(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
2024年4月4日(04.04.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/070772 A1

(51) 国際特許分類:
F23G 5/50 (2006.01) *C10J 3/48* (2006.01)
F27D 21/00 (2006.01) *G01K 1/14* (2021.01)
C10J 3/46 (2006.01) *G01K 11/3206* (2021.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/033734

(22) 国際出願日： 2023年9月15日(15.09.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2022-158054 2022年9月30日(30.09.2022) JP

(71) 出願人(*KR* を除く全ての指定国について):三菱重工業株式会社 (**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.**) [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 Tokyo (JP).

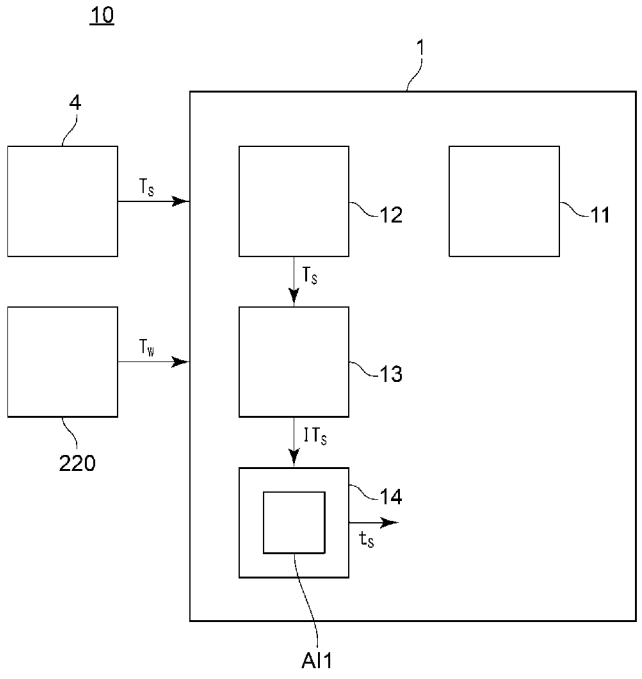
(71) 出願人 (*KR* についてのみ): 三菱パワー株式会社 (**MITSUBISHI POWER, LTD.**) [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者:吉田 茂(**YOSHIDA, Shigeru**); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 上林 正和 (**KAMIBAYASHI, Masakazu**); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). ▲高▼橋 雄太(**TAKAHASHI, Yuta**); 〒1008332 東京

WO 2024/070772 A1

(54) **Title:** SLAG-MONITORING DEVICE, REMAINING LIFE ASSESSMENT DEVICE, SLAG-MONITORING METHOD, AND REMAINING LIFE ASSESSMENT METHOD

(54) 発明の名称： スラグ監視装置、余寿命評価装置、スラグ監視方法及び余寿命評価方法



(57) **Abstract:** A slag-monitoring device for monitoring the state of slag adhering to a furnace wall, the device comprising: a fin temperature data-acquiring unit that acquires time-series temperature data of a fin as measured by a fin temperature measurement device that is provided outside the furnace wall and that is for measuring the temperature of the fin; a fin temperature fluctuation range information-acquiring unit that acquires fin temperature fluctuation range information re-

［続葉有］

都千代田区丸の内三丁目２番３号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人：ＳＳＩＰ弁理士法人 (SSIP PATENT ATTORNEY CORPORATION)；〒1080073 東京都港区三田三丁目１３番１６号 三田４３ＭＴビル１３階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

lated to the fluctuation range of the temperature of the fin from the time-series temperature data of the fin; and a heat-resistant body thickness estimation unit that estimates, on the basis of first association information in which the thickness of a heat-resistant body that is attached to an inner surface of the furnace wall and and that is formed of a frame-retardant material and/or slag is associated with the fin temperature fluctuation range information, the thickness of the heat-resistant body corresponding to the fin temperature fluctuation range information.

(57) 要約：炉壁に付着するスラグの状態を監視するためのスラグ監視装置であって、炉壁の外側に設けられてフィンの温度を測定するフィン温度測定装置において測定されたフィンの時系列温度データを取得するフィン温度データ取得部と、上記フィンの時系列温度データから、フィンの温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報を取得するフィン温度変動範囲情報取得部と、炉壁の内面に取り付けられた、耐火材又はスラグの少なくとも一方から構成される熱抵抗体の厚さ、及び、フィン温度変動範囲情報が関連付けられた第１関連付け情報に基づき、フィン温度変動範囲情報に対応する熱抵抗体の厚さを推定する熱抵抗体厚さ推定部と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

スラグ監視装置、余寿命評価装置、スラグ監視方法及び余寿命評価方法

技術分野

[0001] 本開示は、スラグ監視装置、余寿命評価装置、スラグ監視方法及び余寿命評価方法に関する。

本願は、２０２２年９月３０日に日本国特許庁に出願された特願２０２２－１５８０５４号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 炭素含有固体燃料のガス化を行うように構成されたガス化炉（燃焼炉）が知られている（特許文献１参照）。ガス化炉は、外形が円筒状に形成された炉壁の内部にガス化部が形成されている。ガス化部では、炭素含有固体燃料（例えば、微粉炭）に含まれる可燃成分を酸素と燃焼反応させてガス化し、ＣＯ及びH_2を主成分とする生成ガスを発生させるとともに、炭素含有固体燃料中の灰分を溶融してスラグ化させることが行われる。

[0003] 特許文献１には、ガス化炉のガス化部の底部に設けられた、溶融スラグを流下させるスラグタップの開口部の閉塞を防止するために、スラグタップの内部、開口部等の複数の温度データの低下を検知し、上記開口部の閉塞兆候を判断している。

[0004] 一方、特許文献２には、溶融スラグにより構成されたスラグ層の厚さ毎に、溶融メタルにより構成されたメタル層の温度とスラグ層の温度の相関関係を求めることが開示されている。また、特許文献２には、上記相関関係に基づいて、スラグ排出時の傾動に適したメタル層の温度となるスラグ層の温度の設定範囲を求め、この設定範囲を考慮してスラグ層の温度を制御することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第５８９３９５６号公報

特許文献2：特許第４９４９０７４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ガス化炉のガス化部を形成する炉壁の内面にスラグを付着させることにより、炉壁の内部に生じる熱（燃焼熱）による炉壁の熱損傷を抑制することが行われることがある。この場合において、炉壁の熱損傷を把握するためには、ガス化炉の運転中に変動するスラグの付着状態を推定及び監視することが必要となる。ここで、ガス化部は、比較的高温（例えば、約１８００℃）のため、ガス化部の温度を直接計測することは困難である。また、炉壁の内部を流れるガスの熱流束は、比較的高サイクルで変動するため、炉壁の温度の絶対値のみを用いて、炉壁の内面に付着したスラグの付着状態を判断することは困難である。

[0007] 上述した事情に鑑みて、本開示の少なくとも一実施形態の目的は、ガス化炉（火炉）の運転中に変動するスラグの付着状態を把握することができるスラグ監視装置及びスラグ監視方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置は、

水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁に付着するスラグの状態を監視するためのスラグ監視装置であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された第１所定期間における前記フィンの時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部と、

前記フィン温度データ取得部において取得された前記フィンの時系列温度データから、前記フィンの温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報を取得するように構成されたフィン温度変動範囲情報取得部と、

前記炉壁の内面に取り付けられた熱抵抗体であって、耐火材又は前記スラ

グの少なくとも一方から構成される熱抵抗体の厚さ、及び、前記フィン温度変動範囲情報が関連付けられた第１関連付け情報に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記フィン温度変動範囲情報に対応する前記熱抵抗体の厚さを推定するように構成された熱抵抗体厚さ推定部と、を備える。

[0009] 本開示の一実施形態に係る余寿命評価装置は、

水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁における前記水冷管の管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価装置であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された前記フィンの時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部と、

前記フィンの前記時系列温度データを用いて、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅、及び、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数を含む第１寿命評価値を導出するように構成された第１寿命評価値導出部と、

前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅と前記第１振幅との間の振幅比に基づいて、前記第１寿命評価値に対応する第２寿命評価値であって、前記第２振幅、及び、前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数を含む第２寿命評価値を導出するように構成された第２寿命評価値導出部と、

前記フィンにおけるクリティカル温度である第１クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数と、前記管頂部におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数と、の比であるクリティカルカウント比に基づいて、前記第１カウント数に対応する第２カウント数である対応第２カウント数を導出するように構成された第２対応カウント数導出部と、

前記第２振幅及び前記対応第２カウント数を用いて、前記管頂部の余寿命

を評価するように構成された余寿命評価部と、を備える。

[0010] 本開示の一実施形態に係るスラグ監視方法は、

水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁に付着するスラグの状態を監視するためのスラグ監視方法であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された第１所定期間における前記フィンの時系列温度データを取得するフィン温度データ取得ステップと、

前記フィン温度データ取得ステップにおいて取得された前記フィンの時系列温度データから、前記フィンの温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報を取得するフィン温度変動範囲情報取得ステップと、

前記炉壁の内面に取り付けられた熱抵抗体であって、耐火材又は前記スラグの少なくとも一方から構成される熱抵抗体の厚さ、及び、前記フィン温度変動範囲情報が関連付けられた第１関連付け情報に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得ステップが取得した前記フィン温度変動範囲情報に対応する前記熱抵抗体の厚さを推定する熱抵抗体厚さ推定ステップと、を備える。

[0011] 本開示の一実施形態に係る余寿命評価方法は、

水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁における前記水冷管の管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価方法であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された前記フィンの時系列温度データを取得するフィン温度データ取得ステップと、

前記フィンの前記時系列温度データを用いて、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅、及び、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数を含む第１寿命評価値を導出する第１寿命評価値導出ステップと、

前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅と前記第１振幅との間の振幅比に基づいて、前記第１寿命評価値に対応

する第２寿命評価値であって、前記第２振幅、及び、前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数を含む第２寿命評価値を導出するように構成された第２寿命評価値導出ステップと、

前記フィンにおけるクリティカル温度である第１クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数と、前記管頂部におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数と、の比であるクリティカルカウント比に基づいて、前記第１カウント数に対応する第２カウント数である対応第２カウント数を導出する第２対応カウント数導出ステップと、

前記第２振幅及び前記対応第２カウント数を用いて、前記管頂部の余寿命を評価する余寿命評価ステップと、を備える。

発明の効果

[0012] 本開示の少なくとも一実施形態によれば、ガス化炉（火炉）の運転中に変動するスラグの付着状態を把握することができるスラグ監視装置及びスラグ監視方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置における監視対象であるスラグが付着するガス化炉（火炉）の高さ方向に沿った概略断面図である。

[図2]本開示の一実施形態に係る炉壁の概略図である。

[図3]本開示の一実施形態に係る炉壁に取り付けられる温度計測装置及び該温度計測装置に接続されるスラグ監視装置の概略図である。

[図4]本開示の一実施形態に係る炉壁に取り付けられる熱抵抗体の状態の一例を示す炉壁の概略断面図である。

[図5]本開示の一実施形態に係る炉壁に取り付けられる熱抵抗体の状態の一例を示す炉壁の概略断面図である。

[図6]本開示の一実施形態に係る炉壁に取り付けられる熱抵抗体の状態の一例を示す炉壁の概略断面図である。

[図7]本開示の一実施形態に係る炉壁に取り付けられる熱抵抗体の状態の一例

を示す炉壁の概略断面図である。

[図8]本開示の一実施形態に係るスラグ監視方法のフロー図である。

[図9]本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置の構成を概略的に示す概略構成図である。

[図10]本開示の一実施形態に係る第１関連付け情報を説明するための説明図である。

[図11]本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置の構成を概略的に示す概略構成図である。

[図12]本開示の一実施形態に係る剥離推定部及び熱抵抗体厚さ増加率算出部を説明するための説明図である。

[図13]本開示の一実施形態に係る剥離推定部及び熱抵抗体流下速度算出部を説明するための説明図である。

[図14]本開示の一実施形態に係るスラグ生成挙動評価部を説明するための説明図である。

[図15]本開示の一実施形態に係る剥離推定部及びガス周方向流速算出部を説明するための説明図である。

[図16]本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置の構成を概略的に示す概略構成図である。

[図17]本開示の一実施形態に係るスラグ監視方法のフロー図である。

[図18]本開示の一実施形態に係る対応フィン温度変動範囲情報取得部及び誤差範囲導出部を説明するための説明図である。

[図19]本開示の一実施形態に係る第１関連付け情報補正部を説明するための説明図である。

[図20]本開示の一実施形態に係る炉壁の概略図である。

[図21]本開示の一実施形態に係る余寿命評価装置の構成を概略的に示す概略構成図である。

[図22]本開示の一実施形態に係る余寿命評価方法のフロー図である。

[図23]本開示の一実施形態に係る寿命評価値の導出方法を説明するための説

明図である。

[図24]本開示の一実施形態に係るフィンの温度と管頂部の温度の間の相関係数を説明するための説明図である。

[図25]本開示の一実施形態に係る水冷管の管頂部の寿命を評価するための寿命評価値の導出方法を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、添付図面を参照して本開示の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本開示の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

[0015] （ガス化炉）

図１は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置１における監視対象であるスラグ３１が付着するガス化炉２Ａ（火炉２）の高さ方向に沿った概略断面図である。図２は、本開示の一実施形態に係る炉壁２１の概略図である。図３は、本開示の一実施形態に係る炉壁２１に取り付けられる温度計測装置（フィン温度測定装置４等）及び該温度計測装置に接続されるスラグ監視装置１の概略図である。本開示の幾つかの実施形態に係るスラグ監視装置１及びスラグ監視方法１００の夫々は、図１に示されるような、ガス化炉２Ａ（火炉２）に搭載された炉壁２１の内面２１１に付着するスラグ３１（熱抵抗体３）の状態を監視するためのものである。なお、以下の実施形態では、火炉２が炭素含有固体燃料のガス化を行うように構成されたガス化炉２Ａである場合について説明するが、本開示は火炉２がガス化炉２Ａ以外の場合にも適用可能である。

[0016] ガス化炉２Ａの内部には、炉壁２１の内面２１１により炉壁２１の内部に形成されたガス化部２４と、炉壁２１と炉壁２１の外周を覆う炉外壁２５との間に形成されたアニュラス部２６と、が形成されている。ガス化部２４は、炭素含有固体燃料（例えば、微粉炭）に含まれる可燃成分を酸素と燃焼反応させてガス化し、ＣＯ及びH_2を主成分とする生成ガスを発生させるように

構成されるとともに、炭素含有固体燃料中の灰分を溶融してスラグ３１化させるように構成されている。

[0017] アニュラス部２６は、炉壁２１の外面２１２と炉外壁２５の内面２５１により炉壁２１の外部に形成されている。炉外壁２５は、炉壁２１の高さ方向に沿って延在してガス化炉２Ａの内部と外部とを仕切る筒状に形成されている。ガス化炉２Ａは、アニュラス部２６において炉壁２１に取り付けられて、ガス化部２４に導かれた炭素含有固体燃料を燃焼させるための少なくとも１つ（図示例では複数）のバーナー装置２７を備える。

[0018] （炉壁）

炉壁２１は、図２に示されるように、水冷管２２とフィン２３が交互に接合されて構成される。炉壁２１は、炉壁２１の高さ方向に沿って延在する筒状に形成されている。図示される実施形態では、炉壁２１は、鉛直方向に沿って高さ方向を有する。複数の水冷管２２の各々は、炉壁２１の高さ方向に沿って延在する管であり、その内部を冷却水（冷却液、環水）が流通するようになっている。炉壁２１は、水冷管２２の内部を流れる冷却水により冷却されるようになっている。

[0019] 複数の水冷管２２の各々は、炉壁２１の周方向に沿って他の水冷管２２との間に間隔をあけて配置されている。複数のフィン２３の各々は、炉壁２１の高さ方向に沿って延在する板状に形成され、炉壁２１の周方向において隣接する二つの水冷管２２、２２の間に配置されている。複数の水冷管２２及び複数のフィン２３は、金属材料により構成されている。複数のフィン２３の各々は、フィン２３の幅方向における一端部が、上述した隣接する二つの水冷管２２、２２のうちの一方に溶接等により接合され、フィン２３の幅方向における他端部が、上述した隣接する二つの水冷管２２、２２の他方に溶接等により接合されている。

[0020] （熱抵抗体）

図４～図７の各々は、本開示の一実施形態に係る炉壁２１に取り付けられる熱抵抗体３の状態の一例を示す炉壁の概略断面図である。熱抵抗体３は、

図４～図７に示されるように、炉壁２１の内面２１１に取り付けられる。熱抵抗体３は、炉壁２１の内部に生じる熱（燃焼熱）による炉壁２１の熱損傷を抑制でき、炉壁２１を保護できる。

[0021] 熱抵抗体３は、上述したスラグ３１又は耐火材３２の少なくとも一方から構成される。熱抵抗体３は、ガス化炉２Ａの運転中において、炉壁２１への付着状態が変化する。この熱抵抗体３の付着状態は、図４～図７において夫々示される４つの形態（第１形態～第４形態）に分類できる。ガス化炉２Ａの運転開始時には、熱抵抗体３の付着状態は、第１形態（図４参照）になっている。第１形態に係る熱抵抗体３は、スラグ３１を含まず、炉壁２１の内面２１１に取り付けられた耐火材（耐火物）３２から構成されている。耐火材３２は、炉壁２１の内面２１１を被覆するように、内面２１１の全周に亘って取り付けられている。炉壁２１の内面２１１に取り付けられた耐火材３２は、ガス化炉２Ａの運転中に炉壁２１の内部に生じる熱（燃焼熱）により溶損するため、徐々にその厚さが薄くなる。

[0022] 熱抵抗体３の付着状態は、耐火材３２の溶損が進むことで、第１形態から第２形態（図５参照）に移行し、さらに第２形態から第３形態（図６参照）に移行し、その後第３形態から第４形態（図７参照）に移行する。

[0023] スラグ３１は、ガス化炉２Ａの燃料又は燃焼対象物の少なくとも一方が炉壁２１の内部における燃焼により溶融することにより生じ、炉壁２１の内面２１１等に付着する。図５に示されるように、炉壁２１の内面２１１が耐火材３２により被覆されている場合には、スラグ３１は、耐火材３２の表面（内面２１１に当接する面とは耐火材３２の厚さ方向の反対側の面）に付着する。換言すると、炉壁２１の内面２１１に耐火材３２及びスラグ３１がこの順に積層される。ガス化炉２Ａでは、炉壁２１の内部に供給された微粉炭をバーナー装置２７により燃焼させ、溶融したスラグ３１が炉壁２１の内面２１１又は耐火材３２の表面に付着するようになっている。

[0024] 第２形態に係る熱抵抗体３は、図５に示されるように、炉壁２１の内面２１１に取り付けられた耐火材３２、及び耐火材３２の表面に付着したスラグ

３１により構成されている。第３形態では、炉壁２１（具体的には、水冷管２２）の内面２１１の一部が耐火材３２により被覆されずに、スラグ３１により直接被覆されるようになっている。第３形態に係る熱抵抗体３は、図６に示されるように、炉壁２１の内面２１１に取り付けられた耐火材３２、並びに耐火材３２の表面及び炉壁２１の内面２１１に付着したスラグ３１により構成されている。

[0025] 第４形態では、炉壁２１（水冷管２２及びフィン２３）の内面２１１が耐火材３２により被覆されずに、スラグ３１により直接被覆されるようになっている。第４形態に係る熱抵抗体３は、図７に示されるように、耐火材３２を含まずに、炉壁２１の内面２１１に付着したスラグ３１により構成されている。図示される実施形態では、第１形態から第４形態に向かうにつれて、炉壁２１の内面２１１に取り付けられた熱抵抗体３の厚さｔｓ（耐火材３２の厚さとスラグ３１の厚さの合計）は、徐々小さくなっている。

[0026]（フィン温度測定装置）

幾つかの実施形態に係るスラグ監視装置１は、図２に示されるように、少なくとも１つのフィン温度測定装置４に接続され、少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓを取得可能に構成されている。上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４は、炉壁２１の外側であるアニュラス部２６に設けられて、フィン２３の温度（メタル温度）Ｔｓを測定するように構成されている。図示される実施形態では、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４は、フィン２３の外面２３１に取り付けられたセンシング部４１においてフィン２３の温度Ｔｓを測定するように構成されている。

[0027] 図示される実施形態では、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４は、少なくとも１つの光ファイバセンサ４０からなる。光ファイバセンサ４０は、図３に示されるように、光信号を伝送するための伝送路である光ファイバケーブル４２と、光ファイバケーブル４２に設けられた複数のセンシング部４１と、光信号を送受信可能に構成された計測器４３と、を含む。計

測器４３は、光の照射部（光源）４４と、光の受光部（受光素子）４５と、を含む。なお、フィン温度測定装置４は、炉壁２１の外側に設けられて、フィン２３の温度（メタル温度）Ｔｓを測定するように構成されていればよく、光ファイバセンサ４０に限定されるものではない。

[0028] 光ファイバケーブル４２は、比較的屈折率の高いコアを比較的屈折率の低いクラッドにより覆う同心円状の構造を有し、光（光信号）をコアの内部に閉じこめられた状態で伝搬するようになっている。複数のセンシング部４１の各々は、フィン２３の温度Ｔｓの変化により光が変化する性質を利用して、フィン２３の温度Ｔｓを取得するようになっている。複数のセンシング部４１の各々は、光ファイバケーブル４２のコア中に存在する検出素子（ＦＧＢ）であってもよく、光ファイバケーブル４２と一体に構成されていてもよい。また、複数のセンシング部４１の各々は、光ファイバケーブル４２とは別体であり、光ファイバケーブル４２に着脱可能に接続されていてもよい。

[0029] 照射部４４から照射された光は、光ファイバケーブル４２を介して複数のセンシング部４１の夫々に導かれる。センシング部４１に導かれた光は、フィン２３の温度Ｔｓの変化に応じて変化する。センシング部４１からフィン２３の温度Ｔｓの変化に応じて変化した反射光は、光ファイバケーブル４２を介して受光部４５に導かれる。計測器４３は、センシング部４１が取り付けられたフィン２３の温度Ｔｓの変化を、受光部４５に導かれた反射光の変化（例えば、反射光の波長の変化）として検出するようになっている。スラグ監視装置１は、計測器４３に接続され、複数のセンシング部４１の夫々において測定されたフィン２３の温度Ｔｓを取得可能に構成されている。

[0030] 図８は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視方法１００のフロー図である。図９は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置１の構成を概略的に示す概略構成図である。幾つかの実施形態に係るスラグ監視方法１００は、図８に示されるように、フィン温度データ取得ステップＳ１と、フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２と、熱抵抗厚さ推定ステップＳ３と、を備える。スラグ監視方法１００における幾つかのステップは、スラグ監視装置１

等のスラグ監視システム１０が備える装置や機器により行われてもよいし、スラグ監視システム１０以外の装置や機器により行われてもよい。また、スラグ監視方法１００における幾つかのステップを手動により行うようにしてもよい。

[0031] スラグ監視装置１は、図９に示されるように、フィン温度データ取得部１２と、フィン温度変動範囲情報取得部１３と、熱抵抗体厚さ推定部１４と、を備える。図９に示されるように、スラグ監視装置１は、記憶部１１をさらに備えていてもよい。図示される実施形態では、図２に示されるように、スラグ監視装置１は、スラグ監視システム１０に搭載されている。スラグ監視システム１０は、スラグ監視装置１及びスラグ監視装置１に接続された少なくとも１つのフィン温度測定装置４を備える。

