

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-157094
(P2017-157094A)

(43) 公開日 平成29年9月7日(2017.9.7)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 5 B 19/418 (2006.01)	G 0 5 B 19/418 Z	3 C 1 0 0
B 2 1 B 37/00 (2006.01)	B 2 1 B 37/00 3 0 0	4 E 0 2 4
C 2 1 D 11/00 (2006.01)	B 2 1 B 37/00 B B J	4 K 0 3 8
C 2 1 D 9/52 (2006.01)	C 2 1 D 11/00 1 0 4	4 K 0 4 3
G 0 6 Q 50/04 (2012.01)	C 2 1 D 9/52 1 0 2	5 L 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-41358 (P2016-41358)
(22) 出願日 平成28年3月3日 (2016.3.3)

(71) 出願人 000006655
新日鐵住金株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(74) 代理人 100090273
弁理士 園分 孝悦
(72) 発明者 小林 俊介
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
Fターム(参考) 3C100 AA22 BB12 EE10
4E024 GG10
4K038 AA01 BA01 CA03 FA02
4K043 AA01 BA04 CB01 EA07 FA13
5L049 CC03

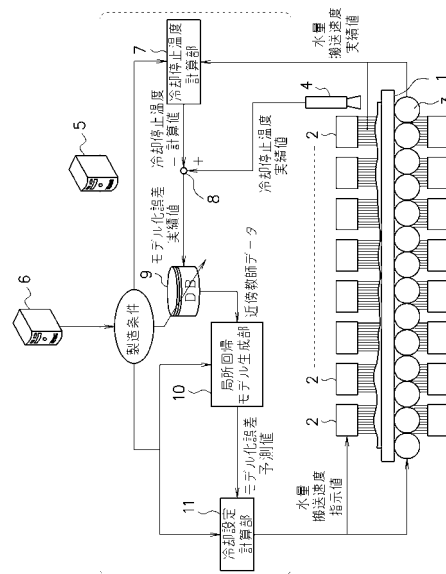
(54) 【発明の名称】 製品の状態予測装置、製品の状態制御装置、製品の状態予測方法及びプログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 回帰計算が発散せず、局所重み付き回帰の意義を保ったまま高い精度で、鋼板の冷却停止温度等の製品の状態のモデル化誤差を予測できるようにする。

【解決手段】 局所回帰モデル生成部10は、データベース9から、予測対象材の製造条件と類似する製造条件を持つ実績データを近傍教師データとして抽出し、近傍教師データを用いて、温度予測モデルにより算出する予測対象材の冷却停止温度の予測値の誤差(モデル化誤差予測値と呼ぶ)を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルによりモデル化誤差予測値を計算する。このとき、局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は鋼板を示す添字)を、近傍教師データの距離関数による距離 d_i と、距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、式(101)により設定する。

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (101)$$



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

製品の製造工程において、状態予測モデルにより製品の状態の予測値を算出する製品の状態予測装置であって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算する計算手段と、

前記計算手段で求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償する補償手段とを備え、

前記計算手段は、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出手段で抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、式 (101)

【数 1】

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (101)$$

により設定することを特徴とする製品の状態予測装置。

【請求項 2】

前記データベースは、実績データとして、製品の状態実績値と前記状態予測モデルを用いて算出した製品の状態の予測値との差を製造条件と紐付けて蓄積し、

前記抽出手段は、前記予測対象製品の製造条件と類似する製造条件を持つ実績データを、前記距離関数に基づいて近傍教師データとして抽出することを特徴とする請求項 1 に記載の製品の状態予測装置。

【請求項 3】

前記製品は鋼板、前記製造工程は冷却工程、前記製品の状態は鋼板の冷却停止温度、前記状態予測モデルは温度予測モデルであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の製品の状態予測装置。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の製品の状態予測装置と、

前記補償手段で補償した前記予測対象製品の状態の予測値が、予め前記予測対象製品毎に定められた目標値と一致するように、前記製造工程に用いられる製造設備の操作量を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする製品の状態制御装置。

