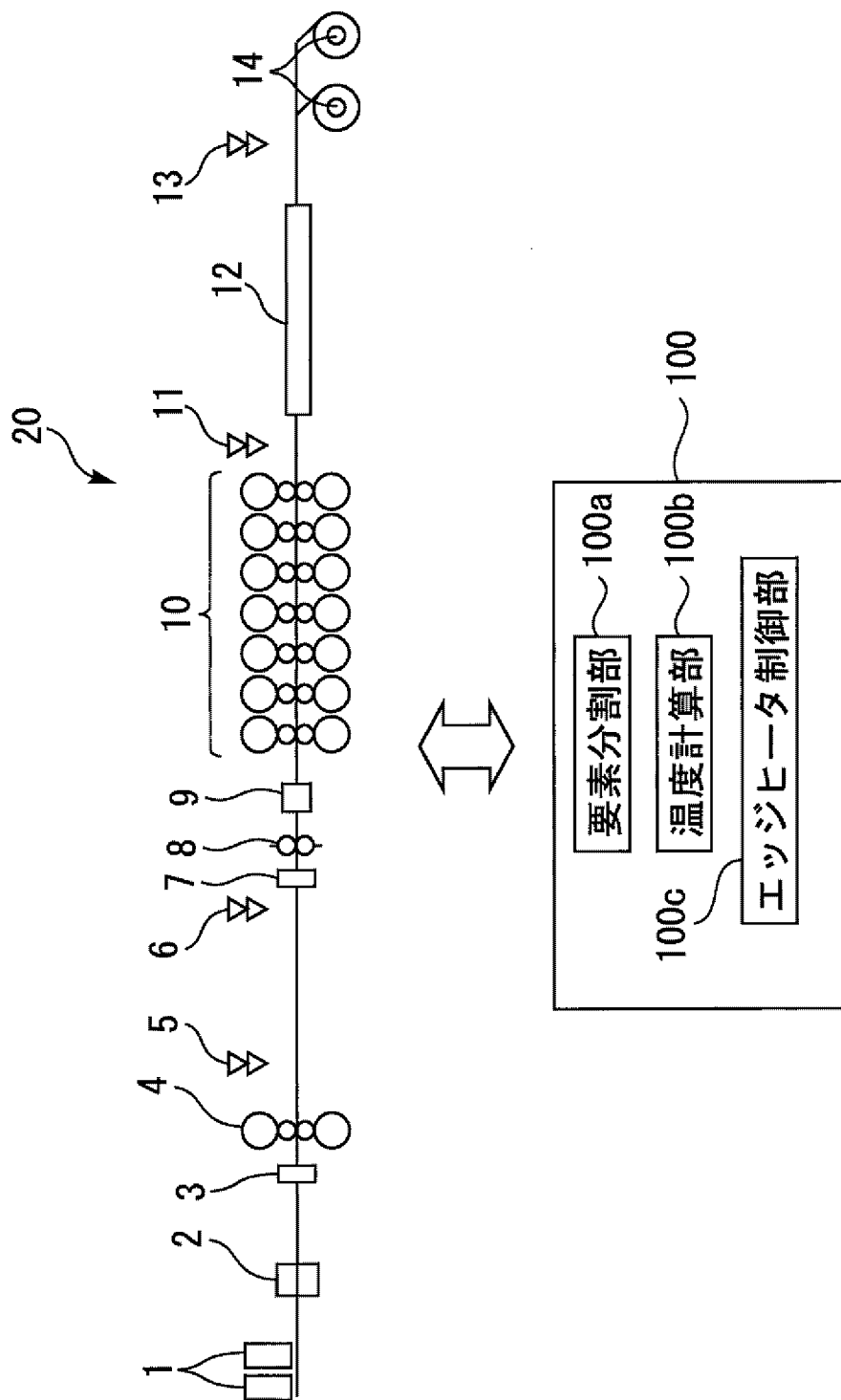
[請求項8] 前記第二領域に近い位置から前記鋼板の側面に近づくにつれて、前記第一領域の前記矩形要素の前記板幅方向の長さが小さくなる請求項7に記載の温度計算装置。