[0032] なお、スラグ監視装置１は、スラグ３１（熱抵抗体３）の状態を監視するための電子制御ユニットであり、図示しないＣＰＵ（プロセッサ）や、ＲＯＭやＲＡＭといったメモリ、外部記憶装置などの記憶装置、Ｉ／Ｏインターフェース、通信インターフェースなどからなるマイクロコンピュータとして構成されていてもよい。そして、例えば上記メモリの主記憶部にロードされたプログラムの命令に従ってＣＰＵが動作（例えばデータの演算など）することで、前述する各部を実現してもよい。また、スラグ監視装置１による処理内容は、プロセッサにより実行されるプログラムとして実装され、補助記憶部に記憶されていてもよい。プログラム実行時には、これらのプログラムはメモリに展開される。プロセッサは、メモリからプログラムを読み出し、プログラムに含まれる命令を実行するようになっている。

[0033]（フィン温度データ取得ステップ、フィン温度データ取得部）

フィン温度データ取得ステップＳ１では、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定された第１所定期間におけるフィン２３の温度Ｔｓの時系列データである時系列温度データを取得することが行われる。フィン温度データ取得ステップＳ１は、フィン温度データ取得部１２により行われてもよい。フィン温度データ取得部１２は、上述した少なくとも１つ

のフィン温度測定装置４において測定された第１所定期間におけるフィン２３の時系列温度データを取得するように構成されている。フィン温度データ取得部１２は、フィン温度測定装置４（図示例では、計測器４３）から直接フィン２３の時系列温度データを取得してもよいし、フィン温度測定装置４（図示例では、計測器４３）から記憶部１１に送られて、記憶部１１に記憶されたフィン２３の時系列温度データを取得してもよい。なお、第１所定期間の長さ、始点及び終点は、予め設定されていてもよい。また、第１所定期間の終点は、フィン２３の時系列温度データの取得時であってもよい。

[0034]（フィン温度変動範囲情報取得ステップ、フィン温度変動範囲情報取得部）

フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２では、フィン温度データ取得ステップＳ１（フィン温度データ取得部１２）において取得されたフィン２３の時系列温度データから、フィン２３の温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報ＩＴｓを取得することが行われる。フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２は、フィン温度変動範囲情報取得部１３により行われてもよい。フィン温度変動範囲情報取得部１３は、フィン温度データ取得ステップＳ１（フィン温度データ取得部１２）において取得されたフィン２３の時系列温度データから、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓを取得するように構成されている。

[0035] フィン温度変動範囲情報ＩＴｓは、第１所定期間におけるフィン２３の温度Ｔｓの最大値Ｔｓｍａｘ、最小値Ｔｓｍｉｎ及び最大値Ｔｓｍａｘと最小値Ｔｓｍｉｎの差分値である変動幅ΔＴｓを取得可能な情報である。フィン温度変動範囲情報ＩＴｓは、最大値Ｔｓｍａｘと最小値Ｔｓｍｉｎの組み合わせであってもよいし、最大値Ｔｓｍａｘ又は最小値Ｔｓｍｉｎの何れかと変動幅ΔＴｓとの組み合わせであってもよいし、最大値Ｔｓｍａｘと最小値Ｔｓｍｉｎと変動幅ΔＴｓとの組み合わせであってもよい。

[0036]（熱抵抗厚さ推定ステップ、熱抵抗厚さ推定部）

熱抵抗厚さ推定ステップＳ３では、炉壁２１の内面２１１に取り付けられた熱抵抗体３の厚さｔｓ及びフィン温度変動範囲情報ＩＴｓが関連付けられ

た第１関連付け情報ＡＩ１に基づき、フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２（フィン温度変動範囲情報取得部１３）が取得したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに対応する熱抵抗体３の厚さｔｓを推定することが行われる。熱抵抗厚さ推定ステップＳ３は、熱抵抗体厚さ推定部１４により行われてもよい。熱抵抗体厚さ推定部１４は、第１関連付け情報ＡＩ１に基づき、フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２（フィン温度変動範囲情報取得部１３）が取得したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに対応する熱抵抗体３の厚さｔｓを推定することが行われる。

[0037] 第１関連付け情報ＡＩ１は、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓと熱抵抗体３の厚さｔｓとの間の対応関係を示すものであり、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓを入力情報とした際に、入力情報であるフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに対応する熱抵抗体３の厚さｔｓを出力情報として取得できるものであればよい。第１関連付け情報ＡＩ１には、上記入力情報と上記出力情報との対応関係を示すリストや表、マップ、関数、機械学習のモデルなどが含まれる。第１関連付け情報ＡＩ１は、定常試験データを基に作成してもよいし、定常試験データ以外の過去の実績値や実験値、数値解析結果などを基に作成してもよい。

[0038] 第１関連付け情報ＡＩ１は、フィン温度データ取得ステップＳ１よりも前に予め取得されている。スラグ監視方法１００は、図８に示されるように、フィン温度データ取得ステップＳ１よりも前に、第１関連付け情報ＡＩ１を取得する第１関連付け情報取得ステップＳ４をさらに備えていてもよい。第１関連付け情報ＡＩ１は、予め記憶部１１に記憶されていてもよく、熱抵抗体厚さ推定部１４は、熱抵抗体３の厚さｔｓを推定する際に記憶部１１に記憶された第１関連付け情報ＡＩ１を参照してもよい。

[0039] 幾つかの実施形態に係るスラグ監視方法１００は、図８に示されるように、上述したフィン温度データ取得ステップＳ１と、上述したフィン温度変動範囲情報取得ステップＳ２と、上述した熱抵抗体厚さ推定ステップＳ３と、を備える。幾つかの実施形態に係るスラグ監視装置１は、図９に示されるよ

うに、上述したフィン温度データ取得部１２と、上述したフィン温度変動範囲情報取得部１３と、上述した熱抵抗体厚さ推定部１４と、を備える。

[0040] 上記の方法（構成）によれば、スラグ監視方法１００やスラグ監視装置１は、フィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓからフィン温度変動範囲情報ＩＴｓを取得でき、このフィン温度変動範囲情報ＩＴｓから第１関連付け情報ＡＩ１に基づいて対応する熱抵抗体３の厚さｔｓを推定できる。フィン温度変動範囲情報ＩＴｓは、フィン２３の温度Ｔｓの変動範囲に関する情報であるため、フィン２３の温度Ｔｓの計測値（絶対値）に比べて、炉壁２１の内部において比較的高サイクルで変動する、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映されたものとなる。このため、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓと熱抵抗体３の厚さｔｓを関連付ける情報（第１関連付け情報）に基づいて熱抵抗体３の厚さｔｓを推定することで、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映された熱抵抗体３（スラグ３１）の厚さｔｓを推定できる。これにより、スラグ監視方法１００やスラグ監視装置１は、仮にフィン２３の温度Ｔｓの計測値と熱抵抗体３の厚さｔｓを関連付ける情報に基づいて熱抵抗体３の厚さｔｓを推定する場合に比べて、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さｔｓを精度良く推定できるため、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３（例えば、スラグ３１）の付着状態を把握することができる。

[0041] ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３（例えば、スラグ３１）の付着状態を把握することで、耐火材３２の脱落評価や炉壁２１の熱負荷の大きい範囲の把握が可能となり、バーナー負荷や燃料条件などのガス化炉２Ａの運転パラメータの最適化が図れる。また、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３（例えば、スラグ３１）の付着状態を把握することで、ガス化炉２Ａの運転停止後に炉壁２１の内部からの熱抵抗体３の厚さｔｓの測定を行わなくても運転停止時のメンテナンス計画の検討および作成が可能となるため、定期点検時における工程短縮が可能となる。

[0042] 図１０は、本開示の一実施形態における第１関連付け情報を説明するため

の説明図である。幾つかの実施形態では、上述したフィン温度変動範囲情報取得部１３は、フィン温度データ取得部１２において取得されたフィン２３の温度Ｔｓと水冷管２２を流れる冷却液の温度（代表温度）Ｔｗの差分値の、上述した第１所定期間における変動範囲をフィン温度変動範囲情報ＩＴｓとして取得するように構成されている。水冷管２２を流れる冷却液の温度Ｔｗは、温度センサ２２０により取得されてもよい。フィン温度変動範囲情報取得部１３は、温度センサ２２０から直接冷却液の時系列温度データを取得してもよいし、温度センサ２２０から記憶部１１に送られて、記憶部１１に記憶された冷却液の時系列温度データを取得してもよい。

[0043] 第１関連付け情報ＡＩ１は、図１０に示されるような、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値と熱抵抗体３の厚さｔｓとの間の対応関係を示すものであってもよい。第１関連付け情報ＡＩ１は、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値を入力情報とした際に、熱抵抗体３の厚さｔｓを出力情報として取得できるようになっていてもよい。なお、第１関連付け情報ＡＩ１の出力情報及び熱抵抗体厚さ推定部１４にて推定される熱抵抗体３の厚さｔｓは、図４～図７に示されるような、水冷管２２の内面に付着した部分の厚さ$ｔｓ_1$であってもよいし、フィン２３の内面に付着した部分の厚さ$ｔｓ_2$であってもよい。

[0044] 上記の構成によれば、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓとして、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値を用いることで、フィン２３の温度変動を熱量として表現できる。スラグ監視装置１は、フィン２３の温度変動を熱量として表現したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓを熱抵抗体３（スラグ３１）の厚さｔｓの推定に用いることで、フィン２３の温度変動をそのままフィン２３の温度変化として表現したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓを用いる場合に比べて、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束が変動するガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さｔｓを精度良く推定できる。

[0045] 幾つかの実施形態では、上述した第１関連付け情報ＡＩ１は、図１０に示されるように、第１対応関係情報ＭＣ１と、第２対応関係情報ＭＣ２と、を

含む。第１対応関係情報ＭＣ１は、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束として第１熱流束を用いた熱解析により算出した熱抵抗体３の厚さｔｓ及びフィン温度変動範囲情報ＩＴｓの対応関係に関する情報である。第２対応関係情報ＭＣ２は、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束として第１熱流束よりも大きい第２熱流束を用いた熱解析により算出した熱抵抗体３の厚さｔｓ及びフィン温度変動範囲情報ＩＴｓの対応関係に関する情報である。

[0046] 第１関連付け情報ＡＩ１は、図１０に示されるような、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値を横軸（第１軸）とし、熱抵抗体３の厚さｔｓを縦軸（第２軸）とするグラフ上に示されるマスターカーブＭＣであってもよい。なお、第１熱流束は、熱流束の設定下限であってもよいし、第２熱流束は、熱流束の設定上限であってもよい。第１対応関係情報ＭＣ１は、マスターカーブＭＣにおける下限境界ラインを含んでいてもよいし、第２対応関係情報ＭＣ２は、マスターカーブＭＣにおける上限境界ラインを含んでいてもよい。

[0047] 上記の構成によれば、第１関連付け情報ＡＩ１は、熱解析に用いるパラメータの一つである炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束が夫々異なる複数の対応関係情報ＭＣ１、ＭＣ２を含むので、スラグ監視装置１は、炉壁２１の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映された熱抵抗体３（スラグ３１）の厚さｔｓを精度良く推定できる。

[0048] （定点測定のフィンの時系列温度データの利用）

（剥離推定部）

図１１は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置１の構成を概略的に示す概略構成図である。図１２は、本開示の一実施形態に係る剥離推定部１５及び熱抵抗体厚さ増加率算出部１６を説明するための説明図である。幾つかの実施形態では、図１１に示されるように、上述したスラグ監視装置１は、剥離推定部１５をさらに備える。剥離推定部１５は、図１２に示されるように、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃが予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超

えた場合に、炉壁２１から熱抵抗体３の少なくとも一部が剥離したと推定するように構成されている。

[0049] 図示される実施形態では、剥離推定部１５は、図１２に示されるような、フィン温度データ取得ステップＳ１（フィン温度データ取得部１２）において取得された第１所定期間におけるフィン２３の時系列温度データ、及び、第１所定期間における冷却液の時系列温度データから算出された、第１所定期間におけるフィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値の時系列温度データ（以下、フィン２３の修正時系列温度データとする）を取得し、フィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃを算出する。

[0050] フィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃは、フィン２３の修正時系列温度データを所定時間Ｔ１毎に分割した際の各所定時間Ｔ１におけるフィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値の増加量（該所定時間Ｔ１における上記差分値の最大値と最小値の差分値、図１２参照）である。なお、フィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃは、所定時間Ｔ１におけるフィン２３の温度Ｔｓの増加量（該所定時間Ｔ１における最大値と最小値の差分値）であってもよい。

[0051] 上記の構成によれば、剥離推定部１５は、炉壁２１から熱抵抗体３が剥離するとフィン２３の温度Ｔｓが急激に上昇することを利用して、フィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃが予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超える部分において熱抵抗体３の少なくとも一部が剥離したと推定する。この場合には、スラグ監視装置１は、フィン２３の時系列温度データから熱抵抗体３の剥離を推定できる。

[0052]（熱抵抗体厚さ増加率算出部）

幾つかの実施形態では、図１１に示されるように、上述したスラグ監視装置１は、熱抵抗体厚さ増加率算出部１６をさらに備える。熱抵抗体厚さ増加率算出部１６は、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄと熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率が関連付けられた第２関連付け情報ＡＩ２に基づき、フィン２３の温度

Ｔｓの低下率Δｄに対応する熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率を算出するように構成されている。

[0053] 図示される実施形態では、熱抵抗体厚さ増加率算出部１６は、図１２に示されるような、フィン温度データ取得ステップＳ１（フィン温度データ取得部１２）において取得された第１所定期間におけるフィン２３の時系列温度データ、及び、第１所定期間における冷却液の時系列温度データから算出された、第１所定期間におけるフィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値の時系列温度データ（以下、フィン２３の修正時系列温度データとする）を取得し、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄを算出する。

[0054] フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄは、フィン２３の修正時系列温度データを所定時間Ｔ１毎に分割した際の各所定時間Ｔ１におけるフィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値の減少量（該所定時間Ｔ１における上記差分値の最大値と最小値の差分値、図１２参照）である。なお、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄは、所定時間Ｔ１におけるフィン２３の温度Ｔｓの減少量（該所定時間Ｔ１における最大値と最小値の差分値）であってもよい。熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率は、各所定時間Ｔ１における厚さｔｓの増加量であってもよい。

[0055] 第２関連付け情報ＡＩ２は、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄと熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率との間の対応関係を示すものであり、低下率Δｄを入力情報とした際に、入力情報である低下率Δｄに対応する熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率を出力情報として取得できるものであればよい。第２関連付け情報ＡＩ２には、上記入力情報と上記出力情報との対応関係を示すリストや表、マップ、関数、機械学習のモデルなどが含まれる。第２関連付け情報ＡＩ２は、定常試験データを基に作成してもよいし、定常試験データ以外の過去の実績値や実験値、数値解析結果などを基に作成してもよい。第２関連付け情報ＡＩ２は、記憶部１１に記憶されていてもよく、熱抵抗体厚さ増加率算出部１６は記憶部１１に記憶された第２関連付け情報ＡＩ２を参照するように構成されていてもよい。

[0056] 上記の構成によれば、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄが比較的大きい場合には、スラグ３１の厚さｔｓの増加率が高いのに対して、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄが比較的小さい場合には、スラグ３１の厚さｔｓの増加率が低い。熱抵抗体厚さ増加率算出部１６は、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄと熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率との間の関係を示す第２関連付け情報ＡＩ２を用いて、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄに対応する熱抵抗体３の厚さの増加率を算出できる。スラグ監視装置１は、熱抵抗体厚さ増加率算出部１６において算出した熱抵抗体３の厚さｔｓの増加率を考慮することで、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さｔｓを精度良く推定できる。

[0057] （高さ方向の多点測定のフィンの時系列温度データの利用）

幾つかの実施形態では、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４は、図３に示されるように、第１のフィン温度測定装置４Ａと、第１のフィン温度測定装置４Ａに対して炉壁２１の高さ方向において所定の第１計測間距離ｄｖだけ間隔をあけて配置された第２のフィン温度測定装置４Ｂと、を含む。

[0058] 所定の第１計測間距離ｄｖは、第１のフィン温度測定装置４Ａの温度計測位置と、第２のフィン温度測定装置４Ｂの温度計測位置との間の距離である。第１のフィン温度測定装置４Ａの温度計測位置は、第２のフィン温度測定装置４Ｂの温度計測位置よりも第１計測間距離ｄｖだけ炉壁２１の高さ方向における上方に位置する。図示される実施形態では、第１のフィン温度測定装置４Ａは、複数のセンシング部４１のうちの第１センシング部４１Ａを含み、第２のフィン温度測定装置４Ｂは、複数のセンシング部４１のうちの、第１センシング部４１Ａよりも第１計測間距離ｄｖだけ対して炉壁２１の高さ方向における下方に位置する第２センシング部４１Ｂを含む。

[0059] 図１３は、本開示の一実施形態に係る剥離推定部１５及び熱抵抗体流下速度算出部１７を説明するための説明図である。図１３では、時間Ｔを横軸とし、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値を縦軸とするグラフ

が示されている。図１３のグラフの上側には、第１のフィン温度測定装置４Ａの測定結果から導出されたフィン２３の修正時系列温度データが示されており、図１３のグラフの下側には、第２のフィン温度測定装置４Ｂの測定結果から導出されたフィン２３の修正時系列温度データが示されている。

[0060]（剥離推定部）

幾つかの実施形態では、図１３に示されるように、上述した剥離推定部１５は、第２所定期間Ｔ２内における第１のフィン温度測定装置４Ａにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ１）、及び第２所定期間Ｔ２内における第２のフィン温度測定装置４Ｂにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ２）を考慮して、炉壁２１からの熱抵抗体３の剥離状態を推定するように構成された。

[0061] 第２所定期間Ｔ２は、個々のフィン温度測定装置４による剥離の推定に用いる上述した所定時間Ｔ１と同じであってもよいし、所定時間Ｔ１よりも長くてもよい。剥離推定部１５は、図１３に示されるように、第２所定期間Ｔ２内において、上述した上昇率Δｃ１及び上昇率Δｃ２の夫々が予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超えた場合には、第１のフィン温度測定装置４Ａの温度計測位置から第２のフィン温度測定装置４Ｂの温度計測位置までに亘る高さ方向範囲において、熱抵抗体３の剥離が生じたと推定する。また、上述した上昇率Δｃ１又は上昇率Δｃ２の一方が予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超えた場合には、温度上昇率ＳΔｃを超えた側のフィン温度測定装置４の温度計測位置近傍において熱抵抗体３の剥離が生じていると推定するとともに、温度上昇率ＳΔｃを超えない側のフィン温度測定装置４の温度計測位置近傍において熱抵抗体３の剥離が生じていないと推定する。

[0062] 上記の構成によれば、スラグ監視装置１は、炉壁２１の高さ方向において異なる複数の位置におけるフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ１、Δｃ２）を考慮することで、熱抵抗体３が剥離した炉壁２１の高さ方向範囲を推定できるため、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さ分布（特に炉壁２１の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0063]（熱抵抗体流下速度算出部）

幾つかの実施形態では、図１１に示されるように、上述したスラグ監視装置１は、熱抵抗体流下速度算出部１７をさらに備える。熱抵抗体流下速度算出部１７は、第２所定期間Ｔ２内において、上述した上昇率Δｃ１及び上昇率Δｃ２の夫々が予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超えた場合において、熱抵抗体３の流下速度Ｖｓを算出するように構成されている。ここで、上昇率Δｃ１及び上昇率Δｃ２の夫々が温度上昇率ＳΔｃを超えた第２所定期間Ｔ２内における第１のフィン温度測定装置４Ａにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の最大値の取得時刻を第１取得時刻ｔｐ１と定義し、上昇率Δｃ１及び上昇率Δｃ２の夫々が温度上昇率ＳΔｃを超えた第２所定期間Ｔ２内における第２のフィン温度測定装置４Ｂにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の最大値の取得時刻を第２取得時刻ｔｐ２と定義する。熱抵抗体流下速度算出部１７は、第２取得時刻ｔｐ２と第１取得時刻ｔｐ１の時間差ｔｐ２－ｔｐ１、及び第１計測間距離ｄｖから、熱抵抗体３の流下速度Ｖｓを算出する。具体的には、流下速度Ｖｓは、以下の式（１）により算出される。

Ｖｓ＝ｄｖ／（ｔｐ２－ｔｐ１）　・・・式（１）

[0064] 熱抵抗体流下速度算出部１７において流下速度Ｖｓが算出される場合には、温度変動の低下開始点（ピーク値）が、炉壁２１の高さ方向における上方から下方に連動していることから、スラグ監視装置１は、比較的厚い層のスラグ３１（熱抵抗体３）が流下している状況であると判定できる。

[0065] 上記の構成によれば、熱抵抗体流下速度算出部１７により熱抵抗体３の流下速度Ｖｓを算出することができる。スラグ監視装置１は、熱抵抗体３の流下速度Ｖｓを考慮することで、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さ分布（特に炉壁２１の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0066]（スラグ生成挙動評価部）

幾つかの実施形態では、図１１に示されるように、上述したスラグ監視装

置１は、スラグ生成挙動評価部１８をさらに備える。スラグ生成挙動評価部１８は、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の低下率Δｄ、及び熱抵抗体流下速度算出部１７が算出した熱抵抗体３の流下速度Ｖｓに基づいて、スラグ３１の生成挙動を評価するように構成されている。

[0067] 図１４は、本開示の一実施形態に係るスラグ生成挙動評価部１８を説明するための説明図である。図１４に示される実施形態では、スラグ生成挙動評価部１８は、スラグ３１の生成挙動を第１パターンＤ１、第２パターンＤ２、第３パターンＤ３及び第４パターンの４つのパターンに区分して評価する。

[0068] （第１パターン）

スラグ生成挙動評価部１８は、低下率Δｄが低下率の境界値ＢΔｄよりも大きく、流下速度Ｖｓが流下速度の境界値ＢＶｓよりも大きい場合には、第１パターンＤ１に属すると判断する。この場合において、スラグ生成挙動評価部１８は、炉壁２１の内部のガス流動が比較的大きく、炉壁２１の高さ方向範囲におけるスラグ３１の付着量が比較的大きいと評価する。

[0069] （第２パターン）

スラグ生成挙動評価部１８は、低下率Δｄが低下率の境界値ＢΔｄよりも大きく、流下速度Ｖｓが流下速度の境界値ＢＶｓよりも小さい場合には、第２パターンＤ２に属すると判断する。この場合において、スラグ生成挙動評価部１８は、炉壁２１の内部のガス流動が第１パターンＤ１に属する場合に比べて小さく、炉壁２１の高さ方向における上方において付着した厚いスラグ３１の層が下方に流下していると評価する。

[0070] （第３パターン）

スラグ生成挙動評価部１８は、低下率Δｄが低下率の境界値ＢΔｄよりも小さく、流下速度Ｖｓが流下速度の境界値ＢＶｓよりも大きい場合には、第３パターンＤ３に属すると判断する。この場合において、スラグ生成挙動評価部１８は、炉壁２１の内部のガス流動が第２パターンＤ２に属する場合に

比べて小さく、炉壁２１の高さ方向範囲においてスラグ３１の厚さｔｓが徐々に増加していると評価する。

[0071]（第４パターン）

スラグ生成挙動評価部１８は、低下率Δｄが低下率の境界値ＢΔｄよりも小さく、流下速度Ｖｓが流下速度の境界値ＢＶｓよりも小さい場合には、第４パターンＤ４に属すると判断する。この場合において、スラグ生成挙動評価部１８は、炉壁２１の内部のガス流動が第３パターンＤ３に属する場合に比べて小さく、炉壁２１の高さ方向範囲においてスラグ３１の付着量が少なく、スラグ３１の流動も小さいと評価する。

[0072] 上記の構成によれば、スラグ生成挙動評価部１８において、フィン２３の温度Ｔｓの低下率Δｄ及び熱抵抗体３の流下速度Ｖｓを用いて、スラグ３１の生成挙動を分類でき、スラグ３１の生成挙動を評価できる。スラグ監視装置１は、上記スラグの生成挙動の評価を考慮することで、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さ分布（特に炉壁２１の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0073]（周方向の多点測定のフィンの時系列温度データの利用）

