

(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
2018年3月29日(29.03.2018)



(10) 国際公開番号

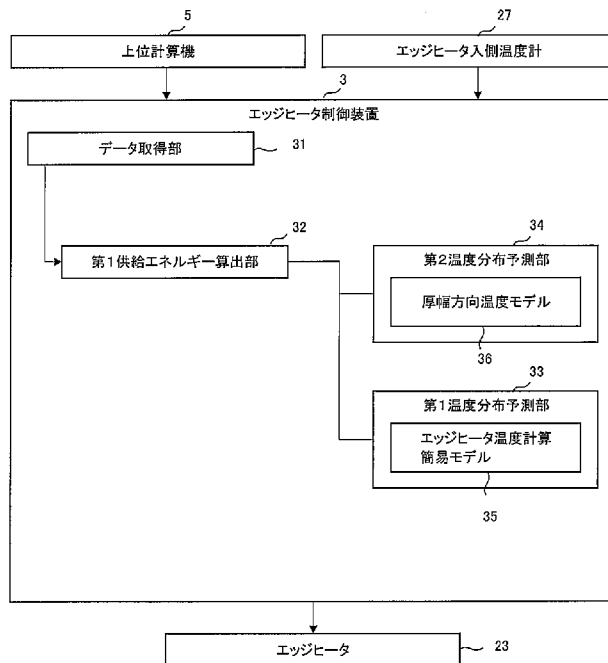
WO 2018/055718 A1

- (51) 国際特許分類:
B21B 37/74 (2006.01) *H05B 6/10* (2006.01)
H05B 6/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/077938
- (22) 国際出願日: 2016年9月23日(23.09.2016)
- (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: 今成 宏幸 (IMANARI, Hiroyuki); 〒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). 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).
- (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2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, DJ, DK, DM, DO, DZ,

(54) Title: EDGE HEATER CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: エッジヒータ制御装置

[図2]



- 3... EDGE HEATER CONTROL DEVICE
5... HOST COMPUTER
23... EDGE HEATER
27... EDGE HEATER INLET-SIDE THERMOMETER
31... DATA ACQUISITION UNIT
32... FIRST SUPPLY ENERGY CALCULATION UNIT
33... FIRST TEMPERATURE DISTRIBUTION PREDICTION UNIT
34... SECOND TEMPERATURE DISTRIBUTION PREDICTION UNIT
35... EDGE HEATER TEMPERATURE CALCULATION SIMPLE MODEL
36... THICKNESS/WIDTH-DIRECTION TEMPERATURE MODEL

(57) Abstract: An edge heater control device (3) is provided with a first temperature distribution prediction unit (33), a second temperature distribution prediction unit (34), and a supply energy calculation unit (32). On the basis of a temporary value indicating electric energy to be supplied to an edge heater (23), the first temperature distribution prediction unit (33) predicts a width-direction temperature distribution (first temperature distribution) of a rolling material (1), said width-direction temperature distribution being on the edge heater outlet side. On the basis of the first temperature distrib-



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, KW, 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:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

ution, the second temperature distribution prediction unit (34) predicts a width-direction temperature distribution (second temperature distribution) of the rolling material (1), said width-direction temperature distribution being on the outlet side of a rolling stand (24). Before the rolling material (1) reaches the edge heater (23), the supply energy calculation unit (32) calculates an instruction value indicating electric energy to be supplied to the edge heater (23), said electric energy being needed to satisfy second temperature distribution temperature conditions relating to a width-direction end section.

(57) 要約: エッジヒータ制御装置(3)は、第1温度分布予測部(33)、第2温度分布予測部(34)、供給エネルギー算出部(32)を備える。第1温度分布予測部(33)は、エッジヒータ(23)へ供給する電気エネルギーを示す仮値に基づいて、エッジヒータ出側における圧延材(1)の幅方向温度分布(第1温度分布)を予測する。第2温度分布予測部(34)は、前記第1温度分布に基づいて、圧延スタンド(24)の出側における圧延材(1)の幅方向温度分布(第2温度分布)を予測する。供給エネルギー算出部(32)は、圧延材(1)がエッジヒータ(23)へ到達する前に、前記第2温度分布の幅方向端部に関する温度条件を満たすために必要な、エッジヒータ(23)に供給すべき電気エネルギーを示す指示値を算出する。

明 細 書

発明の名称： エッジヒータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、圧延材の幅方向端部を加熱するエッジヒータのエッジヒータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 圧延ライン、特に熱間圧延ラインにおいて、エッジヒータは、圧延材の幅方向端部（板幅方向端部）を加熱するために使われる。幅方向端部は温度が低下しやすく、温度が低下すると強度や延性といった金属材料の材質が低下する。エッジヒータによる幅方向端部の加熱は、圧延材の板幅方向すべてに亘って均一な材質を得ることが目的である。また、ステンレスなどの材料では、幅方向端部の温度低下により、幅方向端部にクラックが生じ、圧延の安定性を阻害したり、製品が不良品になったりする場合もあるため、これを防ぐために、圧延材はエッジヒータにより加熱・昇温される。

[0003] 熱間圧延において、差分法を用いて圧延材の板幅方向の温度分布を精度良く計算することを記載した特許文献として、特開 2015-147216 号公報（特許文献 1）がある。特許文献 1 は、板幅中央部の温度計算値に基づいて、幅方向の温度分布を近似的に計算する温度分布予測装置を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：日本特開 2015-147216 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 圧延材の幅方向端部の温度は、幅方向中央部に比して低下しやすく、材質が劣化しやすい。それを改善するため、圧延ラインにはエッジヒータが設置される。しかし、従来のエッジヒータでの加熱制御は、試行錯誤的に定めた電力で圧延材を加熱するものにすぎず、材質への影響が大きい圧延スタンド

出側における圧延材の幅方向端部の温度低下を十分に抑制できるものではなかった。

[0006] 本発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、圧延材がエッジヒータに到達する前に、圧延スタンド出側における圧延材の幅方向端部の温度条件を満たすために必要な、エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを決定できるエッジヒータ制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、上記の目的を達成するため、指示値に応じた電気エネルギーの供給を受けて圧延材の幅方向端部を加熱するエッジヒータと、前記エッジヒータの下流側に少なくとも1つ設けられた圧延スタンドとを有する圧延ラインのためのエッジヒータ制御装置であって、

前記エッジヒータへ供給する電気エネルギーを示す仮値に基づいて、前記エッジヒータ出側における前記圧延材の幅方向温度分布（第1温度分布）を予測する第1温度分布予測部と、

前記第1温度分布に基づいて、前記圧延スタンド出側における前記圧延材の幅方向温度分布（第2温度分布）を予測する第2温度分布予測部と、

前記圧延材が前記エッジヒータへ到達する前に、前記第2温度分布の幅方向端部に関する温度条件を満たすために必要な、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値を算出する供給エネルギー算出部と、を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、圧延材がエッジヒータに到達する前に、圧延スタンド出側における圧延材の幅方向端部の温度条件を満たすために必要な、エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを決定できる。そのため、本発明によれば、圧延スタンド出側における材質の低下を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態1に係る圧延ラインのシステム構成を示す概略図である。

[図2]実施の形態1に係るエッジヒータ制御装置3の機能ブロック図である。

[図3]第1供給エネルギー算出部32および第2温度分布予測部34が実行するルーチンのフローチャートである。

[図4]第1供給エネルギー算出部32および第1温度分布予測部33が実行するルーチンのフローチャートである。

[図5]圧延材1の長手方向に垂直な断面を表す断面図である。

[図6]第2温度分布予測部34で圧延材1の温度を計算した一例を示すグラフである。

[図7]有限要素法による解析のためにメッシュを切った様子を示している。

[図8]エッジヒータ温度計算簡易モデル35の一例を示す図である。

[図9]実施の形態2に係るエッジヒータ制御装置3の機能ブロック図である。

[図10]実施の形態2に係るエッジヒータ制御装置3が実行するルーチンのフローチャートである。

[図11]エッジヒータ23に供給する電気エネルギーと第2温度分布の幅方向端部の温度の関係の一例を説明するためのグラフである。

[図12]エッジヒータ23に供給する電気エネルギーと第2温度分布の幅方向端部の温度の関係の一例を説明するためのグラフである。

[図13]エッジヒータ23に供給する電気エネルギーと幅方向端部の温度変化の関係の他の例を説明するためのグラフである。

[図14]実施の形態3に係るエッジヒータ制御装置3の機能ブロック図である。

[図15]実施の形態3に係るエッジヒータ制御装置3が実行するルーチンのフローチャートである。

[図16]各実施の形態に係るエッジヒータ制御装置3が有する処理回路のハードウェア構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態について詳細に説明する。尚、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。

[0011] 実施の形態 1.

＜圧延ラインのシステム構成＞

図 1 は、実施の形態 1 に係る圧延ラインのシステム構成を示す概略図である。図 1 において、圧延材 1 は、圧延ライン 2 で加工される間に薄く延ばされ、幅も所望の値に制御される。説明をわかりやすくするため、圧延ライン 2 は、鉄鋼の熱間圧延ラインであるとする。圧延ライン 2 は、主な設備として、加熱炉 2 1、粗圧延機 2 2、エッジヒータ 2 3、仕上圧延機 2 4、冷却テーブル 2 5、巻取機 2 6 を備える。

[0012] 圧延材 1 は、加熱炉 2 1 を出たときは、例えば厚さ 250 mm、幅 800 ～ 2000 mm、長さ 5 ～ 10 m ほどのスラブと呼ばれる直方体状に成形された鉄の塊である。スラブは加熱炉 2 1 で加熱され、約 1200℃ で加熱炉 2 1 から抽出される。粗圧延機 2 2 は 1 基から 3 基で構成されることが多く、順方向（上流から下流へ）、逆方向（下流から上流へ）で複数パス圧延する。粗圧延機 2 2 にエッジと呼ばれる幅を調整する装置が付属することもある。

[0013] エッジヒータ 2 3 は、粗圧延機 2 2 と仕上圧延機 2 4 の間に設置され、圧延材 1 の幅方向端部を加熱するための装置である。なお、圧延材の先尾端を切り落とすクロップシア、圧延材の表面にできる酸化膜を高圧水で除去するスケールブレーカ、幅方向全部を加熱するバーヒータなどが、粗圧延機 2 2 と仕上圧延機 2 4 の間に設置されることもある。

[0014] エッジヒータ 2 3 の下流に設けられた仕上圧延機 2 4 は、複数の圧延スタンドを備え、上流から下流へ一方の圧延を行い、圧延材 1 の板厚、板幅などのサイズに関する最終品質を決定づける。圧延材 1 の温度は、仕上圧延機 2 4 の出側では、約 900℃ である。圧延スタンドには圧延ロール、支持ロールなどの装置がある。上下の圧延ロールで圧延材 1 が圧延される。このとき、圧延材 1 の熱は圧延ロールや、圧延材 1 に直接噴射される冷却水により抜熱される。幅方向端部では、幅方向中央部よりも水や空気と触れる面積が大きいので、熱が逃げやすく、温度が下がりやすい。

[0015] 冷却テーブル 25 は、圧延材 1 に注水して温度を下げる。巻取機 26 でコイル状に巻かれる前の温度は、特殊鋼など低い場合で 200℃、普通鋼では、600℃前後である。

[0016] エッジヒータ 23 は、エッジヒータ制御装置 3 に接続している。エッジヒータ制御装置 3 は、粗圧延機 22 とエッジヒータ 23 との間に設けられたエッジヒータ入側温度計 27、および、上位計算機 5 に接続している。

[0017] <実施の形態 1 に係るエッジヒータ制御装置>

図 2 を用いて、実施の形態 1 に係るエッジヒータ制御装置 3 の全体概要を説明する。図 2 は、実施の形態 1 に係るエッジヒータ制御装置 3 の機能ブロック図である。

[0018] 実施の形態 1 に係るエッジヒータ制御装置 3 は、データ取得部 31、第 1 供給エネルギー算出部 32、第 1 温度分布予測部 33、第 2 温度分布予測部 34 を備える。

[0019] データ取得部 31 は、上位計算機 5 から圧延材 1 に関する各種データ（圧延材 1 の鋼種・厚み・搬送速度、仕上圧延機 24 の制御量、仕上圧延機 24 の最終圧延スタンド出側における圧延材 1 の幅方向端部の温度条件等）を取得する。また、データ取得部 31 は、エッジヒータ入側温度計 27 から、エッジヒータ 23 の入側における圧延材 1 の初期温度を取得する。

