

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7156538号

(P7156538)

(45)発行日 令和4年10月19日(2022.10.19)

(24)登録日 令和4年10月11日(2022.10.11)

(51)国際特許分類

F I

B 2 1 B 37/74 (2006.01)

B 2 1 B

37/74

A

B 2 1 B 45/02 (2006.01)

B 2 1 B

45/02

3 2 0 S

請求項の数 19 (全24頁)

(21)出願番号 特願2021-534898(P2021-534898)  
(86)(22)出願日 令和2年8月20日(2020.8.20)  
(86)国際出願番号 PCT/JP2020/031494  
(87)国際公開番号 WO2022/038751  
(87)国際公開日 令和4年2月24日(2022.2.24)  
審査請求日 令和3年6月16日(2021.6.16)

(73)特許権者 501137636  
東芝三菱電機産業システム株式会社  
東京都中央区京橋三丁目1番1号  
(74)代理人 110003199弁理士法人高田・高橋国際  
特許事務所  
(72)発明者 鈴木 敦  
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  
(72)発明者 佐野 光彦  
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  
審査官 國方 康伸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 熱間圧延ラインの制御装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の温度を予測する温度モデルに用いられる前記冷却装置における圧延材の通過速度の予測誤差の情報を記憶する記憶部と、

前記仕上圧延機により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、圧延材の通過速度の実績値に基づいて圧延材の通過速度の予測誤差の学習値を計算し、圧延材の通過速度の予測誤差の学習値に基づいて前記記憶部に記憶された圧延材の通過速度の予測誤差の情報を更新する学習部と、  
を備えた熱間圧延ラインの制御装置。

## 【請求項2】

前記学習部は、圧延材を仮想的に分割した複数の切板の各々に対して通過速度の予測誤差を学習する請求項1に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

## 【請求項3】

前記学習部は、圧延材が前記仕上圧延機の最終スタンドを抜けて前記熱間圧延ラインの速度基準が速度制御を行う前記仕上圧延機の最終スタンドから張力制御を行う前記巻取コイラに切り替わるタイミング以降において前記冷却装置を通過する切板の通過速度の予測誤差を学習する請求項2に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

## 【請求項4】

前記記憶部は、前記学習部により計算された学習値の情報を当該切板の鋼種の情報と目

10

20

標板厚の情報とに対応付けて記憶する請求項 2 または請求項 3 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 5】

前記学習部は、複数の切板の各々に対し、圧延材が前記仕上圧延機の最終スタンドを抜けてから前記冷却装置の複数のバンクの通過速度の予測誤差の平均値を学習する請求項 2 から請求項 4 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 6】

前記学習部は、圧延材が前記仕上圧延機の最終スタンドを抜けてから前記冷却装置を通過する複数の切板を先端部と中間部と尾端部に分けたうえで、先端部の切板における通過速度の予測誤差の平均値と中間部の切板における通過速度の予測誤差の平均値と尾端部の切板における通過速度の予測誤差の平均値とを学習する請求項 2 から請求項 4 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

10

【請求項 7】

前記仕上圧延機の出側における冷却前の圧延材の温度の実績値に基づいて前記温度モデルを用いて前記冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際に、前記温度モデルに入力する圧延材の通過速度の予測値として、複数の切板の各々における通過速度の予測値に前記記憶部の学習値を加算した値を用いる制御部、を備えた請求項 2 から請求項 6 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 8】

仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の温度を予測する温度モデルに用いられるコイラ減速開始タイミングの予測誤差の情報を記憶する記憶部と、

20

前記仕上圧延機により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、コイラ減速区間におけるライン速度の実績値に基づいてコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を計算し、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値に基づいて前記記憶部に記憶されたコイラ減速開始タイミングの予測誤差の情報を更新する学習部と、を備えた熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 9】

前記学習部は、コイラ減速区間の中間地点において、コイラ減速区間におけるライン速度の予測誤差の平均値の分だけライン速度の予測値が変化するようにコイラ減速開始タイミングの学習値を計算する請求項 8 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

30

【請求項 10】

前記記憶部は、前記学習部により計算された学習値の情報を当該圧延材の鋼種の情報と目標板厚の情報とに対応付けて記憶する請求項 8 または請求項 9 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 11】

前記仕上圧延機の出側における冷却前の圧延材の温度の実績値に基づいて前記温度モデルを用いて前記冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際に、前記温度モデルに入力する圧延材の通過速度の予測値を計算するためのコイラ減速開始タイミングの予測値に前記記憶部の学習値を加算した値を用いる制御部、を備えた請求項 8 から請求項 10 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

40

【請求項 12】

前記学習部は、コイラ減速レートの実績値に基づいてコイラ減速レートの予測値をフィルタリング学習する請求項 8 から請求項 11 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 13】

仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の先端部が前記冷却装置と前記巻取コイラとの間に設けられた巻取温度計を通過してから圧延材の尾端部が前記巻取コイラに到達する

50

までの間を前半部と後半部とに分けた際に、前半部における複数点のライン速度の実績値の情報と後半部における複数点のライン速度の実績値の情報を記憶した記憶部と、

前記記憶部に記憶された情報に基づいて、前半部における複数のライン速度の実績値を入力層とし、後半部における複数のライン速度の実績値を出力層とし、ニューラルネットワークの訓練を行う訓練部と、

前半部における複数点のライン速度の実績値を入力層として前記訓練部により訓練されたニューラルネットワークを用いて出力層を計算することにより後半部における複数点のライン速度の予測値を計算する予測部と、

を備えた熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 4】

前記訓練部は、圧延材の板厚と鋼種の区分番号とを入力層に含んで、ニューラルネットワークの訓練を行い、圧延材の板厚と鋼種の区分番号とを入力層に含んで、ニューラルネットワークを用いて後半部における複数点のライン速度の予測値を計算する請求項 1 3 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 5】

前記訓練部は、後半部における複数点のライン速度の予測値と実績値との誤差または当該誤差を用いた評価関数の値が基準値以下となるようにニューラルネットワークの各ニューロンの重みとバイアスとを調整する請求項 1 3 または請求項 1 4 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 6】

前記仕上圧延機の出側における冷却前の圧延材の温度の実績値に基づいて温度モデルを用いて前記冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際に、前記予測部により後半部における複数のライン速度の予測値が計算された後に前記仕上圧延機の出側における冷却前の温度の実測された切板に対し、前記温度モデルに入力する圧延材の通過速度の予測値を前記予測部により計算された後半部における複数のライン速度の予測値から計算する制御部、

を備えた請求項 1 3 から請求項 1 5 のいずれか一項に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 7】

仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の先端部が前記冷却装置と前記巻取コイラとの間に設けられた巻取温度計を通過してから圧延材の尾端部が前記巻取コイラに到達するまでの間における複数点のライン速度の実績値の情報を記憶した記憶部と、

前記仕上圧延機により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、複数点のライン速度の実績値に基づいてライン速度の予測誤差のフィルタリング学習を行う学習部と、

を備えた熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 8】

前記記憶部は、前記学習部により計算された学習値の情報を当該圧延材の鋼種の情報と目標板厚の情報とに対応付けて記憶する請求項 1 7 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【請求項 1 9】

前記仕上圧延機の出側における冷却前の圧延材の温度の実績値に基づいて温度モデルを用いて前記冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際に、前記温度モデルに入力する圧延材の通過速度の予測値をライン速度の予測値に前記学習部の学習値を加算した値から計算する制御部、

を備えた請求項 1 7 または請求項 1 8 に記載の熱間圧延ラインの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、熱間圧延ラインの制御装置に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 2 】

特許文献 1 は、熱間圧延ラインの制御装置を開示する。当該制御装置は、巻取温度の学習結果に基づいて冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 3 】

【 文献 】日本特許第 2 7 9 5 7 9 1 号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 4 】

しかしながら、ライン速度の予測誤差が大きいと、冷却装置による圧延材の冷却状態が変化する。この場合、特許文献 1 に記載された制御装置において冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度が悪くなる。

## 【 0 0 0 5 】

本開示は、上述の課題を解決するためになされた。本開示の目的は、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる熱間圧延ラインの制御装置を提供することである。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 6 】

本開示に係る熱間圧延ラインの制御装置は、仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の温度を予測する温度モデルに用いられる前記冷却装置における圧延材の通過速度の予測誤差の情報を記憶する記憶部と、前記仕上圧延機により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、圧延材の通過速度の実績値に基づいて圧延材の通過速度の予測誤差の学習値を計算し、圧延材の通過速度の予測誤差の学習値に基づいて前記記憶部に記憶された圧延材の通過速度の予測誤差の情報を更新する学習部と、を備えた。