幾つかの実施形態では、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４は、図３に示されるように、第３のフィン温度測定装置４Ｃと、第３のフィン温度測定装置４Ｃに対して炉壁２１の周方向において所定の第２計測間距離ｄｈだけ間隔をあけて配置された第４のフィン温度測定装置４Ｄと、を含む。

[0074] 所定の第２計測間距離ｄｈは、第３のフィン温度測定装置４Ｃの温度計測位置と、第４のフィン温度測定装置４Ｄの温度計測位置との間の距離である。第３のフィン温度測定装置４Ｃの温度計測位置は、第４のフィン温度測定装置４Ｄの温度計測位置よりも第２計測間距離ｄｈだけ炉壁２１の周方向における一方側に位置する。図示される実施形態では、第３のフィン温度測定装置４Ｃは、複数のセンシング部４１のうちの第３センシング部４１Ｃを含み、第４のフィン温度測定装置４Ｄは、複数のセンシング部４１のうちの、

第３センシング部４１Ｃよりも第２計測間距離ｄｈだけ炉壁２１の周方向における他方側に位置する第４センシング部４１Ｄを含む。なお、図３に示されるように、第３センシング部４１Ｃ（第３のフィン温度測定装置４Ｃ）は、第１センシング部４１Ａ（第１のフィン温度測定装置４Ａ）と同一であってもよいし、第１センシング部４１Ａ（第１のフィン温度測定装置４Ａ）とは異なるものであってもよい。

[0075] 図１５は、本開示の一実施形態に係る剥離推定部１５及びガス周方向流速算出部１９を説明するための説明図である。図１５では、時間Ｔを横軸とし、フィン２３の温度Ｔｓと冷却液の温度Ｔｗの差分値を縦軸とするグラフが示されている。図１５のグラフの上側には、第３のフィン温度測定装置４Ｃの測定結果から導出されたフィン２３の修正時系列温度データが示されており、図１５のグラフの下側には、第４のフィン温度測定装置４Ｄの測定結果から導出されたフィン２３の修正時系列温度データが示されている。

[0076]（剥離推定部）

幾つかの実施形態では、図１５に示されるように、上述した剥離推定部１５は、第３所定期間Ｔ３内における第３のフィン温度測定装置４Ｃにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ３）、及び第３所定期間Ｔ３内における第４のフィン温度測定装置４Ｄにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ４）を考慮して、炉壁２１からの熱抵抗体３の剥離状態を推定するように構成された。

[0077] 第３所定期間Ｔ３は、個々のフィン温度測定装置４による剥離の推定に用いる上述した所定時間Ｔ１と同じであってもよいし、所定時間Ｔ１よりも長くてもよい。剥離推定部１５は、図１５に示されるように、第３所定期間Ｔ３内において、上述した上昇率Δｃ３及び上昇率Δｃ４の夫々が予め定められた温度上昇率ＳΔｃを超えた場合には、第３のフィン温度測定装置４Ｃの温度計測位置から第４のフィン温度測定装置４Ｄの温度計測位置までに亘る周方向範囲において、熱抵抗体３の剥離が生じたと推定する。また、上述した上昇率Δｃ３又は上昇率Δｃ４の一方が予め定められた温度上昇率ＳΔｃ

を超えた場合には、温度上昇率ＳΔｃを超えた側のフィン温度測定装置４の温度計測位置近傍において熱抵抗体３の剥離が生じていると推定するとともに、温度上昇率ＳΔｃを超えない側のフィン温度測定装置４の温度計測位置近傍において熱抵抗体３の剥離が生じていないと推定する。

[0078] 上記の構成によれば、スラグ監視装置１は、炉壁２１の周方向において異なる複数の位置におけるフィン２３の温度Ｔｓの上昇率Δｃ（Δｃ３、Δｃ４）を考慮することで、各周方向位置におけるフィン２３の温度Ｔｓの上昇が熱抵抗体３の剥離によるものか否かを判別でき、熱抵抗体３が剥離した炉壁２１の周方向範囲を推定できる。このため、スラグ監視装置１は、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さ分布（特に炉壁２１の周方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0079]（周方向流速算出部）

幾つかの実施形態では、図１１に示されるように、上述したスラグ監視装置１は、ガス周方向流速算出部１９をさらに備える。ガス周方向流速算出部１９は、第３所定期間Ｔ３内において、第３のフィン温度測定装置４Ｃにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の変化率（上昇率Δｃ３又は低下率Δｄ３）及び第４のフィン温度測定装置４Ｄにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の変化率（上昇率Δｃ４又は低下率Δｄ４）が予め定められた温度変化率（設定上昇率ＳΔｃ又は設定低下率ＳΔｄ）を超えた場合において、炉壁２１の内部を流れるガスの周方向流速Ｖｈを算出するように構成されている。すなわち、ガス周方向流速算出部１９は、上述した上昇率Δｃ３及び上昇率Δｃ４の夫々が設定上昇率ＳΔｃを超えた場合、及び、上述した低下率Δｄ３及び低下率Δｄ４の夫々が設定低下率ＳΔｄを超えた場合は、周方向の複数の測定位置において温度変動が連動しているため、炉壁２１の内部を流れるガスの流動に伴う温度上昇と判定し、周方向流速Ｖｈを算出するように構成されている。

[0080] ここで、上昇率Δｃ３及び上昇率Δｃ４の夫々が温度上昇率ＳΔｃを超えた第３所定期間Ｔ３内における第３のフィン温度測定装置４Ｃにおいて測定

されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の最大値の取得時刻を第３取得時刻ｔｐ３と定義し、上昇率Δｃ３及び上昇率Δｃ４の夫々が温度上昇率ＳΔｃを超えた第３所定期間Ｔ３内における第４のフィン温度測定装置４Ｄにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）の最大値の取得時刻を第４取得時刻ｔｐ４と定義する。周方向流速Ｖｈは、ガス周方向流速算出部１９は、第４取得時刻ｔｐ４と第３取得時刻ｔｐ３の時間差ｔｐ４－ｔｐ３、及び第２計測間距離ｄｈから、周方向流速Ｖｈを算出する。具体的には、周方向流速Ｖｈは、以下の式（２）により算出される。

Ｖｈ＝ｄｈ／（ｔｐ４－ｔｐ３）　・・・式（２）

[0081] 上記の構成によれば、炉壁２１の内部を流れるガスの周方向流速Ｖｈが比較的大きい場合には、スラグ３１の厚さｔｓの増加率が高いのに対して、上記ガスの周方向流速Ｖｈが比較的小さい場合には、スラグ３１の厚さｔｓの増加率が低い。ガス周方向流速算出部１９は、上記ガスの周方向流速Ｖｈを算出できる。スラグ監視装置１は、ガス周方向流速算出部１９において算出したガスの周方向流速Ｖｈを考慮することで、ガス化炉２Ａの運転中における熱抵抗体３の厚さ分布（特に炉壁２１の周方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0082] なお、スラグ監視装置１は、複数の連続する第３所定期間Ｔ３における、第３のフィン温度測定装置４Ｃにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）と、第４のフィン温度測定装置４Ｄにおいて測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（修正時系列温度データ）との間の温度変動の傾向を評価し、上記温度変動の傾向が同じであると評価した場合には、上記温度変動は、ガス化炉２Ａの運転負荷による傾向が表れていると判定するように構成されていてもよい。また、スラグ監視装置１は、上記温度変動の傾向が異なると評価した場合には、炉壁２１の周方向において熱抵抗体３の厚さや炉壁２１内の熱負荷に偏りが生じると判定するように構成されていてもよい。

[0083] 上述したアニュラス部２６は、ガス化炉２Ａ（炉外壁２５）の外側よりも高温高圧雰囲気となるため、スラグ監視装置１は、ガス化炉２Ａ（炉外壁２５）の外側に配置される。スラグ監視装置１に接続される温度計測装置（例えば、フィン温度測定装置４）は、スラグ監視装置１に接続されるケーブル（例えば、光ファイバケーブル４２）を挿通させる貫通孔を炉外壁２５に形成し、炉外壁２５に形成された貫通孔と上記ケーブルとの間をシールするシール構造を設ける必要がある。ここで、炉外壁２５に形成できる上記貫通孔の数に制約があり、温度計測装置による計測点数が限られるという問題がある。

[0084] 上述したように、フィン温度測定装置４として光ファイバセンサ４０を採用することで、多点（複数のセンシング部４１）における温度計測が可能となる。光ファイバセンサ４０は、炉壁２１の高さ方向における複数箇所（例えば、１０点以上）の温度を測定でき、且つ炉壁２１の周方向における複数箇所（例えば、１０点以上）の温度を測定できる。これに対して、超音波センサ５０（熱抵抗体厚さ測定装置５）は、上述した貫通孔の数の制約により、図３に示されるように、炉壁２１の周方向における１箇所において、炉壁２１の高さ方向の多数箇所を計測することが好ましい。

[0085]（熱抵抗体厚さ測定装置）

幾つかの実施形態に係るスラグ監視装置１は、図２に示されるように、少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５に接続され、少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５において測定された熱抵抗体３の厚さｔｓを取得可能に構成されている。上述した少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５は、炉壁２１の外側であるアニュラス部２６に設けられて、炉壁２１に形成された貫通孔を介して炉壁２１の内面２１１に取り付けられた熱抵抗体３の厚さｔｓを測定するように構成されている。

[0086] 図示される実施形態では、上述した少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５は、超音波探傷により熱抵抗体３の厚さｔｓを測定可能な超音波センサ５０であって、超音波を発振可能な超音波探触子及び反射した超音波を受信

する受信機を含む超音波センサ５０からなる。超音波センサ５０は、超音波探触子から発信した超音波を熱抵抗体３中に伝搬させ、その超音波の反射の受信状態により熱抵抗体３の厚さｔｓを測定するようになっている。なお、熱抵抗体厚さ測定装置５は、熱抵抗体３の厚さｔｓを測定するように構成されていればよく、超音波センサ５０に限定されるものではない。

[0087] 図１６は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視装置１の構成を概略的に示す概略構成図である。図１７は、本開示の一実施形態に係るスラグ監視方法１００のフロー図である。幾つかの実施形態では、スラグ監視方法１００は、図１７に示されるように、熱抵抗体厚さ取得ステップＳ１１と、対応フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ１２と、第１関連付け情報補正ステップＳ１３と、をさらに備える。

[0088] スラグ監視装置１は、図１６に示されるように、熱抵抗体厚さ取得部６１と、対応フィン温度変動範囲情報取得部６２と、第１関連付け情報補正部６３と、をさらに備える。図示される実施形態では、図１６に示されるように、スラグ監視システム１０は、スラグ監視装置１に接続された少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５をさらに備える。

[0089] （熱抵抗体厚さ取得ステップ、熱抵抗体厚さ取得部）

熱抵抗体厚さ取得ステップＳ１１では、上述した少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５において測定された上述した第１所定期間における熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓを取得することが行われる。熱抵抗体厚さ取得ステップＳ１１は、熱抵抗体厚さ取得部６１により行われてもよい。熱抵抗体厚さ取得部６１は、上述した少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置５において測定された上述した第１所定期間における熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓを取得するように構成されている。なお、熱抵抗体厚さ取得部６１は、測定値Ｍｔｓとして、第１所定期間における任意の時点における測定値Ｍｔｓではなく、第１所定期間において測定した複数の測定値Ｍｔｓの平均値を取得することが好ましい。

[0090] （対応フィン温度変動範囲情報取得ステップ、対応フィン温度変動範囲情報

取得部）

対応フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ１２では、熱抵抗体厚さ取得ステップＳ１１（熱抵抗体厚さ取得部６１）において取得された熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓから、第１関連付け情報ＡＩ１に基づいて測定値Ｍｔｓに対応するフィン温度変動範囲情報ＩＴｓである対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓを取得することが行われる。対応フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ１２は、対応フィン温度変動範囲情報取得部６２により行われてもよい。対応フィン温度変動範囲情報取得部６２は、熱抵抗体厚さ取得ステップＳ１１（熱抵抗体厚さ取得部６１）において取得された測定値Ｍｔｓから、第１関連付け情報ＡＩ１に基づいて対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓを取得するように構成されている。

[0091] 第１関連付け情報ＡＩ１は、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓと熱抵抗体３の厚さｔｓとの間の対応関係を示すものであり、熱抵抗体３の厚さｔｓを入力情報として、入力情報である熱抵抗体３の厚さｔｓに対応するフィン温度変動範囲情報ＩＴｓ（対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓ）を出力情報として取得できるものである。対応フィン温度変動範囲情報取得部６２は、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓを取得する際に記憶部１１に記憶された第１関連付け情報ＡＩ１を参照してもよい。

[0092] （第１関連付け情報補正ステップ、第１関連付け情報補正部）

第１関連付け情報補正ステップＳ１３では、対応フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ１２（対応フィン温度変動範囲情報取得部６２）において取得された対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓ、及びフィン温度変動範囲情報取得部１３が取得したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに基づいて、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓとフィン温度変動範囲情報ＩＴｓとの差分を小さくするように、第１関連付け情報ＡＩ１を補正することが行われる。第１関連付け情報補正ステップＳ１３は、第１関連付け情報補正部６３により行われてもよい。第１関連付け情報補正部６３は、対応フィン温度変動範囲情報取得ステップＳ１２（対応フィン温度変動範囲情報取得部６２）におい

て取得された対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓ、及びフィン温度変動範囲情報取得部１３が取得したフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに基づいて、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓとフィン温度変動範囲情報ＩＴｓとの差分を小さくするように、第１関連付け情報ＡＩ１を補正するように構成されている。

[0093] 図１８は、本開示の一実施形態に係る対応フィン温度変動範囲情報取得部６２及び誤差範囲導出部６４を説明するための説明図である。図１９は、本開示の一実施形態に係る第１関連付け情報補正部６３を説明するための説明図である。図１８及び図１９に示されるように、第１関連付け情報補正部６３では、比較対象である対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓとフィン温度変動範囲情報ＩＴｓとの差分がある場合に、この差分を小さくするように、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓをフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに近付けることが行われる。図１８及び図１９に示されるように、第１関連付け情報ＡＩ１がグラフ上に示される上述したマスターカーブＭＣである場合には、横軸（第１軸）方向においてフィン温度変動範囲情報ＩＴｓに向かってマスターカーブＭＣをずらすことが行われる。図１９におけるＣＭＣは、第１関連付け情報ＡＩ１を補正後のマスターカーブであり、補正後の下限境界ライン（第１対応関係情報ＣＭＣ１）と、補正後の上限境界ライン（第２対応関係情報ＣＭＣ２）と、を含む。

[0094] 図示される実施形態では、第１関連付け情報補正部６３は、比較対象である対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓの平均値とフィン温度変動範囲情報ＩＴｓの平均値との差分を小さくするように、第１関連付け情報ＡＩ１を補正するようになっている。なお、第１関連付け情報補正部６３は、比較対象である対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓとフィン温度変動範囲情報ＩＴｓの中間値同士の差分、最頻値同士の差分、最大値同士の差分又は最小値同士の差分の何れかを小さくするように、第１関連付け情報ＡＩ１を補正してもよい。

[0095] 第１関連付け情報補正部６３における比較対象の一方である対応フィン温

度変動範囲情報ＣＩＴｓを導出するための熱抵抗体厚さ測定装置５は、複数の熱抵抗体厚さ測定装置５のうち、代表する一つの熱抵抗体厚さ測定装置（代表熱抵抗体厚さ測定装置）５であってもよい。また、第１関連付け情報補正部６３における比較対象の他方であるフィン温度変動範囲情報ＩＴｓを導出するためのフィン温度測定装置４は、複数のフィン温度測定装置４のうち、代表する一つのフィン温度測定装置（代表フィン温度測定装置）４であってもよい。代表フィン温度測定装置４の測定位置と熱抵抗体厚さ測定装置５の測定位置はできる限り近いことが好ましい。図２に示されるように、１つの水冷管２２を挟むように配置され、該１つの水冷管２２に一端が接続される２つのフィン２３のうち、一方のフィン２３に代表フィン温度測定装置４の測定位置を設け、他方のフィン２３に代表熱抵抗体厚さ測定装置５の測定位置を設けても良い。また、図３に示されるように、代表フィン温度測定装置４の測定位置から、第１計測間距離ｄｖ及び第２計測間距離ｄｈよりも近くに代表熱抵抗体厚さ測定装置５の測定位置を設けても良い。

[0096] 上記の構成によれば、スラグ監視装置１は、熱抵抗体厚さ測定装置５において測定された熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓから対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓを導出できる。この対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓを用いることで、第１関連付け情報ＡＩ１を補正できる。補正された第１関連付け情報ＡＩ１は、熱抵抗体厚さ測定装置５において測定された熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓが反映されているので、補正された第１関連付け情報ＡＩ１を用いることで、熱抵抗体３の厚さｔｓをより精度良く推定できる。

[0097] 幾つかの実施形態では、スラグ監視方法１００は、図１７に示されるように、誤差範囲導出ステップＳ１４をさらに備える。スラグ監視装置１は、図１６に示されるように、誤差範囲導出部６４をさらに備える。上述した第１関連付け情報補正ステップＳ１３（第１関連付け情報補正部６３）では、比較対象の１つであるフィン温度変動範囲情報ＩＴｓが、誤差範囲導出ステップＳ１４（誤差範囲導出部６４）において導出された上限範囲ＵＲ又は下限

範囲ＬＲを逸脱した場合に、第１関連付け情報ＡＩ１を補正するようになっている。

[0098] 誤差範囲導出部６４は、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓ及び予め設定された設定誤差を用いて、上限範囲ＵＲ及び下限範囲ＬＲを取得する（ステップＳ１４）。

[0099] 上限範囲ＵＲは、熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓに設定誤差の厚さを加えた上限厚さｔｓｕから、第１関連付け情報ＡＩ１に基づいて導出される。上限範囲ＵＲは、図１７に示されるように、上限範囲ＵＲの平均値Ｔｕａｖｅと、上限範囲ＵＲの最大値と最小値の差分値である変動幅ΔＴｕを取得可能な情報である。

[0100] 下限範囲ＬＲは、熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓから設定誤差の厚さを引いた下厚さｔｓｌから、第１関連付け情報ＡＩ１に基づいて導出される。下限範囲ＬＲは、図１７に示されるように、下限範囲ＬＲの平均値ＴＩａｖｅと、下限範囲ＬＲの最大値と最小値の差分値である変動幅ΔＴＩを取得可能な情報である。

[0101] フィン温度変動範囲情報ＩＴｓが、上限範囲ＵＲ又は下限範囲ＬＲを逸脱するか否かの判定は、図１７に示されるように、各々の平均値を比較してもよい（ステップＳ１５）。フィン温度変動範囲情報ＩＴｓから導出されるフィン２３の温度Ｔｓの平均値Ｔｓａｖｅが、下限範囲ＬＲの平均値ＴＩａｖｅ以下であり、且つ上限範囲ＵＲの平均値Ｔｕａｖｅ以上である場合には、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓが上限範囲ＵＲ又は下限範囲ＬＲを逸脱していないと判定し（ステップＳ１５で「ＹＥＳ」）、第１関連付け情報補正ステップＳ１３が行われない。

[0102] フィン２３の温度Ｔｓの平均値Ｔｓａｖｅが、下限範囲ＬＲの平均値ＴＩａｖｅを上回る、又は上限範囲ＵＲの平均値Ｔｕａｖｅを下回る場合には、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓが上限範囲ＵＲ又は下限範囲ＬＲを逸脱していると判定し（ステップＳ１５で「ＮＯ」）、第１関連付け情報補正ステップＳ１３が行われる。なお、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓが、上限範囲Ｕ

Ｒ又は下限範囲ＬＲを逸脱するか否かの判定は、フィン温度変動範囲情報ＩＴｓから導出される他のパラメータ（例えば、変動幅）を比較してもよい。

[0103] 上記の構成によれば、熱抵抗体厚さ取得部６１において取得された熱抵抗体３の厚さｔｓの測定値Ｍｔｓには、測定誤差が生じることがあり、対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓにも誤差が生じることがある。対応フィン温度変動範囲情報ＣＩＴｓに対して誤差の上限範囲ＵＲ及び下限範囲ＬＲを設け、上限範囲ＵＲ又は下限範囲ＬＲを逸脱しない場合には、第１関連付け情報ＡＩ１を補正しないようにすることで、上述した誤差による第１関連付け情報ＡＩ１の不必要な補正を抑制できる。

[0104] 図２０は、本開示の一実施形態に係る炉壁２１の概略図である。図２０に示されるように、水冷管２２の高さ方向の上端部を管頂部２２１とする。この管頂部２２１は、炉壁２１の内部を流れるガスの流動の影響を強く受けるので、熱変動による熱疲労が問題となる。管頂部２２１の熱変動に伴う疲労寿命評価を目的に、炉壁２１に穿孔して熱電対を挿入するコーダル方式による温度計測が適用されることがある。しかしながら、上記コーダル方式は、穿孔や開口部の養生などの手間を要するので、施工の手間とコストが大きいという問題がある。

[0105] 図２１は、本開示の一実施形態に係る余寿命評価装置８の構成を概略的に示す概略構成図である。図２２は、本開示の一実施形態に係る余寿命評価方法２００のフロー図である。図２３は、本開示の一実施形態に係る寿命評価値の導出方法を説明するための説明図である。図２４は、本開示の一実施形態に係るフィン２３の温度と管頂部２２１の温度の間の相関係数Ｒｔを説明するための説明図である。図２５は、本開示の一実施形態に係る水冷管２２の管頂部２２１の寿命を評価するための寿命評価値の導出方法を説明するための説明図である。本開示の幾つかの実施形態に係る余寿命評価装置８及び余寿命評価方法２００の夫々は、図２０に示されるような、上述したガス化炉２Ａの炉壁２１における水冷管２２の管頂部２２１の余寿命を評価するためのものである。なお、以下の実施形態では、火炉２が炭素含有固体燃料の

ガス化を行うように構成されたガス化炉２Ａである場合について説明するが、本開示は火炉２がガス化炉２Ａ以外の場合にも適用可能である。

[0106]（フィン温度測定装置）

幾つかの実施形態に係る余寿命評価装置８は、図２０に示されるように、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４に接続され、少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓを取得可能に構成されている。

[0107] 上述したように、フィン温度測定装置４として光ファイバセンサ４０を採用することで、多点（複数のセンシング部４１）における温度計測が可能となる。光ファイバセンサ４０は、炉壁２１の高さ方向における複数箇所（例えば、１０点以上）の温度を測定でき、且つ炉壁２１の周方向における複数箇所（例えば、１０点以上）の温度を測定できる。これに対して、コーダル熱電対７１（管頂部温度測定装置７）は、上述した施工の手間やコストの問題から、図２０に示されるような、少なくとも１つの代表により計測することが好ましい。

[0108]（管頂部温度測定装置）

幾つかの実施形態に係る余寿命評価装置８は、図２０に示されるように、少なくとも１つの管頂部温度測定装置７に接続され、少なくとも１つの管頂部温度測定装置７において測定された管頂部２２１の温度Ｔｔを取得可能に構成されている。上述した少なくとも１つの管頂部温度測定装置７は、水冷管２２に形成された穿孔２２２に埋め込まれ、管頂部２２１の温度Ｔｔを測定するように構成されている。図示される実施形態では、管頂部温度測定装置７は、コーダル方式を用いるコーダル熱電対７１からなる。なお、管頂部温度測定装置７は、管頂部２２１の温度Ｔｔを測定するように構成されていればよく、コーダル熱電対７１に限定されるものではない。