【請求項 5】

前記製品は鋼板、前記製造工程は冷却工程、前記製品の状態は鋼板の冷却停止温度、前記状態予測モデルは温度予測モデル、前記操作量は冷却水量及び鋼板の搬送速度のうち少なくともいずれかであることを特徴とする請求項 4 に記載の製品の状態制御装置。

【請求項 6】

製品の製造工程において、状態予測モデルを用いて製品の状態の予測値を算出する製品の状態予測方法であって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出するステップと、

前記抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算するステップと、

前記求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償するステップとを有し、

前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象材の状態の予測値の誤差を求めるとき

10

20

30

40

50

に、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、式 (101)

【数 2】

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (101)$$

により設定することを特徴とする製品の状態予測方法。

【請求項 7】

製品の製造工程において、状態予測モデルを用いて製品の状態の予測値を算出するためのプログラムであって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算する計算手段と、

前記計算手段で求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償する補償手段としてコンピュータを機能させ、

前記計算手段は、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出手段で抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、式 (101)

【数 3】

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (101)$$

により設定することを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば鋼板の冷却工程において、温度予測モデルにより鋼板の冷却停止温度の予測値を算出するのに利用して好適な製品の状態予測装置、製品の状態制御装置、製品の状態予測方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

鋼板の熱間圧延工程の下流の冷却工程では、所定の温度まで鋼板を冷却することで製品に必要な機械特性を得る。

鋼板の冷却制御は、製品の機械特性に直結し、また、歩留まりに影響を及ぼすため、その精度向上が求められる。冷却制御では、水冷による鋼板の温度変化を伝熱モデル計算により推定し、所望の冷却停止温度となるように、冷却水量や鋼板の搬送速度等を決定する。伝熱モデルは熱流体力学や伝熱工学の知見に則り作成されるが、鋼板の表面性状や設備の経時変化等、モデル化が難しいファクターも多く、伝熱モデルによる制御だけでは冷却停止温度を目標値に精度良く一致させることは困難である。

【0003】

そこで、冷却停止温度のモデル計算値と実績値との差（モデル化誤差）を学習モデルによって予測し、冷却停止温度のモデル計算値を補償する方法が採用されている。

特許文献 1 には、冷却工程に供する当該厚鋼板について、冷却工程における厚鋼板の温度変化挙動を予測するための厚鋼板の温度予測モデルを用いて、冷却工程における当該厚

10

20

30

40

50

鋼板の冷却停止温度の予測値を算出する予測値算出工程、スラブ毎に過去の実績データを蓄積したデータベースから、当該厚鋼板と製造条件が類似する厚鋼板の過去の実績データを抽出する抽出工程、前記抽出工程において抽出した前記過去の実績データに基づいて、線形回帰モデル式をたて、当該厚鋼板の冷却停止温度の予測値の誤差を推定する推定工程、前記予測値算出工程において算出した当該厚鋼板の冷却停止温度の予測値と、前記推定工程において推定した当該厚鋼板の冷却停止温度の予測値の誤差とから、前記冷却停止温度の修正値を算出する修正値算出工程、を有することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第5682484号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】International Journal of Pharmaceutics, Vol.421, No.2, pp.269-274, 2011

【非特許文献2】Applied Intelligence, Vol.17, Issue 1, pp.49-60, 2002

【非特許文献3】鉄と鋼, 15, 2509-2514, 1981

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述したようにデータベースから実績データを抽出するときに、製造条件の類似の判定は、例えば式(1)の重み付きユークリッド距離関数に基づいて行われる。ここで、 $x_i := (x_{i,1}, \dots, x_{i,m})^T$ は製造条件、 q_j は製造条件係数、 i は鋼板(製造No)を示す添字($i = 0$: 予測対象材)である。ユークリッド距離 d_i が小さい順に実績データを所定の数だけ抽出する。