## 【 0 0 0 7 】

本開示に係る熱間圧延ラインの制御装置は、仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の温度を予測する温度モデルに用いられるコイラ減速開始タイミングの予測誤差の情報を記憶する記憶部と、前記仕上圧延機 1 により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、コイラ減速区間におけるライン速度の実績値に基づいてコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を計算し、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値に基づいて前記記憶部に記憶されたコイラ減速開始タイミングの予測誤差の情報を更新する学習部と、を備えた。

## 【 0 0 0 8 】

本開示に係る熱間圧延ラインの制御装置は、仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の先端部が前記冷却装置と前記巻取コイラとの間に設けられた巻取温度計を通過してから圧延材の尾端部が前記巻取コイラに到達するまでの間を前半部と後半部とに分けた際に、前半部における複数点のライン速度の実績値の情報と後半部における複数点のライン速度の実績値の情報を記憶した記憶部と、前記記憶部に記憶された情報に基づいて、前半部における複数のライン速度の実績値を入力層とし、後半部における複数のライン速度の実績値を出力層とし、ニューラルネットワークの訓練を行う訓練部と、前半部における複数点のライン速度の実績値を入力層として前記訓練部により訓練されたニューラルネットワークを用いて出力層を計算することにより後半部における複数点のライン速度の予測値を計算する予測部と、を備えた。

## 【 0 0 0 9 】

本開示に係る熱間圧延ラインの制御装置は、仕上圧延機により圧延された圧延材を冷却

10

20

30

40

50

装置により注水して冷却した後に巻取コイラで巻き取る熱間圧延ラインにおいて、圧延材の先端部が前記冷却装置と前記巻取コイラとの間に設けられた巻取温度計を通過してから圧延材の尾端部が前記巻取コイラに到達するまでの間における複数点のライン速度の実績値の情報を記憶した記憶部と、前記仕上圧延機により圧延された圧延材を前記冷却装置により注水して冷却した後に前記巻取コイラで巻き取るたびに、複数点のライン速度の実績値に基づいてライン速度の予測誤差のフィルタリング学習を行う学習部と、を備えた。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本開示によれば、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの要部の構成図である。

【図 2】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される切板の斜視図である。

【図 3】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置により計算された切板の温度の予測値を示す図である。

【図 4】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される R O T 冷却装置における切板の通過速度の予測値と実績値とを示す図である。

【図 5】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【図 6】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置において切板の通過速度の予測誤差の学習値を使用する方法を説明するための図である。

【図 7】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置による切板の温度降下の予測値を示す図である。

【図 8】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルの変形例を示す図である。

【図 9】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置のハードウェア構成図である。

【図 10】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置の制御による熱間圧延ラインの速度を示す図である。

【図 11】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置による熱間圧延ラインの速度の予測値と実績値とを示す図である。

【図 12】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインのコイラ減速の開始予測タイミングと開始実績タイミングとを示す図である。

【図 13】実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【図 14】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置においてコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を使用する方法を説明するための図である。

【図 15】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置による切板の温度降下の予測値を示す図である。

【図 16】実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置 7 が適用される熱間圧延ラインの速度の実績値とコイラ減速レートの実績値とを示す図である。

【図 17】実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの速度を示す図である。

【図 18】実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置が用いるニューラルネットワークの入力層と出力層と中間層とを示す図である。

【図 19】実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置によるニューラルネットワークの訓練の演算の例を示す図である。

【図 20】実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 1】実施の形態 4 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの速度を示す図である。

【図 2 2】実施の形態 4 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態について添付の図面に従って説明する。なお、各図中、同一または相当する部分には同一の符号が付される。当該部分の重複説明は適宜に簡略化ないし省略する。

【0013】

実施の形態 1 .

図 1 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの要部の構成図である。

【0014】

図 1 の熱間圧延ラインにおいて、仕上圧延機 1 は、図示されない粗圧延機の下流側に設けられる。ROT 冷却装置 2 は、仕上圧延機 1 の下流側に設けられる。ピンチロール 3 は、ROT 冷却装置 2 の下流側に設けられる。巻取コイラ 4 は、ピンチロール 3 の下流側に設けられる。

【0015】

ROT 冷却装置 2 は、注水装置を備える。ROT 冷却装置 2 において、注水装置は、冷却水の供給系統で複数のバンクに区分される。複数のバンクは、熱間圧延ラインの長さ方向に並ぶ。複数のバンクの各々は、複数の注水バルブを備える。複数の注水バルブは、熱間圧延ラインの長さ方向に並ぶ。複数の注水バルブの各々に対し、複数のノズルが設けられる。複数のノズルは、熱間圧延ラインの幅方向に並ぶ。

【0016】

仕上圧延機出側温度計 5 は、仕上圧延機 1 と ROT 冷却装置 2 との間に設けられる。巻取温度計 6 は、ROT 冷却装置 2 とピンチロール 3 との間に設けられる。

【0017】

仕上圧延機 1 は、圧延材を仕上圧延する。その後、仕上圧延機出側温度計 5 は、冷却前に当該圧延材の全長の初期温度を FDT 実績値として計測する。その後、ROT 冷却装置 2 は、一定の圧力で注水することで当該圧延材を冷却する。その後、巻取温度計 6 は、当該圧延材の全長の初期温度を CT 実績値として計測する。その後、巻取コイラ 4 は、当該圧延材を巻き取る。

【0018】

制御装置 7 は、記憶部 7 a と学習部 7 b と制御部 7 c とを備える。

【0019】

圧延材の先端が仕上圧延機 1 に噛み込んだ後、制御装置 7 は、制御部 7 c により、仕上圧延機 1 の最終スタンドにより圧延材の速度を制御する。この際、制御装置 7 は、制御部 7 c により、巻取コイラ 4 による圧延材の巻き形状を良好に保つために巻取コイラ 4 の巻取り中心となるマンドレルのトルクを制御する。

【0020】

この際のトルク基準は、その時点でのコイルの半径の計算値と圧延材の曲げに要するトルク等を考慮して仕上圧延機 1 の最終スタンドと巻取コイラ 4 のマンドレルとの間の張力の値が予め設定された張力基準値となるように設定される。この際、コイルの半径は、巻取コイラ 4 のマンドレルの回転回数と圧延材の板厚と圧延材の占積率とから計算される。

【0021】

圧延材の尾端が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後は、仕上圧延機 1 の最終スタンドと巻取コイラ 4 のマンドレルとの間の張力が消失する。このため、制御装置 7 は、制御部 7 c により、巻取コイラ 4 での圧延材の巻き形状を良好に保つためにピンチロール 3 で圧延材を予め設定された圧力で挟み込む制御を行う。その結果、ピンチロール 3 と巻取コイラ 4 のマンドレルとの間において張力が発生する。この状態において、制御装置 7 は、

10

20

30

40

50

制御部 7 c により、巻取コイラ 4 のマンドレルのトルクを制御する。

【 0 0 2 2 】

この際のトルク基準は、ピンチロール 3 と巻取コイラ 4 のマンドレルとの間の張力が予め設定された張力基準値となるように設定される。

【 0 0 2 3 】

制御装置 7 は、制御部 7 c により、仕上圧延機出側温度計 5 で計測した各切板の F D T 実績値を開始点として、R O T 冷却装置 2 をフィードフォワード制御する。具体的には、制御装置 7 は、制御部 7 c により、仕上圧延機出側温度計 5 で計測した各切板の F D T 実績値を開始点として、圧延材の最終的な巻取温度の予測値が巻取温度の目標値に一致するように R O T 冷却装置 2 の各バンクの入側および出側での各切板の温度の予測値を計算する。この際、制御装置 7 は、制御部 7 c により、温度モデルを用いて各バンクでの各切板の温度降下を計算する。制御装置 7 は、制御部 7 c により、温度モデルに用いる各切板の通過速度の予測値に対して記憶部 7 a の学習テーブルに記憶された学習値を加算する。

10

【 0 0 2 4 】

圧延材の最終的な巻取温度の予測値が巻取温度の目標値に一致しない場合、制御装置 7 は、制御部 7 c により、各バンクでの冷却水量を更新して各バンクでの各切板の温度降下を再び計算する。制御装置 7 は、制御部 7 c により、当該冷却水量を満たすように優先順位に従って R O T 冷却装置 2 における全てのバルブの開閉を制御する。

【 0 0 2 5 】

制御装置 7 は、学習部 7 b により、仕上圧延機 1 の最終スタンドのワークロールの回転角速度の実績値  $F_7^{res}$  とロール径  $R_{F7}$  と巻取コイラ 4 の回転角速度の実績値  $D_C^{res}$  とコイルの半径  $R_{DC}$  とから R O T 冷却装置 2 を通過中の各切板の通過速度の実績値を計算する。制御装置 7 は、学習部 7 b により、巻取コイラ 4 の回転角速度の実績値  $D_C^{res}$  とコイルの半径  $R_{DC}$  との代わりに下側のピンチロール 3 の回転角速度の実績値と半径とを用いることもある。