[0109]（余寿命評価方法、余寿命評価装置）

幾つかの実施形態に係る余寿命評価方法２００は、図２２に示されるように、フィン温度データ取得ステップＳ２１と、第１寿命評価値導出ステップ

Ｓ２２と、第２寿命評価値導出ステップＳ２３と、第２対応カウント数導出ステップＳ２４と、余寿命評価ステップＳ２５と、を備える。幾つかの実施形態に係る余寿命評価装置８は、図２１に示されるように、フィン温度データ取得ステップＳ２１を行うフィン温度データ取得部８１と、第１寿命評価値導出ステップＳ２２を行う第１寿命評価値導出部８２と、第２寿命評価値導出ステップＳ２３を行う第２寿命評価値導出部８３と、第２対応カウント数導出ステップＳ２４を行う第２対応カウント数導出部８４と、余寿命評価ステップＳ２５を行う余寿命評価部８５と、を備える。余寿命評価システム８０は、上述した余寿命評価装置８と、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４と、上述した少なくとも１つの管頂部温度測定装置７と、を備える。なお、余寿命評価方法２００における幾つかのステップは、余寿命評価装置８等の余寿命評価システム８０が備える装置や機器により行われてもよいし、余寿命評価システム８０以外の装置や機器により行われてもよい。また、余寿命評価方法２００における幾つかのステップを手動により行うようにしてもよい。

[0110] フィン温度データ取得部８１は、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の時系列温度データを取得するように構成されている。第１寿命評価値導出部８２は、フィン２３の時系列温度データを用いて、フィン２３における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅Ａ１、及び、フィン２３における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数Ｃ１を含む第１寿命評価値ＬＲ１を導出するように構成されている。図示される実施形態では、第１寿命評価値導出部８２は、図２３に示されるような、レインフローカウントを用いて第１寿命評価値ＬＲ１（第１振幅Ａ１及び第１カウント数Ｃ１）を導出する。

[0111] 第２寿命評価値導出部８３は、管頂部２２１における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅Ａ２と第１振幅Ａ１との間の振幅比ＣＲに基づいて、第１寿命評価値ＬＲ１に対応する第２寿命評価値ＬＲ２であ

って、第２振幅Ａ２、及び、管頂部２２１における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数Ｃ２を含む第２寿命評価値ＬＲ２を導出するように構成されている。振幅比ＣＲは、第２振幅Ａ２を第１振幅Ａ１で割ることで求められる。

[0112] 振幅比ＣＲは、図２５に示されるような、横軸を振幅Ａとし、縦軸をカウント数Ｃとするグラフにおいて、上述した第１寿命評価値ＬＲ１のプロットを直線近似した直線近似線ＳＬ３と、上述した第２寿命評価値ＬＲ２のプロットを直線近似した直線近似線ＳＬ４との比から算出してもよい。すなわち、振幅比ＣＲは、直線近似線ＳＬ４を直線近似線ＳＬ３で割ることによっても求められる。

[0113] 第２寿命評価値導出部８３において求められる第２カウント数Ｃ２は、第１カウント数Ｃ１の頻度に相当するものであるため、第２対応カウント数導出部８４において第２カウント数Ｃ２に適切な頻度に調整する必要がある。第２対応カウント数導出部８４は、フィン２３におけるクリティカル温度である第１クリティカル温度ＣＴ１を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数ＣＣ１と、管頂部２２１におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度ＣＴ２を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数ＣＣ２と、の比であるクリティカルカウント比ＣＣＲに基づいて、前記第１カウント数Ｃ１に対応する第２カウント数Ｃ２である対応第２カウント数ＲＣ２を導出するように構成されている。

[0114] 第１クリティカルカウント数ＣＣ１は、図２５に示されるグラフにおいて、第１寿命評価値ＬＲ１の第１クリティカル温度ＣＴ１よりも振幅が大きいプロットの数で表される。また、第２クリティカルカウント数ＣＣ２は、図２５に示されるグラフにおいて、第２寿命評価値ＬＲ２の第２クリティカル温度ＣＴ２よりも振幅が大きいプロットの数で表される。

[0115] 余寿命評価部８５は、管頂部２２１の疲労寿命を評価するための指標となる第２振幅Ａ２及び対応第２カウント数ＲＣ２を用いて、管頂部２２１の余寿命を評価するように構成されている。余寿命評価部８５は、累積疲労損傷

則などの公知の余寿命評価方法を用いて、管頂部２２１の余寿命を評価するようになっている。

[0116] 上記の構成（方法）によれば、余寿命評価装置８及び余寿命評価方法２００の夫々は、フィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓ（時系列温度データ）から、第１振幅Ａ１及び第１カウント数Ｃ１を含む第１寿命評価値ＬＲ１を取得でき、第１寿命評価値ＬＲ１を用いて、第２振幅Ａ２及び対応第２カウント数ＲＣ２を取得できる。第２振幅Ａ２及び対応第２カウント数ＲＣ２を用いることで、管頂部２２１の余寿命を評価できる。管頂部２２１の温度を測定可能な管頂部温度測定装置７を複数設置し、複数の管頂部温度測定装置７により測定した管頂部２２１の温度Ｔｔから第２振幅Ａ２及び対応第２カウント数ＲＣ２を導出することが考えられるが、管頂部温度測定装置７の設置は、フィン温度測定装置４の設置に比べて、設置作業の手間やコストが大きい。よって、上記の構成（方法）によれば、余寿命評価装置８及び余寿命評価方法２００の夫々は、フィン温度測定装置４の設置作業の手間やコストが小さいため、経済性に優れる。

[0117] 幾つかの実施形態では、図２２に示されるように、余寿命評価装置８及び余寿命評価方法２００の夫々は、上述した少なくとも１つの管頂部温度測定装置７において測定された管頂部２２１の温度Ｔｔを用いて、フィン２３の温度Ｔｓと管頂部２２１の温度Ｔｔの間の相関係数Ｒｔ、及び、クリティカルカウント比ＣＣＲを導出するようになっている。なお、他の幾つかの実施形態では、余寿命評価装置８は、予め設定された相関係数Ｒｔやクリティカルカウント比ＣＣＲを、管頂部２２１の疲労寿命を評価するための指標となる第２振幅Ａ２及び対応第２カウント数ＲＣ２を導出する際に参照してもよい。

[0118] 幾つかの実施形態では、図２２に示されるように、上述した余寿命評価方法２００は、代表の管頂部温度測定装置７において測定された管頂部２２１の時系列温度データを取得する管頂部温度データ取得ステップＳ３１と、代表のフィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の時系列温度デー

タを取得するフィン温度データ取得ステップＳ３２と、相関係数導出ステップＳ３３と、代表第１寿命評価値導出ステップＳ３４と、代表第２寿命評価値導出ステップＳ３５と、振幅比導出ステップＳ３６と、をさらに備える。

[0119] 幾つかの実施形態では、図２１に示されるように、上述した余寿命評価装置８は、管頂部温度データ取得ステップＳ３１を行う管頂部温度データ取得部９１と、相関係数導出ステップＳ３３を行う相関係数導出部９２と、代表第１寿命評価値導出ステップＳ３４、代表第２寿命評価値導出ステップＳ３５及び振幅比導出ステップＳ３６を行う振幅比導出部１０１と、を備える。なお、フィン温度データ取得ステップＳ３２は、フィン温度データ取得部８１が行うようになっていてもよい。

[0120] 管頂部温度データ取得部９１は、管頂部２２１の温度Ｔｔを測定するように構成された少なくとも１つの管頂部温度測定装置（代表の管頂部温度測定装置）７、において測定された管頂部２２１の時系列温度データ（代表管頂部温度データ）を取得するように構成されている。フィン温度データ取得部８１は、上述した少なくとも１つのフィン温度測定装置（代表のフィン温度測定装置）４において測定されたフィン２３の時系列温度データ（代表フィン温度データ）を取得するように構成されている。

[0121] 相関係数導出部９２は、フィン温度データ取得部８１において取得したフィン２３の時系列温度データ（代表フィン温度データ）及び管頂部温度データ取得部９１において取得した管頂部２２１の時系列温度データ（代表管頂部温度データ）を用いて、フィン２３の温度Ｔｓと管頂部２２１の温度Ｔｔの間の相関係数Ｒｔを導出するように構成されている。図示される実施形態では、図２４に示されるように、代表フィン温度データと冷却液の温度（代表温度）Ｔｗの差分値を横軸とし、代表管頂部温度データと冷却液の温度（代表温度）Ｔｗの差分値を縦軸とするグラフ上に、代表フィン温度データと代表管頂部温度データの関係を示す直線近似線ＳＬ２を引くことができる。この直線近似線ＳＬ２を相関係数Ｒｔとして用いてもよい。なお、図２４に示される直線近似線ＳＬ１は、解析上のスラグ分布モデルから導出したもの

であるが、直線近似線ＳＬ２に比べて、傾きが緩やかになっている。管頂部２２１に付着したスラグ３１の厚さがフィン２３に付着したスラグ３１の厚さに比べて、少なくなるにつれて、直線近似線ＳＬ２の傾きが大きくなる傾向がある。

[0122] 幾つかの実施形態では、図２２に示されるように、上述した余寿命評価方法２００は、予め設定された第２クリティカル温度ＣＴ２を取得する第２クリティカル温度取得ステップＳ４１と、第２クリティカルカウント数導出ステップＳ４２と、第１クリティカル温度算出ステップＳ４３と、第１クリティカルカウント数導出ステップＳ４４と、クリティカルカウント比導出ステップＳ４５と、を備える。

[0123] 振幅比導出部１０１は、レインフローカウントを用いて、代表フィン温度データから代表第１寿命評価値ＬＲ１（第１振幅Ａ１及び第１カウント数Ｃ１）を導出する。代表管頂部温度データから代表第２寿命評価値ＬＲ２（第２振幅Ａ２及び第２カウント数Ｃ２）を導出する。導出した第１振幅Ａ１及び第２振幅Ａ２から振幅比ＣＲを導出する。

[0124] 幾つかの実施形態では、図２１に示されるように、上述した余寿命評価装置８は、第２クリティカル温度取得ステップＳ４１及び第１クリティカル温度算出ステップＳ４３を行う第１クリティカル温度算出部９３を備える。第１クリティカル温度算出部９３は、予め設定された第２クリティカル温度ＣＴ２を取得し、この取得した第２クリティカル温度ＣＴ２及び相関係数導出部９２において導出された相関係数Ｒｔを用いて、第１クリティカル温度ＣＴ１を算出するように構成されている。

[0125] 幾つかの実施形態では、図２１に示されるように、上述した余寿命評価装置８は、第１クリティカルカウント数導出ステップＳ４４を行う第１クリティカルカウント数導出部９４と、第２クリティカルカウント数導出ステップＳ４２を行う第２クリティカルカウント数導出部９５と、クリティカルカウント比導出ステップＳ４５を行うクリティカルカウント比導出部９６と、をさらに備える。第１クリティカルカウント数導出部９４は、代表フィン温度

データ及び第１クリティカル温度算出部９３が算出した第１クリティカル温度ＣＴ１を用いて、第１クリティカルカウント数ＣＣ１を導出する。第２クリティカルカウント数導出部９５は、代表管頂部温度データ及び予め設定された第２クリティカル温度ＣＴ２を用いて、第２クリティカルカウント数ＣＣ２を導出する。クリティカルカウント比導出部９６は、第１クリティカルカウント数導出部９４において導出された第１クリティカルカウント数ＣＣ１、及び、第２クリティカルカウント数導出部９５において導出された第２クリティカルカウント数ＣＣ２を用いて、クリティカルカウント比ＣＣＲを導出する。クリティカルカウント比ＣＣＲは、第２クリティカルカウント数ＣＣ２を第１クリティカルカウント数ＣＣ１で割ることで求められる。

[0126] 上記の構成によれば、余寿命評価装置８は、管頂部温度測定装置７において測定された管頂部２２１の温度Ｔｔと、フィン温度測定装置４において測定されたフィン２３の温度Ｔｓから、相関係数Ｒｔを導出でき、この相関係数Ｒｔを用いて第２クリティカル温度ＣＴ２に対応する第１クリティカル温度ＣＴ１を導出できる。この場合には、管頂部２２１の余寿命を評価する指標である対応第２カウント数ＲＣ２は、管頂部温度測定装置７において測定された管頂部２２１の温度Ｔｔが反映されている。このような対応第２カウント数ＲＣ２を用いることで、管頂部２２１の余寿命をより適切に評価できる。

[0127] 本明細書において、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

また、本明細書において、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾

何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

また、本明細書において、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0128] 本開示は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

[0129] 上述した幾つかの実施形態に記載の内容は、例えば以下のように把握されるものである。

[0130] １）本開示の少なくとも一実施形態に係るスラグ監視装置（１）は、

水冷管（２２）とフィン（２３）が交互に接合されて構成される炉壁（２１）に付着するスラグ（３１）の状態を監視するためのスラグ監視装置（１）であって、

前記炉壁（２１）の外側に設けられて前記フィン（２３）の温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）、において測定された第１所定期間における前記フィン（２３）の時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部（１２）と、

前記フィン温度データ取得部（１２）において取得された前記フィン（２３）の時系列温度データから、前記フィン（２３）の温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を取得するように構成されたフィン温度変動範囲情報取得部（１３）と、

前記炉壁（２１）の内面（２１１）に取り付けられた熱抵抗体（３）であって、耐火材（３２）又は前記スラグ（３１）の少なくとも一方から構成される熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）、及び、前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）が関連付けられた第１関連付け情報（ＡＩ１）に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得部（１３）が取得した前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）に対応する前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定するように

構成された熱抵抗体厚さ推定部（１４）と、を備える。

[0131] 上記１）の構成によれば、スラグ監視装置（１）は、フィン温度測定装置（４）において測定されたフィン（２３）の温度（Ｔｓ）からフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を取得でき、このフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）から第１関連付け情報（ＡＩ１）に基づいて対応する熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定できる。フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）は、フィン（２３）の温度の変動範囲に関する情報であるため、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の計測値に比べて、炉壁（２１）の内部において比較的高サイクルで変動する、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映されたものとなる。このため、フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）と熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を関連付ける情報（第１関連付け情報ＡＩ１）に基づいて熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定することで、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映された熱抵抗体（３、スラグ３１）の厚さ（ｔｓ）を推定できる。これにより、スラグ監視装置（１）は、仮にフィン（２３）の温度（Ｔｓ）の計測値と熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を関連付ける情報に基づいて熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定する場合に比べて、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を精度良く推定できるため、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３、例えば、スラグ３１）の付着状態を把握することができる。

[0132] ２）幾つかの実施形態では、上記１）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記第１関連付け情報（ＡＩ１）は、

前記炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束として第１熱流束を用いた熱解析により算出した前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）及び前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）の対応関係に関する情報である第１対応関係情報（ＭＣ１）と、

前記炉壁（２１）の内部を流れる前記ガスの熱流束として前記第１熱流束よりも大きい第２熱流束を用いた熱解析により算出した前記熱抵抗体（３）

の厚さ（ｔｓ）及び前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）の対応関係に関する情報である第２対応関係情報（ＭＣ２）と、を含む。

[0133] 上記２）の構成によれば、第１関連付け情報（ＡＩ１）は、熱解析に用いるパラメータの一つである炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束が夫々異なる複数の対応関係情報（ＭＣ１、ＭＣ２）を含むので、スラグ監視装置（１）は、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映された熱抵抗体（３、スラグ３１）の厚さ（ｔｓ）を精度良く推定できる。

[0134] ３）幾つかの実施形態では、上記１）又は上記２）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記フィン温度変動範囲情報取得部（１３）は、

前記フィン温度データ取得部（１２）において取得された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）と前記水冷管（２２）を流れる冷却液の温度（Ｔｗ）の差分値の、前記第１所定期間における変動範囲を前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）として取得するように構成された。

[0135] 上記３）の構成によれば、フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）として、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）と冷却液の温度（Ｔｗ）の差分値を用いることで、フィン（２３）の温度変動を熱量として表現できる。スラグ監視装置（１）は、フィン（２３）の温度変動を熱量として表現したフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を熱抵抗体（３、スラグ３１）の厚さ（ｔｓ）の推定に用いることで、フィン（２３）の温度変動をそのままフィン（２３）の温度変化として表現したフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を用いる場合に比べて、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束が変動するガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を精度良く推定できる。

[0136] ４）幾つかの実施形態では、上記１）から上記３）までの何れかに記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）が予め定められた温度上昇率（ＳΔｃ）を超えた場合に、前記炉壁（２１）から前記熱抵抗体（３）の

少なくとも一部が剥離したと推定するように構成された剥離推定部（１５）をさらに備える。

[0137] 上記４）の構成によれば、剥離推定部（１５）は、炉壁（２１）から熱抵抗体（３）が剥離するとフィン（２３）の温度（Ｔｓ）が急激に上昇することを利用して、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）が予め定められた温度上昇率（ＳΔｃ）を超える部分において熱抵抗体（３）の少なくとも一部が剥離したと推定する。この場合には、スラグ監視装置（１）は、フィン（２３）の時系列温度データから熱抵抗体（３）の剥離を推定できる。

[0138] ５）幾つかの実施形態では、上記１）から上記４）までの何れかに記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）と前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の増加率が関連付けられた第２関連付け情報に基づき、前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）に対応する前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の増加率を算出するように構成された熱抵抗体厚さ増加率算出部（１６）をさらに備える。

[0139] 上記５）の構成によれば、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）が比較的大きい場合には、スラグ（３１）の厚さ（ｔｓ）の増加率が高いのに対して、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）が比較的小さい場合には、スラグ（３１）の厚さ（ｔｓ）の増加率が低い。熱抵抗体厚さ増加率算出部（１６）は、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）と熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の増加率との間の関係を示す第２関連付け情報を用いて、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）に対応する熱抵抗体（３）の厚さの増加率を算出できる。スラグ監視装置（１）は、熱抵抗体厚さ増加率算出部（１６）において算出した熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の増加率を考慮することで、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さを精度良く推定できる。

[0140] ６）幾つかの実施形態では、上記４）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）は、

第１のフィン温度測定装置（４Ａ）と、

前記第１のフィン温度測定装置（４Ｂ）に対して前記炉壁（２１）の高さ方向において所定の第１計測間距離（ｄｖ）だけ間隔をあけて配置された第２のフィン温度測定装置（４Ｂ）と、を含み、

前記剥離推定部（１５）は、

第２所定期間（Ｔ２）内における前記第１のフィン温度測定装置（４Ａ）において測定された前記フィン（２３）の温度の上昇率（Δｃ１）、及び前記第２所定期間（Ｔ２）内における前記第２のフィン温度測定装置（４Ｂ）において測定された前記フィン（２３）の温度の上昇率（Δｃ２）を考慮して、前記炉壁（２１）からの前記熱抵抗体（３）の剥離状態を推定するように構成された。

[0141] 上記６）の構成によれば、スラグ監視装置（１）は、炉壁（２１）の高さ方向において異なる複数の位置におけるフィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）を考慮することで、熱抵抗体（３）が剥離した炉壁（２１）の高さ方向範囲を推定できるため、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ分布（特に炉壁２１の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0142] ７）幾つかの実施形態では、上記６）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記第２所定期間（Ｔ２）内において、前記第１のフィン温度測定装置（４Ａ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）及び前記第２のフィン温度測定装置（４Ｂ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）が予め定められた温度上昇率（ＳΔｃ）を超えた場合において、

前記第２所定期間（Ｔ２）内における前記第１のフィン温度測定装置（４

Ａ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の最大値の取得時刻（ｔｐ１）と前記第２のフィン温度測定装置（４Ｂ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の最大値の取得時刻（ｔｐ２）との時間差（ｔｐ２－ｔｐ１）、及び前記第１計測間距離（ｄｖ）から、前記炉壁（２１）から剥離した前記熱抵抗体（３）の流下速度（Ｖｓ）を算出する熱抵抗体流下速度算出部（１７）をさらに備える。

[0143] 上記７）の構成によれば、熱抵抗体流下速度算出部（１７）により熱抵抗体（３）の流下速度（Ｖｓ）を算出することができる。スラグ監視装置（１）は、上記熱抵抗体（３）の流下速度（Ｖｓ）を考慮することで、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ分布（特に炉壁の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0144] ８）幾つかの実施形態では、上記７）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）、及び前記熱抵抗体流下速度算出部（１７）が算出した前記熱抵抗体（３）の前記流下速度（Ｖｓ）に基づいて、前記スラグ（３１）の生成挙動を評価するように構成されたスラグ生成挙動評価部（１８）をさらに備える。

[0145] 上記８）の構成によれば、スラグ生成挙動評価部（１８）において、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の低下率（Δｄ）及び熱抵抗体（３）の流下速度（Ｖｓ）を用いて、スラグ（３１）の生成挙動を分類でき、スラグ（３１）の生成挙動を評価できる。スラグ監視装置（１）は、上記スラグの生成挙動の評価を考慮することで、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ分布（特に炉壁の高さ方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0146] ９）幾つかの実施形態では、上記４）又は上記６）から上記８）までの何れかに記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）は、

第３のフィン温度測定装置（４Ｃ）と、

前記第３のフィン温度測定装置（４Ｃ）に対して前記炉壁（２１）の周方向において所定の第２計測間距離（ｄｈ）だけ間隔をあけて配置された第４のフィン温度測定装置（４Ｄ）と、を含み、

前記剥離推定部（１５）は、

第３所定期間（Ｔ３）内における前記第３のフィン温度測定装置（４Ｃ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）、及び前記第３所定期間（Ｔ３）内における前記第４のフィン温度測定装置（４Ｄ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）を考慮して、前記炉壁（２１）からの前記熱抵抗体（３）の剥離状態を推定するように構成された。

[0147] 上記９）の構成によれば、スラグ監視装置（１）は、炉壁（２１）の周方向において異なる複数の位置におけるフィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇率（Δｃ）を考慮することで、各周方向位置におけるフィン（２３）の温度（Ｔｓ）の上昇が熱抵抗体（３）の剥離によるものか否かを判別でき、熱抵抗体（３）が剥離した炉壁（２１）の周方向範囲を推定できる。このため、スラグ監視装置（１）は、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ分布（特に炉壁の周方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0148] １０）幾つかの実施形態では、上記９）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記第３所定期間（Ｔ３）内において、前記第３のフィン温度測定装置（４Ｃ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の変化率（Δｃ又はΔｄ）及び前記第４のフィン温度測定装置（４Ｄ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の変化率（Δｃ又はΔｄ）が予め定められた温度変化率（ＳΔｃ又はＳΔｄ）を超えた場合において、

前記第３所定期間（Ｔ３）内における前記第３のフィン温度測定装置（４Ｃ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の最大値の取得

時刻（ｔｐ３）と前記第４のフィン温度測定装置（４Ｄ）において測定された前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の最大値の取得時刻（ｔｐ４）との時間差（ｔｐ３－ｔｐ４）、及び前記第２計測間距離（ｄｈ）から、前記炉壁（２１）の内部を流れるガスの周方向流速（Ｖｈ）を算出するように構成されたガス周方向流速算出部（１９）をさらに備える。

[0149] 上記１０）の構成によれば、炉壁（２１）の内部を流れるガスの周方向流速（Ｖｈ）が比較的大きい場合には、スラグ（３１）の厚さ（ｔｓ）の増加率が高いのに対して、上記ガスの周方向流速（Ｖｈ）が比較的小さい場合には、スラグ（３１）の厚さ（ｔｓ）の増加率が低い。ガス周方向流速算出部（１９）は、上記ガスの周方向流速（Ｖｈ）を算出できる。スラグ監視装置（１）は、ガス周方向流速算出部（１９）において算出したガスの周方向流速（Ｖｈ）を考慮することで、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ分布（特に炉壁の周方向における厚さ分布）を精度良く推定できる。

[0150] １１）幾つかの実施形態では、上記１）から上記１０）までの何れかに記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を測定するように構成された少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置（５）において測定された前記第１所定期間における前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を取得する熱抵抗体厚さ取得部（６１）と、

前記熱抵抗体厚さ取得部（６１）において取得された前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の測定値（Ｍｔｓ）から、前記第１関連付け情報（ＡＩ１）に基づいて前記測定値（Ｍｔｓ）に対応する前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）である対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）を取得するように構成された対応フィン温度変動範囲情報取得部（６２）と、

