

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6579964号
(P6579964)

(45) 発行日 令和1年9月25日(2019.9.25)

(24) 登録日 令和1年9月6日(2019.9.6)

(51) Int.Cl. F I
B 2 1 B 37/66 (2006.01) B 2 1 B 37/66

請求項の数 6 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-5509 (P2016-5509) (22) 出願日 平成28年1月14日 (2016.1.14) (65) 公開番号 特開2017-124428 (P2017-124428A) (43) 公開日 平成29年7月20日 (2017.7.20) 審査請求日 平成30年3月2日 (2018.3.2)</p>	<p>(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 (74) 代理人 110001807 特許業務法人磯野国際特許商標事務所 (72) 発明者 服部 哲 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 審査官 河口 展明</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧延機制御装置、圧延機制御方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被圧延材を圧延する圧延機において生じる周期的外乱に起因する前記被圧延材の物理量の変動量を検出する検出手段と、

前記周期的外乱を圧延方向の外乱周期に対応する一定長さごとに分割し、分割した一定長さに対応する周期的外乱の特定状態の位置を示す位相を求め、前記検出手段により検出される前記物理量の変動量を、前記物理量の変動が生じたときの前記周期的外乱の位相に対応付ける位相合わせ手段と、

比例制御に加え、積分制御を行う伝達関数の演算機構であって、比例制御に関する値を前記位相ごとに記憶する第1の記憶部と、積分制御に関する値を前記位相ごとに記憶する第2の記憶部と、を有し、前記位相合わせ手段により対応付けられた位相に関する前記第1の記憶部および前記第2の記憶部の値により、前記被圧延材の物理量の前記位相ごとの変動量から偏差が低減するように周期的外乱の影響部についての圧延機の制御量を算出するフィルタ演算機構と、

前記圧延機に出力する制御量を、その制御量を出力するときの前記位相に対応付けられた前記第1の記憶部および前記第2の記憶部にそれぞれ格納されている値に基づいて前記フィルタ演算機構により演算して、前記位相に応じて前記圧延機に出力する出力タイミング調整部と、

を備えることを特徴とする圧延機制御装置。

【請求項2】

10

20

前記周期的外乱は、前記圧延機のロール偏心によるロール径の変動であり、前記検出手段によって検出される物理量の変動量は、前記被圧延材の出側板厚偏差または前記被圧延材にかけられる圧延荷重の変動量であり、前記圧延機に出力する制御量は、前記圧延機のロールギャップ量であること

を特徴とする請求項 1 に記載の圧延機制御装置。

【請求項 3】

前記周期的外乱は、前記被圧延材における硬さ変動であり、前記検出手段によって検出される物理量の変動量は、前記被圧延材の出側板厚偏差であり、前記圧延機に出力する制御量は、前記圧延機のロールギャップ量、前記圧延機のロール速度、または、前記圧延機の入側および出側にそれぞれ設置されたテンションリールのロール速度であること

10

を特徴とする請求項 1 に記載の圧延機制御装置。

【請求項 4】

前記周期的外乱は、前記圧延機の入側および出側にそれぞれ設置されたテンションリールの偏心によるリール径の変動であり、前記検出手段によって検出される物理量の変動量は、前記被圧延材の出側板厚偏差であり、前記圧延機に出力する制御量は、前記圧延機のロールギャップ量、または、前記入側もしくは前記出側のテンションリールを駆動する電動機に供給する電流指令値もしくは速度指令値であること

を特徴とする請求項 1 に記載の圧延機制御装置。

【請求項 5】

被圧延材を圧延する圧延機において生じる周期的外乱に起因する前記被圧延材の物理量の変動量を検出する検出手段と、前記検出手段で検出される前記被圧延材の物理量の変動量に基づき、前記被圧延材の物理量の変動量を抑制するための前記圧延機の制御量を演算するコンピュータと、を備えてなる圧延機制御装置において行われる圧延機制御方法であって、

20

前記コンピュータは、

前記周期的外乱を圧延方向の外乱周期に対応する一定長さごとに分割し、分割した一定長さに対応する周期的外乱の特定状態の位置を示す位相を求め、前記検出手段により検出される前記物理量の変動量を、前記物理量の変動が生じたときの前記周期的外乱の位相に対応付ける位相合わせステップと、

比例制御に加え、積分制御を行う伝達関数の演算機構として、比例制御に関する値を前記位相ごとに第 1 の記憶部に記憶し、積分制御に関する値を前記位相ごとに第 2 の記憶部に記憶し、位相合わせステップにより対応付けられた位相に関する前記第 1 の記憶部および前記第 2 の記憶部の値により、前記被圧延材の物理量の位相ごとの変動量から偏差が低減するように周期的外乱の低減部についての圧延機の制御量を算出するステップと、

30

前記圧延機に出力する制御量を、その制御量を出力するときの前記位相に対応付けられた前記第 1 の記憶部および前記第 2 の記憶部にそれぞれ格納されている値に基づいて演算して、前記位相に応じて前記圧延機に出力するステップと、

を実行することを

特徴とする圧延機制御方法。

【請求項 6】

40

被圧延材を圧延する圧延機において生じる周期的外乱に起因する前記被圧延材の物理量の変動量を検出する検出手段と、前記検出手段で検出される前記被圧延材の物理量の変動量に基づき、前記被圧延材の物理量の変動量を抑制するための前記圧延機の制御量を演算するコンピュータと、を備えてなる圧延機制御装置における前記コンピュータのプログラムであって、

前記コンピュータに

前記周期的外乱を圧延方向の外乱周期に対応する一定長さごとに分割し、分割した一定長さに対応する周期的外乱の特定状態の位置を示す位相を求め、前記検出手段により検出される前記物理量の変動量を、前記物理量の変動が生じたときの前記周期的外乱の位相に対応付ける位相合わせステップと、

50

比例制御に加え、積分制御を行う伝達関数の演算機構として、比例制御に関する値を前記位相ごとに第1の記憶部に記憶し、積分制御に関する値を前記位相ごとに第2の記憶部に記憶し、前記位相合わせステップにより対応付けられた位相に関する前記第1の記憶部および前記第2の記憶部の値により、前記被圧延材の物理量の位相ごとの変動量から偏差が低減するように周期的外乱の低減部についての圧延機の制御量を算出するステップと、前記圧延機に出力する制御量を、その制御量を出力するときの前記位相に対応付けられた前記第1の記憶部および前記第2の記憶部にそれぞれ格納されている値に基づいて演算して、前記位相に応じて前記圧延機に出力するステップと、

を実行するためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属板の圧延機を制御する圧延機制御装置、圧延機制御方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

薄い金属材料を効率的に生産するプラントである圧延機においては、圧延ロールの回転方向半径変動（以下、ロール偏心と略記する）に起因する出側板厚変動が発生する。このような、ロール偏心による板厚変動は、圧延ロールの回転周期に依存する周期的板厚変動となるため、ロール偏心周波数成分で出側板厚をフィルタリングし、ロール偏心成分に応じてロールギャップを操作することで低減することができる（特許文献1などを参照）。さらに、圧延ロールに起因する周波数成分以外の周期的外乱についても、同様な方式を利用することにより低減することができる（特許文献2などを参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特公昭62-27884号

【特許文献2】特開2015-166093号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

前記従来技術においては、ロール偏心などの周期的板厚変動を除去する目的で、周期的変動の周波数で板厚偏差をフィルタリングして制御ゲインを掛けて制御出力を得る、いわゆる比例制御が行われている。そのため、制御により出側板厚が減少すると、比例制御の出力も減少するため出側板厚変動が残ってしまう。一般に、比例制御の場合、 $1 / (\text{比例制御ゲイン} + 1)$ としかすることができないため、制御ゲイン = 1.0としても、出側板厚偏差を半分にするしかできない。