20

【 0 0 2 6 】

圧延材の全体が巻取コイラ 4 に巻き取られるたびに、制御装置 7 は、学習部 7 b により、R O T 冷却装置 2 を通過中の各切板の通過速度の実績値に基づいて各切板の通過速度の学習値を計算する。制御装置 7 は、学習部 7 b により、圧延材の通過速度の予測誤差の学習値に基づいて前記憶部 7 a に記憶された圧延材の通過速度の予測誤差の情報を更新する。

30

【 0 0 2 7 】

次に、図 2 を用いて、温度モデルの考え方を説明する。

図 2 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される切板の斜視図である。

【 0 0 2 8 】

図 2 に示されるように、圧延材が R O T 冷却装置 2 の直下において搬送される際、熱の出入りは、圧延材を一定長の切板に仮想的に分割した上で計算される。例えば、一定長は、3 m から 5 m の間で設定される。

【 0 0 2 9 】

熱の出入りの要素としては、水冷熱伝達、放射、相変態による発熱等が考えられる。例えば、水冷熱伝達のみが要素である場合、水冷による抜熱量  $Q_{water}(W)$  は、次の ( 1 ) 式で表される。

40

【 0 0 3 0 】

【 数 1 】

$$Q_{water} = h_w A_w (T_{surf} - T_w) \quad (1)$$

【 0 0 3 1 】

( 1 ) 式において、 $h_w$  は水冷熱伝達係数 ( $W / mm^2 /$  ) である。 $A_w$  は冷却水と接触する切板の上下面の面積 ( $mm^2$  ) である。 $A_w$  は各バンクにおいて開く注水バルブの

50

数で変化する。T<sub>surf</sub>は切板の表面温度（ ）である。T<sub>w</sub>は冷却水の温度（ ）である。

【 0 0 3 2 】

この際、各切板の温度変化は、次の（ 2 ）式で表される。

【 0 0 3 3 】

【 数 2 】

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta t} = \frac{Q_{water}}{l_k H_k B_k \rho C_p} \leftrightarrow \Delta T_i = \frac{Q_{water}}{l_k H_k B_k \rho C_p} \Delta t \leftrightarrow \Delta T_i = \frac{Q_{water}}{l_k H_k B_k \rho C_p} \frac{L_i}{v_k^i} \quad (2)$$

【 0 0 3 4 】

（ 2 ）式において、T<sub>i</sub>はバンク i での切板 k の降下温度（ ）である。i はバンクの番号である。t は時間（ s ）である。l<sub>k</sub>は切板 k の進行方向の長さ（ mm ）である。H<sub>k</sub>は切板 k の板厚（ mm ）である。B<sub>k</sub>は切板 k の幅（ mm ）である。は切板 k の密度（ kg / mm<sup>3</sup> ）である。C<sub>p</sub>は切板 k の比熱（ J / kg / ）である。L<sub>i</sub>はバンク i の長さである。v<sub>k</sub><sup>i</sup>（ m / s ）はバンク i での切板 k の通過速度である。

【 0 0 3 5 】

次に、図 3 を用いて、R O T 冷却装置 2 における切板の温度の予測値を説明する。

図 3 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置により計算された切板の温度の予測値を示す図である。

【 0 0 3 6 】

図 3 は、一つのバンクにおいて切板の通過速度は一定であると仮定される場合の切板の温度の予測値を示す。切板が冷却される前に、制御装置 7 は、（ 1 ）式と（ 2 ）式とを用いて各バンクの入側および出側での各切板の温度の予測値を計算する。（ 2 ）式の右辺により、切板の温度の予測値の降下率は、切板の通過速度により変化する。

【 0 0 3 7 】

次に、図 4 を用いて、R O T 冷却装置 2 における切板の通過速度の予測誤差の学習を説明する。

図 4 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される R O T 冷却装置における切板の通過速度の予測値と実績値とを示す図である。

【 0 0 3 8 】

切板の冷却現象は、切板が高速で移動する際と切板が静止している際とで異なる。このため、冷却現象において、切板の通過速度の影響が考慮される。具体的には、バンク i における水冷熱伝達係数 h<sub>w</sub><sup>i</sup>は、次の（ 3 ）式で表される。

【 0 0 3 9 】

【 数 3 】

$$h_w^i = f_w^i \cdot \left( \frac{v_0}{v_k^i} \right)^{b_w} \quad (3)$$

【 0 0 4 0 】

（ 3 ）式において、f<sub>w</sub><sup>i</sup>（ W / mm<sup>2</sup> / ）はモデル予測関数値である。V<sub>0</sub>（ m / s ）は基準速度である。b<sub>w</sub>（ - ）は調整係数である。

【 0 0 4 1 】

（ 2 ）式と（ 3 ）式とにより、切板の温度の予測値の降下率は、切板の通過速度により大きく変化する。

【 0 0 4 2 】

制御装置 7 は、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後の切板の通過速度の予測誤差を学習する。

【 0 0 4 3 】

例えば、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後、切板 k は、上流側から 4 番目のバンクを通過する。この場合、制御装置 7 は、切板 k の通過速度の予測値の情報と実

10

20

30

40

50



績値の情報とを R O T 冷却装置 2 の長手方向の位置の情報に対応付けて記憶する。

【 0 0 4 4 】

その後、制御装置 7 は、上流側から 4 番目のバンクから n 番目のバンクにおける切板 k の通過速度の予測値  $vd_k^i$  と実績値  $v_k^i$  との差の平均値  $V_{error}^{CUR}(k)$  を計算する。具体的には、制御装置 7 は、次の (4) を用いて  $V_{error}^{CUR}(k)$  を計算する。

【 0 0 4 5 】

【 数 4 】

$$v_{error}^{CUR}(k) = \frac{\sum_{i=4}^N (v_k^i - vd_k^i)}{N - 4 + 1} \quad (4)$$

10

【 0 0 4 6 】

次に、制御装置 7 は、切板 k の通過速度の予測値  $vd_k^i$  と実績値  $v_k^i$  との差の平均値  $V_{error}^{CUR}(k)$  に対してフィルタリング更新を行う。具体的には、制御装置 7 は、次の (5) 式を用いてフィルタリング更新を行う。

【 0 0 4 7 】

【 数 5 】

$$v_{error}^{new}(k) = v_{error}^{old}(k) + \beta(k) * v_{error}^{CUR}(k) \quad (5)$$

【 0 0 4 8 】

20

(5) 式において、 $V_{error}^{new}(k)$  はフィルタリング更新後における切板 k の通過速度の学習値である。 $V_{error}^{old}(k)$  はフィルタリング更新前における切板 k の通過速度の学習値である。  $\beta$  は学習ゲインである。  $\beta$  は 0 以上かつ 1 以下の値である。

【 0 0 4 9 】

次に、図 5 を用いて、切板の通過速度の予測誤差の学習値を管理する方法を説明する。

図 5 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【 0 0 5 0 】

図 5 に示されるように、学習テーブルにおいて、「学習値 (m/s)」の情報は、「鋼種」の情報と「目標板厚 (mm)」の情報と「切板番号」の情報とに対応付けられる。

【 0 0 5 1 】

30

「学習値 (m/s)」の情報は、フィルタリング更新前における切板の通過速度の学習値を示す情報である。「鋼種」の情報は、圧延材の材質を示す情報である。「目標板厚 (mm)」の情報は、圧延された製品の目標板厚を示す情報である。「切板番号」の情報は、切板を識別する番号を示す情報である。

【 0 0 5 2 】

切板の通過速度の予測誤差の学習値が更新される際、学習テーブルにおいて当該切板と同じ「鋼種」と「目標板厚 (mm)」と「切板番号」のセルの値のみが更新される。

【 0 0 5 3 】

次に、図 6 を用いて、切板の通過速度の予測誤差の学習値を使用する方法を説明する。

図 6 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置において切板の通過速度の予測誤差の学習値を使用する方法を説明するための図である。

40

【 0 0 5 4 】

図 6 に示されるように、制御装置 7 は、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後に通過する各バンクでの切板 k の通過速度の予測値に学習値  $V_{error}^{old}(k)$  を加算する。

【 0 0 5 5 】

次に、図 7 を用いて、切板の温度降下の予測値を説明する。

図 7 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置による切板の温度降下の予測値を示す図である。

【 0 0 5 6 】

50

図 7 に示されるように、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後に通過する各バンクの入側及び出側において、切板の温度降下の予測値も補正される。

【 0 0 5 7 】

以上で説明した実施の形態 1 によれば、制御装置 7 は、圧延材の通過速度の予測誤差の情報を更新する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる。