前記対応フィン温度変動範囲情報取得部（６２）が取得した前記対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）、及び、前記フィン温度変動範囲情報取得部（１３）が取得した前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）に基づいて、

前記対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）と前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）との差分を小さくするように、前記第１関連付け情報（ＡＩ１）を補正するように構成された第１関連付け情報補正部（６３）と、をさらに備える。

[0151] 上記１１）の構成によれば、スラグ監視装置（１）は、熱抵抗体厚さ測定装置（５）において測定された熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の測定値（Ｍｔｓ）から対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）を導出できる。この対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）を用いることで、第１関連付け情報（ＡＩ１）を補正できる。補正された第１関連付け情報（ＡＩ１）は、熱抵抗体厚さ測定装置（５）において測定された熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の測定値（Ｍｔｓ）が反映されているので、補正された第１関連付け情報（ＡＩ１）を用いることで、熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）をより精度良く推定できる。

[0152] １２）幾つかの実施形態では、上記１１）に記載のスラグ監視装置（１）であって、

前記対応フィン温度変動範囲情報取得部（６２）が取得した前記対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）の誤差の上限範囲（ＵＲ）及び下限範囲（ＬＲ）を導出する誤差範囲導出部（６４）をさらに備え、

前記第１関連付け情報補正部（６３）は、前記フィン温度変動範囲情報取得部（１３）が取得した前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）が前記上限範囲（ＵＲ）又は前記下限範囲（ＬＲ）を逸脱した場合に、前記第１関連付け情報（ＡＩ１）を補正するように構成された。

[0153] 上記１２）の構成によれば、熱抵抗体厚さ取得部（６１）において取得された熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）の測定値（Ｍｔｓ）には、測定誤差が生じることがあり、対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）にも誤差が生じることがある。対応フィン温度変動範囲情報（ＣＩＴｓ）に対して誤差の上限範囲（ＵＲ）及び下限範囲（ＬＲ）を設け、上限範囲（ＵＲ）又は下限範囲（ＬＲ）を逸脱しない場合には、第１関連付け情報（ＡＩ１）を補正しな

いようにすることで、上述した誤差による第１関連付け情報（ＡＩ１）の不必要な補正を抑制できる。

[0154] １３）本開示の少なくとも一実施形態に係る余寿命評価装置（８）は、

水冷管（２２）とフィン（２３）が交互に接合されて構成される炉壁（２１）における前記水冷管（２２）の管頂部（２２１）の余寿命を評価するように構成された余寿命評価装置（８）であって、

前記炉壁（２１）の外側に設けられて前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）、において測定された前記フィン（２３）の時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部（８１）と、

前記フィン（２３）の前記時系列温度データを用いて、前記フィン（２３）における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅（Ａ１）、及び、前記フィン（２３）における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数（Ｃ１）を含む第１寿命評価値（ＬＲ１）を導出するように構成された第１寿命評価値導出部（８２）と、

前記管頂部（２２１）における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅（Ａ２）と前記第１振幅（Ａ１）との間の振幅比（ＣＲ）に基づいて、前記第１寿命評価値（ＬＲ１）に対応する第２寿命評価値（ＬＲ２）であって、前記第２振幅（Ａ２）、及び、前記管頂部（２２１）における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数（Ｃ２）を含む第２寿命評価値（ＬＲ２）を導出するように構成された第２寿命評価値導出部（８３）と、

前記フィン（２３）におけるクリティカル温度である第１クリティカル温度（ＣＴ１）を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数（ＣＣ１）と、前記管頂部（２２１）におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度（ＣＴ２）を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数（ＣＣ２）と、の比であるクリティカルカウント比（ＣＣＲ）に基づいて、前記第１カウント数（Ｃ１）に対応する第２カウント数

（Ｃ２）である対応第２カウント数（ＲＣ２）を導出するように構成された第２対応カウント数導出部（８４）と、

前記第２振幅（Ａ２）及び前記対応第２カウント数（ＲＣ２）を用いて、前記管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価部（８５）と、を備える。

[0155] 上記１３）の構成によれば、余寿命評価装置（８）は、フィン温度測定装置（４）において測定されたフィン（２３）の温度（Ｔｓ）から、第１振幅（Ａ１）及び第１カウント数（Ｃ１）を含む第１寿命評価値（ＬＲ１）を取得でき、第１寿命評価値（ＬＲ１）を用いて、第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を取得できる。第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を用いることで、管頂部（２２１）の余寿命を評価できる。管頂部（２２１）の温度を測定可能な管頂部温度測定装置（７）を複数設置し、複数の管頂部温度測定装置（７）により測定した管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）から第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を導出することが考えられるが、管頂部温度測定装置（７）の設置は、フィン温度測定装置（４）の設置に比べて、設置作業の手間やコストが大きい。よって、上記１３）の構成によれば、余寿命評価装置（８）は、フィン温度測定装置（４）の設置作業の手間やコストが小さいため、経済性に優れる。

[0156] １４）幾つかの実施形態では、上記１３）に記載の余寿命評価装置（８）であって、

前記管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）を測定するように構成された少なくとも１つの管頂部温度測定装置（７）、において測定された前記管頂部（２２１）の時系列温度データを取得するように構成された管頂部温度データ取得部（９１）と、

前記フィン温度データ取得部（８１）において取得した前記フィンの時系列温度データ及び前記管頂部温度データ取得部（９１）において取得した前記管頂部（２２１）の時系列温度データを用いて、前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）と前記管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）の間の相関係数（Ｒｔ）

を導出する相関係数導出部（９２）と、

前記第２クリティカル温度（ＣＴ２）及び前記相関係数（Ｒｔ）を用いて、前記第１クリティカル温度（ＣＴ１）を算出する第１クリティカル温度算出部（９３）と、

前記第１クリティカル温度算出部（９３）が算出した前記第１クリティカル温度（ＣＴ１）を用いて、前記第１クリティカルカウント数（ＣＣ１）を導出する第１クリティカルカウント数導出部（９４）と、

前記第２クリティカル温度（ＣＴ２）を用いて、前記第２クリティカルカウント数（ＣＣ２）を導出する第２クリティカルカウント数導出部（９５）と、

前記第１クリティカルカウント数導出部（９４）において導出された前記第１クリティカルカウント数（ＣＣ１）、及び、前記第２クリティカルカウント数導出部（９５）において導出された第２クリティカルカウント数（ＣＣ２）を用いて、前記クリティカルカウント比（ＣＣＲ）を導出するクリティカルカウント比導出部（９６）と、をさらに備える。

[0157] 上記１４）の構成によれば、余寿命評価装置（８）は、管頂部温度測定装置（７）において測定された管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）と、フィン温度測定装置（４）において測定されたフィン（２３）の温度（Ｔｓ）から、相関係数（Ｒｔ）を導出でき、この相関係数（Ｒｔ）を用いて第２クリティカル温度（ＣＴ２）に対応する第１クリティカル温度（ＣＴ１）を導出できる。この場合には、管頂部（２２１）の余寿命を評価する指標である対応第２カウント数（ＲＣ２）は、管頂部温度測定装置（７）において測定された管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）が反映されている。このような対応第２カウント数（ＲＣ２）を用いることで、管頂部（２２１）の余寿命をより適切に評価できる。

[0158] １５）本開示の少なくとも一実施形態に係るスラグ監視方法（１００）は、

水冷管（２２）とフィン（２３）が交互に接合されて構成される炉壁（２１）に付着するスラグ（３１）の状態を監視するためのスラグ監視方法（１

００）であって、

前記炉壁（２１）の外側に設けられて前記フィン（２３）の温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）、において測定された第１所定期間における前記フィン（２３）の時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得ステップ（Ｓ１）と、

前記フィン温度データ取得ステップ（Ｓ１）において取得された前記フィン（２３）の時系列温度データから、前記フィン（２３）の温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を取得するフィン温度変動範囲情報取得ステップ（Ｓ２）と、

前記炉壁（２１）の内面（２１１）に取り付けられた熱抵抗体（３）であって、耐火材（３２）又は前記スラグ（３１）の少なくとも一方から構成される熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）、及び、前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）が関連付けられた第１関連付け情報（ＡＩ１）に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得ステップ（Ｓ２）が取得した前記フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）に対応する前記熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定する熱抵抗体厚さ推定ステップ（Ｓ３）と、を備える。

[0159] 上記１５）の方法によれば、スラグ監視方法（１００）は、フィン温度測定装置（４）において測定されたフィン（２３）の温度（Ｔｓ）からフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）を取得でき、このフィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）から第１関連付け情報（ＡＩ１）に基づいて対応する熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定できる。フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）は、フィン（２３）の温度の変動範囲に関する情報であるため、フィン（２３）の温度（Ｔｓ）の計測値に比べて、炉壁（２１）の内部において比較的高サイクルで変動する、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映されたものとなる。このため、フィン温度変動範囲情報（ＩＴｓ）と熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を関連付ける情報（第１関連付け情報ＡＩ１）に基づいて熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定することで、炉壁（２１）の内部を流れるガスの熱流束の影響が反映された熱抵抗体（３、スラグ３１）の厚さ

（ｔｓ）を推定できる。これにより、スラグ監視方法（１００）は、仮にフィン（２３）の温度（Ｔｓ）の計測値と熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を関連付ける情報に基づいて熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を推定する場合に比べて、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３）の厚さ（ｔｓ）を精度良く推定できるため、ガス化炉（２Ａ）の運転中における熱抵抗体（３、例えば、スラグ３１）の付着状態を把握することができる。

[0160] １６）本開示の少なくとも一実施形態に係る余寿命評価方法（２００）は、

水冷管（２２）とフィン（２３）が交互に接合されて構成される炉壁（２１）における前記水冷管（２２）の管頂部（２２１）の余寿命を評価するように構成された余寿命評価方法（２００）であって、

前記炉壁（２１）の外側に設けられて前記フィン（２３）の温度（Ｔｓ）を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置（４）、において測定された前記フィン（２３）の時系列温度データを取得するフィン温度データ取得ステップ（Ｓ２１）と、

前記フィン（２３）の前記時系列温度データを用いて、前記フィン（２３）における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅（Ａ１）、及び、前記フィン（２３）における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数（Ｃ１）を含む第１寿命評価値（ＬＲ１）を導出する第１寿命評価値導出ステップ（Ｓ２２）と、

前記管頂部（２２１）における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅（Ａ２）と前記第１振幅（Ａ１）との間の振幅比（ＣＲ）に基づいて、前記第１寿命評価値（ＬＲ１）に対応する第２寿命評価値（ＬＲ２）であって、前記第２振幅（Ａ２）、及び、前記管頂部（２２１）における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数（Ｃ２）を含む第２寿命評価値（ＬＲ２）を導出する第２寿命評価値導出ステップ（Ｓ２３）と、

前記フィン（２３）におけるクリティカル温度である第１クリティカル温度（ＣＴ１）を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント

数（ＣＣ１）と、前記管頂部（２２１）におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度（ＣＴ２）を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数（ＣＣ２）と、の比であるクリティカルカウント比（ＣＣＲ）に基づいて、前記第１カウント数（Ｃ１）に対応する第２カウント数（Ｃ２）である対応第２カウント数（ＲＣ２）を導出する第２対応カウント数導出ステップ（Ｓ２４）と、

前記第２振幅（Ａ２）及び前記対応第２カウント数（ＲＣ２）を用いて、前記管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価ステップ（Ｓ２５）と、を備える。

[0161] 上記１６）の方法によれば、余寿命評価方法（２００）は、フィン温度測定装置（４）において測定されたフィン（２３）の温度（Ｔｓ）から、第１振幅（Ａ１）及び第１カウント数（Ｃ１）を含む第１寿命評価値（ＬＲ１）を取得でき、第１寿命評価値（ＬＲ１）を用いて、第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を取得できる。第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を用いることで、管頂部（２２１）の余寿命を評価できる。管頂部（２２１）の温度を測定可能な管頂部温度測定装置（７）を複数設置し、複数の管頂部温度測定装置（７）により測定した管頂部（２２１）の温度（Ｔｔ）から第２振幅（Ａ２）及び対応第２カウント数（ＲＣ２）を導出することが考えられるが、管頂部温度測定装置（７）の設置は、フィン温度測定装置（４）の設置に比べて、設置作業の手間やコストが大きい。よって、上記１６）の方法によれば、余寿命評価方法（２００）は、フィン温度測定装置（４）の設置作業の手間やコストが小さいため、経済性に優れる。

符号の説明

[0162]

１	スラグ監視装置
２	火炉
２Ａ	ガス化炉
３	熱抵抗体

４，４Ａ～４Ｄ　フィン温度測定装置
５　熱抵抗体厚さ測定装置
７　管頂部温度測定装置
８　余寿命評価装置
１０　スラグ監視システム
１１　記憶部
１２　フィン温度データ取得部
１３　フィン温度変動範囲情報取得部
１４　熱抵抗体厚さ推定部
１５　剥離推定部
１６　熱抵抗体厚さ増加率算出部
１７　流下速度算出部
１８　スラグ生成挙動評価部
１９　ガス周方向流速算出部
２１　炉壁
２２　水冷管
２３　フィン
２４　ガス化部
２５　炉外壁
２６　アニュラス部
２７　バーナー装置
３１　スラグ
３２　耐火材
４０　光ファイバセンサ
４１，４１Ａ～４１Ｄ　センシング部
４２　光ファイバケーブル
４３　計測器
４４　照射部

４５	受光部
５０	超音波センサ
６１	熱抵抗体厚さ取得部
６２	対応フィン温度変動範囲情報取得部
６３	第１関連付け情報補正部
６４	誤差範囲導出部
７１	コーダル熱電対
８０	評価システム
８１	フィン温度データ取得部
８２	第１寿命評価値導出部
８３	第２寿命評価値導出部
８４	第２対応カウント数導出部
８５	評価部
９１	管頂部温度データ取得部
９２	相関係数導出部
９３	第１クリティカル温度算出部
９４	第１クリティカルカウント数導出部
９５	第２クリティカルカウント数導出部
９６	クリティカルカウント比導出部
１００	スラグ監視方法
１０１	振幅比導出部
２００	余寿命評価方法
Ａ１	第１振幅
Ａ２	第２振幅
ＡＩ１	第１関連付け情報
ＡＩ２	第２関連付け情報
Ｃ１	第１カウント数
Ｃ２	第２カウント数

ＣＣ１　　第１クリティカルカウント数

ＣＣ２　　第２クリティカルカウント数

ＣＣＲ　　クリティカルカウント比

ＣＩＴｓ　　対応フィン温度変動範囲情報

ＣＭＣ１，ＭＣ１　第１対応関係情報

ＣＭＣ２，ＭＣ２　第２対応関係情報

ＣＲ　　振幅比

ＣＴ１　　第１クリティカル温度

ＣＴ２　　第２クリティカル温度

ＩＴｓ　　フィン温度変動範囲情報

ＬＲ１　　第１寿命評価値

ＬＲ２　　第２寿命評価値

ＭＣ　　マスターカーブ

Ｍｔｓ　　測定値

Ｒｔ　　相関係数

Ｓ１，Ｓ２１，Ｓ３２　フィン温度データ取得ステップ

Ｓ２　　フィン温度変動範囲情報取得ステップ

Ｓ３　　熱抵抗体厚さ推定ステップ

Ｓ４　　第１関連付け情報取得ステップ

Ｓ１１　　熱抵抗体厚さ取得ステップ

Ｓ１２　　対応フィン温度変動範囲情報取得ステップ

Ｓ１３　　補正ステップ

Ｓ１４　　誤差範囲導出ステップ

Ｓ２２，Ｓ３４　第１寿命評価値導出ステップ

Ｓ２３，Ｓ３５　第２寿命評価値導出ステップ

Ｓ２４　　第２対応カウント数導出ステップ

Ｓ２５　　余寿命評価ステップ

Ｓ３１　　管頂部温度データ取得ステップ

Ｓ３３	相関係数導出ステップ
Ｓ３６	振幅比導出ステップ
Ｓ４１	第２クリティカル温度取得ステップ
Ｓ４２	第２クリティカルカウント数導出ステップ
Ｓ４３	第１クリティカル温度算出ステップ
Ｓ４４	第１クリティカルカウント数導出ステップ
Ｓ４５	クリティカルカウント比導出ステップ
Ｖｈ	周方向流速
Ｖｓ	流下速度
ｄｈ	第２計測間距離
ｄｖ	第１計測間距離

請求の範囲

[請求項1] 水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁に付着するスラグの状態を監視するためのスラグ監視装置であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された第１所定期間における前記フィンの時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部と、

前記フィン温度データ取得部において取得された前記フィンの時系列温度データから、前記フィンの温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報を取得するように構成されたフィン温度変動範囲情報取得部と、

前記炉壁の内面に取り付けられた熱抵抗体であって、耐火材又は前記スラグの少なくとも一方から構成される熱抵抗体の厚さ、及び、前記フィン温度変動範囲情報が関連付けられた第１関連付け情報に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記フィン温度変動範囲情報に対応する前記熱抵抗体の厚さを推定するように構成された熱抵抗体厚さ推定部と、を備える、

スラグ監視装置。

[請求項2] 前記第１関連付け情報は、

前記炉壁の内部を流れるガスの熱流束として第１熱流束を用いた熱解析により算出した前記熱抵抗体の厚さ及び前記フィン温度変動範囲情報の対応関係に関する情報である第１対応関係情報と、

前記炉壁の内部を流れる前記ガスの熱流束として前記第１熱流束よりも大きい第２熱流束を用いた熱解析により算出した前記熱抵抗体の厚さ及び前記フィン温度変動範囲情報の対応関係に関する情報である第２対応関係情報と、を含む、

請求項１に記載のスラグ監視装置。

[請求項3] 前記フィン温度変動範囲情報取得部は、

前記フィン温度データ取得部において取得された前記フィンの温度と前記水冷管を流れる冷却液の温度の差分値の、前記第１所定期間における変動範囲を前記フィン温度変動範囲情報として取得するように構成された、

請求項１又は２に記載のスラグ監視装置。

[請求項4] 前記少なくとも１つのフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率が予め定められた温度上昇率を超えた場合に、前記炉壁から前記熱抵抗体の少なくとも一部が剥離したと推定するように構成された剥離推定部をさらに備える、

請求項１又は２に記載のスラグ監視装置。

[請求項5] 前記少なくとも１つのフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の低下率と前記熱抵抗体の厚さの増加率が関連付けられた第２関連付け情報に基づき、前記フィンの温度の低下率に対応する前記熱抵抗体の厚さの増加率を算出するように構成された熱抵抗体厚さ増加率算出部をさらに備える、

請求項１又は２に記載のスラグ監視装置。

[請求項6] 前記少なくとも１つのフィン温度測定装置は、

第１のフィン温度測定装置と、

前記第１のフィン温度測定装置に対して前記炉壁の高さ方向において所定の第１計測間距離だけ間隔をあけて配置された第２のフィン温度測定装置と、を含み、

前記剥離推定部は、

第２所定期間内における前記第１のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率、及び前記第２所定期間内における前記第２のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率を考慮して、前記炉壁からの前記熱抵抗体の剥離状態を推定するように構成された、

請求項４に記載のスラグ監視装置。

[請求項7] 前記第２所定期間内において、前記第１のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率及び前記第２のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率が予め定められた温度上昇率を超えた場合において、

前記第２所定期間内における前記第１のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の最大値の取得時刻と前記第２のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の最大値の取得時刻との時間差、及び前記第１計測間距離から、前記炉壁から剥離した前記熱抵抗体の流下速度を算出するように構成された熱抵抗体流下速度算出部をさらに備える、

請求項６に記載のスラグ監視装置。

[請求項8] 前記少なくとも１つのフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の低下率、及び前記熱抵抗体流下速度算出部が算出した前記熱抵抗体の前記流下速度に基づいて、前記スラグの生成挙動を評価するように構成されたスラグ生成挙動評価部をさらに備える、

請求項７に記載のスラグ監視装置。

[請求項9] 前記少なくとも１つのフィン温度測定装置は、

第３のフィン温度測定装置と、

前記第３のフィン温度測定装置に対して前記炉壁の周方向において所定の第２計測間距離だけ間隔をあけて配置された第４のフィン温度測定装置と、を含み、

前記剥離推定部は、

第３所定期間内における前記第３のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率、及び前記第３所定期間内における前記第４のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の上昇率を考慮して、前記炉壁からの前記熱抵抗体の剥離状態を推定するように構成された、

請求項４に記載のスラグ監視装置。

[請求項10] 前記第３所定期間内において、前記第３のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の変化率及び前記第４のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の変化率が予め定められた温度変化率を超えた場合において、

前記第３所定期間内における前記第３のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の最大値の取得時刻との時間差と前記第４のフィン温度測定装置において測定された前記フィンの温度の最大値の取得時刻との時間差、及び前記第２計測間距離から、前記炉壁の内部を流れるガスの周方向流速を算出するように構成されたガス周方向流速算出部をさらに備える、

請求項９に記載のスラグ監視装置。

[請求項11] 前記熱抵抗体の厚さを測定するように構成された少なくとも１つの熱抵抗体厚さ測定装置において測定された前記第１所定期間における前記熱抵抗体の厚さを取得する熱抵抗体厚さ取得部と、

前記熱抵抗体厚さ取得部において取得された前記熱抵抗体の厚さの測定値から、前記第１関連付け情報に基づいて前記測定値に対応する前記フィン温度変動範囲情報である対応フィン温度変動範囲情報を取得するように構成された対応フィン温度変動範囲情報取得部と、

前記対応フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記対応フィン温度変動範囲情報、及び、前記フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記フィン温度変動範囲情報に基づいて、前記対応フィン温度変動範囲情報と前記フィン温度変動範囲情報との差分を小さくするように、前記第１関連付け情報を補正するように構成された第１関連付け情報補正部と、をさらに備える、

請求項１又は２に記載のスラグ監視装置。

[請求項12] 前記対応フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記対応フィン温度変動範囲情報の誤差の上限範囲及び下限範囲を導出する誤差範囲導出部と、

前記第１関連付け情報補正部は、前記フィン温度変動範囲情報取得部が取得した前記フィン温度変動範囲情報が前記上限範囲又は前記下限範囲を逸脱した場合に、前記第１関連付け情報を補正するように構成された、

請求項１１に記載のスラグ監視装置。

[請求項13] 水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁における前記水冷管の管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価装置であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された前記フィンの時系列温度データを取得するように構成されたフィン温度データ取得部と、

前記フィンの前記時系列温度データを用いて、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅、及び、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数を含む第１寿命評価値を導出するように構成された第１寿命評価値導出部と、

前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第２振幅と前記第１振幅との間の振幅比に基づいて、前記第１寿命評価値に対応する第２寿命評価値であって、前記第２振幅、及び、前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数を含む第２寿命評価値を導出するように構成された第２寿命評価値導出部と、

前記フィンにおけるクリティカル温度である第１クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数と、前記管頂部におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数と、の比であるクリティカルカウント比に基づいて、前記第１カウント数に

対応する第２カウント数である対応第２カウント数を導出するように構成された第２対応カウント数導出部と、

前記第２振幅及び前記対応第２カウント数を用いて、前記管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価部と、を備える、

余寿命評価装置。

[請求項14] 前記管頂部の温度を測定するように構成された少なくとも１つの管頂部温度測定装置、において測定された前記管頂部の時系列温度データを取得するように構成された管頂部温度データ取得部と、

前記フィン温度データ取得部において取得した前記フィンの時系列温度データ及び前記管頂部温度データ取得部において取得した前記管頂部の時系列温度データを用いて、前記フィンの温度と前記管頂部の温度の間の相関係数を導出する相関係数導出部と、