【0005】

ところで、従来のロール偏心制御の他の方法として、圧延ロールの1回転を検出する検出器を設置し、ロール空転（上下作業ロール間に被圧延材が無い状態でロールを回転させる）時の荷重変動からロールギャップ変動量を推定し、圧延ロールの回転方向位置に対応した補正量を決定し、圧延中にその補正量を出力するという制御方法がある。

40

【0006】

この制御方法では、ロール偏心に起因するロールギャップ変動そのものが除去されるため、ロール偏心成分の板厚変動をほぼ100%除去することができる。しかしながら、この制御方法では、圧延ロールの1回転を検出する検出器が必要であることから、設備投資額の増大および検出器保守作業量の増大を招く。さらには、荷重変動からロール偏心成分を得るためロール空転が必要であることから、操業効率が低下することになる。そのため、現実には、ほとんど特許文献1, 2などに記載された制御方法が用いられている。

【0007】

50

本発明は、以上のような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、簡易な構成でロール偏心などによる周期的板厚変動をほぼ100%除去することが可能な圧延機制御装置、圧延機制御方法およびプログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る圧延機制御装置は、被圧延材を圧延する圧延機において生じる周期的外乱に起因する前記被圧延材の物理量の変動量を検出する検出手段と、前記周期的外乱を圧延方向の外乱周期に対応する一定長さごとに分割し、分割した一定長さに対応する周期的外乱の特定状態の位置を示す位相を求め、前記検出手段により検出される前記物理量の変動量を、前記物理量の変動が生じたときの前記周期的外乱の位相に対応付ける位相合わせ手段と、比例制御に加え、積分制御を行う伝達関数の演算機構であって、比例制御に関する値を前記位相ごとに記憶する第1の記憶部と、積分制御に関する値を前記位相ごとに記憶する第2の記憶部と、を有し、前記位相合わせ手段により対応付けられた位相に関する前記第1の記憶部および前記第2の記憶部の値により、前記被圧延材の物理量の位相ごとの変動量から偏差が低減するように周期的外乱の低減部についての圧延機の制御量を算出するフィルタ演算機構と、前記圧延機に出力する制御量を、その制御量を出力するときの前記位相に対応付けられた前記第1の記憶部および前記第2の記憶部にそれぞれ格納されている値に基づいて前記フィルタ演算機構により演算して、前記位相に応じて前記圧延機に出力する出力タイミング調整部と、を備えることを特徴とする。

10

【発明の効果】

20

【0009】

本発明によれば、簡易な構成でロール偏心などによる周期的板厚変動をほぼ100%除去可能な圧延機制御装置、圧延機制御方法およびプログラムが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施形態に係る圧延機制御装置およびその圧延機制御装置を含む圧延設備の全体構成の例を示した図。

【図2】比較例に係る圧延機制御装置におけるロール偏心制御装置の構成の例を示した図。

。

【図3】図2の比較例に係るロール偏心制御装置のソフトフィルタで行われる演算の制御ブロック構成の例を示した図。

30

【図4】図2の比較例に係るロール偏心制御装置のソフトフィルタの(a)ゲイン特性および(b)位相特性の例を示した図。

【図5】図2の比較例に係るロール偏心制御装置のソフトフィルタにおけるフィルタテーブルの構成の例を示した図。

【図6】図2の比較例に係るロール偏心制御装置に基づくロール偏心制御のブロック構成の例を示した図。

【図7】図2の比較例に係るロール偏心制御装置に基づく比例制御ロール偏心制御のシミュレーション結果の例を示した図。

【図8】本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置の構成の例を示した図。

40

【図9】本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置における積分補正ロール偏心制御のブロック構成の例を示した図。

【図10】図9に示した積分補正ロール偏心制御のブロック構成に基づくロール偏心制御シミュレーション結果の例を示した図。

【図11】本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置における比例積分補正ロール偏心制御のブロック構成の例を示した図。

【図12】図11に示した比例積分補正ロール偏心制御のブロック構成に基づくロール偏心制御シミュレーション結果の例を示した図。

【図13】積分補正制御時にロール偏心周波数成分のロールギャップ外乱の位相をステップ状に90度ずらした場合の動作のシミュレーション結果の例を示した図。

50

【図14】比例積分補正制御時にロール偏心周波数成分のロールギャップ外乱の位相をステップ状に90度ずらした場合の動作のシミュレーション結果の例を示した図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図面において、共通する構成要素には同一の符号を付し、重複した説明を省略する。

【0012】

図1は、本発明の実施形態に係る圧延機制御装置100およびその圧延機制御装置100を含む圧延設備の全体構成の例を示した図である。図1に示すように、圧延設備は、被圧延材2を圧延する圧延機1、コイル状に巻かれた被圧延材2を圧延機1に供給する入側テンションリール3a、圧延された被圧延材2を巻き取る出側テンションリール3b、これらの設備を制御する圧延機制御装置100などにより構成される。

10

なお、本明細書では、テンションリールを、以下、TRと略称する。また、図1において被圧延材2は、矢印で示した方向、すなわち左から右の方向に移動し、圧延される。

【0013】

また、圧延機1は、圧延対象の被圧延材2を挟んで被圧延材2側から上下両方向に設けられた作業ロール1a、中間ロール1b、バックアップロール1cにより構成される。そして、入側テンションリール3aと圧延機1の入側との間には、入側の被圧延材2の張力を計測する入側張力計4aが設けられ、圧延機1の出側と出側テンションリール3bの間には、出側の被圧延材2の張力を計測する出側張力計4bが設けられている。さらに、

20

圧延機1の出側と出側張力計4bとの間には、出側の被圧延材2の板厚を計測する出側板厚計5が設けられている。

【0014】

圧延機制御装置100は、図1に示すような複数の制御装置により構成される。以下、これらの制御装置の機能について簡単に説明しておく。

【0015】

ロールギャップ制御装置6は、上下2つの作業ロール1a間のロールギャップを変更することにより、被圧延材2の板厚を制御する。また、ミル速度制御装置7は、圧延速度設定装置10で設定された速度指令に従って、被圧延材2の圧延速度（作業ロール1aの回転速度）を制御する。また、入側TR制御装置8aおよび出側TR制御装置8bは、入側TR3aおよび出側TR3bを駆動する電動機を制御することにより、入側TR3aおよび出側TR3bの回転速度を調整する。この調整により、入側および出側の被圧延材2にかかる張力が適切な値に保持され、圧延の安定かつ効率的な操業が実現される。

30

【0016】

入側張力設定装置11および出側張力設定装置12は、被圧延材2の張力制御に必要な入側および出側の張力設定値を計算する。そして、入側張力電流変換装置15および出側張力電流変換装置16は、その入側および出側の張力設定値を実現するために必要な入側TR3aおよび出側TR3bの電動機トルク値を計算し、その電動機トルク値から電動機の電流設定値を計算する。

【0017】

なお、入側張力電流変換装置15および出側張力電流変換装置16は、電動機トルク値や電流設定値を計算するとき、TR機械系およびTR制御系についてあらかじめ用意されたモデルを使用する。そのため、その結果として得られる電動機トルク値や電流設定値には誤差が生じる。入側張力制御装置13および出側張力制御装置14は、その誤差を補正する処理を実行する。