[0020] 第 1 温度分布予測部 33 は、エッジヒータ 23 へ供給する電気エネルギーを示す仮値に基づいて、エッジヒータ出側における圧延材 1 の幅方向温度分布（以下、「第 1 温度分布」と記す）を予測する。

[0021] 第 2 温度分布予測部 34 は、第 1 温度分布に基づいて、仕上圧延機 24 の最終圧延スタンド出側における圧延材 1 の幅方向温度分布（以下、「第 2 温度分布」と記す）を予測する。

[0022] エッジヒータ制御装置 3 は、圧延材 1 がエッジヒータ 23 へ到達する前に、第 2 温度分布の幅方向端部に関する温度条件を満たすために必要な、エッジヒータ 23 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値を算出する。

[0023] 実施の形態 1 に係るシステムの目的は、仕上圧延機 24 の最終圧延スタン

ド出側における圧延材 1 の幅方向温度分布の幅方向端部の目標温度、すなわち第 2 温度分布の幅方向端部の目標温度が、温度条件として与えられた場合に、この目標温度を達成するために必要なエッジヒータ 2 3 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値を求めることである。

[0024] この目的を実現するために、実施の形態 1 に係る第 1 供給エネルギー算出部 3 2 は、圧延材 1 がエッジヒータ 2 3 へ到達する前に、以下の (1) ~ (3) の処理を実行する。

[0025] (1) 第 1 供給エネルギー算出部 3 2 は、上述した温度条件として、第 2 温度分布の幅方向端部における目標温度を取得する。この目標温度は、データ取得部 3 1 を介して上位計算機 5 から与えられる。また、圧延材 1 の板幅方向すべてに亘って均一な材質を得るため、目標温度には、第 2 温度分布の幅方向中央部に近い温度が設定される。なお、目標温度は幅方向端部の 1 点について設定されてよいし、複数点について設定されてもよい。また、代表値であってもよい。

[0026] (2) 次に、第 1 供給エネルギー算出部 3 2 は、第 2 温度分布予測部 3 4 を用いて、第 2 温度分布の幅方向端部の温度が、(1) で取得した目標温度を満たすために必要な第 1 温度分布を算出する。

[0027] (3) その後、第 1 供給エネルギー算出部 3 2 は、第 1 温度分布予測部 3 3 を用いて、(2) で算出された第 1 温度分布を満たすために必要な、エッジヒータ 2 3 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値を算出する。

[0028] このとき、第 2 温度分布予測部 3 4 は、一般には、圧延材 1 の温度を上流側から下流側に向かって計算する。高精度の温度計算を行う場合は、差分法などを用いて、圧延材 1 を小さな部分に分け、その部分の熱の出入りを数式で記述する。この方法を使う場合、(2) において、第 2 温度分布から第 1 温度分布を、すなわち下流側から上流側に向かって温度分布を一気に計算することは不可能である。なお、簡便な温度モデルを用いれば、下流側から上流側に向かって一気に計算することは可能である場合もあるが、温度モデルの精度が保てないことが多い。

[0029] <第1温度分布の目標分布を算出する処理の流れ>

そこで、第1供給エネルギー算出部32は、以下の繰返し計算をして、エッジヒータ出側における圧延材1の幅方向温度分布（第1温度分布）の目標分布を算出する。図3を参照して、上記（2）の処理について説明する。

[0030] 図3は、第1供給エネルギー算出部32および第2温度分布予測部34が実行するルーチンのフローチャートである。本ルーチンは、圧延材1がエッジヒータ23に到達する前に実行される。

[0031] 図3に示すルーチンでは、まずステップS100において、第1供給エネルギー算出部32は、第1温度分布の仮の目標分布を設定する。

[0032] 次にステップS110において、第2温度分布予測部34は、ステップS100で設定した仮の目標分布に基づいて、後述する厚幅方向温度モデル36を用いて、仕上圧延機出側における圧延材1の幅方向温度分布（第2温度分布）を計算する。

[0033] 次にステップS120において、第1供給エネルギー算出部32は、ステップS110により算出された第2温度分布に関して、第2温度分布の幅方向端部の温度が目標温度範囲内であるか否かを判定する。目標温度範囲は、上記（1）において取得した第2温度分布の幅方向端部の目標温度に、誤差範囲（ $\pm \alpha$ ）を加味した温度範囲である。

[0034] ステップS120における判定条件が成立しない場合は、ステップS100に戻り、第1供給エネルギー算出部32は、第1温度分布の仮の目標分布を適正な方向に少し変更する。具体的には、ステップS110により算出された第2温度分布の、幅方向端部の温度が目標温度範囲よりも低い場合には、仮の目標分布の次回値を前回値よりも高く設定する。一方、目標温度範囲よりも高い場合には、仮の目標分布の次回値を前回値よりも低く設定する。仮の目標分布は、ステップS120の判定処理が成立するまで繰返し更新される。

[0035] ステップS120における判定条件が成立する場合は、次にステップS130の処理に進む。ステップS130において、第1供給エネルギー算出部

32は、仮の目標分布を第1温度分布の目標分布に決定する。その後、図4に示すルーチンが実行される。

[0036] <エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを算出する処理の流れ>

上記(2)と同様に、上記(3)の計算においても、第1温度分布の目標分布からエッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを、下流側から上流側に向かって一気に計算することは不可能である。そこで、第1供給エネルギー算出部32は、以下の繰り返し計算をして、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを算出する。図4を参照して、上記(3)の処理について説明する。

[0037] 図4は、第1供給エネルギー算出部32および第1温度分布予測部33が実行するルーチンのフローチャートである。本ルーチンは、図3に示すルーチンの実行後、かつ、圧延材1がエッジヒータ23に到達する前に実行される。

[0038] 図4に示すルーチンでは、まずステップS140において、第1供給エネルギー算出部32は、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを示す仮値を設定する。

[0039] 次にステップS150において、第1温度分布予測部33は、ステップS140で設定した仮値に基づいて、後述するエッジヒータ温度計算簡易モデル35を用いて、第1温度分布を計算する。

[0040] 次にステップS160において、第1供給エネルギー算出部32は、ステップS150により算出された第1温度分布が、上記(2)において決定した第1温度分布の目標分布に一致または十分に近づいているか否かを判定する。例えば、算出された第1温度分布の幅方向端部の温度が、第1温度分布の目標分布における幅方向端部の目標温度範囲内であるか否かを判定する。目標温度範囲は、第1温度分布の目標分布の幅方向端部の温度に誤差範囲($\pm\beta$)を加味した温度範囲である。

[0041] ステップS160における判定条件が成立しない場合は、ステップS140に戻り、第1供給エネルギー算出部32は、エッジヒータ23に供給すべ

き電気エネルギーを示す仮値を適正な方向に少し変更する。具体的には、ステップS 1 5 0において算出された第1温度分布の、幅方向端部の温度が目標温度範囲よりも低い場合には、仮値の次回値を前回値よりも高く設定する。一方、目標温度範囲よりも高い場合には、仮値の次回値を前回値よりも低く設定する。仮値は、ステップS 1 6 0の判定処理が成立するまで繰り返し更新される。

[0042] ステップS 1 6 0における判定条件が成立する場合は、次にステップS 1 7 0の処理に進む。ステップS 1 7 0において、第1供給エネルギー算出部3 2は、仮値をエッジヒータ2 3に供給すべき電気エネルギーを示す指示値に決定する。

[0043] その後、エッジヒータ制御装置3は、エッジヒータ2 3に指示値と送信し、エッジヒータ2 3は指示値に応じた電気エネルギーの供給を受けて圧延材1の幅方向端部を加熱する。

[0044] なお、エッジヒータ2 3に供給する電気エネルギーを示す指示値は、電力値の他、電圧値、電流値などであってもよく、エッジヒータ2 3の入力に合わせるものとする。

[0045] <厚幅方向温度モデル>

次に、図5を参照して厚幅方向温度モデル3 6について説明する。図2に示すように、第2温度分布予測部3 4は、厚幅方向温度モデル3 6と連携して、温度計算を行う。

[0046] 図5は、圧延材1の長手方向に垂直な断面を表す断面図である。厚幅方向温度モデル3 6は、圧延材1の長手方向に垂直な断面の厚み方向および幅方向の温度分布を、材内部の熱伝導および材表面と外界との熱伝達を鑑みた差分法を用いて定めたモデルである。図5に示すように断面は、複数の矩形要素に分割されている。図5中の黒点は、差分法で温度を計算するポイントを示しノードと称する。ノード間での熱伝導、およびノードと外界（空気や水）との熱伝達は以下の数式で記述され、これらに基づいて温度の変化が計算される。

[0047] 上述した熱伝導とは、鋼板内部における熱の移動を表し、(1)式で表される。

[0048] [数1]

$$Q_{i \rightarrow i+1} = \frac{k A_{i \rightarrow i+1} (T_i - T_{i+1})}{d} \quad (1)$$

ここで、ノードNo.iとNo.i+1は隣接するノードとし、

$Q_{i \rightarrow i+1}$: ノードNo.iからNo.i+1への熱流 [W]

k : 熱伝導率 [W/(mmK)]

$A_{i \rightarrow i+1}$: ノードNo.iとNo.i+1が接触する面積 [mm²]

T_i : ノードNo.iの温度 [K]

d : ノード間距離 [mm]

[0049] (1)式は、圧延ロールと圧延材1との間の熱の移動の記述にも使用される。

[0050] また、上述した熱伝達は、鋼板と外界との熱の移動を表し、放射による熱伝達、空冷対流による熱伝達、水冷対流による熱伝達がある。

[0051] 放射による熱伝達は、(2)式で表される。以下、熱流が負である場合、ノードから熱が奪われることを示す。

[0052] [数2]

$$Q_{rad} = -\varepsilon \cdot A_{rad} \cdot \sigma \cdot (T_{surf}^4 - T_{surround}^4) \quad (2)$$

ここで、

Q_{rad} : 圧延材表面の放射による熱流 [W]

ε : 圧延材の放射率 [-]

A_{rad} : 圧延材の計算対象の部分の表面積 [mm²]

σ : ステファン・ボルツマン定数 [W/mm²/K⁴]

$T_{surround}$: 周囲温度 [K]

T_{surf} : 圧延材の計算対象の部分の表面温度 [K]

[0053] 空冷対流による熱伝達は、(3)式で表される。

[0054]

[数3]

$$Q_a = -h_a A_a (T_{surf} - T_a) \quad (3)$$

ここで、

Q_a : 圧延材表面の空冷対流による熱流 [W]

h_a : 圧延材と周囲空気の間熱伝達係数 [$W/mm^2/K$]

A_a : 圧延材の計算対象の部分の表面積 [mm^2]

T_{surf} : 圧延材の計算対象の部分の表面温度 [K]

T_a : 空気温度 [K]

[0055] 水冷対流による熱伝達は、(4)式で表される。

[0056] [数4]

$$Q_w = -h_w A_w (T_{surf} - T_w) \quad (4)$$

ここで、

Q_w : 圧延材表面の水冷対流による熱流 [W]

h_w : 圧延材と冷却水の間熱伝達係数 [$W/mm^2/K$]

A_w : 圧延材の計算対象の部分の表面積 [mm^2]

T_{surf} : 圧延材の計算対象の部分の表面温度 [K]

T_w : 冷却水温度 [K]

[0057] 圧延材1の温度に影響する要素として、上下の圧延ロールによって加工されるときに発生する加工発熱、圧延ロールと圧延材の間の摩擦による発熱などがあるので、これらの要素も考慮すべきである。

[0058] 1つのノードについて全ての熱流を記述し、次の(5)式でノードNo. iの温度の変化 ΔT_i を計算する。

[0059] [数5]

$$\Delta T_i = \frac{\sum Q_i}{\rho C_p V_i} \Delta t \quad (5)$$

ここで、

ρ : 被冷却体の密度 [kg/mm^3]

C_p : 被冷却体の比熱 [$J/kg/deg$]

V_i : ノードNo.iの微小体積 [mm^3]

Δt : 時間変化 [s]