前記第２クリティカル温度及び前記相関係数を用いて、前記第１クリティカル温度を算出する第１クリティカル温度算出部と、をさらに備え、

前記第１クリティカル温度算出部が算出した前記第１クリティカル温度を用いて、前記第１クリティカルカウント数を導出する第１クリティカルカウント数導出部と、

前記第２クリティカル温度を用いて、前記第２クリティカルカウント数を導出する第２クリティカルカウント数導出部と、

前記第１クリティカルカウント数導出部において導出された前記第１クリティカルカウント数、及び、前記第２クリティカルカウント数導出部において導出された第２クリティカルカウント数を用いて、前記クリティカルカウント比を導出するクリティカルカウント比導出部と、をさらに備える、

請求項１３に記載の余寿命評価装置。

[請求項15] 水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁に付着するスラグの状態を監視するためのスラグ監視方法であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された第１所定期間における前記フィンの時系列温度データを取得するフィン温度データ取得ステップと、

前記フィン温度データ取得ステップにおいて取得された前記フィンの時系列温度データから、前記フィンの温度の変動範囲に関する情報であるフィン温度変動範囲情報を取得するフィン温度変動範囲情報取得ステップと、

前記炉壁の内面に取り付けられた熱抵抗体であって、耐火材又は前記スラグの少なくとも一方から構成される熱抵抗体の厚さ、及び、前記フィン温度変動範囲情報が関連付けられた第１関連付け情報に基づき、前記フィン温度変動範囲情報取得ステップが取得した前記フィン温度変動範囲情報に対応する前記熱抵抗体の厚さを推定する熱抵抗体厚さ推定ステップと、を備える、

スラグ監視方法。

[請求項16] 水冷管とフィンが交互に接合されて構成される炉壁における前記水冷管の管頂部の余寿命を評価するように構成された余寿命評価方法であって、

前記炉壁の外側に設けられて前記フィンの温度を測定するように構成された少なくとも１つのフィン温度測定装置、において測定された前記フィンの時系列温度データを取得するフィン温度データ取得ステップと、

前記フィンの前記時系列温度データを用いて、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の振幅である第１振幅、及び、前記フィンにおける疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第１カウント数を含む第１寿命評価値を導出する第１寿命評価値導出ステップと、

前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の振幅であ

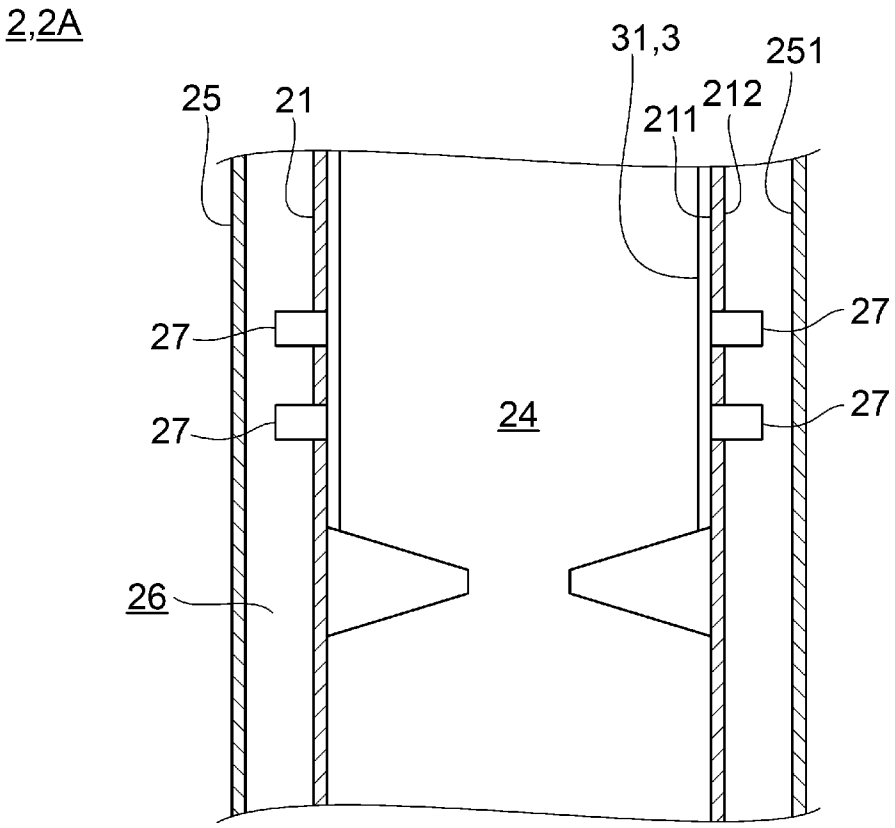
る第２振幅と前記第１振幅との間の振幅比に基づいて、前記第１寿命評価値に対応する第２寿命評価値であって、前記第２振幅、及び、前記管頂部における疲労寿命を評価するための温度変動の発生回数である第２カウント数を含む第２寿命評価値を導出するように構成された第２寿命評価値導出ステップと、

前記フィンにおけるクリティカル温度である第１クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第１クリティカルカウント数と、前記管頂部におけるクリティカル温度である第２クリティカル温度を超える温度変動の発生回数である第２クリティカルカウント数と、の比であるクリティカルカウント比に基づいて、前記第１カウント数に対応する第２カウント数である対応第２カウント数を導出する第２対応カウント数導出ステップと、

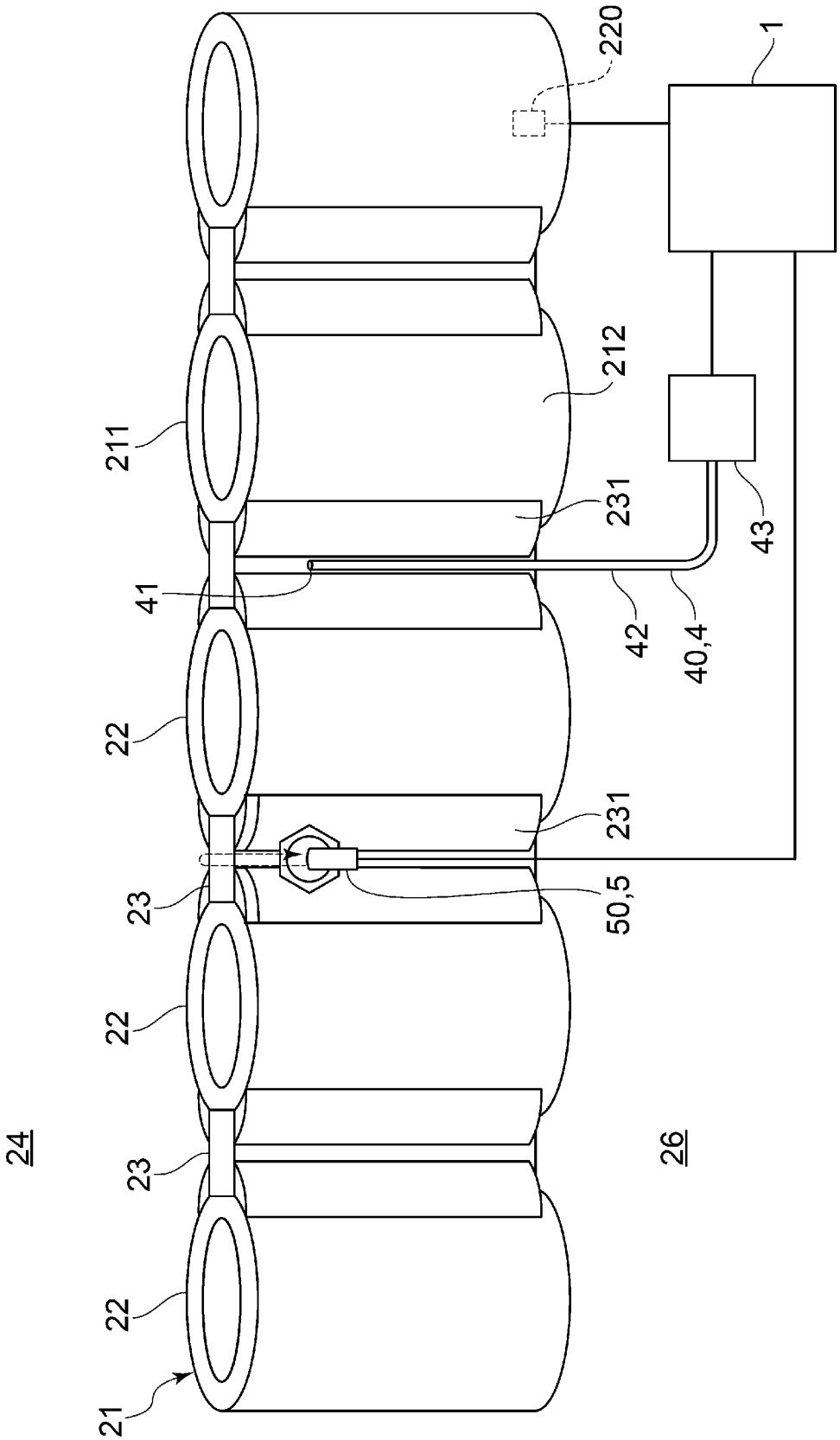
前記第２振幅及び前記対応第２カウント数を用いて、前記管頂部の余寿命を評価する余寿命評価ステップと、を備える、

余寿命評価方法。

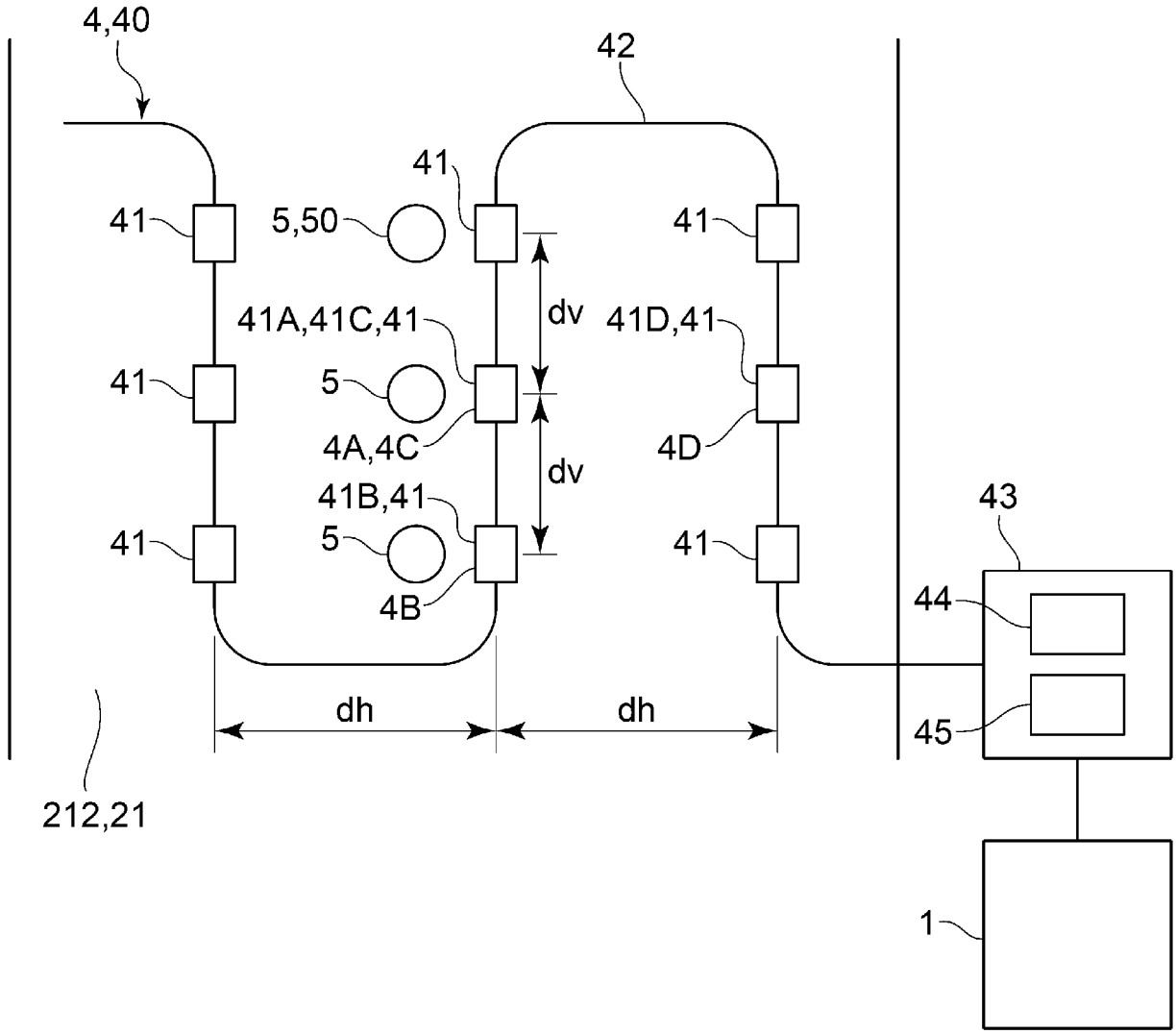
[図1]



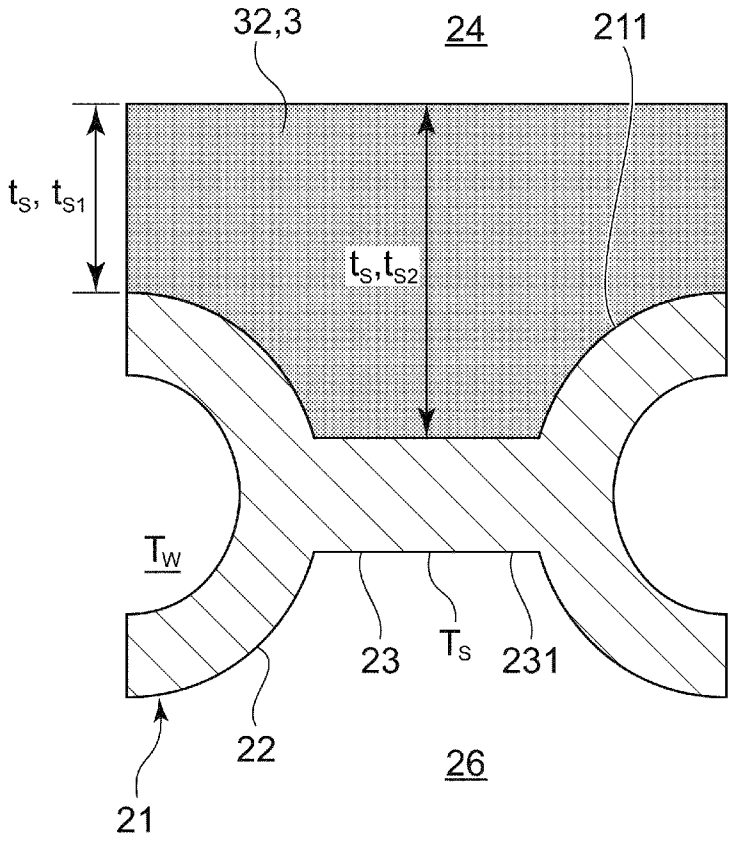
[図2]



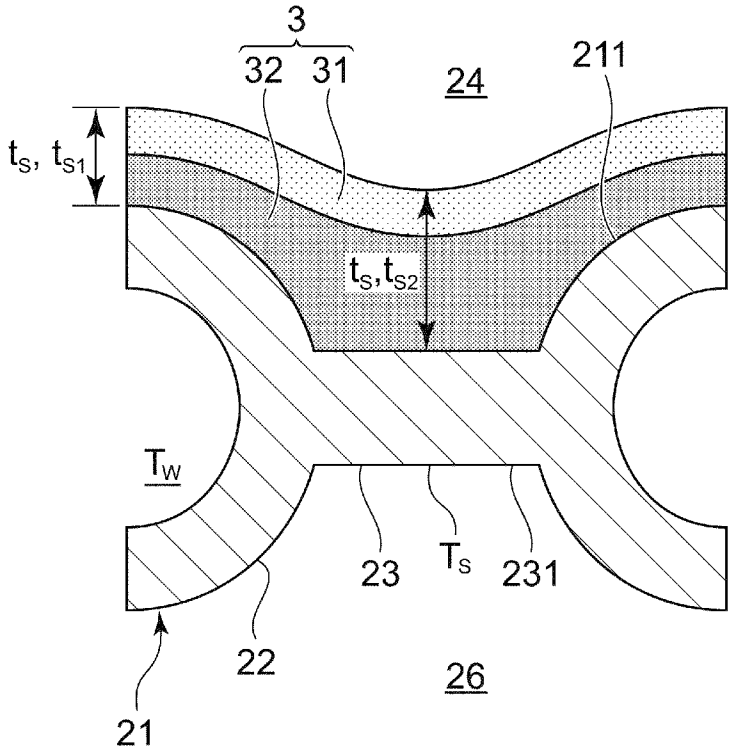
[図3]


4,40
42
41
41
5,50
41
41A,41C,41
dv
41D,41
41
5
4D
4A,4C
dv
41B,41
43
41
5
41
44
4B
dh
dh
45
212,21
1

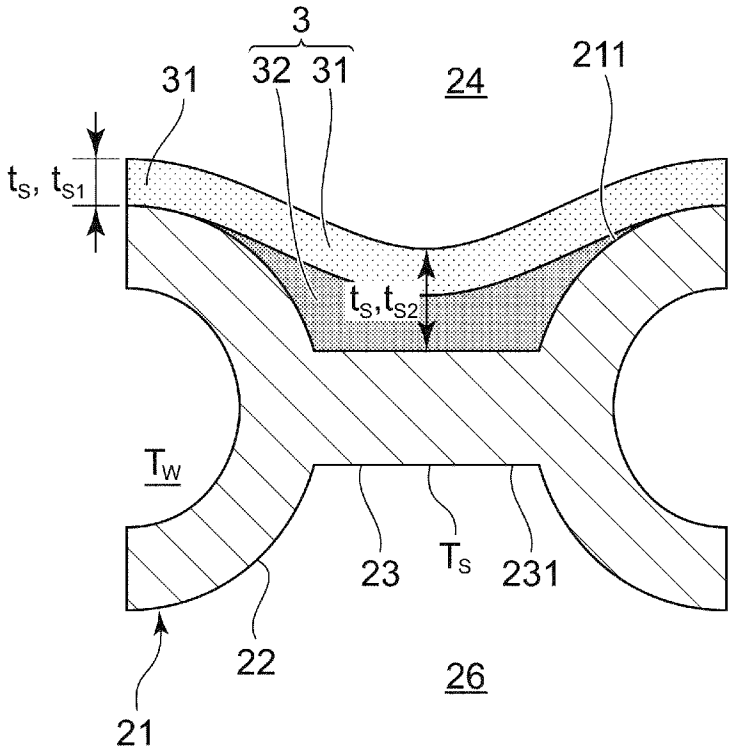
[図4]



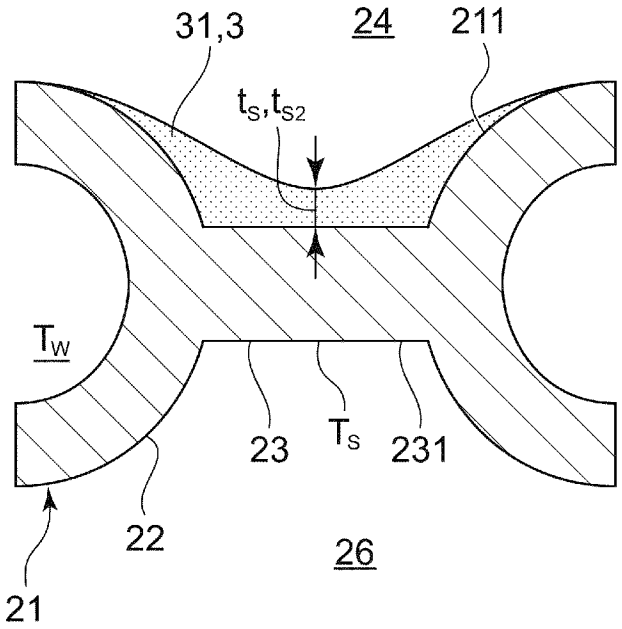
[図5]



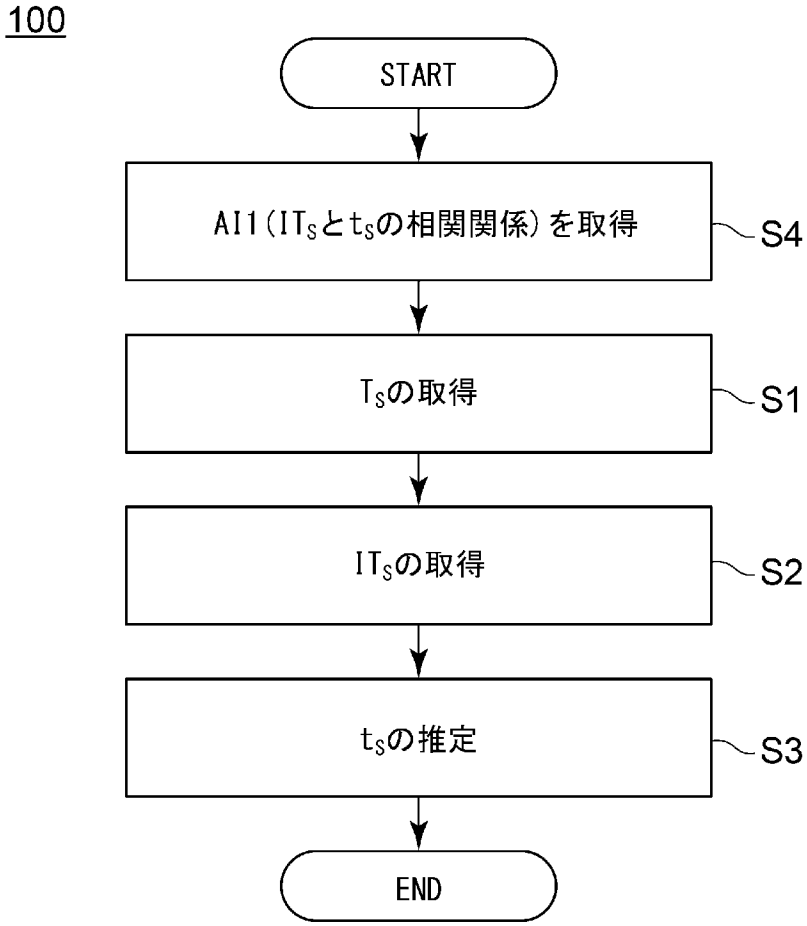
[図6]