40

【0018】

すなわち、入側張力制御装置13および出側張力制御装置14は、入側張力計4aおよび出側張力計4bで測定されたそれぞれの張力実績値を用いて、入側張力設定装置11および出側張力設定装置12で設定されたそれぞれの張力設定値に補正を加える。そして、その補正したそれぞれの張力設定値を、入側張力電流変換装置15および出側張力電流変

50

換装置 16 に供給する。入側張力電流変換装置 15 および出側張力電流変換装置 16 は、その補正された張力設定値に基づき、入側 T R 制御装置 8 a および出側 T R 制御装置 8 b へ設定する電流値を変更する。

【 0 0 1 9 】

被圧延材 2 の板厚を均一に保つことは製品品質上重要である。そこで、出側板厚制御装置 9 は、出側板厚計 5 によって検出された板厚の実績値に基づき、ロールギャップ制御装置 6 を介して圧延機 1 のロールギャップを適宜変更することにより板厚を制御する。

【 0 0 2 0 】

一般に、出側の被圧延材 2 の板厚は、様々な外乱が要因となって変動するが、ロール偏心は、その主要な変動要因である。ここで、ロール偏心とは、圧延機 1 の作業ロール 1 a、中間ロール 1 b、バックアップロール 1 c それぞれの偏心のことをいい、その原因は、各ロールの研磨精度や軸受け精度に起因するロールの回転方向半径の不均一などにある。すなわち、ロール偏心は、ロールギャップが変動することとなるため、被圧延材 2 の出側板厚制御上の主要な外乱となっている。

【 0 0 2 1 】

一般に、バックアップロール 1 c のロール偏心成分が大きいため、バックアップロール 1 c に対するロール偏心成分の除去制御が行われる。ロール偏心制御装置 17 は、以上のようなロール偏心に起因する板厚の変動を除去するためのロールギャップを算出する。つまり、ロール偏心制御装置 17 は、ロール偏心に起因する板厚の変動の除去に特化した出側板厚制御装置 9 ということができる。

【 0 0 2 2 】

なお、以上のような構成を有する圧延機制御装置 100 は、図示しない中央演算処理装置 (CPU) と記憶装置と入出力装置とを備えた、いわゆるコンピュータによって実現することができる。その場合、圧延機制御装置 100 を構成する各装置の機能は、コンピュータの中央演算処理装置が記憶装置に格納された所定のプログラムを実行することによって実現される。なお、これらの各制御装置の機能を実現するコンピュータは、1 台に限定されず、複数のコンピュータであってもよい。また、入出力装置としては、キーボード、マウス、液晶表示装置のほか、電動機などのハードウェアを駆動するためのデジタルまたはアナログ信号を送出する回路装置や、各種計測器からのデジタルまたはアナログ信号を取得する回路装置などが含まれる。なお、図 1 では、圧延制御装置 100 の枠外に描かれているが、出側板厚計 5 など制御に必要な計測器も入出力装置とみなしてもよい。

【 0 0 2 3 】

本明細書では、まず、比較例として従来技術について説明する。図 2 は、比較例に係る圧延機制御装置におけるロール偏心制御装置 17 a の構成の例を示した図である。なお、比較例に係る圧延機制御装置の構成は、本実施形態に係る圧延機制御装置 100 (図 1 参照) とほとんど同じであり、ロール偏心制御装置 17 がロール偏心制御装置 17 a に置き換えられただけのものである。

【 0 0 2 4 】

図 2 に示すように、ロール偏心制御装置 17 a は、位置合わせ装置 110、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 111、ソフトフィルタ 101 などにより構成される。すなわち、ロール偏心制御装置 17 a は、圧延機 1 の出側に設置された出側板厚計 5 で検出された出側板厚偏差を、ソフトフィルタ 101 によりフィルタリング処理することで、被圧延材 2 上の一定長さ周期の出側板厚偏差を抽出する。そして、ロールギャップ制御装置 6 は、その抽出された出側板厚偏差に基づき、圧延機 1 のロールギャップを操作する。

【 0 0 2 5 】

ここで、出側板厚計 5 は、圧延機 1 から離れた位置に設置されるため、圧延機 1 で圧延された被圧延材 2 の出側板厚偏差を検出するまでに無駄時間が生じる。そのため、出側板厚計 5 で検出される出側板厚偏差を、圧延機 1 のロールの回転角 (ロール角) に対応付ける位相合わせが必要となる。そこで、位相合わせ装置 110 は、圧延機駆動電動機 19 の回転量に基づきロールの回転角を検出する回転検出器 18 から出力されるロール角を用い

10

20

30

40

50

て、その位相合わせを実施する。すなわち、位相合わせ装置 110 は、出側板厚計 5 で出側板厚偏差が検出されたときの被圧延材 2 の位置がロールの直下にあったときのロール角を求める。これにより、出側板厚計 5 で検出される出側板厚偏差には、圧延時（ロールの直下通過時）のロール角が対応付けられる。

【0026】

出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 111 は、ロール角が対応付けられた出側板厚偏差を圧延機 1 のロールギャップ量に換算する。出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 111 は、出側板厚偏差に $M / (M + Q \cdot (1 - \quad))$ で与えられる定数を掛け合わせるによりロールギャップ量を得る。ここで、M は、ミル定数と呼ばれ、ロールが圧延荷重によってたわむ量を表し、Q は、塑性定数と呼ばれ、被圧延材 2 が圧延荷重によって変形する量を表す。また、 \quad は、スケールファクタと呼ばれ、ミル定数 M の大きさを相対的に変化させるパラメータである。一般には、 $\quad = 0 \sim 0.9$ 程度の値が用いられ、例えば、 $\quad = 0.9$ とすると、ミル定数 M は 10 倍の大きさになる。

10

【0027】

ソフトフィルタ 101 は、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 111 で得られたロールギャップ量を、ロール周長に対応する長さで定長フィルタリング処理する。ここで、フィルタリング処理を周波数でなく長さで実施するのは、圧延機 1 は停止状態から最大速度まで加速し、減速して停止するといった速度を変更する操作を実施するためである。圧延機 1 の加減速中であっても、ロール偏心制御を実施するためには、一定長さでフィルタリング処理を実施する必要がある。また、圧延は、上下の作業ロール 1a 間で被圧延材 2 を押し潰すことで行われるが、そのときの上下の作業ロール間隔の機械的振動により発生する板厚変動を除去するのがロール偏心制御の目的であるから、一定の長さでフィルタリングする必要がある。なお、バックアップロール 1c のロール偏心制御を実施する場合には、前記一定の長さとしてバックアップロール 1c のロール周長を用いる。

20

【0028】

以上のようなフィルタリング処理をするソフトフィルタ 101a は、フィルタテーブル 121 を備えたフィルタ演算機構と、出力タイミング調整装置 120 などにより構成される。ここで、圧延機 1 のロール径は上下で相違することが多いため、一般には、定長サンプリング長さは、上下で相違する。そのため、上下のロールにそれぞれ対応するように制御ゲイン G_{1U} 、 G_{1L} 、 G_{2U} 、 G_{2L} 、 G_{3U} 、 G_{3L} が設定されている。さらに、フィルタテーブル 121 についても、上フィルタテーブル 121U、下フィルタテーブル 121L が設けられ、上下別個に制御できるようにされている。

30

【0029】

なお、この比較例のソフトフィルタ 101a の詳細な構成および機能については、以下、図 3 ~ 図 6 を用いて順次説明する。

【0030】

図 3 は、図 2 の比較例に係るロール偏心制御装置 17a のソフトフィルタ 101a の制御ブロック図の例を示した図である。図 3 に示すように、ソフトフィルタ 101a（定長フィルタ）は、一定長の無駄時間要素 e^{-TS} とフィルタの制御ゲイン G_1 、 G_2 、 G_3 とを含んだ複数のブロックにより構成される。この制御ブロック図は、定長フィルタの演算機構を示した図であるともいえる。