$\sum Q$: 熱流の和

[0060] 第2温度分布予測部34は、上述した熱流の計算および熱流を用いた温度の計算を、エッジヒータ23から仕上圧延機24の出側まで繰り返す。

[0061] 図6は、第2温度分布予測部34で圧延材1の温度を計算した一例を示すグラフである。エッジヒータ23よりも下流かつ仕上圧延機24の入側にある温度計FETから、仕上圧延機24の出側にある温度計FDTまでの圧延材1の温度変化を示す。エッジヒータ23で幅方向端部を加熱し、FETの位置では幅方向端部の温度が上昇している。FDTの位置でも幅方向端部の温度降下は、エッジヒータ23で加熱しない場合よりも抑えられている。

[0062] <エッジヒータ温度計算簡易モデル>

次に、図7、図8を用いて、エッジヒータ温度計算簡易モデル35について説明する。図2に示すように、第1温度分布予測部33は、エッジヒータ温度計算簡易モデル35と連携して、上位計算機5およびエッジヒータ入側温度計27から取得した圧延材1に関する各種データやエッジヒータ23に供給する電気エネルギーに基づいて、エッジヒータ出側における圧延材1の幅方向温度分布（第1温度分布）を算出する。

[0063] エッジヒータ23は、誘導加熱により圧延材1を加熱する。エッジヒータ23により発生した磁界の影響を受けて、圧延材1の幅方向端部に電流が流れると、圧延材1は発熱する。このため、モデル化のためには、エッジヒータ23で発生する磁界の解析と、磁界の影響を受けて圧延材1に電流が流れることにより発生する熱の解析が必要になる。電磁界解析と熱伝導解析には、一般に、有限要素法が適用されるが、その解析には非常に長い時間がかかる。図7は、有限要素法による解析のためにメッシュを切った様子を示している。解析時間を短縮するためには、有限要素法による電磁界解析と熱伝導解析の結果（オフラインで構築された詳細モデル）を簡易化したモデルで表し、オンラインの制御等に利用することが必要である。

[0064] 図8は、エッジヒータ温度計算簡易モデル35の一例を示す図である。図8は、図7の解析結果を簡易化したもので、例えば、エッジヒータ23に任意の電力を与えたときの、圧延材1の初期温度および厚みに応じた、幅方向

端部の昇温量を表している。図 8 には、圧延材 1 の厚みが薄いほど幅方向端部の昇温量が大きく、圧延材 1 の初期温度が低いほど幅方向端部の昇温量が大きい関係が表わされている。実際には、圧延材 1 の鋼種、搬送速度などもパラメータとして考慮しなければならないので、簡易モデルの全てのパラメータを 3 次元のグラフで表すことはできない。エッジヒータ温度計算簡易モデル 35 は、いくつかの 2 次元（平面）を組み合わせたモデルで表すことができる。

[0065] 具体的には、エッジヒータ温度計算簡易モデル 35 は、エッジヒータ 23 へ供給する電気エネルギー、エッジヒータ入側における圧延材 1 の初期温度、板厚、鋼種、搬送速度を含む入力パラメータと、エッジヒータ 23 に加熱される圧延材 1 の昇温量を示す出力パラメータとを関連付けたモデルである。このモデルは、例えば数式やマップで定められた簡易モデルである。簡易モデルを予め用意しておき、オンラインでの計算に用いることで、制御時の計算時間を大幅に短縮できる。

[0066] <効果>

以上説明したように、実施の形態 1 に係るエッジヒータ制御装置 3 によれば、圧延材がエッジヒータに到達する前に、仕上圧延機 24 の出側における圧延材 1 の幅方向端部の目標温度を満たすために必要な、エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを決定できる。材質に大きな影響を与える仕上圧延機 24 の出側において、圧延材 1 の幅方向端部の温度を適切に制御できるため、材質の低下を抑制することができる。

[0067] <変形例>

ところで、上述した実施の形態 1 のシステムでは、エッジヒータ入側温度計 27 が設置されているが、エッジヒータ入側温度計 27 が設置されていない場合もある。エッジヒータ入側温度計 27 が設置されていない場合は、粗圧延機 22 の制御のために算出する圧延材 1 の温度予測値を用いてエッジヒータ入側温度を予測することができる。上述したエッジヒータ 23 の入側における圧延材 1 の初期温度は、この予測温度で代用される。なお、この点は

以下の実施の形態でも同様である。

[0068] 実施の形態 2.

次に、図 9～図 13 を参照して本発明の実施の形態 2 について説明する。本実施形態のシステムは図 1 および図 9 に示す構成において、エッジヒータ制御装置 3 に後述する図 10 のルーチンを実行させることで実現することができる。

[0069] 上述した実施の形態 1 では、温度条件として、仕上圧延機 24 の出側における圧延材 1 の幅方向温度分布（第 2 温度分布）の幅方向端部の目標温度が与えられることを前提とした。しかしながら、全ての圧延材 1 に対して、その目標温度が与えられるとは限らない。例えば、高級鋼板の圧延ではその目標温度が与えられるものの、普通鋼では与えられない場合もある。そこで、実施の形態 2 では、目標温度が与えられない場合に、エッジヒータ 23 で消費するエネルギーを効率的に使用するように、エッジヒータ 23 に供給する電気エネルギーを示す指令値を決定する。

[0070] <実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置>

図 9 を用いて、実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置 3 の全体概要を説明する。図 9 は、実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置 3 の機能ブロック図である。

[0071] 実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置 3 は、実施の形態 1 で説明したデータ取得部 31、第 1 温度分布予測部 33、第 2 温度分布予測部 34 に加えて、第 2 供給エネルギー算出部 37、加熱モード選択部 38、第 1 加熱モード計算部 39、第 2 加熱モード計算部 40 を備える。

[0072] 第 2 供給エネルギー算出部 37 は、第 1 温度分布予測部 33 および第 2 温度分布予測部 34 を用いて、エッジヒータ 23 に供給する電気エネルギーを示す仮値と、該仮値に応じた第 2 温度分布の幅方向端部の予測温度との関係を算出する。さらに、第 2 供給エネルギー算出部 37 は、第 1 加熱モード計算部 39 または第 2 加熱モード計算部 40 により算出された仮値を、エッジヒータ 23 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値とする。

[0073] 以下、エッジヒータ 23 に供給する電気エネルギーを示す仮値を、単に「仮値」とも記し、仮値に応じた第 2 温度分布の幅方向端部の予測温度を、単に「予測温度」とも記す。

[0074] 加熱モード選択部 38 は、データ取得部 31 により取得された鋼種を含むデータに基づいて、第 1 加熱モードと第 2 加熱モードのいずれか一方を選択する。

[0075] 第 1 加熱モード計算部 39 は、第 1 加熱モードが選択された場合に、第 2 供給エネルギー算出部 37 により算出された関係に基づいて、予測温度が最大となる仮値を算出する。

[0076] 第 2 加熱モード計算部 40 は、第 2 加熱モードが選択された場合に、第 2 供給エネルギー算出部 37 により算出された関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、その中で予測温度が最大となる仮値を算出する。

[0077] <実施の形態 2 における処理の流れ>

図 10～図 13 を参照して、第 2 圧延分布の目標温度が与えられない場合に、実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置 3 が実行するエネルギー効率を考慮した処理について説明する。

[0078] 図 10 は、実施の形態 2 に係るエッジヒータ制御装置 3 が実行するルーチンのフローチャートである。本ルーチンは、圧延材 1 がエッジヒータ 23 に到達する前に実行される。

[0079] 図 10 に示すルーチンでは、まずステップ S200 において、データ取得部 31 は、圧延材 1 に関する各種データ（圧延材 1 の鋼種・厚み・搬送速度、仕上圧延機 24 の制御量、第 2 温度分布の幅方向端部の温度条件、エッジヒータ入側における圧延材 1 の初期温度等）を取得する。

[0080] 次にステップ S205 において、第 2 供給エネルギー算出部 37 は、エッジヒータ 23 に供給する電気エネルギーの仮値を N 個 ($N > 2$) 決める。実施の形態 2 では、第 2 供給エネルギー算出部 37 は、第 1 温度分布予測部 33 および第 2 温度分布予測部 34 を用いて、電気エネルギーの仮値に応じた

第2温度分布を計算する処理をN回繰り返す（ステップS210～S225）。

- [0081] ステップS210において、第2供給エネルギー算出部37は、繰り返し回数のカウンタ*i*（初期値0）をインクリメントする。第*i*番目の電気エネルギーを示す仮値が設定される。
- [0082] ステップS215において、第2供給エネルギー算出部37は、第1温度分布予測部33を用いて、第*i*番目の電気エネルギーを示す仮値に基づいて第1温度分布を予測する。
- [0083] ステップS220において、第2供給エネルギー算出部37は、第2温度分布予測部34を用いて、第1温度分布に基づいて第2温度分布を予測する。
- [0084] ステップS225において、第2供給エネルギー算出部37は、カウンタ*i*がN以上であるか否かを判定する。カウンタ*i*がN未満である場合には、ステップS210の処理に戻る。カウンタ*i*がN以上である場合には、ステップS230の処理に進む。
- [0085] ステップS230において、第2供給エネルギー算出部37は、N個の仮値と、各仮値に応じた第2温度分布の幅方向端部の予測温度との関係を算出する。具体的には、エッジヒータ23に供給する電気エネルギーを示す仮値を横軸（X軸）、第2温度分布の幅方向端部の予測温度を縦軸（Y軸）とする直交座標系に、仮値と予測温度との組み合わせで表す点をプロットする。
- [0086] 図11は、エッジヒータ23に供給する電気エネルギーと第2温度分布の幅方向端部の温度の関係の一例を説明するためのグラフである。図11に示す例では、6点（N=6）において計算し、各プロット点に番号1～6を付している。計算点*j*（1～6）におけるエッジヒータに供給する電気エネルギーを*E_j*で表す。エッジヒータ23に供給する電気エネルギー（仮値）と第2温度分布の幅方向端部の温度（予測温度）との関係は、図11に示すように、仮値が大きくなるほど予測温度の上昇率が低下する曲線（一例として、上に凸の曲線）で表わされる。

- [0087] 図10に戻り説明を続ける。ステップS235において、加熱モード選択部38は、鋼種を含むデータに基づいて、第1加熱モードと第2加熱モードのいずれか一方を選択する。第1加熱モードが選択された場合には、ステップS240の処理に進み、第2加熱モードが選択された場合には、ステップS245の処理に進む。
- [0088] ステップS240において、第1加熱モード計算部39は、ステップS230により算出された関係に基づいて、予測温度が最大となる仮値を算出する。その後、ステップS250において、第2供給エネルギー算出部37は、ステップS240において算出された電気エネルギーの仮値を、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを示す指示値として決定する。
- [0089] 図11に示す例では、計算結果のうち、仕上圧延機出側における幅方向端部の温度が最も高くなる温度条件、すなわち点5の温度条件を採用する。このとき図11中の電気エネルギーを示す値はE5である。第1加熱モードによれば、エネルギー効率が低い電気エネルギーを選択して、仕上圧延機出側における幅方向端部の温度を高く維持できる。
- [0090] 図10に戻り説明を続ける。ステップS245において、第2加熱モード計算部40は、ステップS230により算出された関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、その中で予測温度が最大となる仮値を算出する。その後、ステップS250において、第2供給エネルギー算出部37は、ステップS245において算出された電気エネルギーの仮値を、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを示す指示値として決定する。
- [0091] 図12を参照して、ステップS250における第2加熱モードの処理について具体的に説明する。エッジヒータ23のエネルギー効率を、エッジヒータが供給する単位エネルギーあたりの仕上圧延機出側における幅方向端部の上昇温度、と定義する。図12において、各計算点を結んだときの各計算点における傾きが、エッジヒータ23のエネルギー効率となり、点2、3、4、5の順で、エネルギー効率は小さくなる。この場合、計算点2における傾

きが最も大きくなり、効率は良いが、温度上昇が十分ではない。そのため、エッジヒータ 2 3 のエネルギー効率が一定値以上で、かつ、仕上圧延機出側における幅方向端部の温度が最も高くなる点における電気エネルギーをエッジヒータ 2 3 に供給する。この一定値は、エッジヒータ 2 3 の下流側に位置する圧延機の台数や鋼板の水冷装置の有無にも影響されるので、プラント毎に決めるべき数値である。