【0007】

【数1】

$$d_i := \sqrt{\sum_{j=1}^m q_j (x_{i,j} - x_{0,j})^2} \quad \dots(1)$$

【0008】

このようにして抽出される実績データを近傍教師データとして局所回帰モデルを生成する。例えば式(2)、式(3)で表わされる局所重み付き回帰モデルを生成する。ここで、 β は回帰パラメータ、 y はモデル化誤差実績値、 \hat{y} ($\hat{\cdot}$ は y の上に付されているものとする)はモデル化誤差予測値、 n は近傍教師データ数である。また、 w_i は重み係数である。

【0009】

【数2】

$$\hat{y}_0 = \hat{y}_0(\beta_{reg}) \quad \dots(2)$$

$$\beta_{reg} = \arg \min_{\beta} \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i(\beta))^2 \quad \dots(3)$$

【0010】

具体的な手段として、局所重み付き線形重回帰(式(4)、式(5))、局所重み付きPLS(Partial Least Squares)回帰(式(6)~式(8))が提案されている。

【0011】

10

20

30

40

【数 3】

$$\hat{y}_0 = \mathbf{a}_{reg}^T \mathbf{x}_0 \quad \cdots(4)$$

$$\mathbf{a}_{reg} = \arg \min_a \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \mathbf{a}^T \mathbf{x}_i)^2 \quad \cdots(5)$$

【0012】

【数 4】

$$\hat{y}_0 = \mathbf{a}_{reg}^T \mathbf{z}_0 \quad \cdots(6)$$

$$\mathbf{a}_{reg} = \arg \min_a \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \mathbf{a}^T \mathbf{z}_i)^2 \quad \cdots(7)$$

$$\mathbf{z}_i = \mathbf{C}_{tr}^T \mathbf{x}_i \quad \cdots(8)$$

【0013】

局所重み付き線形重回帰は、モデル化誤差予測値 \hat{y} を製造条件 x の線形結合で表わし (式(4))、重み付き誤差 2 乗和を最小化するような係数 \mathbf{a}_{reg} を求める方法である (式(5))。この方法では、製造条件同士に相関がある場合、回帰係数が不安定になる多重共線性の問題がある。

そこで、局所重み付き PLS 回帰では、多重共線性が発生しないよう、変数同士の共分散が最大化される潜在変数 z を生成する (式(8))。 \mathbf{C}_{tr} は行列 $\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{y} \mathbf{y}^T \mathbf{W} \mathbf{X}$ の固有ベクトルからなる行列である。 $\mathbf{X} := (\mathbf{x}_1, \cdots, \mathbf{x}_n)^T$ 、 $\mathbf{W} := \text{diag}(w_1, \cdots, w_n)$ 、 $\mathbf{y} := (y_1, \cdots, y_n)^T$ である。その後、潜在変数 z に対して線形重回帰を行うことにより (式(6)、式(7))、多重共線性の問題を回避している。

【0014】

以上の局所重み付き回帰の手順において、重み係数 w_i の設定では、一般的に、式(9)の形が用いられる。 α はパラメータであり、正の実数である。

【0015】

【数 5】

$$w_i(d_i) = \exp(-\alpha d_i) \quad \cdots(9)$$

【0016】

特許文献 1 の他にも、局所重み付き回帰を利用する非特許文献 1 や非特許文献 2 でも同様の形が用いられている。

これは、ユークリッド距離 d_i が 0 ~ をとる実数であることに對し、重み係数 w_i は 1 ~ 0 となり、要求点 (ここでは予測対象材) に近いほど重視し、かつ大きくなりすぎないことが局所重み付き回帰手法と親和性が高いためと考えられる。

【0017】

しかしながら、予測対象材が特殊な鋼板であったり、新規の鋼種であったりすると、類似の製造条件を持つ実績データが近傍にないことがある。図 5 は、近傍教師データの分布と重み係数との関係を示す図である。類似の製造条件を持つ実績データが近傍にない場合、図 5 に示すようにすべての i について $w_i = 0$ となり、回帰計算が発散して、予測不可能となる。

一方、回帰計算が発散しないようにする対処法として、式(9)のパラメータ α を小さくして、図 6 に示すように、 w_i が 1 ~ 0 となる勾配を緩やかにすることが考えられる。