40

【0031】

すなわち、この定長フィルタの入力 x と出力 y の関係は、図 3 の下半部に示されているように、式 (1) または式 (2) で表される。そして、定長フィルタ全体のゲインは、式 (3) により求めることができ、また、位相 \quad は、式 (4) により求めることができる。

【0032】

図 4 は、図 2 の比較例に係るロール偏心制御装置 17a のソフトフィルタ 101a（定長フィルタ）の (a) ゲイン特性および (b) 位相特性の例を示した図である。これらのグラフの横軸の規格化周波数は、無駄時間 T の逆数を 1 とした場合の周波数である。規格化周波数が整数のところではゲインが 1 となっており、ソフトフィルタ 101a は、無駄時

50

間 T に相当する周波数の整数倍の周波数成分も抽出する。

【 0 0 3 3 】

図 2 の比較例に係る従来技術の制御では、バックアップロール 1 c (以下、BUR と略記) のロール偏心による出側板厚偏差の除去が目的であったことから、フィルタリング処理は、BUR の径 D_{BUR} と圧延速度 V とで決定される BUR 回転周波数 f_{BUR} で実施されていた。ちなみに、BUR は、表面が傷ついた場合などには、研磨処理して使用される。この研磨処理の不均一は、ロール偏心の一因となっている(この場合、板厚変動は、BUR 径の 1 倍周波数になることが多い)。また、圧延加工により発熱した BUR が、不均一に冷却されることでもロール偏心が発生する(この場合、板厚変動は、BUR 径の 2 倍周波数になることが多い)。従って、ソフトフィルタ 1 0 1 により、BUR 径に対応する周波数成分のフィルタを構成した場合、その整数倍の周波数についても抽出されるため、2 倍以上の周波数成分についても制御が行われることになる。

10

【 0 0 3 4 】

図 5 は、図 2 の比較例に係るロール偏心制御装置 1 7 a のソフトフィルタ 1 0 1 a におけるフィルタテーブル 1 2 1 の構成の例を示した図である。本実施形態では、ソフトフィルタ 1 0 1 の機能は、コンピュータによって実現されるものとする。そして、そのコンピュータの記憶装置上には、図 5 に示すように、ロール(例えば、BUR) 1 回転を n 分割したとき、各々の分割点、つまり、各々の回転角(ロール角)に対応する n 個のメモリからなるフィルタテーブル 1 2 1 が用意される。

【 0 0 3 5 】

20

図 2 および図 3 によれば、ソフトフィルタ 1 0 1 a では、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 1 1 1 から出力されたデータと、フィルタテーブル 1 2 1 から読み出されたデータとの演算が実施される。このとき、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 1 1 1 から出力されるデータには、出側板厚偏差が検出されたときの被圧延材 2 がロール直下を通過したときのロール角が対応付けられている。そこで、ソフトフィルタ 1 0 1 a は、フィルタテーブル 1 2 1 から、そのロール角に対応付けられた位置のメモリに格納されているデータを読み出す。そして、その読みだされたデータと、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 1 1 1 から出力されたデータを用いて図 3 に示した前記式(2)の演算を行うとともに、その結果を同じ位置のメモリに書き戻す。

【 0 0 3 6 】

30

また、所定のロール角に応じてフィルタテーブル 1 2 1 から読み出されたデータ、すなわちフィルタリングデータ(出側板厚偏差に相当するロールギャップ量)は、出力タイミング調整装置 1 2 0 でタイミング調整がされ、ロールギャップ制御装置 6 へ出力される。ここで、所定のロール角は、ロールギャップ制御装置 6 に出力されるデータがロールギャップ量として制御に利用されるとききのロールのロール角である。

【 0 0 3 7 】

図 6 は、図 2 の比較例に係るロール偏心制御装置 1 7 a に基づくロール偏心制御のブロック構成の例を示した図である。図 6 のブロック構成では、図 5 で示したロール上のロール回転方向の複数点に対してフィルタテーブル 1 2 1 を対応させている。その一方の点は、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置 1 1 1 から出力されたデータに対応付けられたロール角に対応する点である。また、他方の点は、ロールギャップ制御装置 6 に出力されるデータがロールギャップ量として制御に利用されるとききのロールのロール角に対応する点である。

40

【 0 0 3 8 】

ソフトフィルタ 1 0 1 a は、図 6 の下半分に示されているように、一次遅れ系として近似することができる。この場合、ロール偏心の比例制御は、ロール上のロール回転方向の複数点に対応するフィルタテーブル 1 2 1 のデータを用いて、すなわち、出側板厚偏差の一次遅れのデータを用いる形で実施される。

【 0 0 3 9 】

このとき、一次遅れの時定数 T は、サンプリング周期 t_s と、フィルタリング処理のパ

50

ラメータ G_1 、 G_3 とにより決定される。そして、そのサンプリング周期 t_s は、ロールの 1 回転周期となる。なお、フィルタリング処理のパラメータ G_1 、 G_3 としては、目的とするフィルタリング特性に応じて $0.03 \sim 0.3$ 程度の値が設定されるので、ロールの回転周期の $3 \sim 30$ 程度が出側板厚修正の時定数となる。

【0040】

図 7 は、比較例に係るロール偏心制御装置 17a に基づく比例制御ロール偏心制御のシミュレーション結果の例を示した図である。図 7 のグラフにおいて、横軸は時間を表し、左端が現在であり、右側に行くに従って過去に遡ることを表している。また、一点鎖線で示された時刻でロール偏心制御が開始されたことを表している。

【0041】

この比較例では、ロール偏心制御装置 17a がフィルタテーブル 121 を用いて出側板厚偏差をフィルタリングしているため、ロール偏心制御開始後しばらくの間は、出側板厚偏差は、開始前の $1/3$ をわずかに下回る程度まで減少する。しかしながら、出側板厚偏差とロール偏心制御出力がバランスすると、出側板厚偏差は、開始前の $1/3$ に落ち着いてしまう。この結果は、図 2 においてロール偏心制御ゲイン $C_{REC} = 2.0$ としている比例制御の制御効果の $1/3$ と一致する。

【0042】

以上のように、比較例のロール偏心制御装置 17a では、出側板厚偏差をロール偏心制御開始前の $1/3$ までしか低減できないという問題が発生する。そこで、比例制御に加え、積分制御または比例積分の補正機能を追加する。

【0043】

図 8 は、本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置 17 の構成の例を示した図である。図 8 に示すように、本実施形態では、図 2 の比較例のロール偏心制御装置 17a の構成の中に新たに偏差補正テーブル 122 (上偏差補正テーブル 122U および下偏差補正テーブル 122L) を設けたことにより、ロール偏心周波数でのフィルタリング結果を用いた積分制御が可能にされている。すなわち、ゲイン $G_4 = 0$ 、 $G_5 = 0$ とすれば、積分補正を追加した制御ができ、また、ゲイン $G_4 = 0$ 、 $G_5 = 0$ とすれば、比例積分補正を追加した制御ができる。ここで、 G_4 は、図 8 における G_{4U} 、 G_{4L} を表し、 G_5 は、 G_{5U} 、 G_{5L} を表す。