[0092] 図 1 1 および図 1 2 において、計算点の数としては、計算機的能力に応じて点数を決めることができる。つまり、計算点数が多いと、計算機負荷が大きくなるため、計算精度を損なわない程度の点数とする。計算点が図 6 のように数点である場合は、点と点を直線や高次曲線で結び近似し、点と点の間の値を補間することで、上述した例のように各点におけるとびとびのエネルギーだけではなく、連続してエネルギーを求めることもできる。

[0093] 図 1 1 および図 1 2 に示すように上に凸の曲線になる理由は、圧延材 1 を加熱し温度が上昇すると、熱の放射や空冷・水冷熱伝達の効果が高まり、冷えやすくなることがあるためである。これは前述の (2) ~ (4) 式に基づく。(2) ~ (4) 式によれば、圧延材 1 から奪われる熱流は、圧延材 1 の温度と、圧延材 1 の周囲の温度との差が大きい時に、大きくなる。特に (2) 式で表される放射による熱伝達では、圧延材 1 の温度の 4 乗と圧延材の周囲の温度の 4 乗との差を含むため、圧延材 1 の温度が高い領域では、放射による熱の放散が空冷対流の影響より大きい。つまり圧延材 1 の温度を高くすると、放射による抜熱の効果が大きくなり、エッジヒータ 2 3 から、より多くのエネルギーを与えても圧延材 1 の温度が下がる場合がある。もちろん常に上に凸の曲線になるとは限らないが、少なくとも、高温になるにつれ、温度上昇が鈍る曲線となる。

[0094] また、仕上圧延機出側における幅方向端部の温度に上限温度（温度上限値）や下限温度（温度下限値）などの制約が設けられている場合は、その制約の範囲内で、エッジヒータ 2 3 に供給する電気エネルギーを留める。

[0095] 具体的には、第 1 加熱モードが選択された場合には、ステップ S 2 4 0 に

において、第1加熱モード計算部39は、ステップS230において算出された関係に基づいて、予測温度が上限温度となる複数の仮値のうち最小の仮値を算出する。また、第2加熱モードが選択された場合には、第1加熱モード計算部39は、ステップS230において算出された関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、予測温度が上限温度と下限温度との間に含まれる仮値を算出する。

[0096] 図13は、エッジヒータ23に供給する電気エネルギーと幅方向端部の温度変化の関係の他の例を説明するためのグラフである。図13において、第1加熱モードが選択された場合、上限値を超えない点の横軸座標はE4とE6とがあるが、供給するエネルギー小さい、E4が横軸座標である点を選び、E4という仮値が示す電気エネルギーをエッジヒータに供給する。また、図13において、第2加熱モードが選択された場合は、設定された上下限値内に入るエネルギーをエッジヒータに供給する。

[0097] <効果>

以上説明したように、実施の形態2に係るエッジヒータ制御装置3によれば、仕上圧延機出側における圧延材1の幅方向端部の温度上昇を、エッジヒータ23で消費するエネルギーの最適な点で制御することができる。

[0098] 実施の形態3.

次に、図14および図15を参照して実施の形態3について説明する。本実施形態のシステムは図1及び図14に示す構成において、エッジヒータ制御装置3に後述する図15のルーチンを実行させることで実現することができる。

[0099] 実施の形態1では、温度条件として第2温度分布の幅方向端部の目標温度が与えられたケースについて説明した。一方、実施の形態2では、目標温度が与えられていないケースについて説明した。実施の形態3では、目標温度の有無に応じて、実施の形態1の処理と実施の形態2の処理とを選択して実行することを目的とする。

[0100] <実施の形態3に係るエッジヒータ制御装置>

図 1 4 は、実施の形態 3 に係るエッジヒータ制御装置 3 の機能ブロック図である。実施の形態 3 に係るエッジヒータ制御装置 3 は、実施の形態 1 で説明したデータ取得部 3 1、第 1 温度分布予測部 3 3、第 2 温度分布予測部 3 4、および実施の形態 2 で説明した第 2 供給エネルギー算出部 3 7、加熱モード選択部 3 8、第 1 加熱モード計算部 3 9、第 2 加熱モード計算部 4 0に加えて、圧延モード選択部 4 1 を備える。

[0101] 圧延モード選択部 4 1 は、温度条件として第 2 温度分布の幅方向端部の目標温度が与えられている場合に第 1 圧延モードを選択し、前記目標温度が与えられていない場合に第 2 圧延モードを選択する。第 1 圧延モードが選択された場合には、実施の形態 1 で説明した第 1 供給エネルギー算出部 3 2 により、エッジヒータ 2 3 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値が算出される。また、第 2 圧延モードが選択された場合には、実施の形態 2 で説明した第 2 供給エネルギー算出部 3 7 により、第 1 加熱モード計算部 3 9 または第 2 加熱モード計算部 4 0 により算出された仮値を、エッジヒータ 2 3 に供給すべき電気エネルギーを示す指示値とする。

[0102] <実施の形態 3 における処理の流れ>

図 1 5 は、実施の形態 3 に係るエッジヒータ制御装置 3 が実行するルーチンのフローチャートである。本ルーチンは、圧延材 1 がエッジヒータ 2 3 に到達する前に実行される。

[0103] 図 1 0 に示すルーチンでは、まずステップ S 3 0 0 において、データ取得部 3 1 は、圧延材 1 に関する各種データ（圧延材 1 の鋼種・厚み・搬送速度、仕上圧延機 2 4 の制御量、第 2 温度分布の幅方向端部の温度条件、エッジヒータ入側における圧延材 1 の初期温度等）を取得する。

[0104] 次にステップ S 3 1 0 において、圧延モード選択部 4 1 は、圧延モードを選択する。温度条件として第 2 温度分布の幅方向端部の目標温度が与えられている場合には、第 1 圧延モードが選択される。また、目標温度が与えられていない場合には、第 2 圧延モードが選択される。目標温度は、圧延材 1 の鋼種に応じて設定されている。例えば目標温度は、普通鋼については設定さ

れていないことも多い。

[0105] 第1モードが選択された場合には、ステップS320において、実施の形態1で説明した第1供給エネルギー算出部32により、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを示す指示値が算出される。処理内容の説明は実施の形態1と同様であるため省略する。

[0106] 第2モードが選択された場合には、ステップS330において、実施の形態2で説明した第2供給エネルギー算出部37により、第1加熱モード計算部39または第2加熱モード計算部40により算出された仮値を、エッジヒータ23に供給すべき電気エネルギーを示す指示値とする。処理内容の説明は実施の形態2と同様であるため省略する。

[0107] <効果>

以上説明したように、実施の形態3に係るエッジヒータ制御装置3によれば、第2温度分布の幅方向端部の目標温度の有無に応じて、実施の形態1の処理と実施の形態2の処理とを選択して実行できる。これにより、制御性能の点からも消費エネルギーの点からも、エッジヒータ23を最適に運転することが可能となる。

[0108] なお、本発明の適用範囲は、上述した各実施の形態で示した対象に限定されるものではない。

[0109] <ハードウェア構成例>

図16は、各実施の形態に係るエッジヒータ制御装置3が有する処理回路のハードウェア構成例を示すブロック図である。図2、図9、図14に示すエッジヒータ制御装置3の各部は、制御装置が有する機能の一部を示し、各機能は処理回路により実現される。例えば、処理回路は、CPU (Central Processing Unit) 101、ROM (Read Only Memory) 102、RAM (Random Access Memory) 103、入出力インターフェース104、システムバス105、入力装置106、表示装置107、ストレージ108および通信装置109を備えたコンピュータである。

[0110] CPU 101は、ROM 102やRAM 103に格納されたプログラムやデータなどを用いて各種の演算処理を実行する処理装置である。ROM 102は、コンピュータに各機能を実現させるための基本プログラムや環境ファイルなどを記憶する読み取り専用の記憶装置である。RAM 103は、CPU 101が実行するプログラムおよび各プログラムの実行に必要なデータを記憶する主記憶装置であり、高速な読み出しと書き込みが可能である。入出力インターフェース 104は、各種のハードウェアとシステムバス 105との接続を仲介する装置である。システムバス 105は、CPU 101、ROM 102、RAM 103および入出力インターフェース 104で共有される情報伝達路である。

[0111] また、入出力インターフェース 104には、入力装置 106、表示装置 107、ストレージ 108および通信装置 109などのハードウェアが接続されている。入力装置 106は、ユーザからの入力を処理する装置である。表示装置 107は、システムの状態等を表示する装置である。ストレージ 108は、プログラムやデータを蓄積する大容量の補助記憶装置であり、例えばハードディスク装置や不揮発性の半導体メモリなどである。通信装置 109は、有線又は無線で外部装置（上位計算機 5、エッジヒータ入側温度計 27）とデータ通信可能な装置である。

符号の説明

- [0112] 1 圧延材
2 圧延ライン
3 エッジヒータ制御装置
5 上位計算機
21 加熱炉
22 粗圧延機
23 エッジヒータ
24 仕上圧延機
25 冷却テーブル

- 2 6 巻取機
- 2 7 エッジヒータ入側温度計
- 3 1 データ取得部
- 3 2 第 1 供給エネルギー算出部
- 3 3 第 1 温度分布予測部
- 3 4 第 2 温度分布予測部
- 3 5 エッジヒータ温度計算簡易モデル
- 3 6 厚幅方向温度モデル
- 3 7 第 2 供給エネルギー算出部
- 3 8 加熱モード選択部
- 3 9 第 1 加熱モード計算部
- 4 0 第 2 加熱モード計算部
- 4 1 圧延モード選択部
- 1 0 1 C P U
- 1 0 2 R O M
- 1 0 3 R A M
- 1 0 4 入出力インターフェース
- 1 0 5 システムバス
- 1 0 6 入力装置
- 1 0 7 表示装置
- 1 0 8 ストレージ
- 1 0 9 通信装置

請求の範囲

[請求項1] 指示値に応じた電気エネルギーの供給を受けて圧延材の幅方向端部を加熱するエッジヒータと、前記エッジヒータの下流に少なくとも1つ設けられた圧延スタンドとを有する圧延ラインのためのエッジヒータ制御装置であって、

前記エッジヒータへ供給する電気エネルギーを示す仮値に基づいて、前記エッジヒータ出側における前記圧延材の幅方向温度分布（第1温度分布）を予測する第1温度分布予測部と、

前記第1温度分布に基づいて、前記圧延スタンド出側における前記圧延材の幅方向温度分布（第2温度分布）を予測する第2温度分布予測部と、

前記圧延材が前記エッジヒータへ到達する前に、前記第2温度分布の幅方向端部に関する温度条件を満たすために必要な、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値を算出する供給エネルギー算出部と、

を備えることを特徴とするエッジヒータ制御装置。

[請求項2] 前記第1温度分布予測部は、前記エッジヒータへ供給する電気エネルギー、前記エッジヒータ入側における前記圧延材の初期温度、板厚、鋼種、搬送速度を含む入力パラメータと、前記エッジヒータに加熱される前記圧延材の昇温量を示す出力パラメータとを関連付けたエッジヒータ温度計算簡易モデルを用いて、前記第1温度分布を予測し、

前記第2温度分布予測部は、前記圧延材の長手方向に垂直な断面の厚み方向および幅方向の温度分布を、材内部の熱伝導および材表面と外界との熱伝達を鑑みた差分法を用いて定めた厚幅方向温度モデルを用いて、前記第1温度分布に基づいて前記第2温度分布を予測すること、

を特徴とする請求項1記載のエッジヒータ制御装置。

[請求項3] 前記供給エネルギー算出部は、

前記温度条件が前記第2温度分布の幅方向端部の目標温度である場合に、前記第2温度分布予測部を用いて、前記第2温度分布の幅方向端部の温度が前記目標温度を満たすために必要な前記第1温度分布を算出し、その後、前記第1温度分布予測部を用いて、算出された前記第1温度分布を満たすために必要な、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値を算出する第1供給エネルギー算出部、

を備えることを特徴とする請求項1又は2記載のエッジヒータ制御装置。

[請求項4]

前記供給エネルギー算出部は、

前記第1温度分布予測部および前記第2温度分布予測部を用いて、前記エッジヒータに供給する電気エネルギーを示す仮値と、該仮値に応じた前記第2温度分布の幅方向端部の予測温度との関係を算出する第2供給エネルギー算出部と、