しかしながら、逆に近傍に実績データが多くある予測対象材の場合、すべての i について

10

20

30

40

50

$w_i = 1$ となり、局所重み付き回帰の意義が失われ、予測精度の低下が懸念される。

【0018】

鋼板の冷却工程では様々な条件の鋼板を冷却するため、近傍の実績データがどのような分布となっているかを事前に知ることは困難である。そのため、一律のパラメータで重み係数を管理することには無理がある。

非特許文献1では、 $(d_i) = \sigma_d / d_i$ として d_i のばらつき σ_d の関数としているが、 d_i の平均 μ_d と比較して非常に σ_d が小さい場合や大きい場合は依然として上記の問題が発生する懸念がある。

【0019】

本発明は上記のような点に鑑みてなされたものであり、回帰計算が発散せず、局所重み付き回帰の意義を保ったまま高い精度で、鋼板の冷却停止温度等の製品の状態のモデル化誤差を予測できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記の課題を解決するための本発明の要旨は、以下のとおりである。

[1] 製品の製造工程において、状態予測モデルにより製品の状態の予測値を算出する製品の状態予測装置であって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算する計算手段と、

前記計算手段で求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償する補償手段とを備え、

前記計算手段は、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出手段で抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、式(101)により設定することを特徴とする製品の状態予測装置。

【0021】

【数6】

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (101)$$

【0022】

[2] 前記データベースは、実績データとして、製品の状態実績値と前記状態予測モデルを用いて算出した製品の状態の予測値との差を製造条件と紐付けて蓄積し、

前記抽出手段は、前記予測対象製品の製造条件と類似する製造条件を持つ実績データを、前記距離関数に基づいて近傍教師データとして抽出することを特徴とする[1]に記載の製品の状態予測装置。

[3] 前記製品は鋼板、前記製造工程は冷却工程、前記製品の状態は鋼板の冷却停止温度、前記状態予測モデルは温度予測モデルであることを特徴とする[1]又は[2]に記載の製品の状態予測装置。

[4] [1]又は[2]に記載の製品の状態予測装置と、

前記補償手段で補償した前記予測対象製品の状態の予測値が、予め前記予測対象製品毎に定められた目標値と一致するように、前記製造工程に用いられる製造設備の操作量を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする製品の状態制御装置。

[5] 前記製品は鋼板、前記製造工程は冷却工程、前記製品の状態は鋼板の冷却停止温度、前記状態予測モデルは温度予測モデル、前記操作量は冷却水量及び鋼板の搬送速度

10

20

30

40

50

のうち少なくともいずれかであることを特徴とする [4] に記載の製品の状態制御装置。

[6] 製品の製造工程において、状態予測モデルを用いて製品の状態の予測値を算出する製品の状態予測方法であって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出するステップと、

前記抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算するステップと、

前記求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償するステップとを有し、

前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象材の状態の予測値の誤差を求めるときに、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、前記式 (1 0 1) により設定することを特徴とする製品の状態予測方法。

[7] 製品の製造工程において、状態予測モデルを用いて製品の状態の予測値を算出するためのプログラムであって、

予測対象製品の状態の予測値を算出する際に、実績データを蓄積したデータベースから、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出した近傍教師データを用いて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値の誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルにより当該誤差を計算する計算手段と、

前記計算手段で求めた前記予測対象製品の状態の予測値の誤差に基づいて、前記状態予測モデルにより算出する前記予測対象製品の状態の予測値を補償する補償手段としてコンピュータを機能させ、

前記計算手段は、前記局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i (i は製品を示す添字) を、前記抽出手段で抽出した近傍教師データの前記距離関数による距離 d_i と、前記距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d とを用いて、前記式 (1 0 1) により設定することを特徴とするプログラム。

【発明の効果】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、近傍教師データの分布に合わせて重み係数が減少するように設定されるので、回帰計算が発散せず、局所重み付き回帰の意義を保ったまま高い精度で、鋼板の冷却停止温度等の製品の状態のモデル化誤差を予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 4 】