【0044】

図 9 は、本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置 17 における積分補正ロール偏心制御のブロック構成の例を示した図である。この場合、積分ゲイン G_4 、比例ゲイン G_5 として、例えば、 $G_4 = 1 / (\cdot T)$ 、 $G_5 = 0$ とすれば、安定な積分補正を実施することができる。ここで \cdot は、位相余裕を決めるパラメータであり、 $3 \sim 10$ 程度の値をとる。

【0045】

図 10 は、図 9 に示した積分補正ロール偏心制御のブロック構成に基づくロール偏心制御シミュレーション結果の例を示した図である。図 10 に示すように、この積分補正ロール偏心制御では、偏差補正テーブル 122 を用いた積分処理により、出側板厚偏差をほぼ 0 になるまで抑制することができる。

【0046】

図 11 は、本発明の実施形態に係るロール偏心制御装置 17 における比例積分補正ロール偏心制御のブロック構成の例を示した図である。この場合、積分時定数 T_1 としては、フィルタリング時定数 T より大きな値を設定する必要がある。また、位相余裕を決めるパラメータ \cdot を用いて G_5 を定めることができる (図 9 の下半分に記載の式を参照)。

【0047】

図 12 は、図 11 に示した比例積分補正ロール偏心制御のブロック構成に基づくロール偏心制御シミュレーション結果の例を示した図である。なお、このシミュレーションでは、 $G_5 = 0.5$ 、 $T_1 = 2T$ としている。そして、そのシミュレーション結果によれば、積分補正ロール偏心制御の場合の結果 (図 10 参照) に比べ、短時間で出側板厚偏差をほぼ

10

20

30

40

50

0とすることができている。これは、積分時定数を、積分補正の場合と比較して小さくできるためである。

【0048】

ところで、前記比較例のロール偏心制御（図6参照）の利点として、何らかの原因でロール偏心外乱の位相がずれた場合であっても制御出力を補正することができる点を挙げることができる。ロール回転方向の各点におけるロール偏心量をもとめ、その偏心量に基づきロールギャップを制御する従来技術の場合、例えばロールが空転し、熱膨張したロールが片冷えして発生するロール偏心周波数成分に関する補正には対応できない。それに対し、前記比較例のロール偏心制御では、ロール偏心周波数成分の位相がずれた場合においても、出側板厚偏差をフィルタリング処理してロールギャップを制御するため、その位相ずれに対応可能である。

10

【0049】

本実施形態に係る積分補正ロール偏心制御（図9参照）や比例積分補正ロール偏心制御（図11参照）の場合、ロール偏心周波数成分の位相がずれても偏差補正テーブル122の内容は、出側板厚偏差が0となるように修正されていく。このことを確認するため、発明者らは、出側板厚偏差が0に制御されているときに、ロール偏心周波数成分のロールギャップ外乱の位相をステップ状に90度ずらすシミュレーションを実施した。

【0050】

図13は、積分補正制御時にロール偏心周波数成分のロールギャップ外乱の位相をステップ状に90度ずらした場合の動作のシミュレーション結果の例を示した図である。また、図14は、比例積分補正制御時にロール偏心周波数成分のロールギャップ外乱の位相をステップ状に90度ずらした場合の動作のシミュレーション結果の例を示した図である。図13および図14に示すように、積分補正制御時および比例積分補正制御時のいずれの場合にも、偏差補正テーブル122の内容は、出側板厚の実績値のフィルタリング結果により修正される。従って、ロール偏心制御出力の位相も次第に変更され、ロールギャップ外乱の位相変更時に大きくなった出側板厚偏差をほぼ0とすることができる。

20

【0051】

以上、以上の実施形態に係る圧延機制御装置によれば、比例制御（従来技術）によるロール偏心制御では除去できなかったロール偏心周波数成分の出側板厚偏差をほぼ0とすることが可能になる。また、制御ゲインを適切に設定することで、安定して制御することができる。

30

【0052】

また、以上の実施形態では、ロール偏心周波数成分を積分した結果を用いて積分制御または比例積分制御をするものとしたが、同様の考え方で比例積分微分制御を構成することもできる。

【0053】

また、以上の実施形態では、圧延機1の出側板厚計5（図1参照）で検出した出側板厚偏差によるロール偏心制御について説明したが、同様の圧延機1の圧延荷重計で測定した圧延荷重によるロール偏心制御にも適用可能である。

【0054】

また、以上の実施形態では、圧延機1のバックアップロール1cのロール偏心を除去する制御について説明したが、同様な制御で中間ロール1bまたは作業ロール1aのロール偏心周波数成分を除去することも可能である。

40

【0055】

また、以上の実施形態では、ロール偏心周波数成分の周期的外乱に対する出側板厚制御について説明したが、ロール偏心周波数成分以外の周期的外乱についても同様の制御を適用することができる。

【0056】

また、圧延機1の入側に設置されて圧延機1に流入する被圧延材2を巻き出す入側TR3aや、圧延機1から排出される被圧延材2を巻取る出側TR3bにおいても、リールの

50

回転方向半径変動が発生するが、これらについても、以上に説明した実施形態と同様の制御を適用することができる。なお、この場合、圧延機に出力する制御量は、ロールギャップ量に限定されず、入側テンションリール 3 a または出側テンションリール 3 b を駆動する電動機に供給する電流指令値や速度指令値であってもよい。

【 0 0 5 7 】

さらに、他の実施例として、圧延機 1 における被圧延材 2 の硬度ムラに起因する周期的変動の制御に本発明を適用する場合について、以下に説明する。

【 0 0 5 8 】

圧延機 1 で圧延する被圧延材 2 は、熱間圧延機で 1 度圧延されたものである。熱間圧延機も種々のロールで構成されるため、ロール 1 回転に対応する加工ムラ（主として温度ムラ）により被圧延材の硬さに周期的変動が残る場合がある。これを下流の工程である冷間圧延機で圧延すると、周期的な硬さ変動（変形抵抗変動）により周期的な出側板厚偏差が発生する。

【 0 0 5 9 】

このような出側板厚偏差に対しては、例えば特許文献 2 に示されているように、ロール偏心制御におけるバンドパスのフィルタリングをロール偏心周波数に代えて、硬さ変動による出側板厚偏差周波数で実施するようにすればよい。そして、ロール偏心制御の場合と同様に本発明の実施形態で説明した制御を適用することで、被圧延材の硬度ムラによる周期的出側板厚変動を除去することが可能である。そして、この場合の制御量は、圧延機のロールギャップ、ロール速度などであり、さらには、入側テンションリール 3 a または出側テンションリール 3 b のロール速度などであってもよい。

【 0 0 6 0 】

本発明は、以上に説明した実施形態および変形例に限定されるものではなく、さらには、様々な変形例が含まれる。例えば、前記した実施形態および変形例は、本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態や変形例の構成の一部を、他の実施形態や変形例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態や変形例の構成に他の実施形態や変形例の構成を加えることも可能である。また、各実施形態や変形例の構成の一部について、他の実施形態や変形例に含まれる構成を追加・削除・置換することも可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 1 】

- 1 圧延機
- 1 a 作業ロール
- 1 b 中間ロール
- 1 c バックアップロール
- 2 被圧延材
- 3 a 入側テンションリール（入側 T R ）
- 3 b 出側テンションリール（出側 T R ）
- 4 a 入側張力計
- 4 b 出側張力計
- 5 出側板厚計（検出手段）
- 6 ロールギャップ制御装置
- 7 ミル速度制御装置
- 8 a 入側 T R 制御装置
- 8 b 出側 T R 制御装置
- 9 出側板厚制御装置
- 1 0 圧延速度設定部
- 1 1 入側張力設定部
- 1 2 出側張力設定部