[請求項9] 前記鋼板が水冷されるときの前記有限差分法の計算において、前記鋼板の上面の水冷による熱流束または熱伝達係数の値に、ゼロより大きく1より小さい調整係数を乗じた値を、前記鋼板の側面の水冷による熱流束または熱伝達係数の値として用いる請求項7または請求項8に記載の温度計算装置。

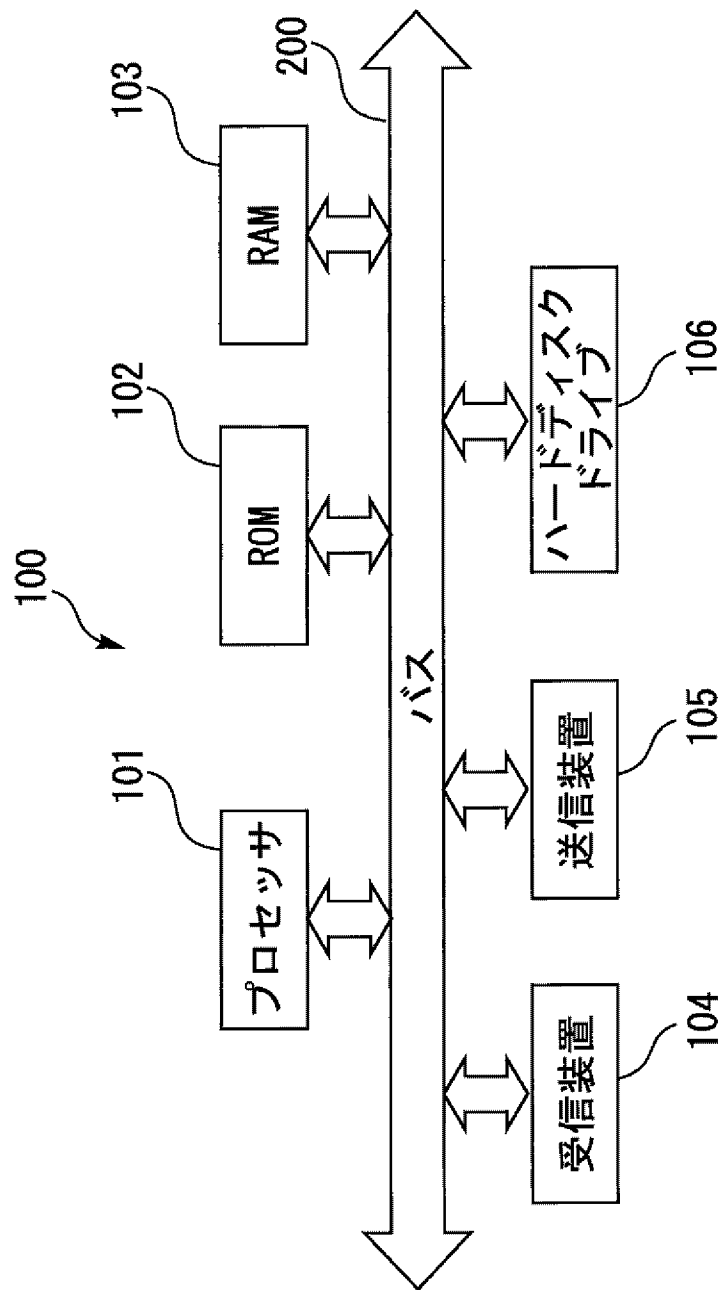
[請求項10] 前記第一領域は、前記鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータの加熱領域を包含する請求項7から請求項9のいずれか一項に記載の温度計算装置。