【図 1】実施形態の冷却制御システムの構成例を示す図である。

【図 2】局所回帰モデル生成部の機能構成を示すブロック図である。

【図 3】実施形態における近傍教師データの分布と重み係数との関係を示す図である。

【図 4】数値実験のための機能構成を示す図である。

【図 5】従来の近傍教師データの分布と重み係数との関係を示す図である。

【図 6】従来の近傍教師データの分布と重み係数との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。本実施形態は、本発明を冷却工程における鋼板の冷却停止温度の予測及び制御に適用した例を述べる。

図 1 は、冷却設備を含む冷却制御システムの構成例を示す図である。

冷却設備では、搬送テーブル 3 により鋼板 1 が搬送され、冷却ノズル 2 から水を噴射して鋼板 1 を冷却する。

10

20

30

40

50

冷却ノズル 2 は、冷却プロセスコンピュータ 5 から出力される指示値に基づいて、冷却水量を制御する。冷却水量の制御方式としては、流量弁開度調節、ノズル ON / OFF 制御等、一般的な冷却水量の制御方式が適用可能である。

また、搬送テーブル 3 は、冷却プロセスコンピュータ 5 から出力される指示値に基づいて、鋼板の搬送速度を制御する。鋼板の搬送速度の制御方式としては、モータドライブによる制御等、一般的な搬送速度制御方式が適用可能である。

冷却設備の出側において、温度計 4 により鋼板の冷却停止温度が測定され、冷却プロセスコンピュータ 5 に入力される。温度測定方式としては、放射温度計やサーモグラフィ等、一般的な温度測定方式が適用可能である。

【 0 0 2 6 】

冷却プロセスコンピュータ 5 は、冷却停止温度計算部 7、減算器 8、データベース 9、局所回帰モデル生成部 10、及び冷却設定計算部 11 を備える。冷却プロセスコンピュータ 5 には、上位の圧延プロセスコンピュータ 6 から予測対象材の製造条件が入力される。製造条件としては、例えば鋼板サイズ、鋼種、冷却停止温度の目標値等があるが、外気温、圧延ロール粗度等、冷却工程に影響する情報として一般的である要素は含み得る。本実施形態では、冷却プロセスコンピュータ 5 が本発明でいう鋼板の冷却停止温度予測装置、鋼板の冷却制御装置として機能する。

【 0 0 2 7 】

冷却停止温度計算部 7 は、鋼板の製造条件と、冷却設備における水量実績値及び鋼板の搬送速度実績値に基づいて、伝熱モデルからなる温度予測モデルにより鋼板の冷却停止温度の計算値（「冷却停止温度計算値」と呼ぶ）を算出する。

減算器 8 は、温度計 4 で測定される冷却停止温度実績値と冷却停止温度計算部 7 から出力される冷却停止温度計算値との差（「モデル化誤差実績値」と呼ぶ）をとる。

【 0 0 2 8 】

データベース 9 は、実績データとして、減算器 8 から出力されるモデル化誤差実績値を製造条件と紐付けて蓄積する。また、データベース 9 は、予測対象材の製造条件が入力されると、その製造条件と類似する製造条件を持つ実績データを近傍教師データとして抽出し、局所回帰モデル生成部 10 に出力する機能を有する。本実施形態では、データベース 9 が本発明でいう抽出手段として機能する。

データベースから実績データを抽出するときに、製造条件の類似の判定は、例えば式（1）の重み付きユークリッド距離関数に基づいて行われる。なお、本実施形態ではユークリッド距離を例とするが、マハラノビス距離等、多変数系の距離の定義として公知であるものは適用可能である。

【 0 0 2 9 】

局所回帰モデル生成部 10 は、データベース 9 から抽出される近傍教師データを用いて、温度予測モデルにより算出する予測対象材の冷却停止温度の予測値の誤差（モデル化誤差予測値と呼ぶ）を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、当該局所重み付き回帰モデルによりモデル化誤差予測値を計算する。本実施形態では、局所回帰モデル生成部 10 が本発明でいう計算手段として機能する。