10

20

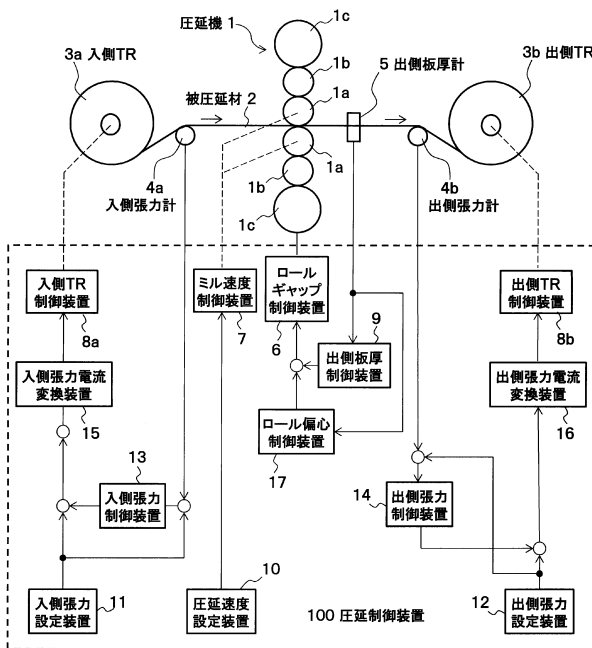
30

40

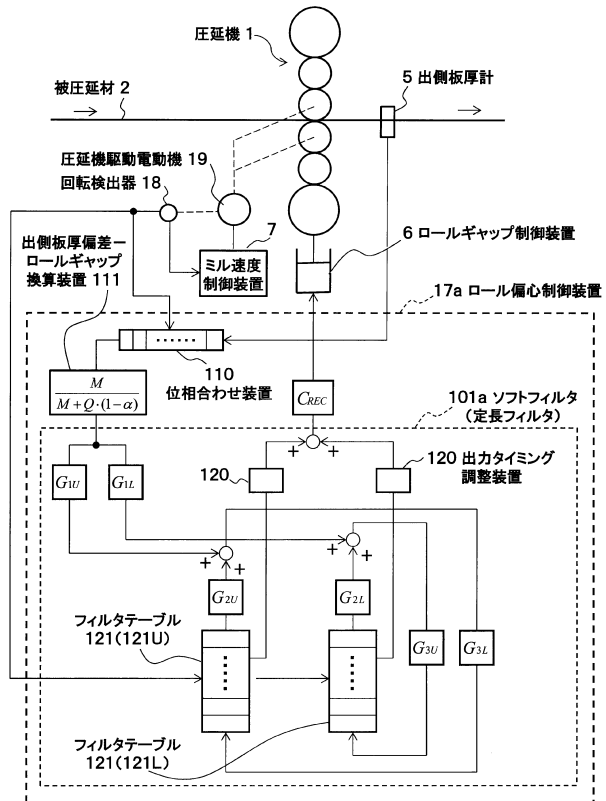
50

- 1 3 入側張力制御部
- 1 4 出張力制御部
- 1 5 入側張力電流変換装置
- 1 6 出側張力電流変換装置
- 1 7 , 1 7 a ロール偏心制御装置
- 1 8 回転検出器
- 1 9 圧延機駆動電動機
- 1 0 0 圧延機制御装置
- 1 0 1 , 1 0 1 a ソフトフィルタ(定長フィルタ:フィルタリング手段)
- 1 1 0 位置合わせ装置(位相合わせ手段)
- 1 1 1 出側板厚偏差-ロールギャップ換算装置
- 1 2 0 出力タイミング調整装置
- 1 2 1 フィルタテーブル(第1の記憶装置)
- 1 2 1 U 上フィルタテーブル(フィルタテーブル:第1の記憶装置)
- 1 2 1 L 下フィルタテーブル(フィルタテーブル:第1の記憶装置)
- 1 2 2 偏差補正テーブル(第2の記憶装置)
- 1 2 2 U 上偏差補正テーブル(偏差補正テーブル:第2の記憶装置)
- 1 2 2 L 下偏差補正テーブル(偏差補正テーブル:第2の記憶装置)

【図1】

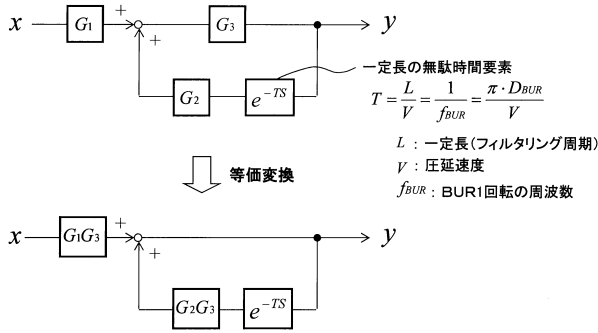


【図2】



【図3】

<定長フィルタの制御ブロック図>



$$y = G_2G_3 \cdot e^{-TS} \cdot y + G_1G_3 \cdot x \quad (1)$$

$$y = \frac{G_1G_3}{1 - G_2G_3e^{-TS}} x = \frac{G_1G_3}{1 - G_2G_3 \cdot \cos(\omega T) + j \cdot G_2G_3 \cdot \sin(\omega T)} x \quad (2)$$

$$\text{ゲイン} = \sqrt{\frac{(G_1G_3)^2}{(1 - G_2G_3 \cdot \cos(\omega T))^2 + (G_2G_3 \cdot \sin(\omega T))^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(G_1G_3)^2}{1 + (G_2G_3)^2 - 2 \cdot G_2G_3 \cdot \cos(\omega T)}} \quad (3)$$

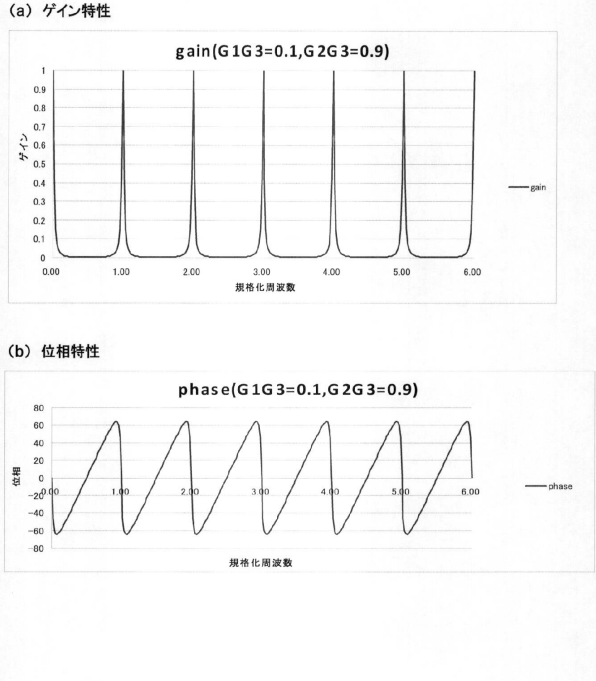
$\cos(\omega T) = 1$ のとき、ゲインが最大となる。最大ゲイン=1.0にするには、 $1 - G_2G_3 = G_1G_3$ とすればよい。

ϕ : 位相

$$\tan(\phi) = \frac{-G_2G_3 \cdot \sin(\omega T)}{1 - G_2G_3 \cdot \cos(\omega T)} \quad (4)$$