- [請求項11] 請求項7から請求項10のいずれか一項に記載の温度計算装置と、
 前記鋼板のエッジ部を加熱するエッジヒータより下流側の位置において、前記第二領域の代表温度と、前記第一領域の代表温度との温度差を測定する手段と、
 前記温度計算装置を用いて、前記温度差を計算する手段と、
 前記温度差の測定値と、前記温度差の計算値と、前記温度差の目標値とに基づいて、前記エッジヒータの出力または加熱量を制御する手段と、
 を備える加熱制御装置。
- [請求項12] 前記測定値及び前記計算値に基づいて補正係数を学習する手段と、
 前記補正係数で前記計算値を補正する手段と、
 を備える請求項11に記載の加熱制御装置。

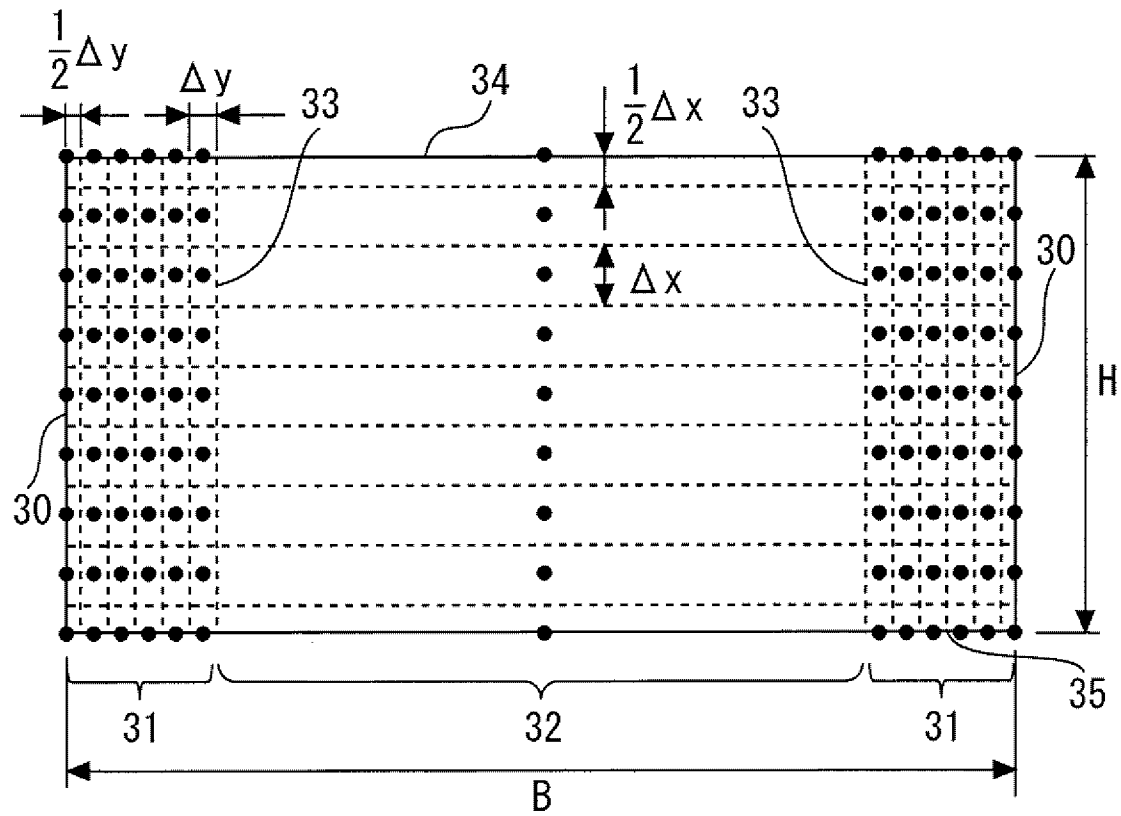
[図1]