第1加熱モードと第2加熱モードのいずれか一方を選択する加熱モード選択部と、

前記第1加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、予測温度が最大となる仮値を算出する第1加熱モード計算部と、

前記第2加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、その中で予測温度が最大となる仮値を算出する第2加熱モード計算部と、を備え、

前記第2供給エネルギー算出部は、さらに前記第1加熱モード計算部または前記第2加熱モード計算部により算出された仮値を、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値とすること、

を特徴とする請求項1又は2記載のエッジヒータ制御装置。

[請求項5]

前記温度条件は、前記圧延スタンド出側における前記圧延材の幅方

向端部の上限温度および下限温度を含み、

前記第1加熱モード計算部は、前記第1加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、予測温度が前記上限温度となる複数の仮値のうち最小の仮値を算出し、

前記第2加熱モード計算部は、前記第2加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、予測温度が前記上限温度と前記下限温度との間に含まれる仮値を算出すること、

を特徴とする請求項4記載のエッジヒータ制御装置。

[請求項6]

前記供給エネルギー算出部は、

前記第1温度分布予測部および前記第2温度分布予測部を用いて、前記エッジヒータに供給する電気エネルギーを示す仮値と、該仮値に応じた前記第2温度分布の幅方向端部の予測温度との関係を算出する第2供給エネルギー算出部と、

第1加熱モードと第2加熱モードのいずれか一方を選択する加熱モード選択部と、

前記第1加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、予測温度が最大となる仮値を算出する第1加熱モード計算部と、

前記第2加熱モードが選択された場合に、前記関係に基づいて、仮値の上昇に応じた予測温度の温度上昇率が所定の正值以上であり、かつ、その中で予測温度が最大となる仮値を算出する第2加熱モード計算部と、

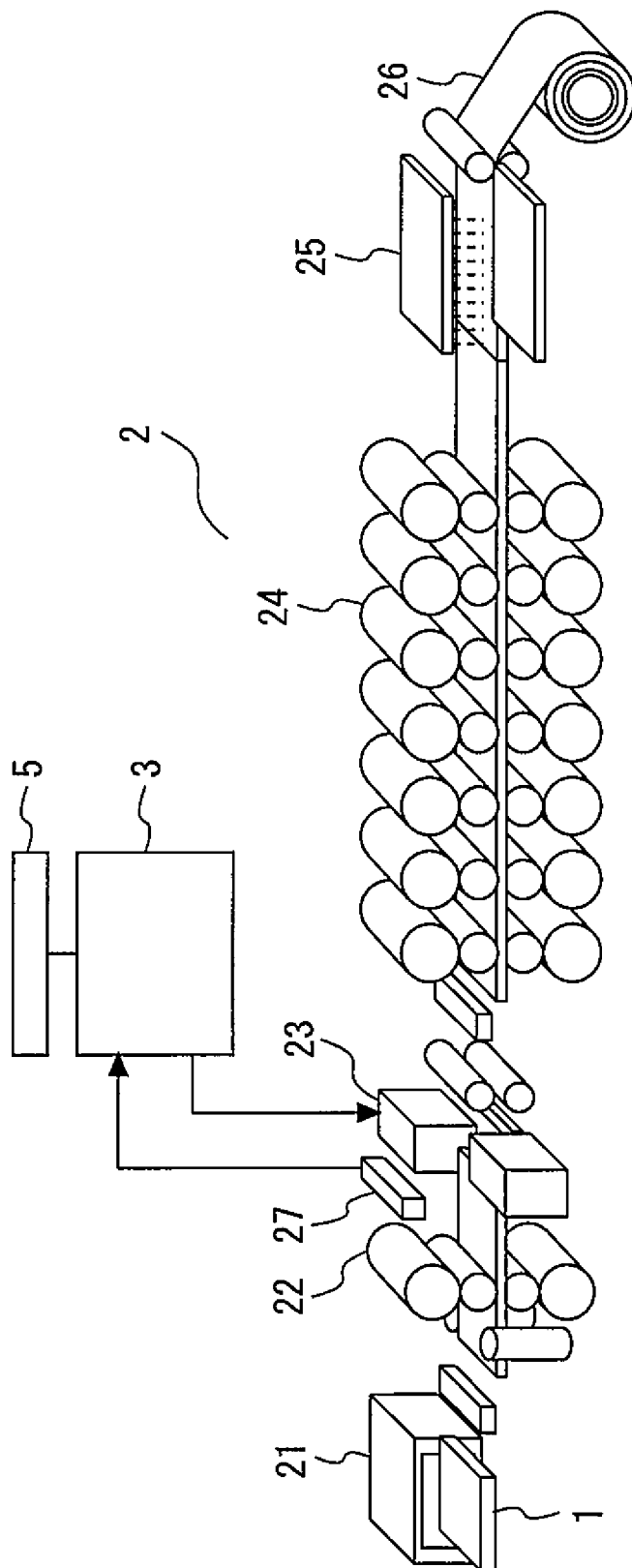
前記温度条件として前記目標温度が与えられている場合に第1圧延モードを選択し、前記目標温度が与えられていない場合に第2圧延モードを選択する圧延モード選択部と、を備え、

前記第1供給エネルギー算出部は、前記第1圧延モードが選択された場合に、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値を算出し、

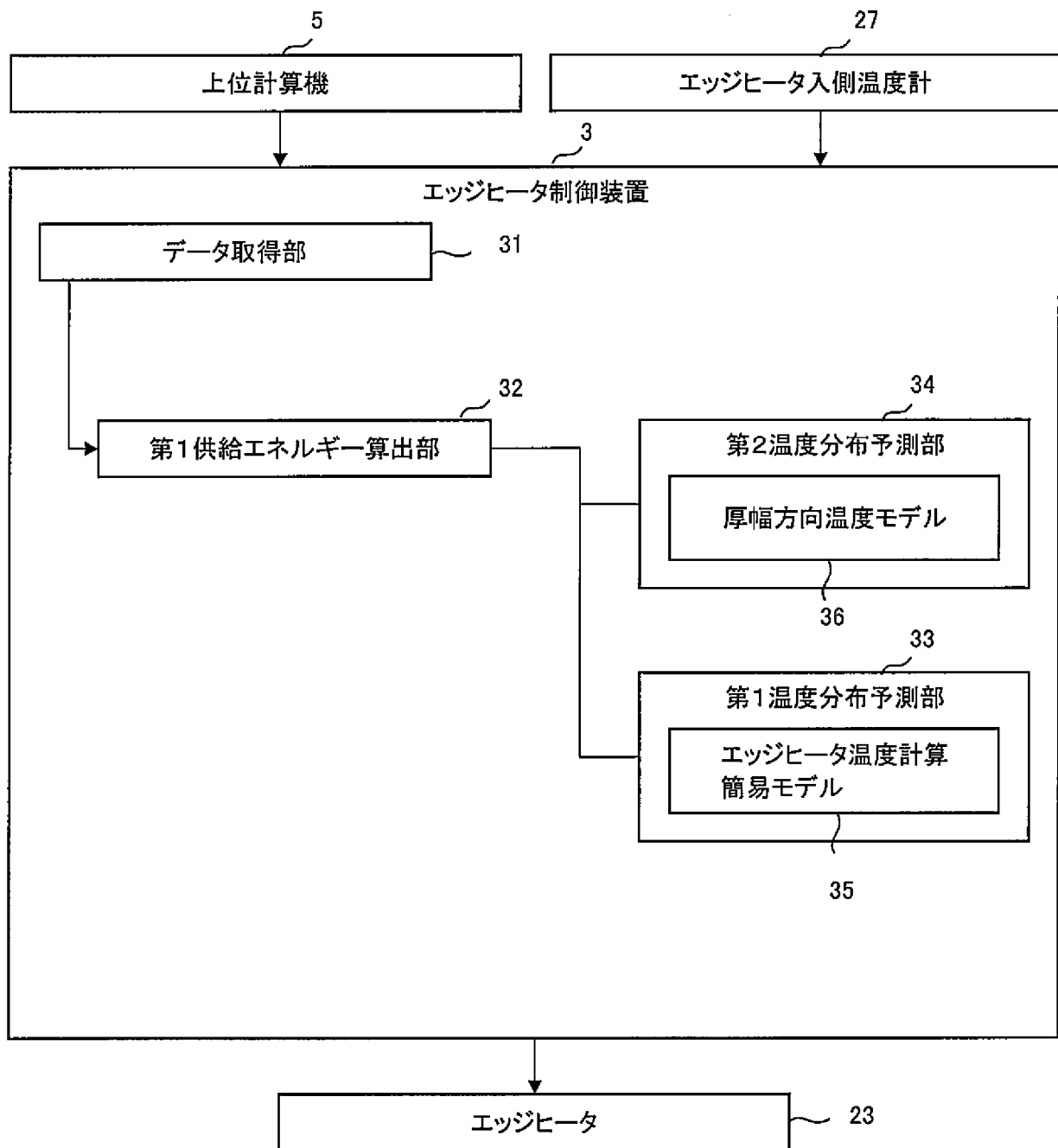
前記第 2 供給エネルギー算出部は、前記第 2 圧延モードが選択された場合に、前記第 1 加熱モード計算部または前記第 2 加熱モード計算部により算出された仮値を、前記エッジヒータに供給すべき電気エネルギーを示す前記指示値とすること、

を特徴とする請求項 3 記載のエッジヒータ制御装置。

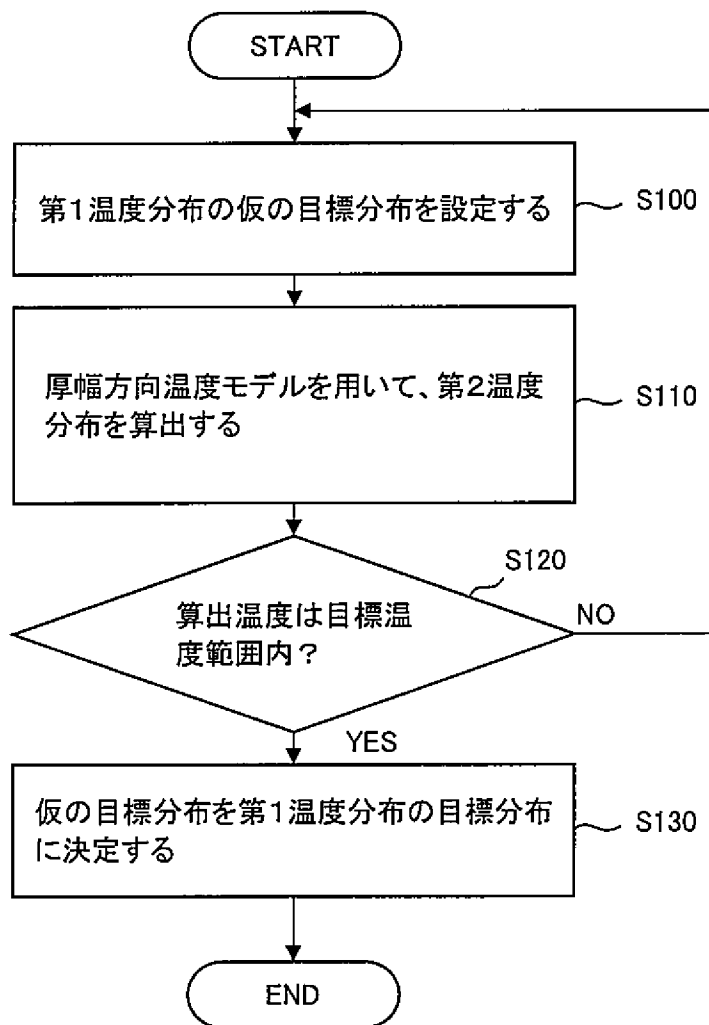
[図1]