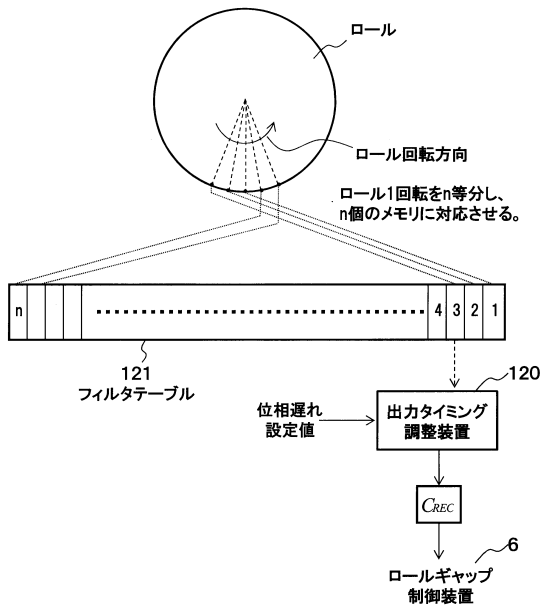
【図4】

<定長フィルタの特性>



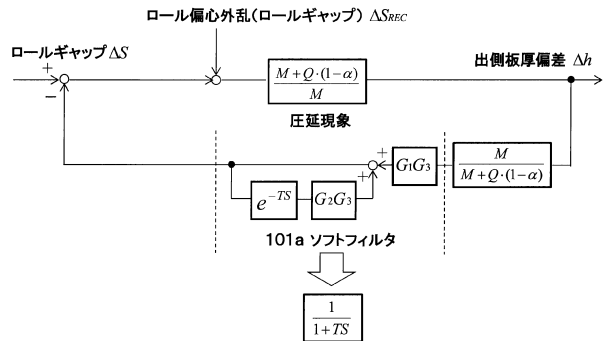
【図5】

<ソフトフィルタの構成>

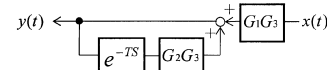


【図6】

<ロール偏心制御のブロック構成(比較例)>



101a ソフトフィルタ



上記ブロック図で、サンプリング周期(ロールの回転周期)を t_s とすれば、

$$y(t) = G_1G_3 \cdot x(t) + G_2G_3 \cdot y(t-1)$$

であるから、

$$= G_1G_3 \cdot (x(t) - y(t-1)) + (G_1G_3 + G_2G_3) \cdot y(t-1)$$

$$= G_1G_3 \cdot (x(t) - y(t-1)) + y(t-1)$$

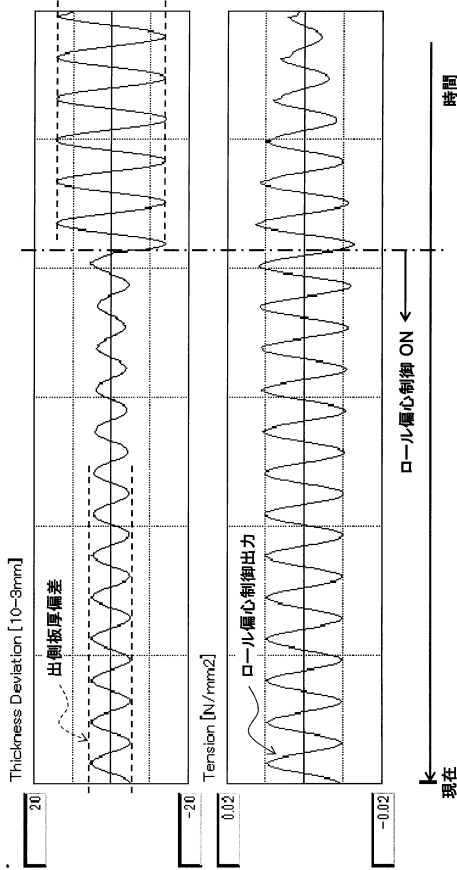
となる。ここで、一次遅れ $y(t) = \frac{1}{1+TS} x(t)$ を、サンプリング周期で近似すると、

$$y(t) = \frac{t_s}{T} (x(t) - y(t-1)) + y(t-1) \quad \text{となるため、}$$

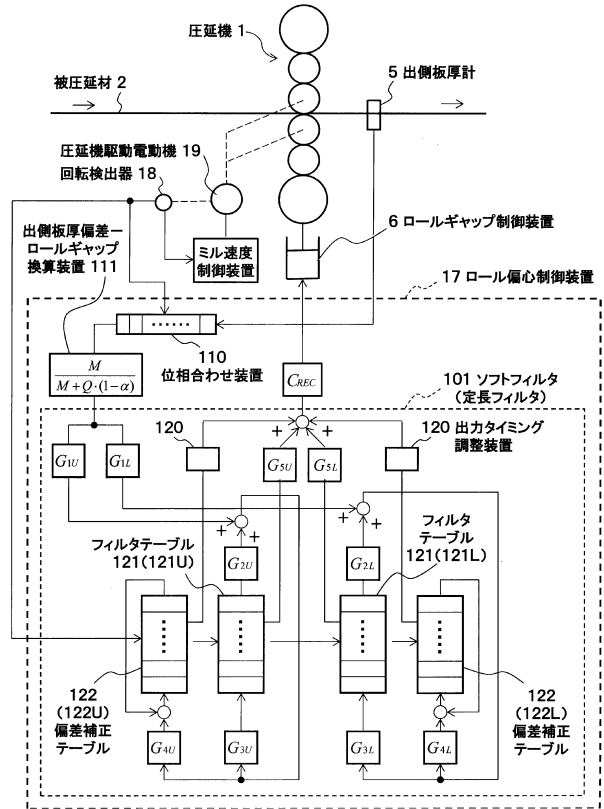
$$G_1G_3 = \frac{t_s}{T} \quad \text{つまり} \quad T = \frac{t_s}{G_1G_3} \quad \text{の一次遅れとなる。}$$

【図7】

＜比例制御に基づくロール偏心制御シミュレーション結果＞

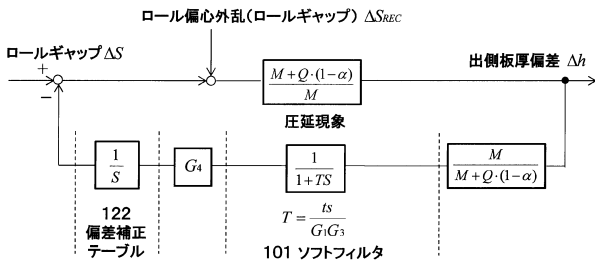


【図8】



【図9】

＜積分補正ロール偏心制御のブロック図＞

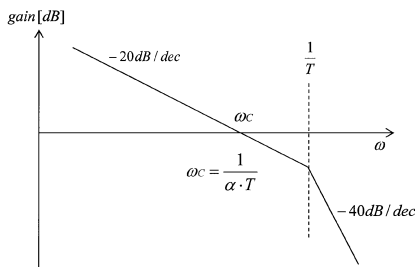


上記ブロック構成の一巡伝達関数は、

$$G(s) = \frac{G_4}{s} \frac{1}{1+Ts}$$

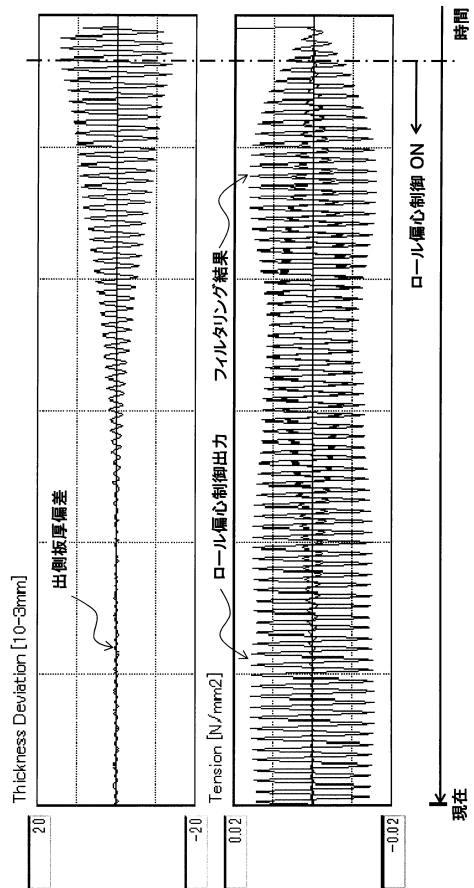
となるから、交差周波数を下図のようにとると、

$$1 \approx \alpha \cdot T \cdot G_4 \text{ であるから、 } G_4 = \frac{1}{\alpha \cdot T} \text{ とすればよい。}$$