【 0 0 3 0 】

冷却設定計算部 11 は、局所回帰モデル生成部 10 から出力されるモデル化誤差予測値に基づいて、温度予測モデルにより算出する予測対象材の冷却停止温度の予測値を補償する。そして、冷却設定計算部 11 は、補償した予測対象材の冷却停止温度の予測値が、予め予測対象材毎に定められた目標値と一致するように、冷却水量及び鋼板の搬送速度のうち少なくともいずれかの指示値を補正した上で、冷却水量及び鋼板の搬送速度の指示値を冷却設備に出力する。本実施形態では、冷却設定計算部 11 が本発明でいう補償手段、制御手段として機能する。なお、本実施形態では冷却水量と鋼板の搬送速度を操作量とする例としたが、それ以外にも冷却ノズル 2 の高さ等、冷却設備の操作量として一般的である要素は含み得る。

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

図 2 は、局所回帰モデル生成部 10 の機能構成を示すブロック図である。

101 は入力部であり、予測対象材の製造条件と、データベース 9 から抽出される近傍教師データとを入力する。

【0032】

102 は重み係数設定部であり、式 (10) により、局所重み付き回帰モデルの重み係数 w_i を設定する。ここで、 μ_d は近傍教師データのユークリッド距離 d_i の平均値、 σ_d は近傍教師データのユークリッド距離 d_i の標準偏差である。

【0033】

【数 7】

$$w_i = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{-(d_i - \mu_d)}{\sqrt{2}\sigma_d} \right) \cdots (10)$$

10

【0034】

103 は局所重み付き回帰計算部であり、近傍教師データと重み係数 w_i に基づいて、局所重み付き線形重回帰 (式 (4)、式 (5)) や、局所重み付き PLS (Partial Least Squares) 回帰 (式 (6) ~ 式 (8)) 等により局所重み付き回帰モデルを生成する。

【0035】

104 はモデル化誤差計算部であり、局所重み付き回帰計算部 103 で生成した局所重み付き回帰モデルに予測対象材の製造条件を入力し、予測対象材のモデル化誤差予測値を算出する。

20

【0036】

105 は出力部であり、モデル化誤差計算部 104 で算出した予測対象材のモデル化誤差予測値を冷却設定計算部 11 に出力する。

【0037】

ここで、式 (10) は、近傍教師データのユークリッド距離 d_i 、ユークリッド距離 d_i の平均値 μ_d 及び標準偏差 σ_d を変数とする誤差関数 $\operatorname{erf}()$ を含み、正規分布の累積分布関数を平均値 μ_d に対して左右反転した関数となる。これにより、図 3 に示すように、近傍教師データがどのような分布となっても、重み係数 w_i がその分布に合わせた減少関数となる。このように近傍教師データの分布に合わせて重み係数 w_i が減少するように設定されるので、回帰計算が発散せず、局所重み付き回帰の意義を保ったまま高い精度で冷却停止温度のモデル化誤差を予測することができる。

30

【0038】

本発明は、冷却工程における鋼板の冷却停止温度の予測及び制御に適用できるだけでなく、汎用的に適用可能であって、ある製造設備にて原材料から製品を製造する製造工程において、状態予測モデルにより製品の状態の予測値を算出し、その予測値に基づき製造設備を制御する場合に広く効果を有する。

すなわち、実施形態における鋼板は製品の一例、冷却工程及び設備は製造工程及び設備の一例、鋼板の冷却停止温度は製品の状態の一例、温度予測モデルは状態予測モデルの一例である。そして、本発明を一般的な製造工程に適用する場合、状態制御システムは例えば図 1 と同様の構成とすればよく、実施形態における冷却停止温度計算部 7 を状態計算部とし、冷却設定計算部 11 を設定計算部とし、冷却水量や鋼板の搬送速度の指示値を製造設備の操作量の指示値と置き換えればよい。

40

製造条件と操作量の実績値から、状態計算部にて製品の状態を状態予測モデルにより予測し、この予測値である状態計算値と状態実績値との誤差であるモデル化誤差実績値をデータベース 9 に蓄積する。そして、予測対象製品の状態の予測値を算出する際、実績データを蓄積したデータベース 9 から、距離関数に基づいて近傍教師データを抽出し、その近傍教師データを用いて、局所モデル生成部 10 にて前記モデル化誤差を求める局所重み付き回帰モデルを生成し、この局所重み付き回帰モデルに製造条件を与えて計算した予測対象製品のモデル化誤差の予測値に基づいて、前記状態予測モデルにより算出した予測対象