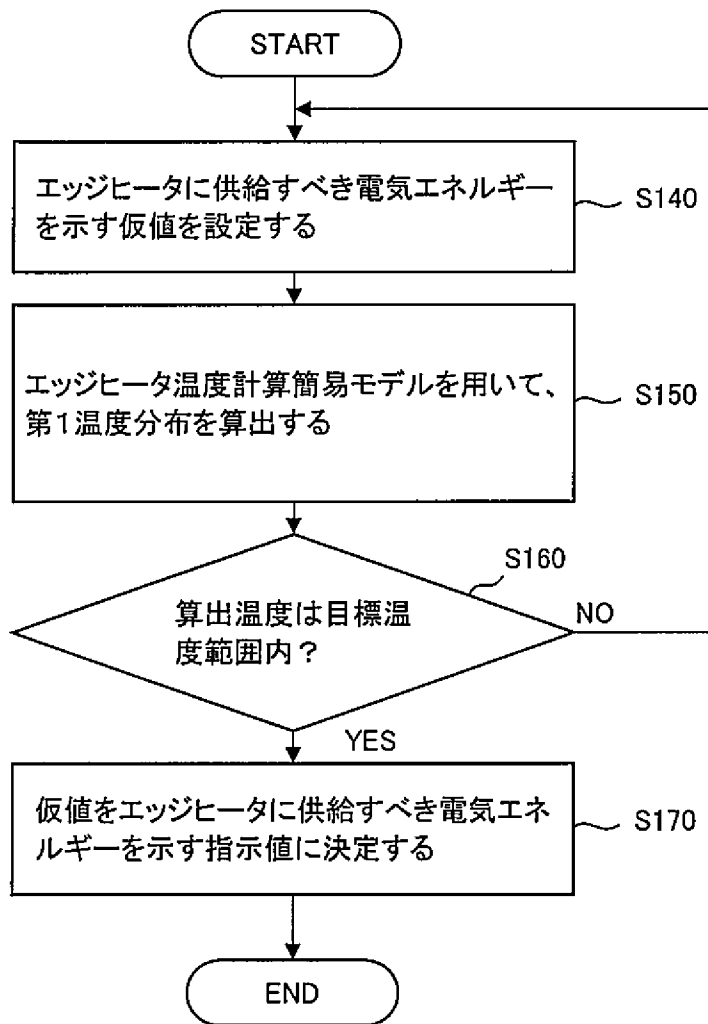
[図2]



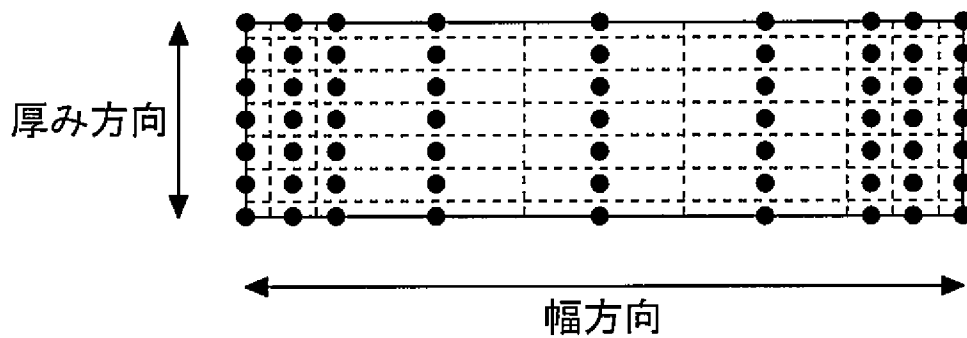
[図3]



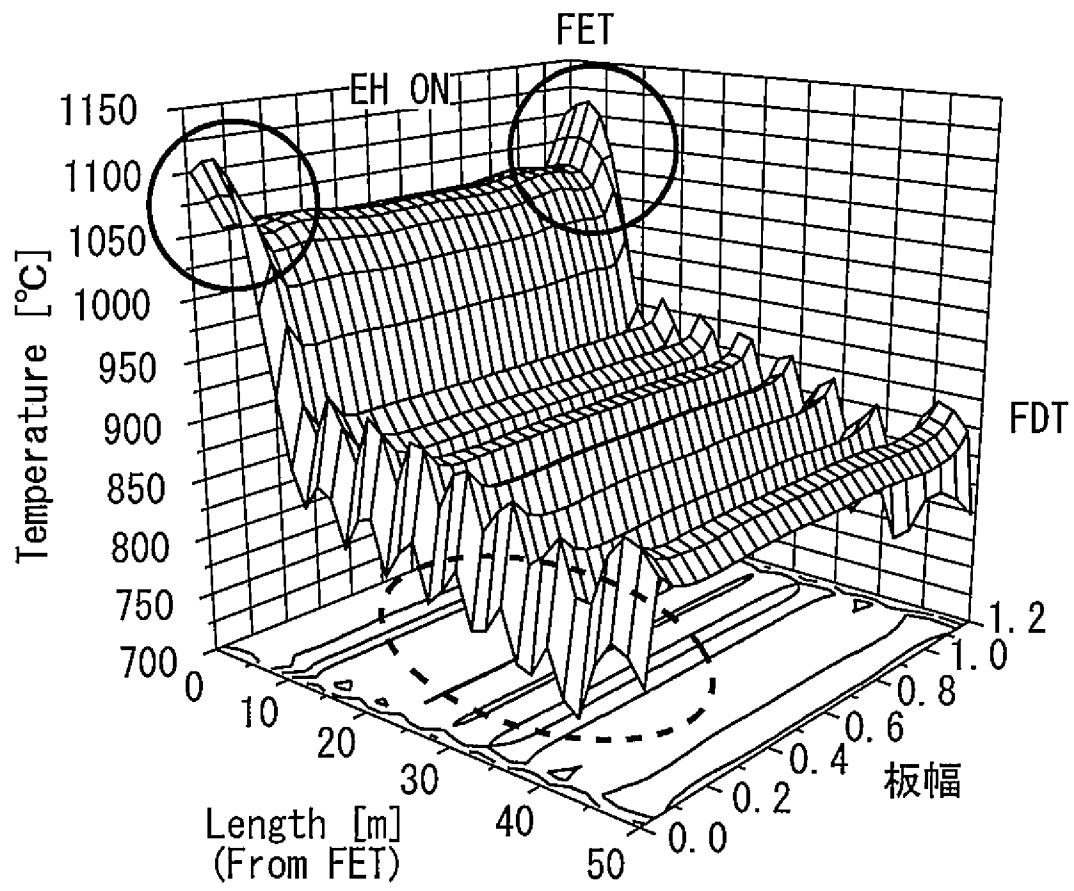
[図4]



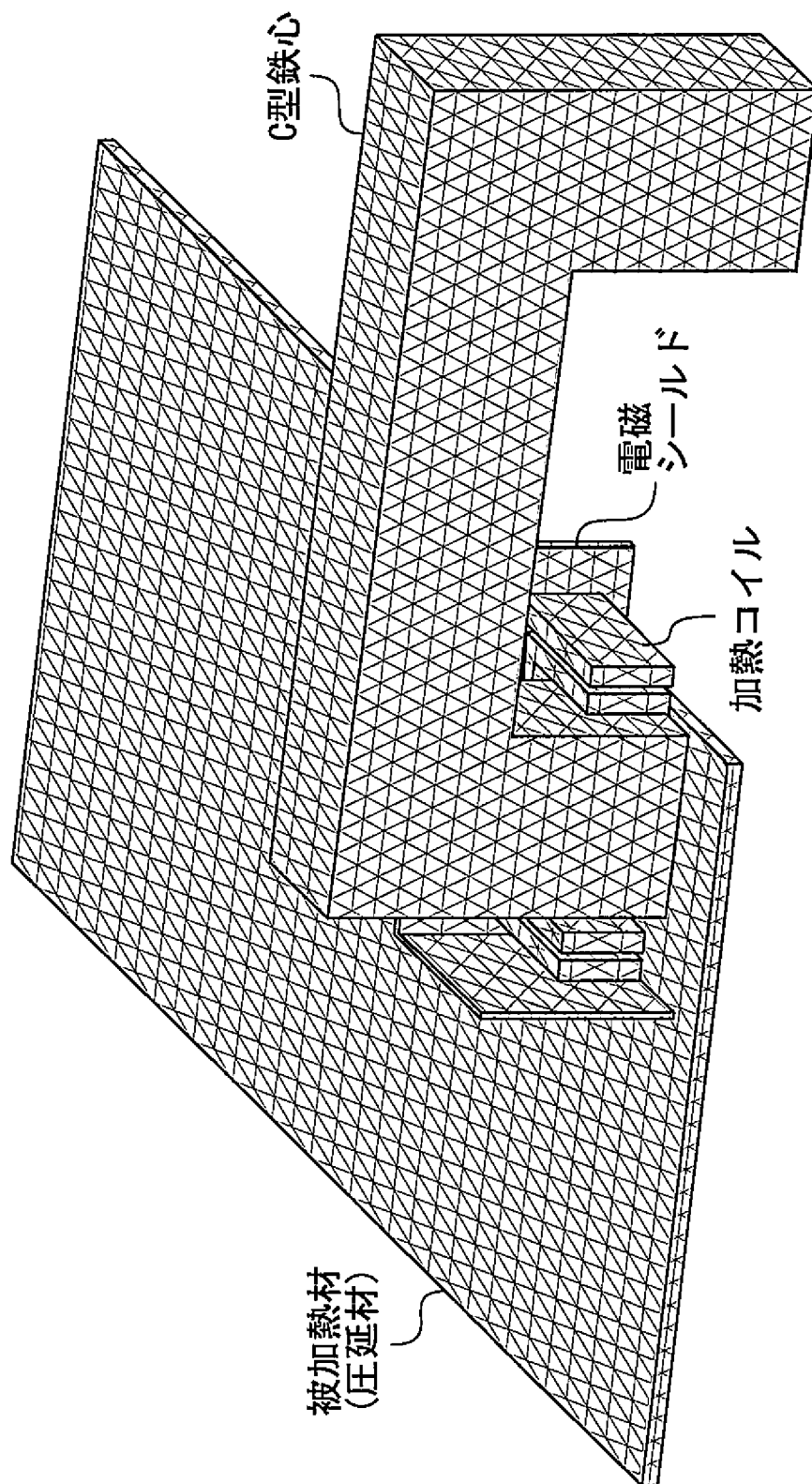
[図5]



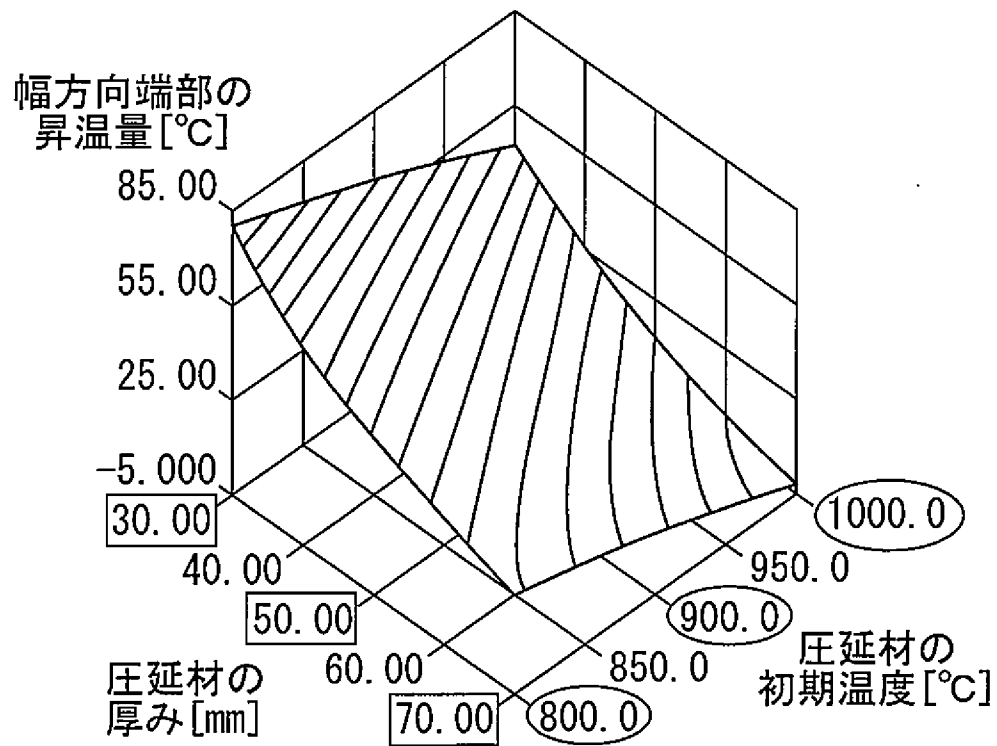
[図6]