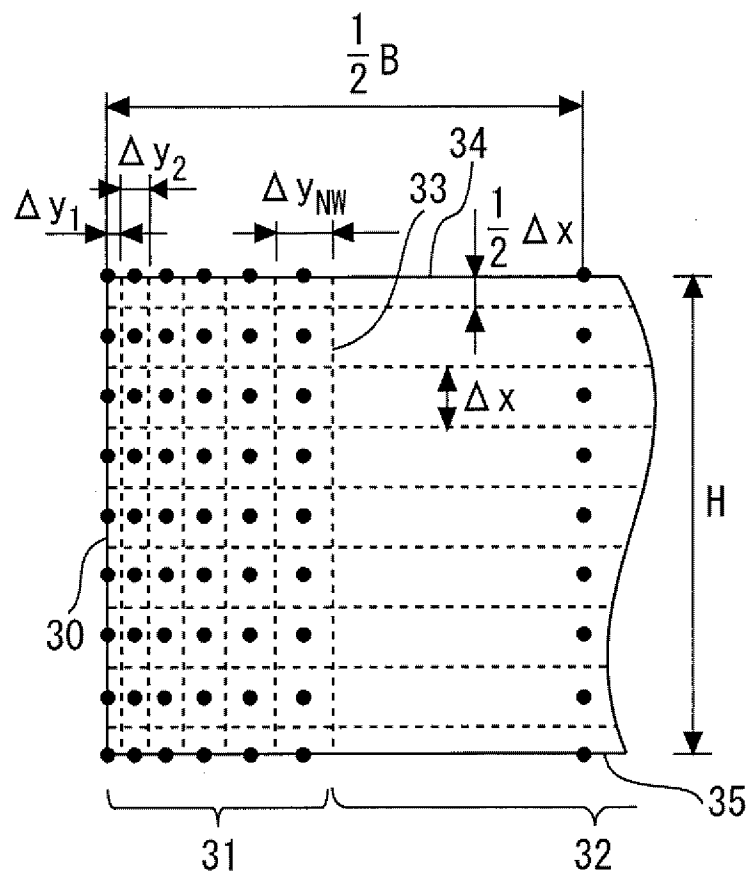
[図2]



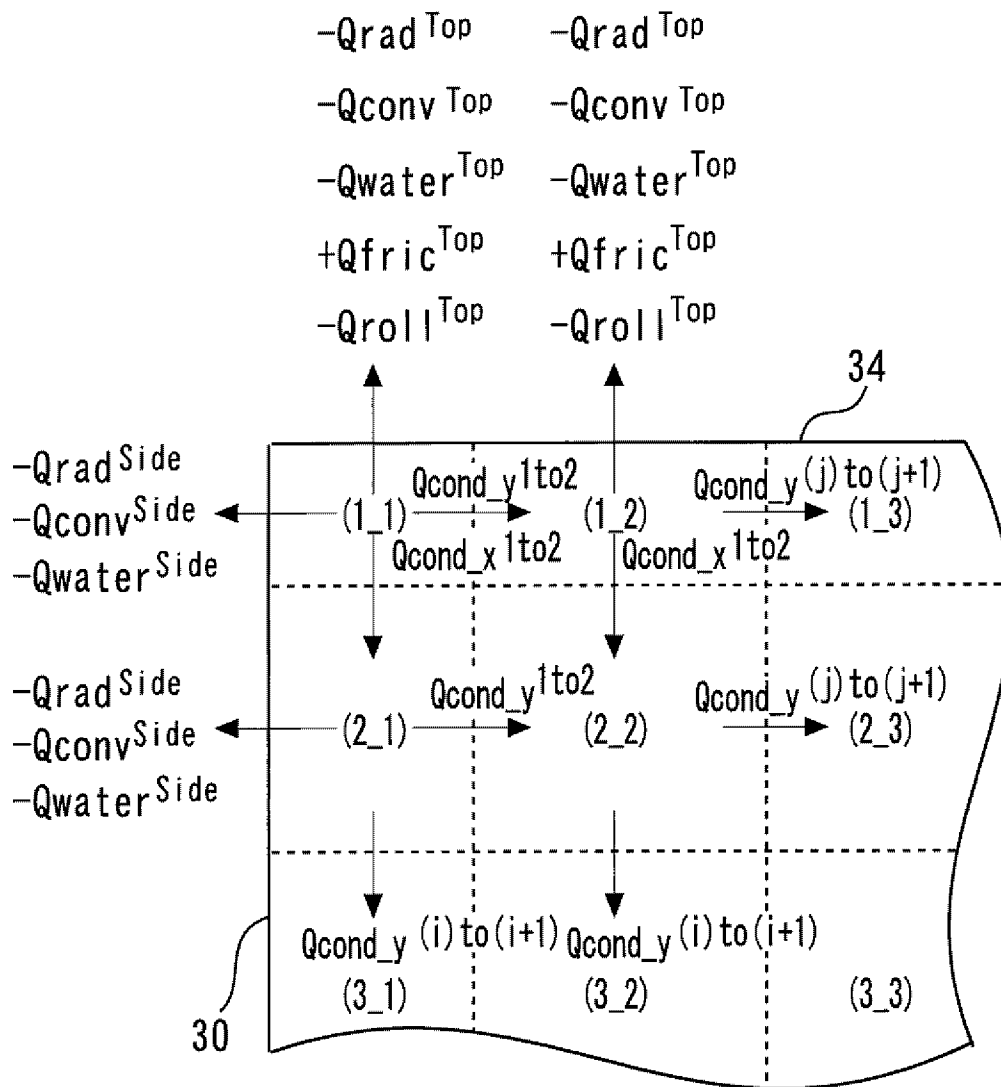
[図3]