【 0 0 5 8 】

また、制御装置 7 は、複数の切板の各々に対して通過速度の予測誤差を学習する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

10

【 0 0 5 9 】

また、制御装置 7 は、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けて熱間圧延ラインの速度基準が速度制御を行う仕上圧延機 1 の最終スタンドから張力制御を行う巻取コイラ 4 に切り替わるタイミング以降において前記冷却装置を通過する切板の通過速度の予測誤差を学習する。このため、切板の通過速度の予測誤差が大きくなる点のみを効率的に学習することができる。

【 0 0 6 0 】

また、制御装置 7 は、学習値の情報を当該切板の鋼種の情報と目標板厚の情報とに対応付けて記憶する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

20

【 0 0 6 1 】

また、制御装置 7 は、数の切板の各々に対し、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けてから前記冷却装置の複数のバンクの通過速度の予測誤差の平均値を学習する。このため、切板の通過速度の予測誤差が大きくなる点のみを効率的に学習することができる。

【 0 0 6 2 】

次に、図 8 を用いて、学習テーブルの変形例を説明する。

図 8 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルの変形例を示す図である。

【 0 0 6 3 】

図 8 に示されるように、学習テーブルにおいて、「学習値 ( m / s )」の情報は、「鋼種」の情報と「目標板厚 ( mm )」の情報と「 P a r t 」の情報と「該当する切板番号」の情報とに対応付けられる。

30

【 0 0 6 4 】

「 P a r t 」の情報は、圧延材の長手方向の部分を示す情報である。具体的には、「 H e a d 」の情報は、圧延材の長手方向の先端部を示す情報である。「 M i d d l e 」の情報は、圧延材の長手方向の中間部を示す情報である。「 T a i l 」の情報は、圧延材の長手方向の尾端部を示す情報である。

【 0 0 6 5 】

「該当する切板番号」の情報は、図 6 における「切板番号」のうちの該当する「切板番号」を示す情報である。具体的には、「 h < 3 」と「 H e a d 」とには、「 m ~ i n t { ( n - m ) / 3 } 」が対応する。「 h < 3 」と「 M i d d l e 」とには、「 i n t { ( n - m ) / 3 } + 1 ~ i n t { 2 ( n - m ) / 3 } 」が対応する。「 h < 3 」と「 T a i l 」とには、「 i n t { 2 ( n - m ) / 3 } + 1 から n 」が対応する。「 3 < h < 5 」と「 H e a d 」とには、「 m ' ~ i n t { ( n ' - m ' ) / 3 } 」が対応する。「 3 < h < 5 」と「 M i d d l e 」とには、「 i n t { ( n ' - m ' ) / 3 } + 1 ~ i n t { 2 ( n ' - m ' ) / 3 } 」が対応する。「 3 < h < 5 」と「 T a i l 」とには、「 i n t { 2 ( n ' - m ' ) / 3 } + 1 から n ' 」が対応する。

40

【 0 0 6 6 】

「学習値 ( m / s )」の情報は、該当する複数のフィルタリング更新前における切板の通過速度の学習値の平均値を示す情報である。

50

## 【0067】

切板の長さの変更により切板の数が増加した場合、制御装置7は、新たな切板を「Head」と「Middle」と「Tail」とに対応した部分に3等分にして各切板が属する部分に分ける。制御装置7は、圧延材が仕上圧延機1の最終スタンドを抜けた後に通過する各バンクでの各切板の通過速度の予測値に各切板が属する「Part」の学習値  $Verro r^{old}(k)$  を加算する。

## 【0068】

以上で説明した変形例によれば、制御装置7は、新たな切板を「Head」と「Middle」と「Tail」とに対応した部分に3等分にして各切板が属する部分に分ける。制御装置7は、圧延材が仕上圧延機1の最終スタンドを抜けた後に通過する各バンクでの各切板の通過速度の予測値に各切板が属する「Part」の学習値  $Verro r^{old}(k)$  を加算する。このため、切板の長さの設定が変更されたり切板の総数が増えたりした場合でも、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

## 【0069】

次に、図9を用いて、制御装置7の例を説明する。

図9は実施の形態1における熱間圧延ラインの制御装置のハードウェア構成図である。

## 【0070】

制御装置7の各機能は、処理回路により実現し得る。例えば、処理回路は、少なくとも1つのプロセッサ100aと少なくとも1つのメモリ100bとを備える。例えば、処理回路は、少なくとも1つの専用のハードウェア200を備える。

## 【0071】

処理回路が少なくとも1つのプロセッサ100aと少なくとも1つのメモリ100bとを備える場合、制御装置7の各機能は、ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせで実現される。ソフトウェアおよびファームウェアの少なくとも一方は、プログラムとして記述される。ソフトウェアおよびファームウェアの少なくとも一方は、少なくとも1つのメモリ100bに格納される。少なくとも1つのプロセッサ100aは、少なくとも1つのメモリ100bに記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、制御装置7の各機能を実現する。少なくとも1つのプロセッサ100aは、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、DSPともいう。例えば、少なくとも1つのメモリ100bは、RAM、ROM、フラッシュメモリ、EPROM、EEPROM等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVD等である。

## 【0072】

処理回路が少なくとも1つの専用のハードウェア200を備える場合、処理回路は、例えば、単回路、複回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC、FPGA、またはこれらの組み合わせで実現される。例えば、制御装置7の各機能は、それぞれ処理回路で実現される。例えば、制御装置7の各機能は、まとめて処理回路で実現される。

## 【0073】

制御装置7の各機能について、一部を専用のハードウェア200で実現し、他部をソフトウェアまたはファームウェアで実現してもよい。例えば、制御部7cの機能については専用のハードウェア200としての処理回路で実現し、制御部7cの機能以外の機能については少なくとも1つのプロセッサ100aが少なくとも1つのメモリ100bに格納されたプログラムを読み出して実行することにより実現してもよい。

## 【0074】

このように、処理回路は、ハードウェア200、ソフトウェア、ファームウェア、またはこれらの組み合わせで制御装置7の各機能を実現する。

## 【0075】

実施の形態 2 .

図 10 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置の制御による熱間圧延ラインの速度を示す図である。なお、実施の形態 1 の部分と同一又は相当部分には同一符号が付される。当該部分の説明は省略される。

【0076】

圧延材の板厚が 5 mm 以下である場合、仕上圧延のライン速度は高速である。このため、図 10 に示されるように、圧延材が仕上圧延機 1 を抜けた後、ライン速度を落とす必要がある。

【0077】

この場合、制御装置 7 は、仕上圧延機出側温度計 5 で計測した各切板の FDT 実績値を開始点として ROT 冷却装置 2 をフィードフォワード制御する際、温度モデルに用いるコイラ減速開始タイミングの予測値に学習テーブルに記憶された学習値を加算する。この際、制御装置 7 は、学習テーブルに記憶された減速レートの学習値を使用する。

10

【0078】

圧延材の全体が巻取コイラ 4 に巻き取られるたびに、制御装置 7 は、ライン速度の実績値に基づいてコイラ減速開始タイミングの学習値の情報と減速レートの学習値の情報を学習テーブルに記憶する。

【0079】

次に、図 11 を用いて、ライン速度の予測誤差の平均値の計算方法を説明する。

図 11 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置による熱間圧延ラインの速度の予測値と実績値とを示す図である。

20

【0080】

図 11 に示されるように、コイラ減速予測区間  $T_{dCD}(s)$  に対し、制御装置 7 は、次の (6) 式を用いてライン速度の予測誤差の平均値  $v_{line}^{error}(m/s)$  を計算する。

【0081】

【数 6】

$$v_{line}^{error} = \frac{1}{T_{dCD}} \int_{t=t_{DS}}^{t_{CC}} \{v_{line}^{res}(t) - v_{dline}(t)\} dt \quad (6)$$

30

【0082】

(6) 式において、 $t_{DS}(s)$  は、コイラ減速開始予測時刻である。 $t_{CC}(s)$  は巻取完了時刻である。したがって、 $T_{dCD} = t_{CC} - t_{DS}$  の関係が成立する。 $v_{line}^{res}(t)(m/s)$  は時刻  $t$  におけるライン速度の実績値である。 $v_{dline}(t)(m/s)$  は時刻  $t$  におけるライン速度の予測値である。

【0083】

圧延材の尾端が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜ける前において、制御装置 7 は、仕上圧延機 1 の最終スタンドの周速の実績値をライン速度の実績値とする。圧延材の尾端が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後において、制御装置 7 は、下側のピンチロール 3 の周速の実績値をライン速度の実績値とする。

40

【0084】

次に、図 12 を用いて、コイラ減速の開始タイミングの予測誤差の学習を説明する。

図 12 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインのコイラ減速の開始予測タイミングと開始実績タイミングとを示す図である。