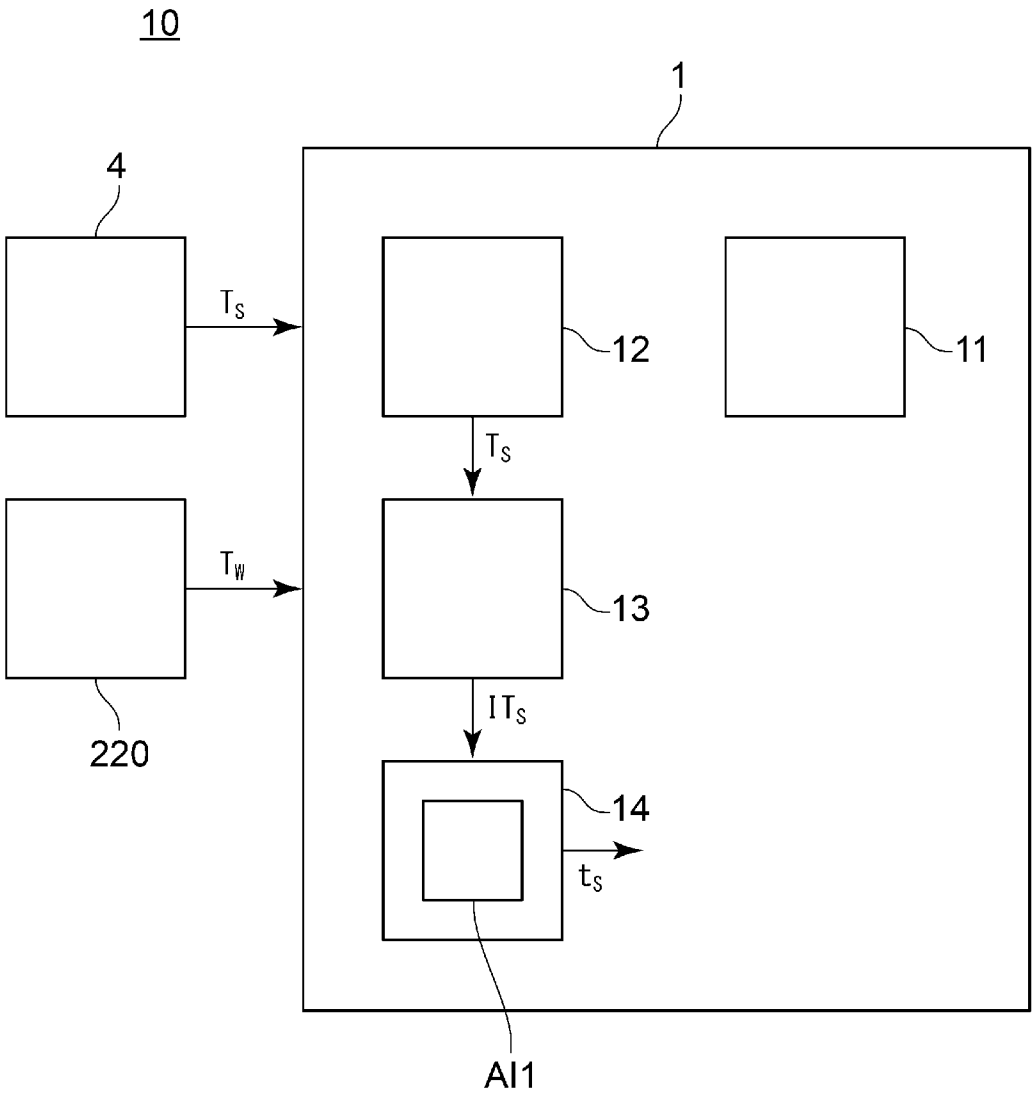
[図7]



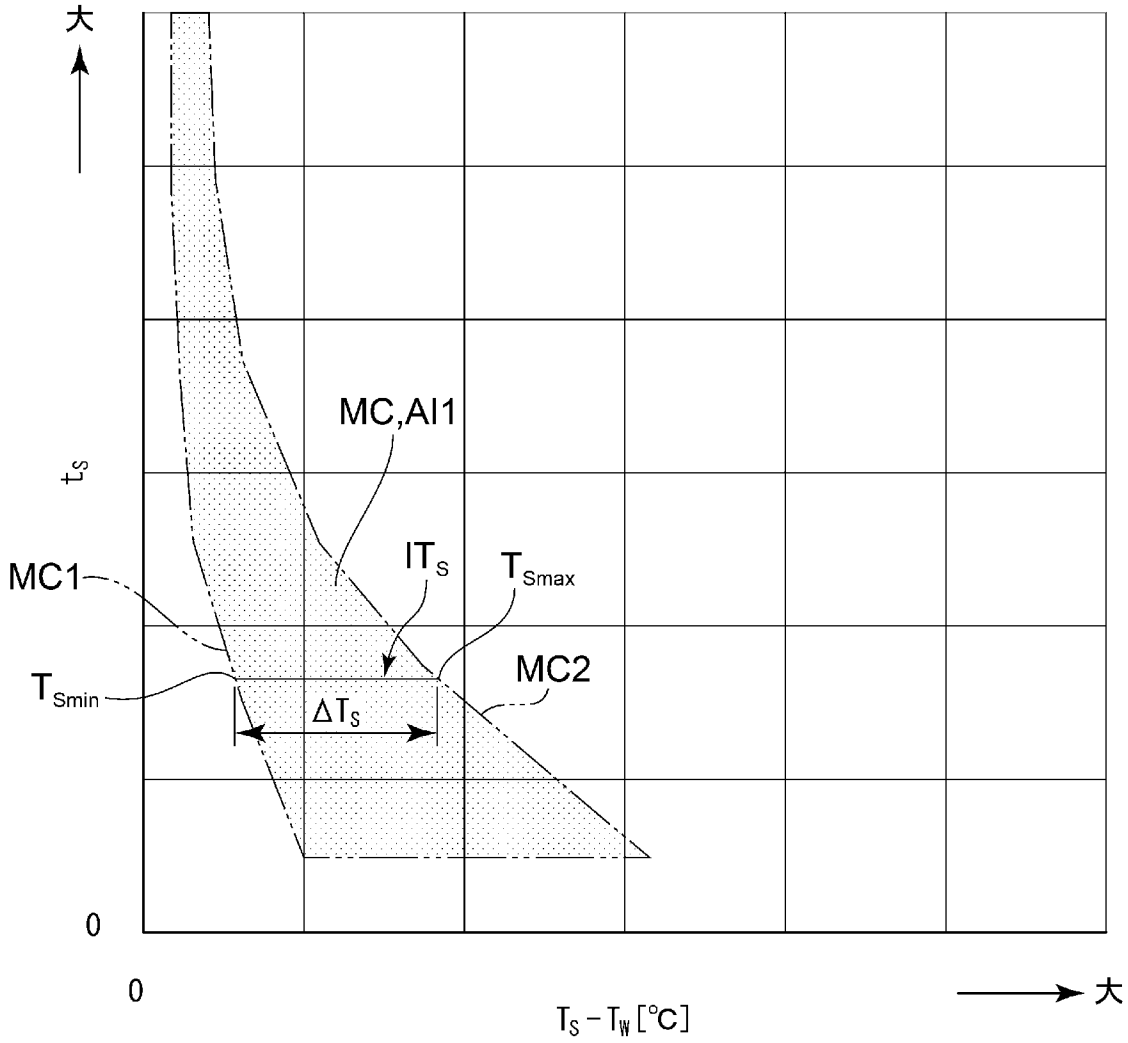
[図8]


100
START
AI1(ITsとtsの相関関係)を取得
S4
Tsの取得
S1
ITsの取得
S2
tsの推定
S3
END

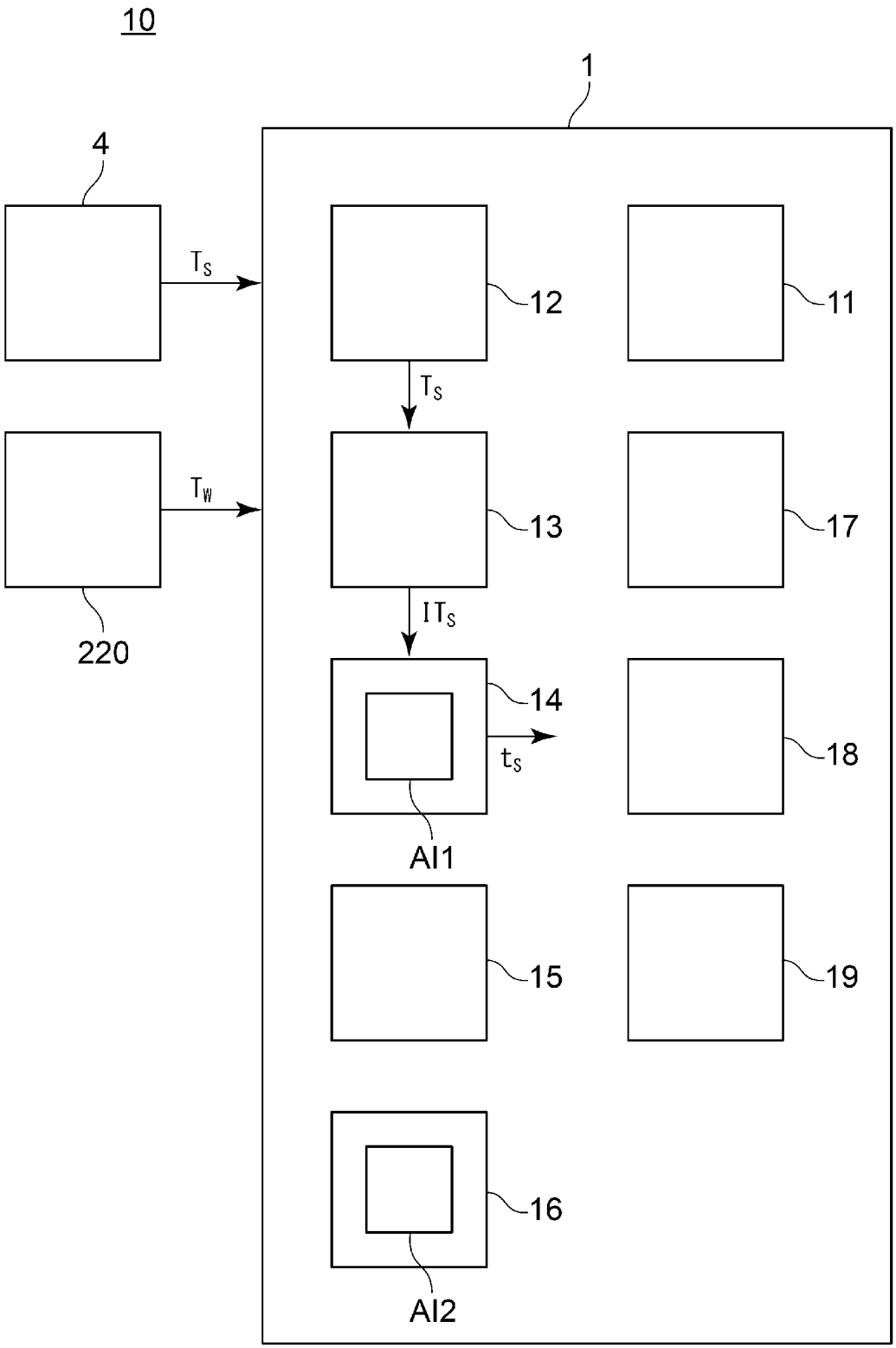
[図9]



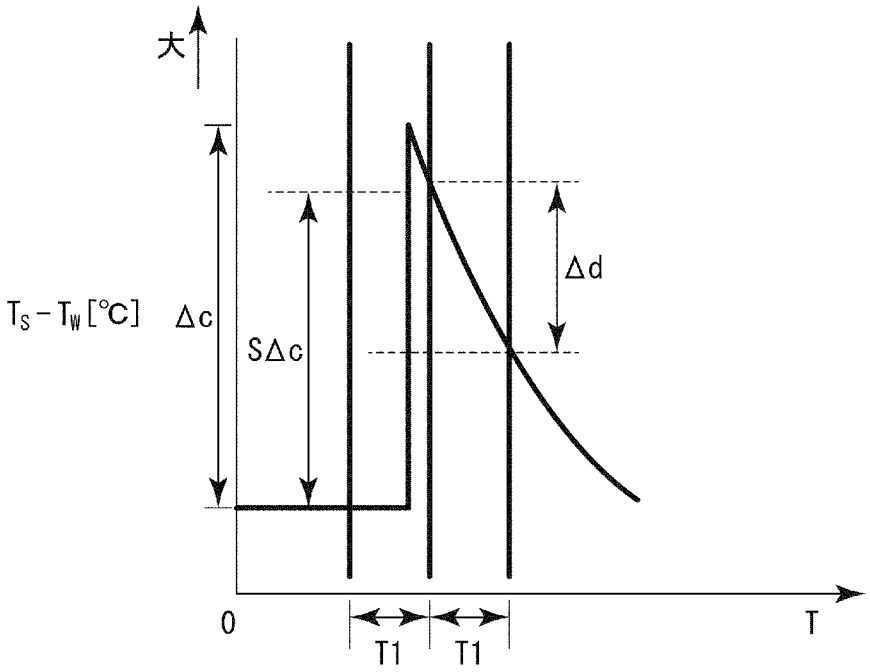
[図10]



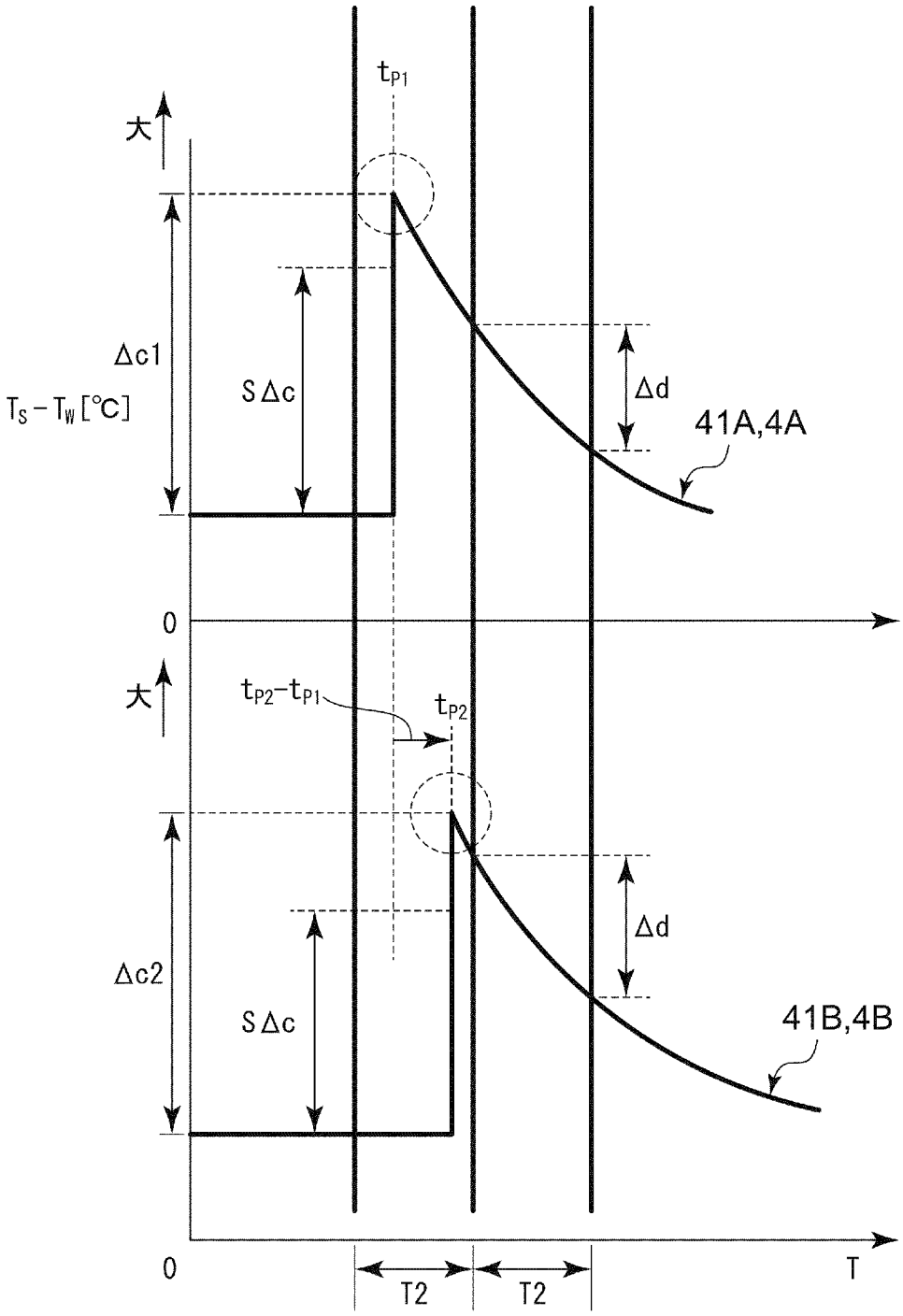
[図11]



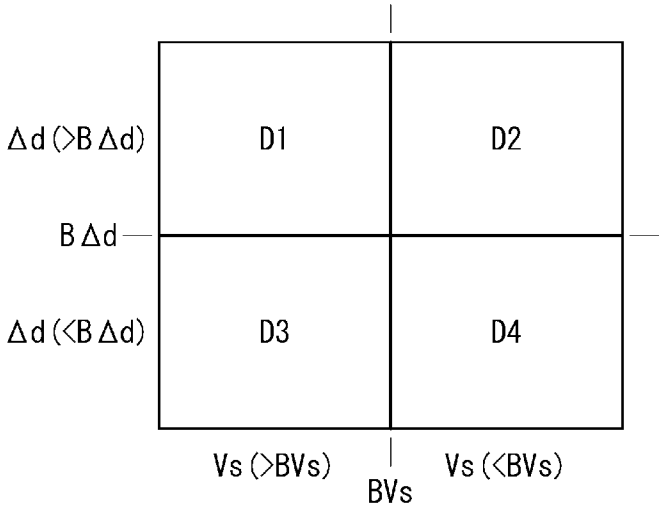
[図12]



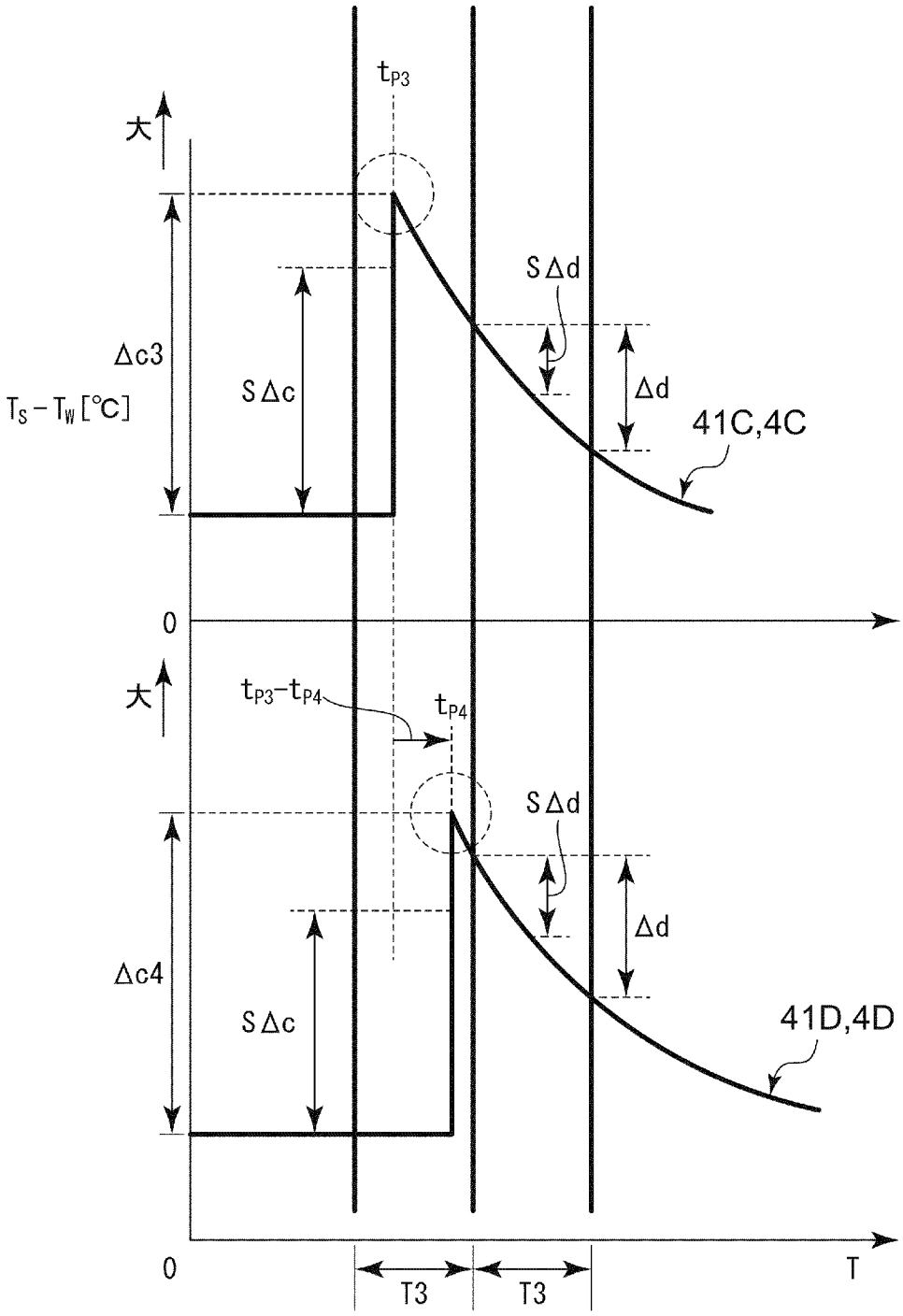
[図13]


tP1
大
Δc1
TS－TW[℃]
SΔc
Δd
41A,4A
0
大
tP2－tP1
tP2
Δc2
SΔc
Δd
41B,4B
0
T2
T2
T

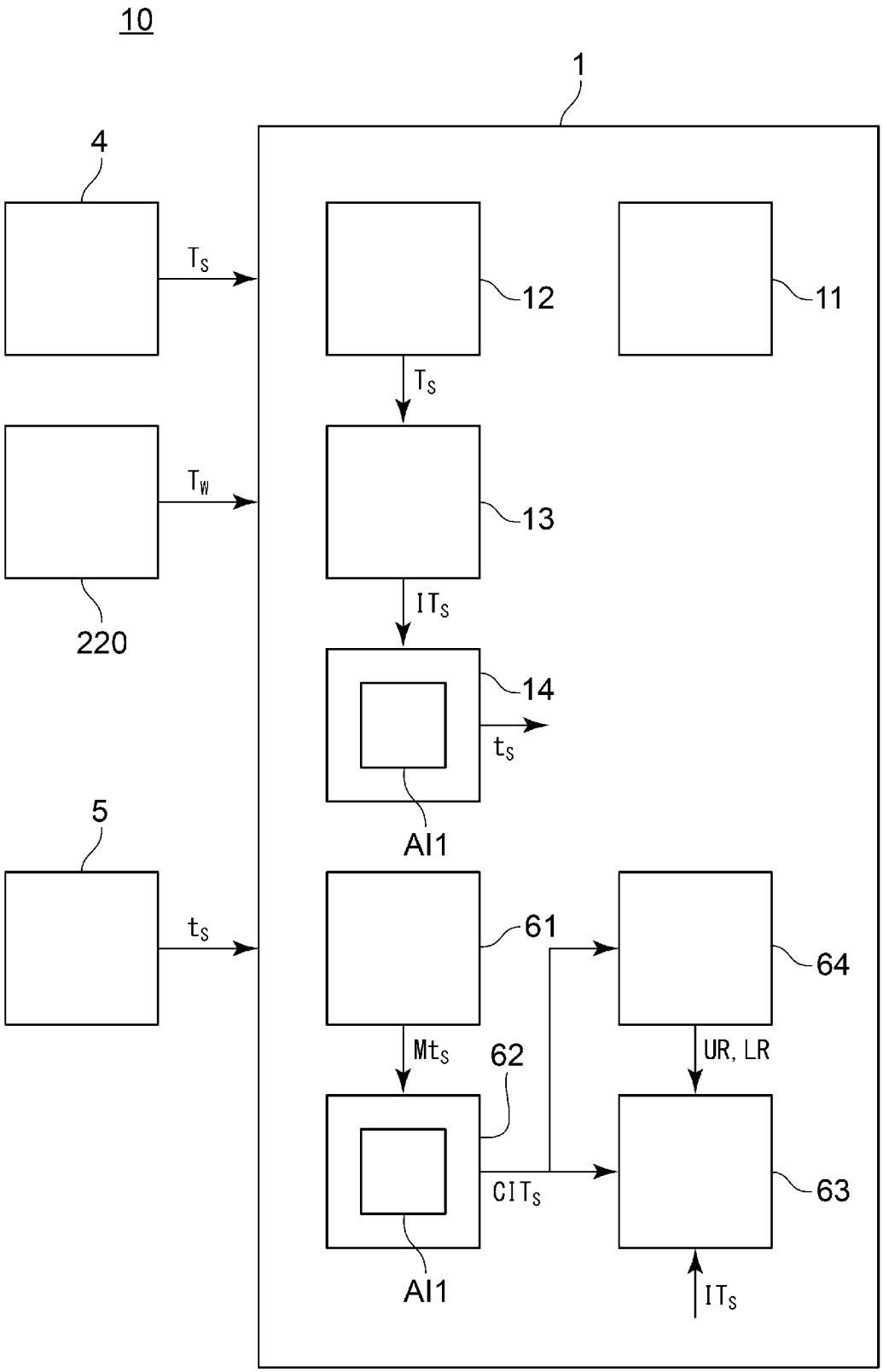
[図14]