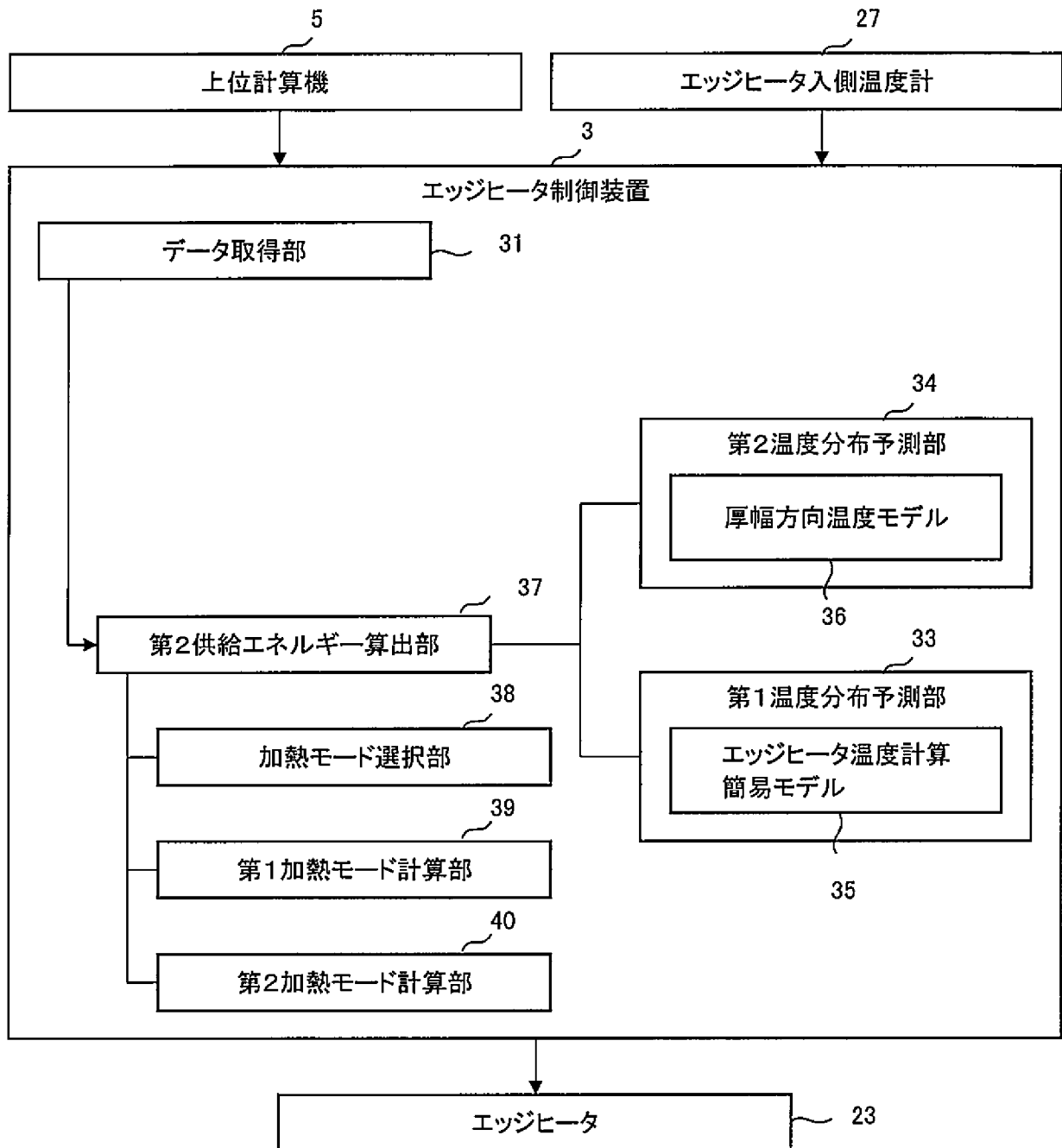
[図7]



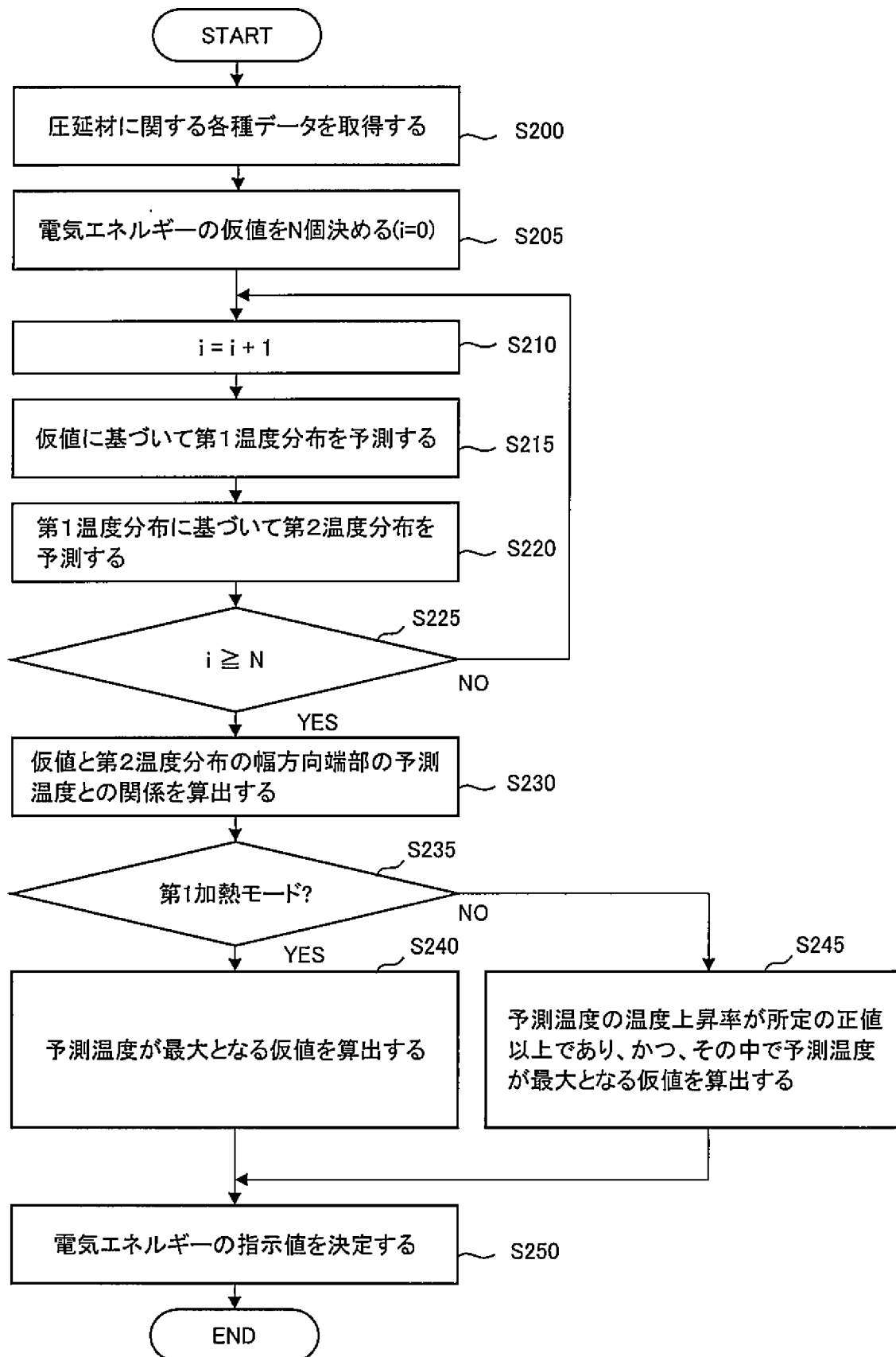
[図8]



[図9]

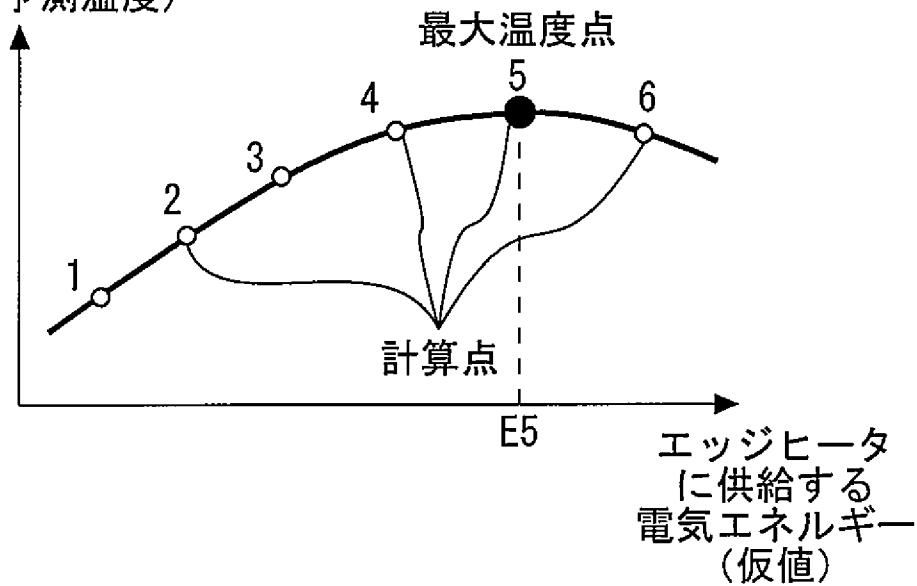


[図10]



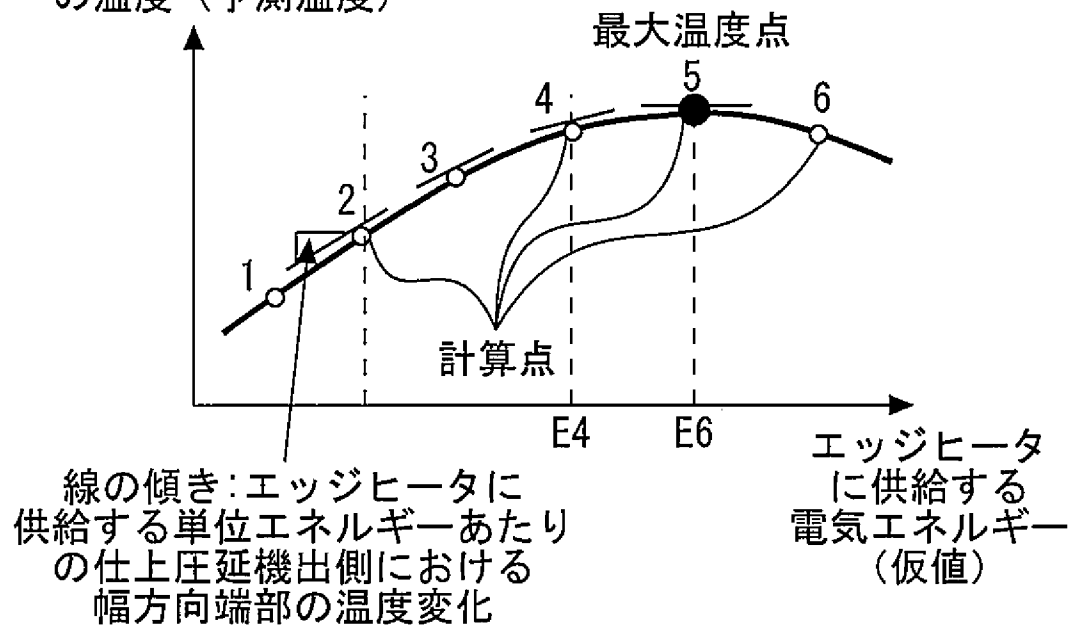
[図11]