50

製品の状態の予測値を補償する。このように補償することで、状態の予測値を実績値に近づけることができる。また、この補償された状態の予測値が予測対象製品毎に定められた目標値と一致するように、設定計算部にて製造設備の操作量の指示値を計算して製造設備を制御することです。製品の状態の実績値をより目標値に近づけることができる。

【0039】

例えば本発明を熱間圧延における板幅の予測及び制御に適用する場合、第1の実施形態における冷却設備はエッジャ、サイジングプレス等の鋼板幅加工設備となる。また、製造条件は鋼板サイズ、鋼種、装置入側鋼板温度等、板幅に影響を与えると考えられる要素となる。また、冷却ノズル2、搬送テーブル3はエッジャならば油圧圧下装置、サイジングプレスならば機械クランク等の板幅制御のためのアクチュエータとなる。また、温度計4はラインセンサ等の板幅測定装置となる。また、冷却プロセスコンピュータ5は圧延プロセスコンピュータ、上位の圧延コンピュータ6は加熱プロセスコンピュータもしくはピジネスコンピュータとなる。また、冷却停止温度計算部7は例えば非特許文献3に記載のモデルに基づき、装置出側板幅を計算する板幅計算部となる。また、冷却設定計算部11は例えば非特許文献3に記載のモデルに基づき、装置出側板幅が所望の値となるようにエッジャやサイジングプレスの開度、速度を設定する幅圧下設定計算部となる。

10

【実施例】

【0040】

本発明を適用した手法による効果を数値実験により検証した。

20

図4に、数値実験のための機能構成を示す。パーソナルコンピュータでデータベース9及び局所回帰モデル生成部10を再現して、数値実験を行う。工場で操業実績を蓄積している工場データベースからパーソナルコンピュータに製造条件を入力し、データベース9及び局所回帰モデル生成部10によりモデル化誤差予測値を出力する。

工場データベースにはモデル化誤差実績値も保存されているので、データベース9及び局所回帰モデル生成部10によるモデル化誤差予測値と比較し、その精度を評価した。図1と違い、モデル化誤差予測値は実操業に反映されないが、モデル化誤差を精度良く予測することで、冷却停止温度制御の精度も向上すると考えられる。

【0041】

特許文献1、非特許文献1、及び非特許文献2に記載の内容に基づいて、局所回帰モデル生成部10では局所重み付きPLS回帰を用いるものとし、重み係数を1とした場合(比較法1)、式(9)で求めた重み係数とした場合(比較法2)、式(10)で求めた重み係数とした場合(発明法)のそれぞれについてモデル化誤差の予測精度を評価した。

30

数値実験は6カ月分10115本の操業実績について行い、精度評価には誤差平均とばらつきを両方を評価できる指標である2乗誤差平均RMSEを用いた。表1に、比較法1、2及び発明法の精度評価の結果を示す。

【0042】

【表1】

	比較法1	比較法2	発明法
RMSE	18.29	発散して計算できず	17.93

40

【0043】

表1によれば、比較法1では、重み係数を全て1としたため、予測対象材に近い近傍教師データを重視しながらの回帰ができず、モデル化誤差の予測精度は良くない。比較法2では、回帰計算が発散して、モデル化誤差予測値を計算できない鋼板があった。これらに対し、発明法では、回帰計算が発散することなく、良好な精度でモデル化誤差を予測できている。

【0044】

50

本発明を適用した鋼板の冷却停止温度予測装置、鋼板の冷却制御装置は、例えばCPU、ROM、RAM等を備えたコンピュータ装置により実現される。また、図1では、冷却停止温度計算部7、局所回帰モデル生成部10、冷却設定計算部11が1つのプロセスコンピュータ(冷却プロセスコンピュータ5)で動作する例を説明したが、それぞれ別個のコンピュータ装置で動作し、ネットワークを介して入出力を行うような形態でもよい。また、製造条件は圧延プロセスコンピュータ6からの入力となっているが、上位のビジネスコンピュータからの入力となる等、熱間圧延における加速冷却制御の形態として一般的である構成に対して本発明は適用可能である。