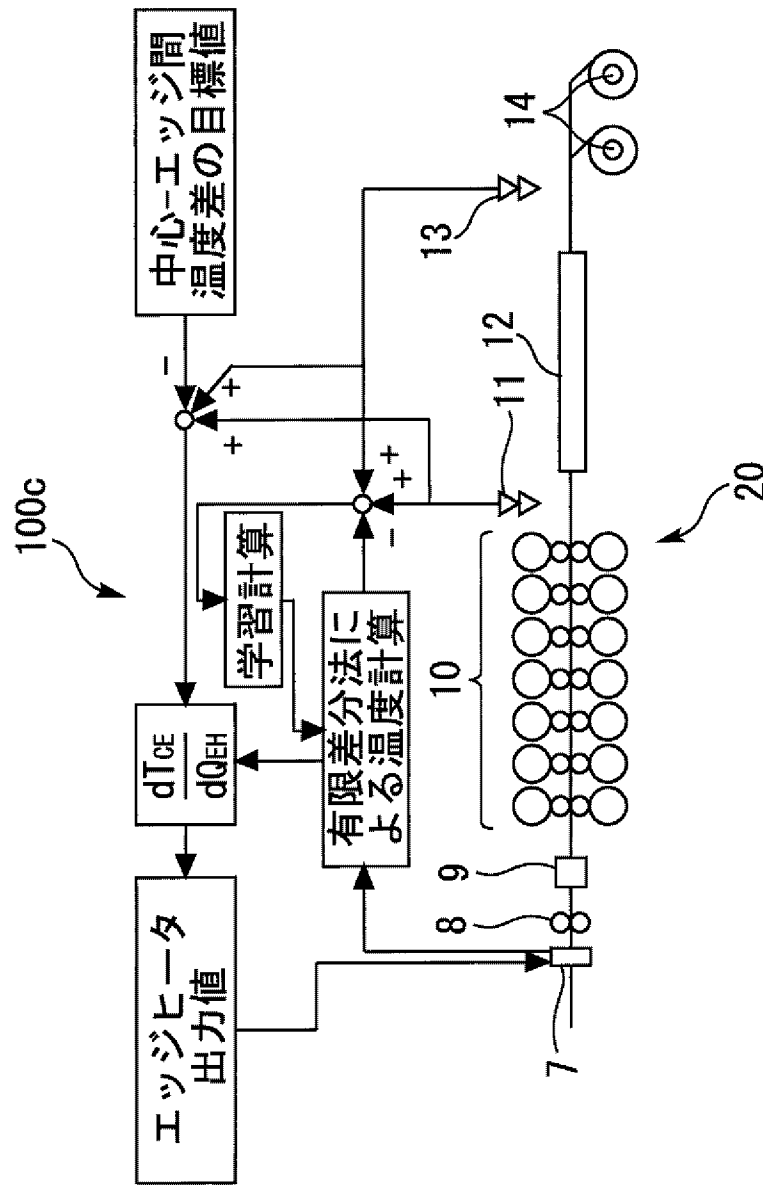
[図4]