仕上圧延機出側
における幅方向端部
の温度（予測温度）

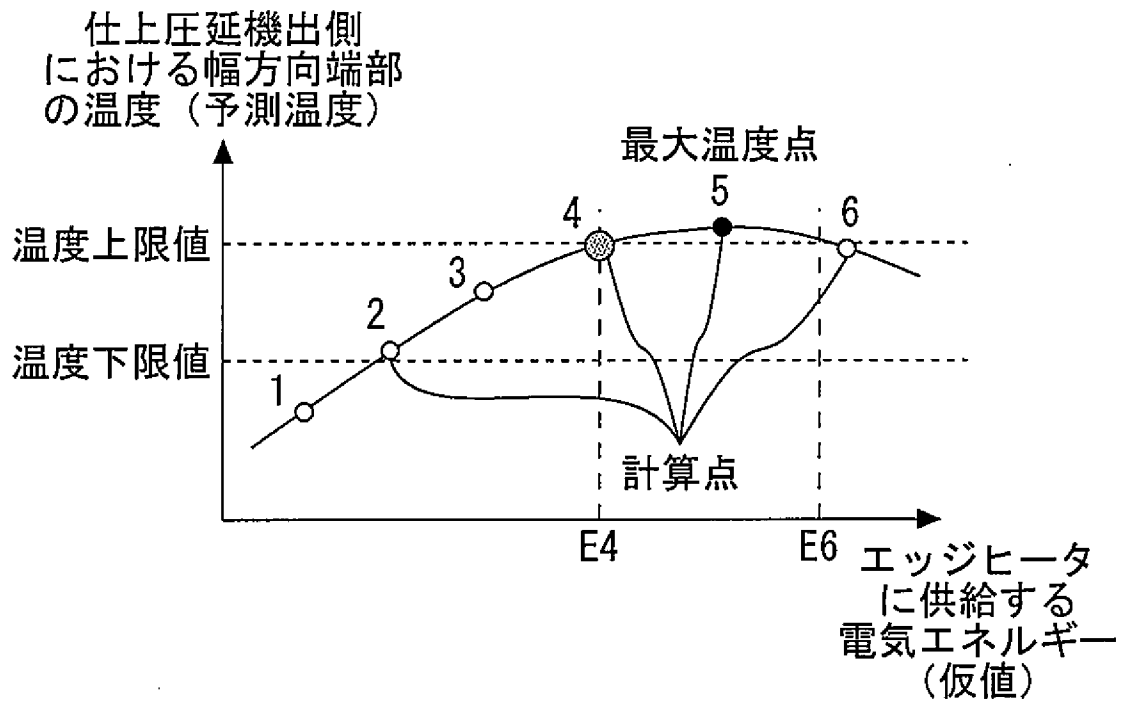


[図12]

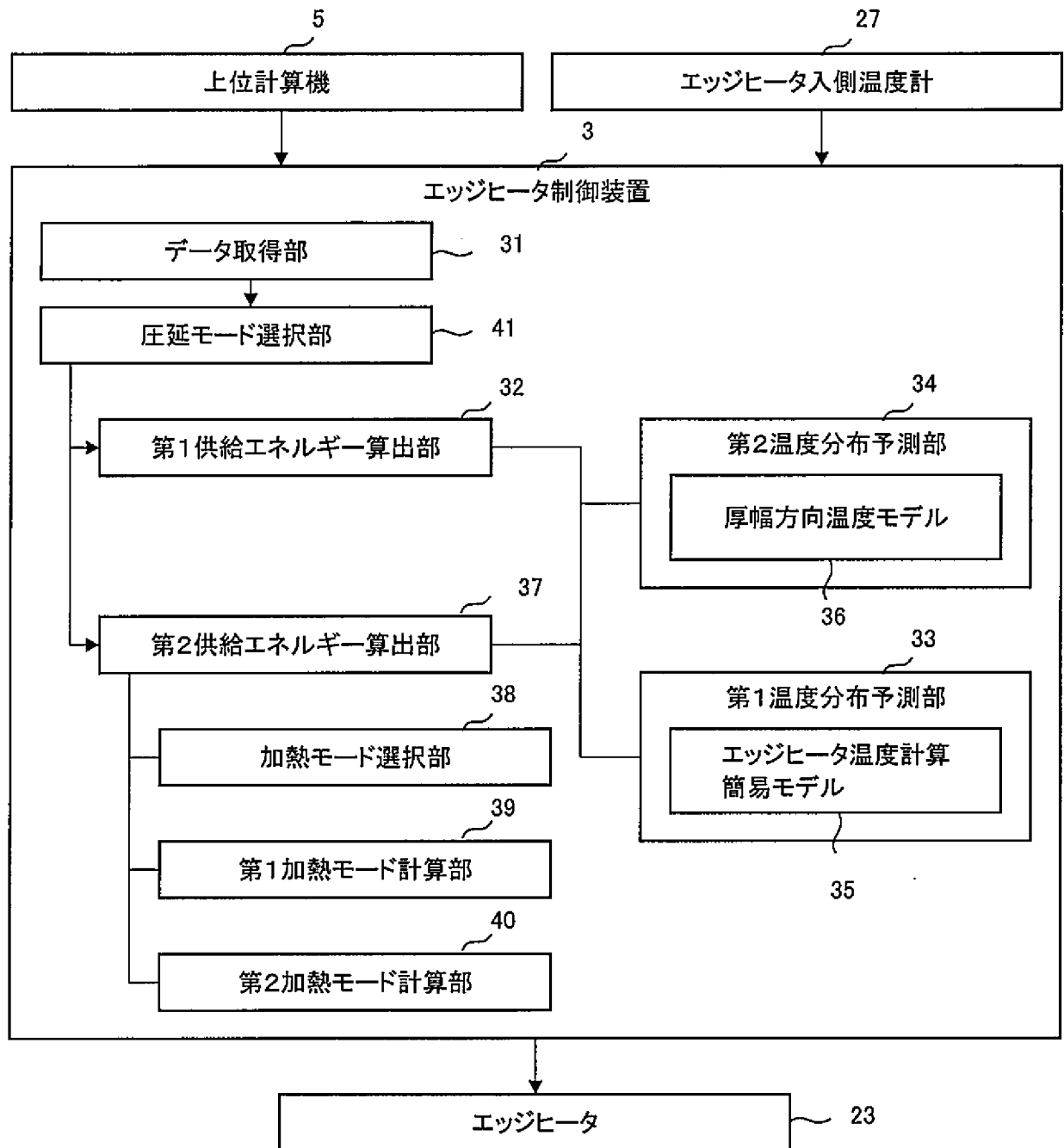
仕上圧延機出側
における幅方向端部
の温度（予測温度）



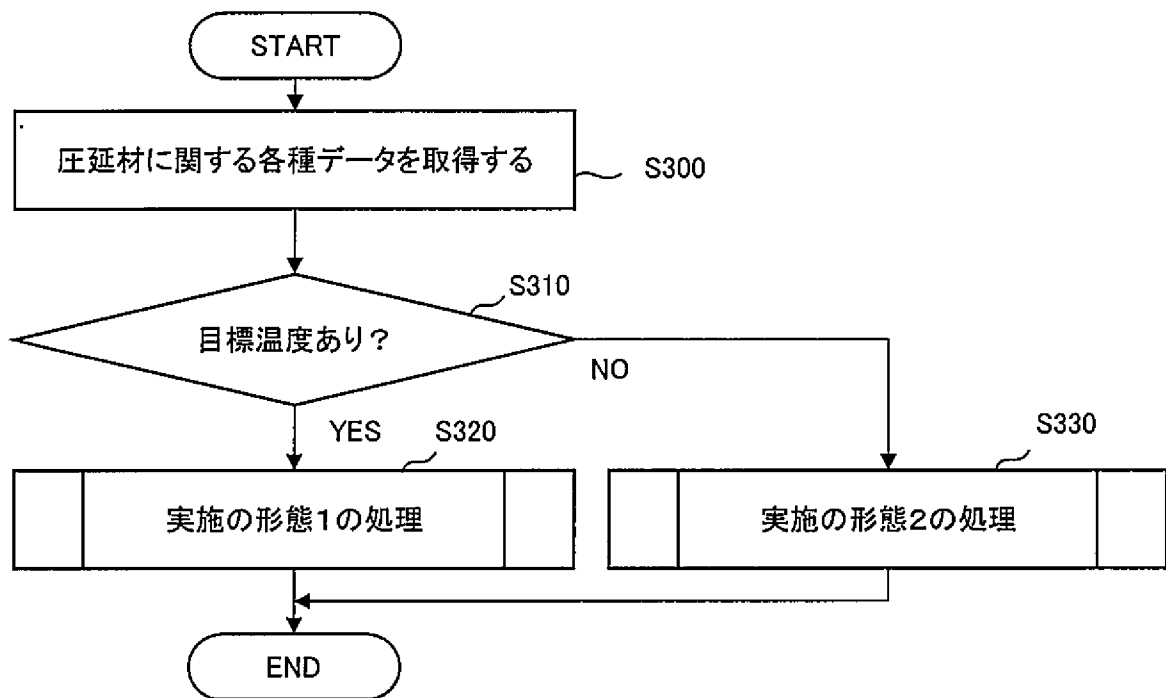
[図13]



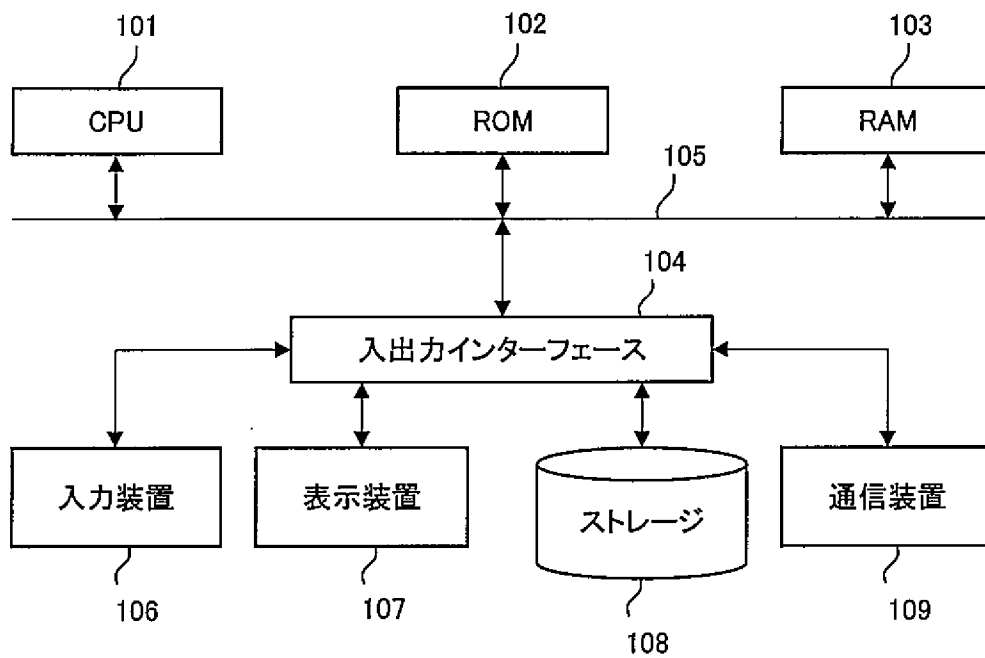
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B21B37/74(2006.01)i, H05B6/06(2006.01)i, H05B6/10(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)

B21B37/74, H05B6/06, H05B6/10

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.
Y A	JP 11-221606 A (NKK Corp.), 17 August 1999 (17.08.1999), claims; paragraphs [0016] to [0028]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1 2-6
Y A	JP 4-22504 A (Toshiba Corp.), 27 January 1992 (27.01.1992), page 2, upper left column, line 1 to upper right column, line 2 (Family: none)	1 2-6
Y A	JP 3-268811 A (NKK Corp.), 29 November 1991 (29.11.1991), page 1, right column, line 17 to page 2, line 1 (Family: none)	1 2-6

☐ 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
06 December 2016 (06.12.16)

Date of mailing of the international search report
20 December 2016 (20.12.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B21B37/74(2006.01)i, H05B6/06(2006.01)i, H05B6/10(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. B21B37/74, H05B6/06, H05B6/10

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
Y A	JP 11-221606 A（日本鋼管株式会社） 1999.08.17, 特許請求の範囲, 段落[0016]-[0028], 図1-2 (ファミリーなし)	1 2-6
Y A	JP 4-22504 A（株式会社東芝） 1992.01.27, 第2頁左上欄第1行-右上欄第2行（ファミリーなし）	1 2-6
Y A	JP 3-268811 A（日本鋼管株式会社） 1991.11.29, 第1頁右欄第17行-第2頁第1行（ファミリーなし）	1 2-6

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

06.12.2016

国際調査報告の発送日

20.12.2016

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）

藤長 千香子

電話番号 03-3581-1101 内線 3425

4E

5796