【0085】

図 12 に示されるように、コイラ減速区間の中間地点において、ライン速度の予測誤差の平均値  $v_{line}^{error}$  だけライン速度の予測値が変化するようにコイラ減速開始時間を変化させた値がコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値  $Z_{DS}^{CUR}(s)$  となる。具体的には、制御装置 7 は、次の (7) 式を用いてコイラ減速開始タイミングの予

50

測誤差の学習値  $Z_{DS}^{CUR}(s)$  を計算する。

【 0 0 8 6 】

【 数 7 】

$$z_{DS}^{CUR}(s) = \frac{va_{line}^{error}}{ad_{CD}} \quad (7)$$

【 0 0 8 7 】

( 7 ) 式において、 $ad_{CD} (m/s^2)$  は、コイラ減速の予測レートである。 $ad_{CD}$  は、次の ( 8 ) 式で表される。

【 0 0 8 8 】

【 数 8 】

$$ad_{CD} = \frac{vd_{line}(t_{CC}) - vd_{line}(td_{DS})}{Td_{CD}} \quad (8)$$

【 0 0 8 9 】

制御装置 7 は、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値  $Z_{DS}^{CUR}(s)$  に対してフィルタリング更新を行う。具体的には、制御装置 7 は、次の ( 9 ) 式を用いてフィルタリング更新を行う。

【 0 0 9 0 】

【 数 9 】

$$z_{DS}^{new}(s) = z_{DS}^{old}(s) + \gamma * z_{DS}^{CUR}(s) \quad (9)$$

【 0 0 9 1 】

( 9 ) 式において、 $Z_{DS}^{new}(s)$  はフィルタリング更新後におけるコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値である。 $Z_{DS}^{old}(s)$  はフィルタリング更新前におけるコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値である。 $\gamma$  は学習ゲインである。 $\gamma$  は 0 以上かつ 1 以下の値である。

【 0 0 9 2 】

次に、図 1 3 を用いて、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を管理する方法を説明する。

図 1 3 は実施の形態 1 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【 0 0 9 3 】

図 1 3 に示されるように、学習テーブルにおいて、学習値は、「鋼種」の情報と「板厚」の情報とに対応したセルに格納される。

【 0 0 9 4 】

切板の通過速度の予測誤差の学習値が更新される際、学習テーブルにおいて当該切板と同じ「鋼種」と「板厚」とに対応したセルの値のみが更新される。

【 0 0 9 5 】

次に、図 1 4 を用いて、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を使用する方法を説明する。

図 1 4 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置においてコイラ減速開始タイミングの予測誤差の学習値を使用する方法を説明するための図である。

【 0 0 9 6 】

図 1 4 に示されるように、制御装置 7 は、時間軸上のライン速度の予測においてコイラ減速開始のタイミングの予測を学習値  $Z_{DS}^{old}(s)$  の分だけ補正する。

【 0 0 9 7 】

次に、図 1 5 を用いて、切板の温度降下の予測値を説明する。

図 1 5 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置による切板の温度降下の予測値を示す図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

図 1 5 に示されるように、圧延材が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後に通過する各バンクの入側及び出側において、切板の温度降下の予測値も補正される。

【 0 0 9 9 】

次に、図 1 6 を用いて、コイラ減速レートの予測値の学習を説明する。

図 1 6 は実施の形態 2 における熱間圧延ラインの制御装置 7 が適用される熱間圧延ラインの速度の実績値とコイラ減速レートの実績値とを示す図である。

【 0 1 0 0 】

必要に応じて、制御装置 7 は、コイラ減速レートの予測値に対してフィルタリング更新を行う。この際、図 1 6 に示されるように、制御装置 7 は、圧延材の巻取りが完了した後  
10  
にライン速度の実績値を最小二乗法によって直線近似したうえで当該直線の傾きをコイラ減速レートの実績値  $a_{CD}^{CUR}$  ( $m/s^2$ ) として計算する。具体的には、制御装置 7 は、 $a_{CD}^{CUR}$  は、次の ( 1 0 ) 式を用いて  $a_{CD}^{CUR}$  を計算する。

【 0 1 0 1 】

【数 1 0】

$$a_{CD}^{CUR} = \frac{v_{line}(t_{CC}) - v_{line}(t_{DS})}{T_{CD}} \quad (10)$$

【 0 1 0 2 】

その後、制御装置 7 は、コイラ減速レートの予測値に対してフィルタリング更新を行う  
20  
。具体的には、制御装置 7 は、次の ( 1 1 ) 式を用いてフィルタリング更新を行う。

【 0 1 0 3 】

【数 1 1】

$$ad_{CD}^{new} = ad_{CD}^{old} + \gamma_{CD} * a_{CD}^{CUR} \quad (11)$$

【 0 1 0 4 】

( 1 1 ) 式において、 $ad_{CD}^{new}$  はフィルタリング更新後におけるコイラ減速レートの学習値である。 $ad_{CD}^{old}$  はフィルタリング更新前におけるコイラ減速レートの学習値である。 $\gamma_{CD}$  は学習ゲインである。 $\gamma_{CD}$  は 0 以上かつ 1 以下の値である。

【 0 1 0 5 】

学習テーブルにおいて、学習値は、「鋼種」の情報と「板厚」の情報とにセルに格納される。  
30

【 0 1 0 6 】

切板の通過速度の予測誤差の学習値が更新される際、学習テーブルにおいて当該切板と同じ「鋼種」と「板厚」とに対応したセルの値のみが更新される。

【 0 1 0 7 】

以上で説明した実施の形態 2 によれば、制御装置 7 は、コイラ減速開始タイミングの予測誤差の情報を更新する。このため、コイラ減速が行われる場合でも、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる。

【 0 1 0 8 】

また、制御装置 7 は、コイラ減速区間の中間地点において、コイラ減速区間におけるライン速度の予測誤差の平均値の分だけライン速度の予測値が変化するようにコイラ減速開始タイミングの学習値を計算する。このため、コイラ減速開始タイミングの予測誤差を容易に計算することができる。  
40

【 0 1 0 9 】

また、制御装置 7 は、学習値の情報を当該切板の鋼種の情報と目標板厚の情報とに対応付けて記憶する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

【 0 1 1 0 】

また、制御装置 7 は、コイラ減速レートの実績値に基づいてコイラ減速レートの予測値  
50

をフィルタリング学習する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

【 0 1 1 1 】

実施の形態 3 .

図 1 7 は実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの速度を示す図である。なお、実施の形態 1 の部分と同一又は相当部分には同一符号が付される。当該部分の説明は省略される。

【 0 1 1 2 】

実施の形態 3 において、制御装置 7 は、圧延材の尾端が仕上圧延機 1 の最終スタンドを抜けた後のコイラ減速によるライン速度の変化をニューラルネットワークで学習する。制御装置 7 は、訓練部 7 d により、ニューラルネットワークを訓練する。制御装置 7 は、予測部 7 e により、ニューラルネットワークを用いてライン速度の予測値を計算する。

10

【 0 1 1 3 】

例えば、「前半部」は、圧延材の先端部が巻取温度計 6 を通過してから圧延材の中間部が巻取温度計 6 を通過するまでの区間である。例えば、「後半部」は、圧延材の中間部が巻取温度計 6 を通過してから圧延材の尾端部が巻取コイラ 4 に到達するまでの区間である。

【 0 1 1 4 】

例えば、制御装置 7 は、「前半部」と「後半部」とにおいて等間隔でライン速度の実績値を 1 0 点ずつ採取する。制御装置 7 は、「前半部」の実績値を「入力群」とする。制御装置 7 は、「後半部」の実績値を「出力群」とする。

20

【 0 1 1 5 】

なお、「前半部」と「後半部」との境界は、「減速開始」を基本に設定されるが、圧延材の全長の半分程度 ( 4 0 % ~ 6 0 % ) としてもよい。また、実績値の採取の数は限定されない。例えば、「前半部」と「後半部」との境界を圧延材の全長の 4 0 % の位置として、「前半部」において 1 0 点の実績値を採取し、「後半部」において、2 0 点の実績値を採取してもよい。

【 0 1 1 6 】

制御装置 7 は、訓練済みのニューラルネットワークを用いて「後半部」のライン速度パターンの 1 0 点を予測し、「後半部」のライン速度パターンを修正する。具体的には、圧延材の中間部が仕上圧延機出側温度計 5 を通過することで「前半部」のライン速度の実績値の 1 0 点 が得られた時点で、制御装置 7 は、当該 1 0 点と板厚と One - Hot エンコーディングが適用された鋼種区分の番号とをニューラルネットワークに入力する。制御装置 7 は、ニューラルネットワークの出力として得られる「後半部」のライン速度パターンの予測値の 1 0 点を線形につなげて「後半部」の新たなライン速度パターンの予測値とする。新たなライン速度パターンの予測値が得られた後において仕上圧延機出側温度計 5 を通過する切板に対し、制御装置 7 は、新たなライン速度パターンの予測値に基づいて温度モデルを用いて R O T 冷却装置 2 をフィードフォワード制御する。