また、本発明は、本発明の機能を実現するソフトウェア(プログラム)を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータがプログラムを読み出して実行することによっても実現可能である。

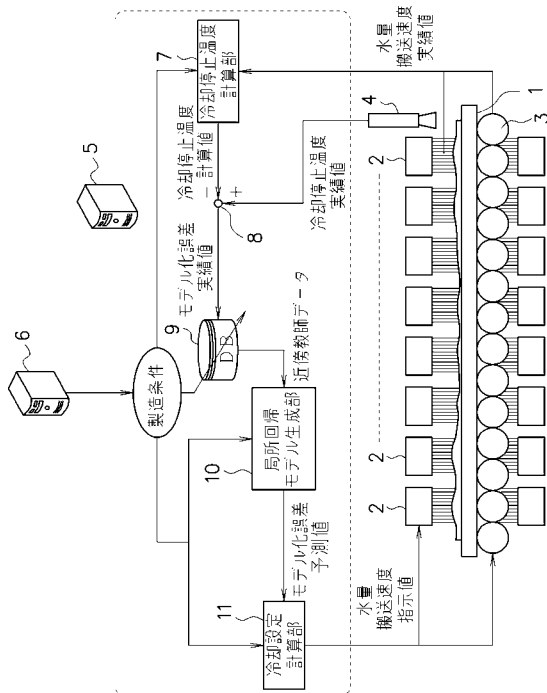
10

【符号の説明】

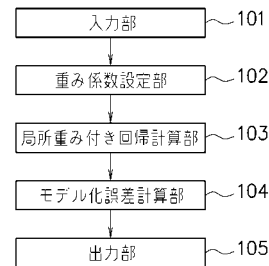
【0045】

1：鋼板、2：冷却ノズル、3：搬送テーブル、4：温度計、5：冷却プロセスコンピュータ、7：冷却停止温度計算部、8：減算器、9：データベース、10：局所回帰モデル生成部、11：冷却設定計算部、101：入力部、102：重み係数設定部、103：局所重み付き回帰計算部、104：モデル化誤差計算部、105：出力部

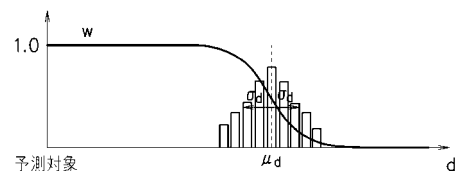
【図1】



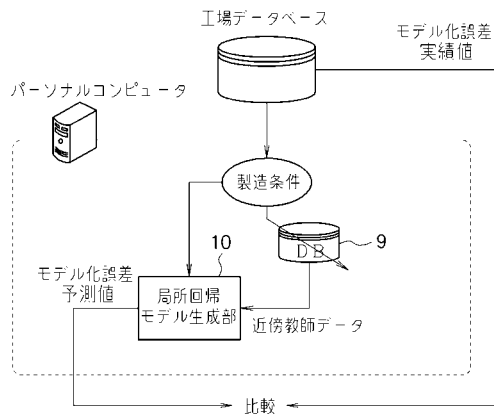
【図2】



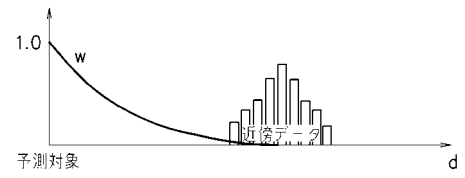
【図3】



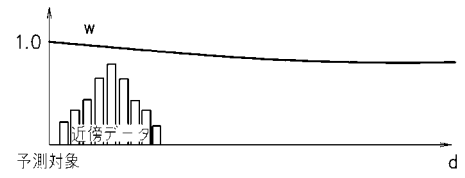
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 6 Q 50/04

【要約の続き】

【選択図】図1