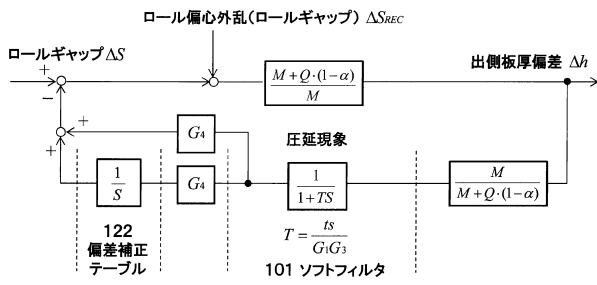
【図10】

＜積分補正に基づくロール偏心制御シミュレーション結果＞



【 図 1 1 】

< 比例積分補正ロール偏心制御のブロック図 >

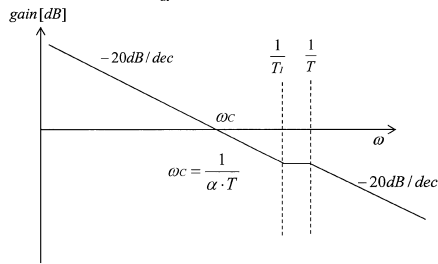


上記ブロック構成で一巡伝達関数は、

$$G(s) = \left(G_5 + \frac{G_4}{s} \right) \frac{1}{1+TS} = G_5 \cdot \left(1 + \frac{G_4}{G_5 \cdot s} \right) \frac{1}{1+TS} = G_5 \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right) \frac{1}{1+TS}$$

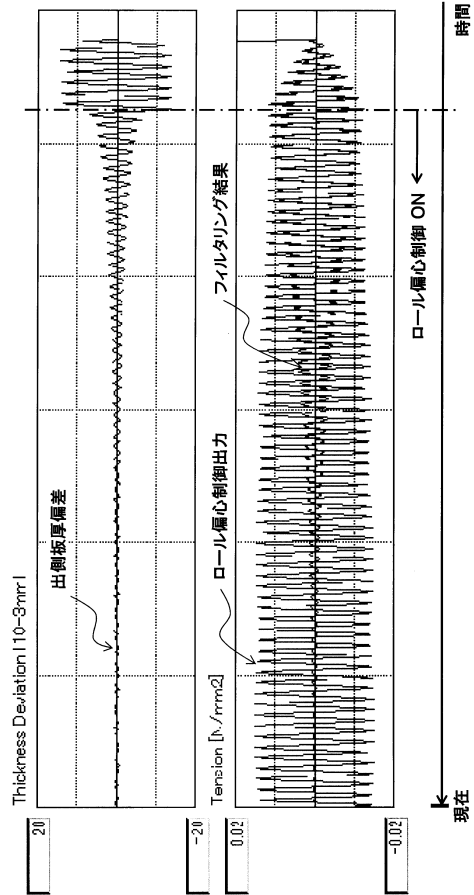
$\frac{1}{T_i} = \frac{G_4}{G_5}$ となるから、交差周波数を下図のようにとると、

$$T < T_i, \quad G_3 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2} \quad \text{とすればよい。}$$



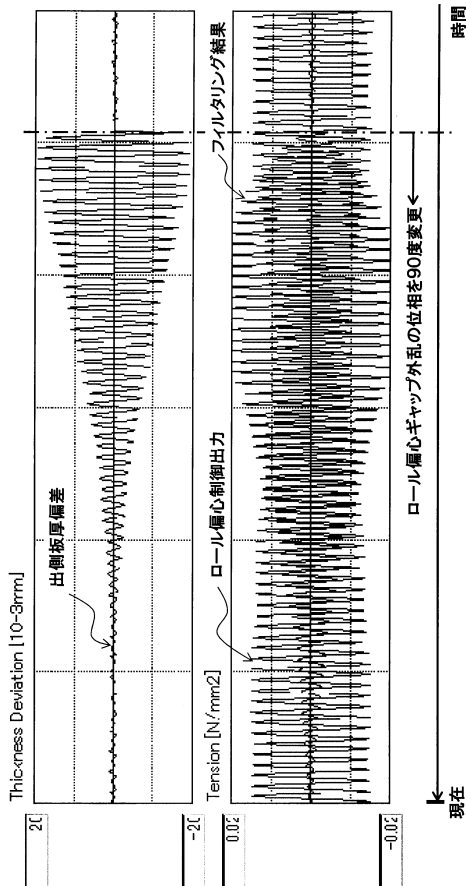
【 図 1 2 】

< 比例積分補正に基づくロール偏心制御シミュレーション結果 >



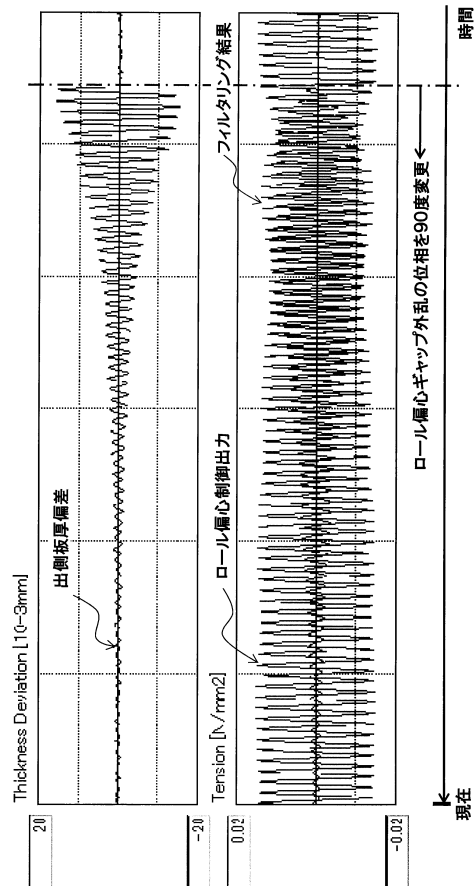
【 図 1 3 】

< ロール偏心ギャップ外乱の位相を90度ステップ状に変更した場合の動作 >
(積分補正制御時)



【 図 1 4 】

< ロール偏心ギャップ外乱の位相を90度ステップ状に変更した場合の動作 >
(比例積分補正制御時)



フロントページの続き

- (56)参考文献 特公昭49 - 036546 (JP, B1)
特開平05 - 177230 (JP, A)
特開2015 - 213940 (JP, A)
特開2011 - 218396 (JP, A)
特開2003 - 126905 (JP, A)
特開2015 - 166093 (JP, A)
特開2015 - 112615 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B21B 37/00 - 37/78