30

【 0 1 1 7 】

圧延材の全体が巻取コイラ 4 に巻き取られるたびに、制御装置 7 は、ニューラルネットワークに必要なデータをデータベースに記憶する。ある程度の本数の圧延材についてのデータが蓄積された時点で、制御装置 7 は、当該データを訓練データに加えたうえでニューロンの訓練を実行する。

40

【 0 1 1 8 】

次に、図 1 8 を用いて、ニューラルネットワークを説明する。

図 1 8 は実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置が用いるニューラルネットワークの入力層と出力層と中間層とを示す図である。

【 0 1 1 9 】

図 1 8 に示されるように、ニューラルネットワークは、入力層と中間層と出力層とを備える。入力層と中間層と出力層とは、順々に接続される。中間層は、少なくとも 1 層である。入力層と中間層と出力層と、少なくとも一つのニューロンを有する。例えば、各ニュー

50

ロンは、前後の層の全てのニューロンと結合される。例えば、各ニューロンは、前後の層の一部のニューロンと結合される。

【 0 1 2 0 】

制御装置 7 は、ニューラルネットワークの訓練を行う。制御装置 7 は、過去の圧延実績データから多数の圧延材の鋼種区分の番号と板厚とライン速度の実績データを読み込む。鋼種区分は、主に化学成分に基づいた区分である。ライン速度の実績データは、圧延材の先端部から尾端部にかけて採取された数百点のデータである。例えば、これらの実績データは、数千の製品の分だけ用いられる。

【 0 1 2 1 】

鋼種区分の番号には、One - Hot エンコーディングが適用される。例えば、鋼種区分の番号が 1 から 15 の範囲をとる場合、総数である 15 個の変数が用意される。当該圧延材の鋼種区分の番号が 3 番である場合、3 番目の変数は 1 とされる。3 番目以外の変数は 0 とされる。

10

【 0 1 2 2 】

入力層の各ニューロンには、One - Hot エンコーディングによる鋼種の区分番号と板厚と「前半部」の 10 点のライン速度の実績値が入力される。例えば、鋼種区分の番号が 1 から 15 の範囲をとる場合、入力層のニューロンの数は 26 個となる。

【 0 1 2 3 】

出力層の各ニューロンには、「後半部」の 10 点のライン速度の実績値が入力される。出力層のニューロンの数は 10 個となる。

20

【 0 1 2 4 】

中間層のニューロンの数は、入力層と出力層とのニューロンの数よりも十分に多い数である。例えば、各層において、ニューロンの数は、128 個とする。

【 0 1 2 5 】

次に、図 19 を用いて、ニューラルネットワークの訓練の演算の例を説明する。

図 19 は実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置によるニューラルネットワークの訓練の演算の例を示す図である。

【 0 1 2 6 】

図 19 に示されるように、入力  $V_1^F$  と入力  $V_2^F$  とは、入力層のニューロンである。 $N_1^F$  は、中間層のニューロンである。入力  $V_1^F$  と入力  $V_2^F$  とは、ニューロン  $N_1^F$  に入力される。

30

【 0 1 2 7 】

ニューロン  $N_1^F$  において、入力  $V_1^F$  と重み  $W_{1-1}^F$  の乗算結果と入力  $V_2^F$  と重み  $W_{2-1}^F$  の乗算結果との和が計算された後、必要に応じてバイアス  $b_1^F$  が加算されることで、値  $a_1^F$  が得られる。値  $a_1^F$  は、活性化関数  $h_1^F$  により変換される。ニューロン  $N_1^F$  からは、出力信号  $y = h_1^F(a)$  が出力される。

【 0 1 2 8 】

当該操作が繰り返されることで、出力層の各予測値が計算される。その後、出力層の各予測値の平均二乗誤差  $m e s$  が次の (12) 式により計算される。

【 0 1 2 9 】

40

【数 12】

$$mse = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} (va_k^B - v_k^B)^2 \quad (12)$$

【 0 1 3 0 】

制御装置 7 は、 $m e s$  が一定の基準値以下にするように各ニューロンの重み  $w$  とバイアス  $b$  とを調整する。制御装置 7 は、各ニューロンの重み  $w$  とバイアス  $b$  とを学習テーブルに記憶する。

【 0 1 3 1 】

50



次に、図 20 を用いて、ニューラルネットワークの訓練結果を管理する方法を説明する。

図 20 は実施の形態 3 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【0132】

図 20 に示されるように、学習テーブルにおいて、「重み  $w$ 」の情報と「バイアス  $b$ 」の情報とは、互いに対応付けられる。

【0133】

「重み  $w$ 」の情報は、各ニューロンの重み  $w$  を示す情報である。「バイアス  $b$ 」の情報は、各ニューロンのバイアス  $b$  を示す情報である。

【0134】

以上で説明した実施の形態 3 によれば、制御装置 7 は、前半部における複数点のライン速度の実績値を入力層としてニューラルネットワークを用いて出力層を計算することにより後半部における複数点のライン速度の予測値を計算する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる。

【0135】

また、制御装置 7 は、圧延材の板厚と鋼種の区分番号とを入力層に含んで、ニューラルネットワークを用いて後半部における複数点のライン速度の予測値を計算する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

【0136】

また、制御装置 7 は、後半部における複数点のライン速度の予測値と実績値との誤差または当該誤差を用いた評価関数の値が基準値以下となるようにニューラルネットワークの各ニューロンの重みとバイアスとを調整する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

【0137】

なお、ニューロンの訓練は、学習結果の反映を早める観点から圧延材の全体が巻取コイラ 4 に巻き取られるたびに行うことが望ましい。

【0138】

しかし、ニューロンの訓練における計算負荷が高い。このため、圧延中において制御装置 7 の計算能力に余裕がない場合は、仕上圧延機 1 等のロール交換中、修理期間中など、制御装置 7 の計算能力に余裕があるタイミングでニューロンを訓練してもよい。

【0139】

実施の形態 4 .

図 21 は実施の形態 4 における熱間圧延ラインの制御装置が適用される熱間圧延ラインの速度を示す図である。なお、実施の形態 3 の部分と同一又は相当部分には同一符号が付される。当該部分の説明は省略される。

【0140】

実施の形態 4 において、制御装置 7 は、仕上圧延機出側温度計 5 で計測した各切板の FDT 実績値を開始点として ROT 冷却装置 2 をフィードフォワード制御する際、ライン速度の予測値を学習テーブルに記憶された学習値に基づいて修正する。

【0141】

圧延材の全体が巻取コイラ 4 に巻き取られるたびに、時間軸におけるライン速度の予測パターンに対し、制御装置 7 は、圧延材の先端部が巻取温度を通過してから尾端部がコイラに到達するまでの範囲における複数点のライン速度の実績値を採取する。例えば、制御装置 7 は、10 点のライン速度の実績値を採取する。

【0142】

制御装置 7 は、次の (13) 式を用いて各時刻のライン速度の予測誤差を計算する。

【0143】

【数 13】

$$v_{error}^{CUR}(t_l) = v_{line}^{res}(t_l) - v_{dline}(t_l), l = 1, 2, \dots, 10 \quad (13)$$

10

20

30

40

50

【 0 1 4 4 】

制御装置 7 は、次の ( 1 4 ) 式を用いて各時刻での予測誤差に対してフィルタリング更新を行う。

【 0 1 4 5 】

【 数 1 4 】

$$v_{error}^{new}(t_l) = v_{error}^{old}(t_l) + \delta(l) * v_{error}^{CUR}(t_l) \quad (14)$$

【 0 1 4 6 】

( 1 4 ) 式において、 $V_{error}^{new}(t_l)$  はフィルタリング更新後におけるライン速度の学習値である。 $V_{error}^{old}(t_l)$  はフィルタリング更新前におけるライン速度の学習値である。( 1 ) は学習ゲインである。( 1 ) は 0 以上かつ 1 以下の値である。

10

【 0 1 4 7 】

制御装置 7 は、ライン速度の予測誤差の学習値の情報を学習テーブルに記憶する。

【 0 1 4 8 】

次に、図 2 2 を用いて、ライン速度の予測誤差の学習値を管理する方法を説明する。

図 2 2 は実施の形態 4 における熱間圧延ラインの制御装置の学習テーブルを示す図である。

【 0 1 4 9 】

図 2 2 に示されるように、学習テーブルにおいて、「学習値 ( m / s ) 」の情報は、「鋼種」の情報と「目標板厚 ( mm ) 」の情報と「サンプリング番号」の情報とに対応付けられる。