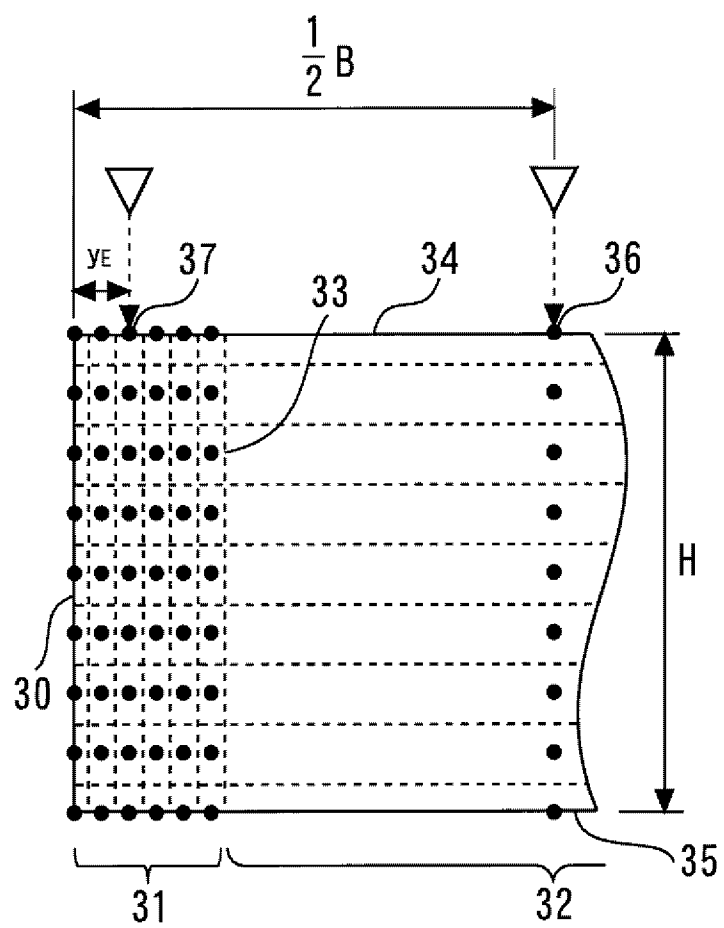
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059433

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B21B37/76(2006.01) i, B21B45/00(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)

B21B37/76, B21B45/00

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 1996-2015

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015

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 2009-233725 A (JFE Steel Corp.), 15 October 2009 (15.10.2009), (Family: none)	1-12
A	JP 2001-269702 A (Kawasaki Steel Corp.), 02 October 2001 (02.10.2001), (Family: none)	1-12
A	JP 2012-148310 A (JFE Steel Corp.), 09 August 2012 (09.08.2012), (Family: none)	1-12

☐ 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
09 April 2015 (09.04.15)

Date of mailing of the international search report
21 April 2015 (21.04.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B21B37/76(2006.01)i, B21B45/00(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（I P C）） Int.Cl. B21B37/76, B21B45/00			
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 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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 2009-233725 A（J F E スチール株式会社）2009.10.15, （ファミリーなし）	1-12	
A	JP 2001-269702 A（川崎製鉄株式会社）2001.10.02, （ファミリーなし）	1-12	
A	JP 2012-148310 A（J F E スチール株式会社）2012.08.09, （ファミリーなし）	1-12	
☐ 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 09.04.2015		国際調査報告の発送日 21.04.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / 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） 坂本 薫昭 電話番号 03-3581-1101 内線 3425	4E 9265