20

【 0 1 5 0 】

「学習値 ( m / s ) 」の情報は、フィルタリング更新前におけるライン速度の予測誤差の学習値を示す情報である。「鋼種」の情報は、圧延材の材質を示す情報である。「目標板厚 ( mm ) 」の情報は、圧延された製品の目標板厚を示す情報である。「サンプリング番号」の情報は、ライン速度の実績値をサンプリングした時間に対応する番号を示す情報である。

【 0 1 5 1 】

ライン速度の予測誤差の学習値が更新される際、学習テーブルにおいて当該切板と同じ「鋼種」と「目標板厚 ( mm ) 」と「サンプリング番号」のセルの値のみが更新される。

30

【 0 1 5 2 】

以上で説明した実施の形態 4 によれば、制御装置 7 は、複数点のライン速度の実績値に基づいてライン速度の予測誤差のフィルタリング学習を行う。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度を向上させることができる。

【 0 1 5 3 】

また、制御装置 7 は、学習値の情報を当該圧延材の鋼種の情報と目標板厚の情報とに対応付けて記憶する。このため、冷却装置による圧延材の冷却量をフィードフォワード制御する際の精度をより確実に向上させることができる。

【 産業上の利用可能性 】

40

【 0 1 5 4 】

以上のように、本開示の熱間圧延ラインの制御装置は、熱間圧延ラインに利用できる。

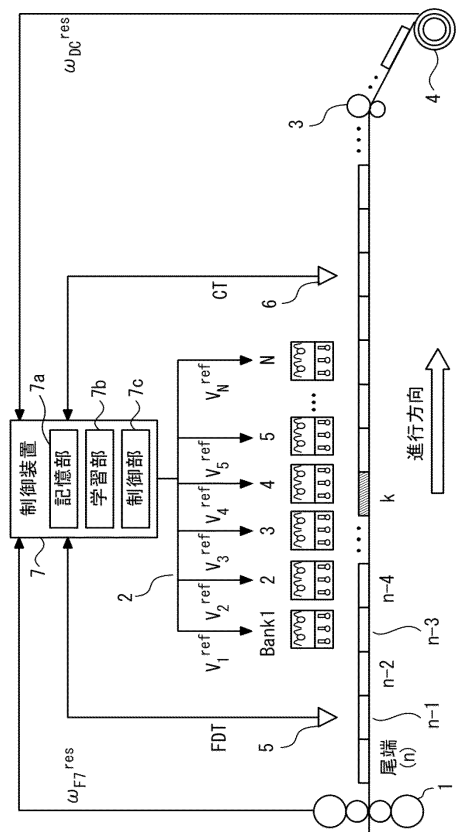
【 符号の説明 】

【 0 1 5 5 】

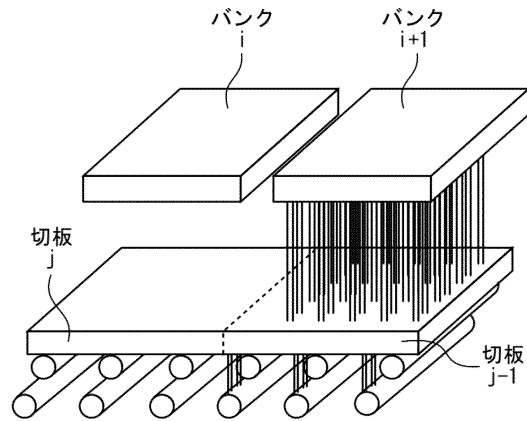
1 仕上圧延機、 2 R O T 冷却装置、 3 ピンチロール、 4 巻取コイラ、 5 仕上圧延機出側温度計、 6 巻取温度計、 7 制御装置、 7 a 記憶部、 7 b 学習部、 7 c 制御部、 7 d 訓練部、 7 e 予測部、 1 0 0 a プロセッサ、 1 0 0 b メモリ、 2 0 0 ハードウェア

【図面】

【図 1】



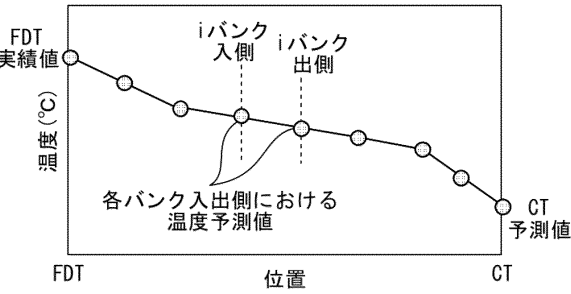
【図 2】



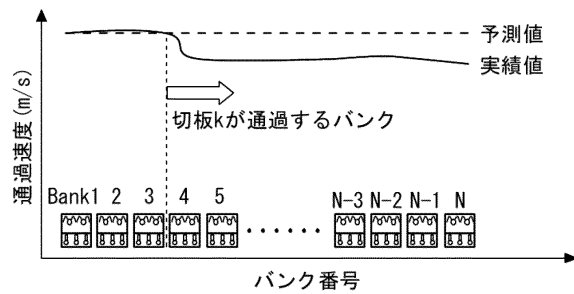
10

20

【図 3】



【図 4】



30

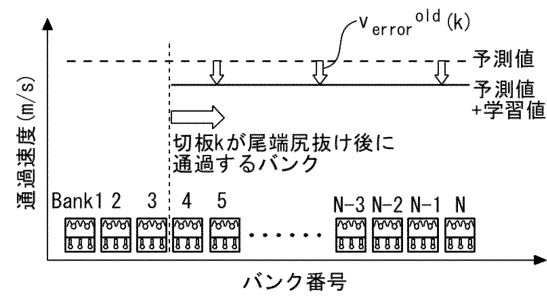
40

50

【図 5】

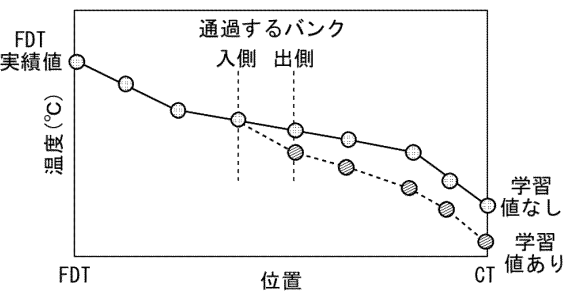
鋼種	目標板厚 (mm)	切板 番号	学習値 (m/s)
S15C	h<3	m	
		m+1	
		⋮	
		n	
	3<h<5	m'	
		m'+1	
		⋮	
		n'	
	⋮	⋮	
		⋮	
		⋮	
		⋮	

【図 6】



10

【図 7】



【図 8】

鋼種	目標板厚 (mm)	Part	該当する切板番号	学習値 (m/s)
S15C	h<3	Head	$m \sim \text{int} \{ (n-m)/3 \}$	
		Middle	$\text{int} \{ (n-m)/3 \} + 1 \sim \text{int} \{ 2(n-m)/3 \}$	
		Tail	$\text{int} \{ 2(n-m)/3 \} + 1 \sim n$	
	3<h<5	Head	$m' \sim \text{int} \{ (n'-m')/3 \}$	
		Middle	$\text{int} \{ (n'-m')/3 \} + 1 \sim \text{int} \{ 2(n'-m')/3 \}$	
		Tail	$\text{int} \{ 2(n'-m')/3 \} + 1 \sim n'$	
	⋮	⋮	⋮	⋮

int () は () の整数部分を示す。

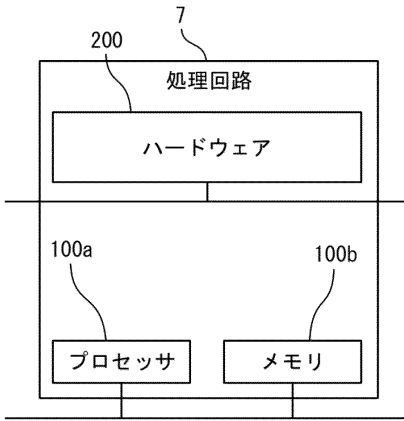
20

30

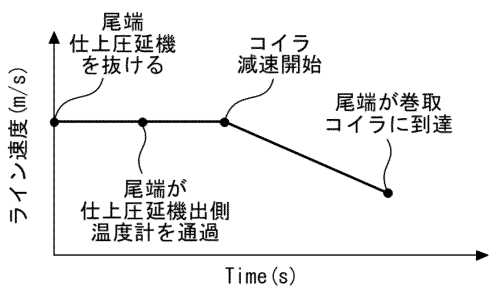
40

50

【図 9】

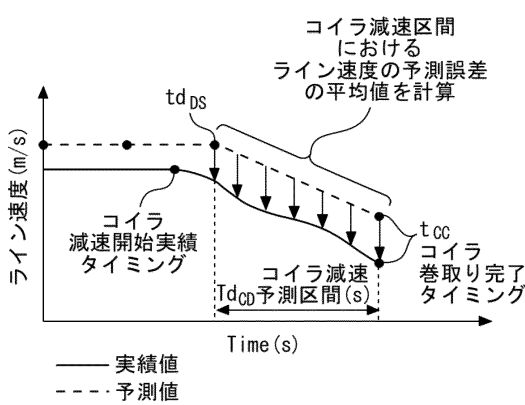


【図 10】

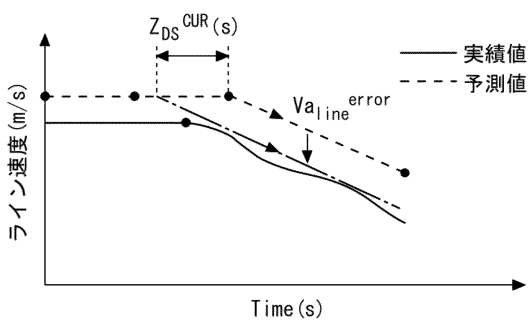


10

【図 11】



【図 12】

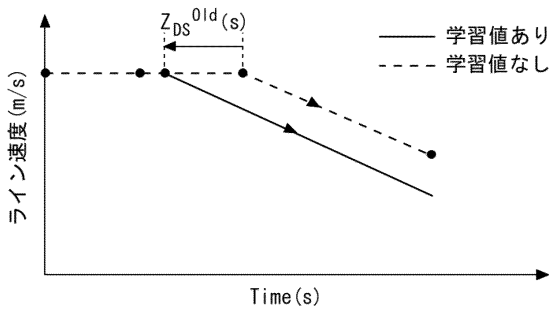


20

【図 13】

鋼種	板厚	h<3mm	3<h<5mm	5<h<7mm	...	...
SPHC						
SPCC						
SPHF						
...						
...						

【図 14】

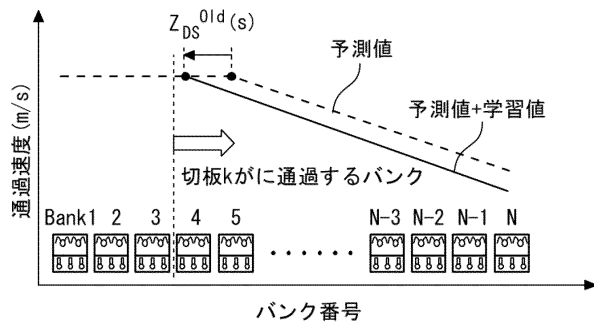


30

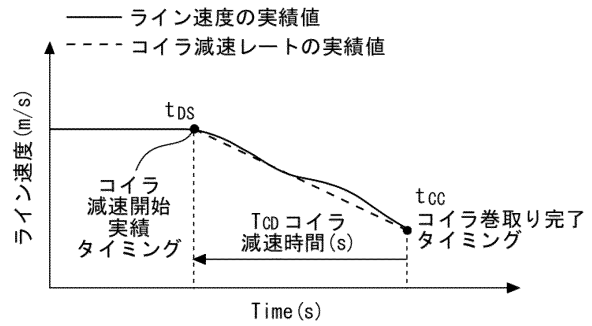
40

50

【図 15】

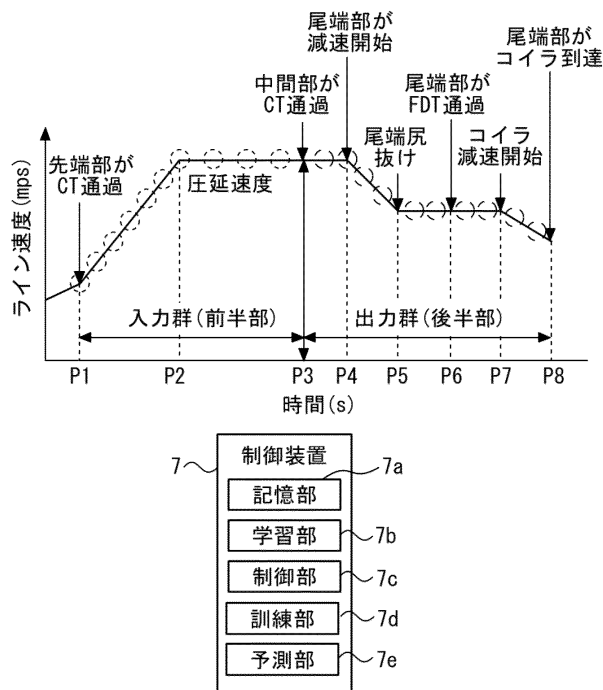


【図 16】

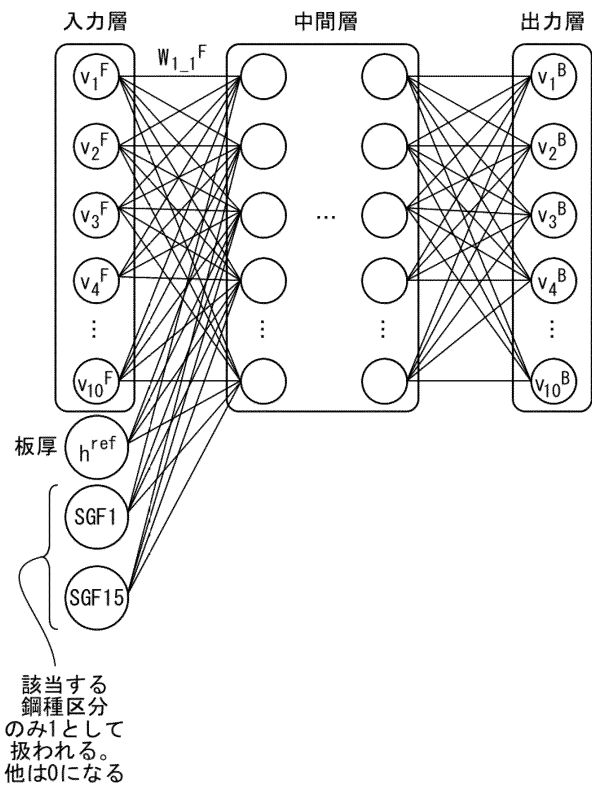


10

【図 17】



【図 18】



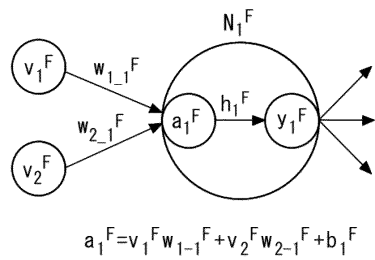
20

30

40

50

【図 19】

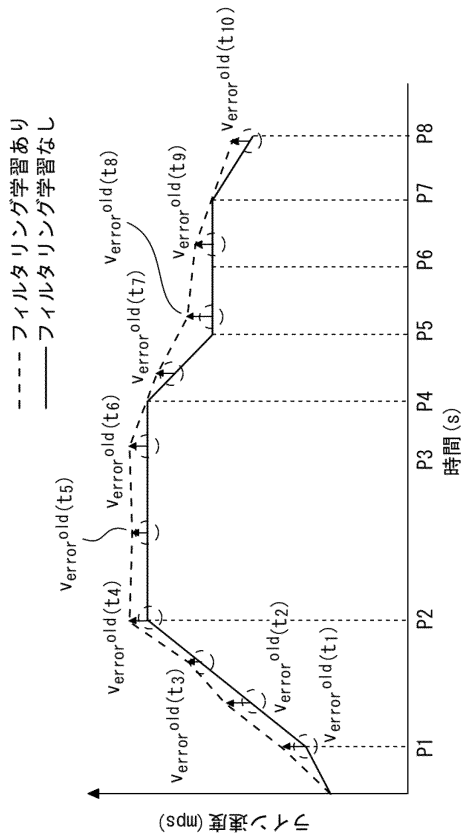


【図 20】

重みw	バイアスb
$w_{1-1}^F$	$b_1^F$
$w_{2-1}^F$	
$\vdots$	
$w_{26-1}^F$	
$w_{2-1}^F$	
$\vdots$	

10

【図 21】



【図 22】

鋼種	目標板厚 (mm)	サンプリング番号	学習値 (ライン速度の予測誤差) (m/s)
S15C	h<3	1	
		2	
		$\vdots$	
		10	
	3<h<5	1	
		2	
		$\vdots$	
		10	
	$\vdots$	$\vdots$	
		$\vdots$	

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 7 - 0 3 2 0 2 4 ( J P , A )  
特開昭 5 5 - 0 8 8 9 1 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 2 5 4 2 8 9 ( J P , A )  
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
B 2 1 B 3 7 / 0 0 - 3 7 / 7 8