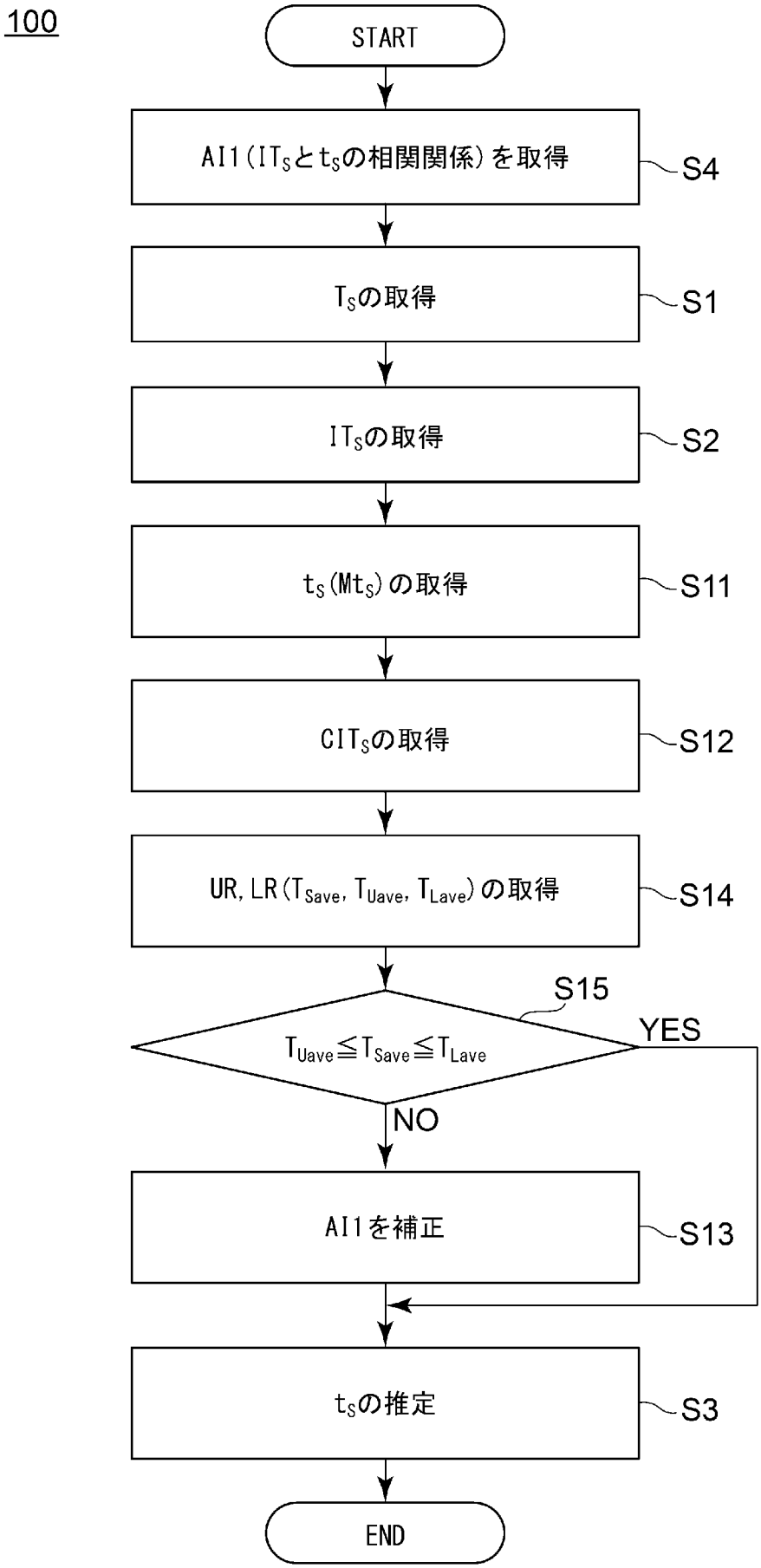
[図15]


tP3
大
SΔd
Δc3
TS－TW[℃]
SΔc
Δd
41C,4C
0
大
tP3－tP4
tP4
SΔd
Δc4
SΔc
Δd
41D,4D
0
T3
T3
T

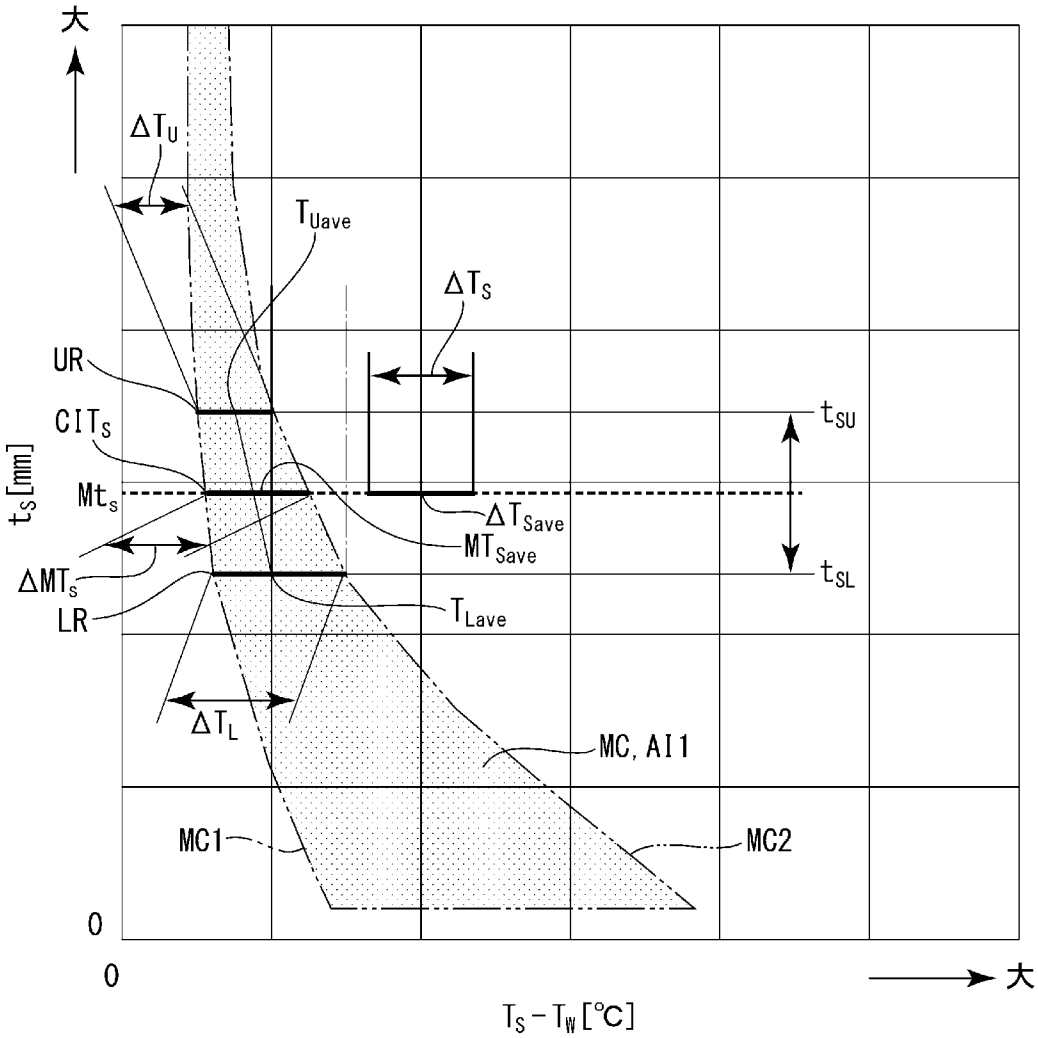
[図16]


10
1
4
5
220
12
11
13
14
61
64
62
63
AI1
AI1
T_S
T_S
T_W
IT_S
t_S
t_S
Mt_S
CIT_S
UR, LR
IT_S

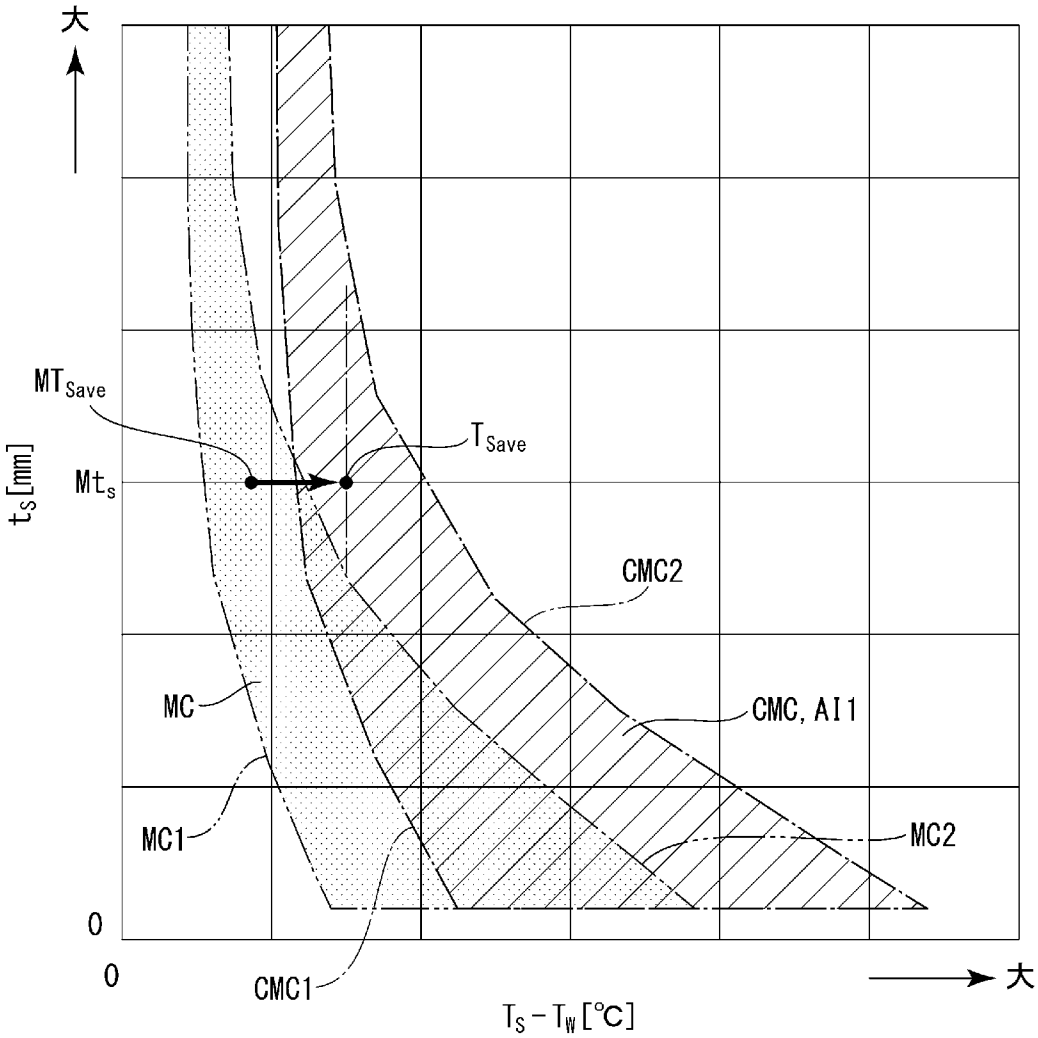
[図17]


100
START
AI1(ITSとtSの相関関係)を取得
S4
TSの取得
S1
ITSの取得
S2
tS(MtS)の取得
S11
CITSの取得
S12
UR, LR(TSave, TUave, TLave)の取得
S14
S15
TUave≦TSave≦TLave
YES
NO
AI1を補正
S13
tSの推定
S3
END

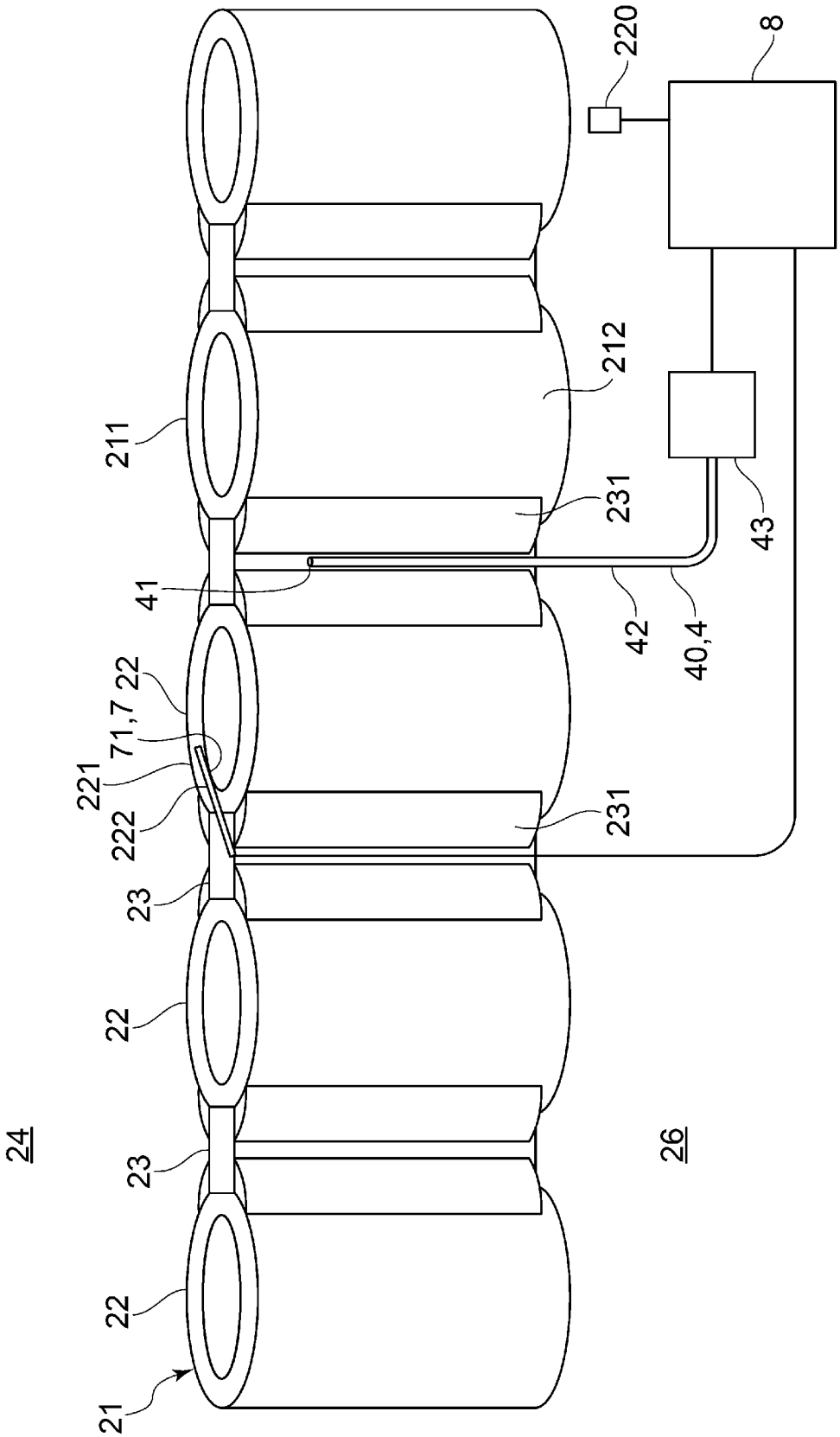
[図18]


大
ΔTU
TUave
ΔTS
UR
CITS
tSU
tS[mm]
MtS
ΔTSave
MTSave
ΔMTS
tSL
LR
TLave
ΔTL
MC, AI1
MC1
MC2
0
0
大
TS－TW[℃]

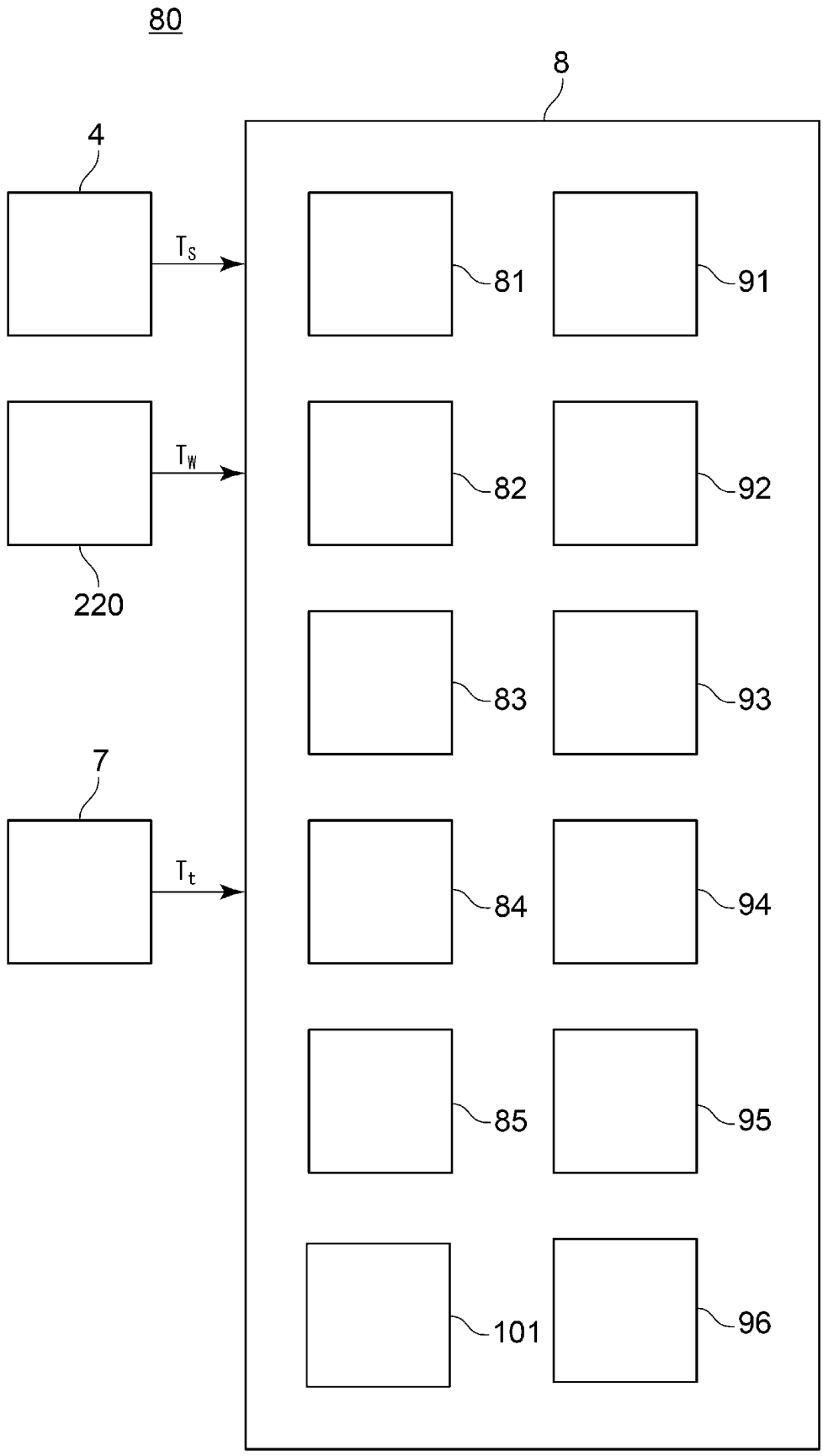
[図19]



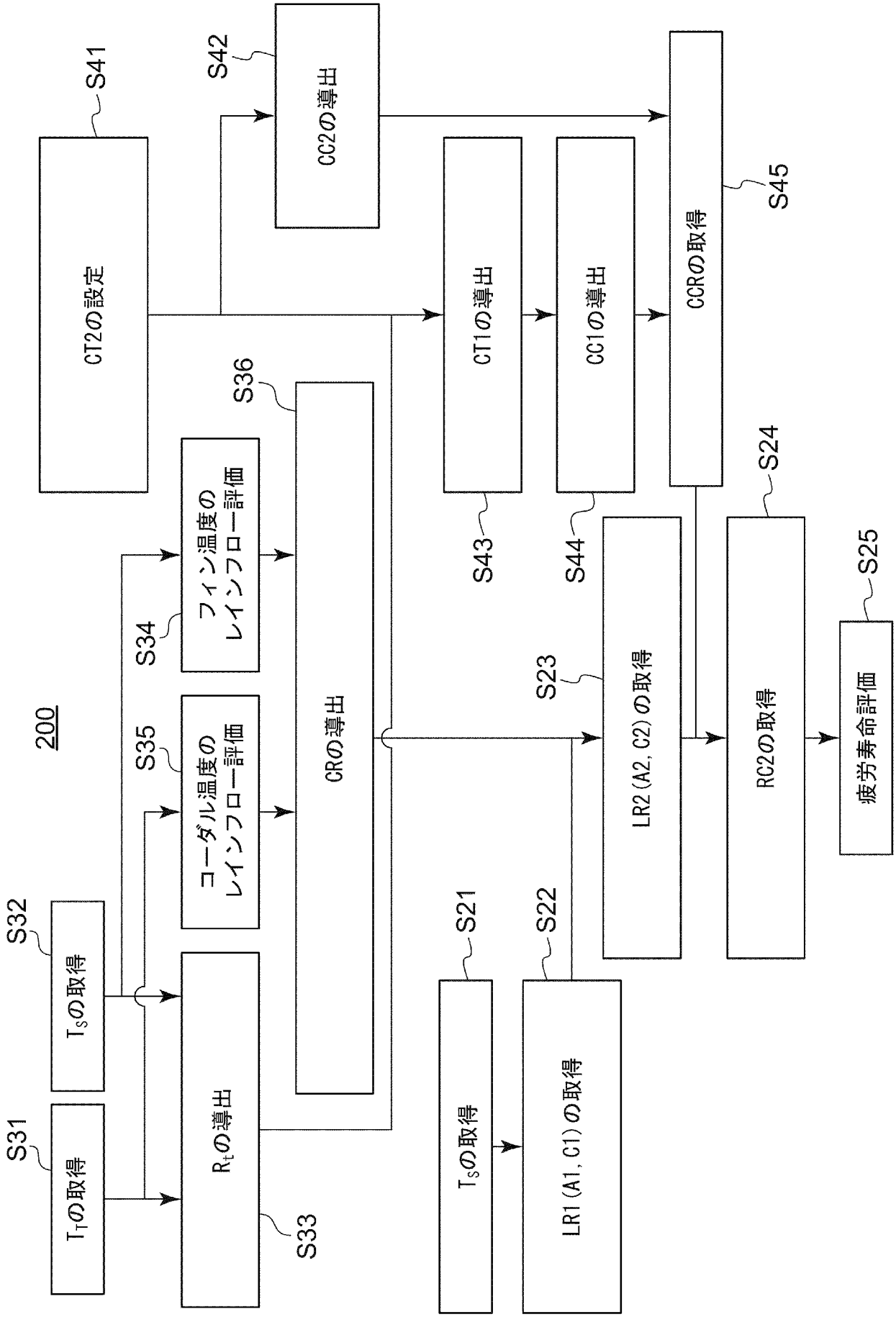
[図20]


220
8
212
211
231
43
41
42
40,4
22
71,7
221
222
231
23
22
24
23
26
22
21

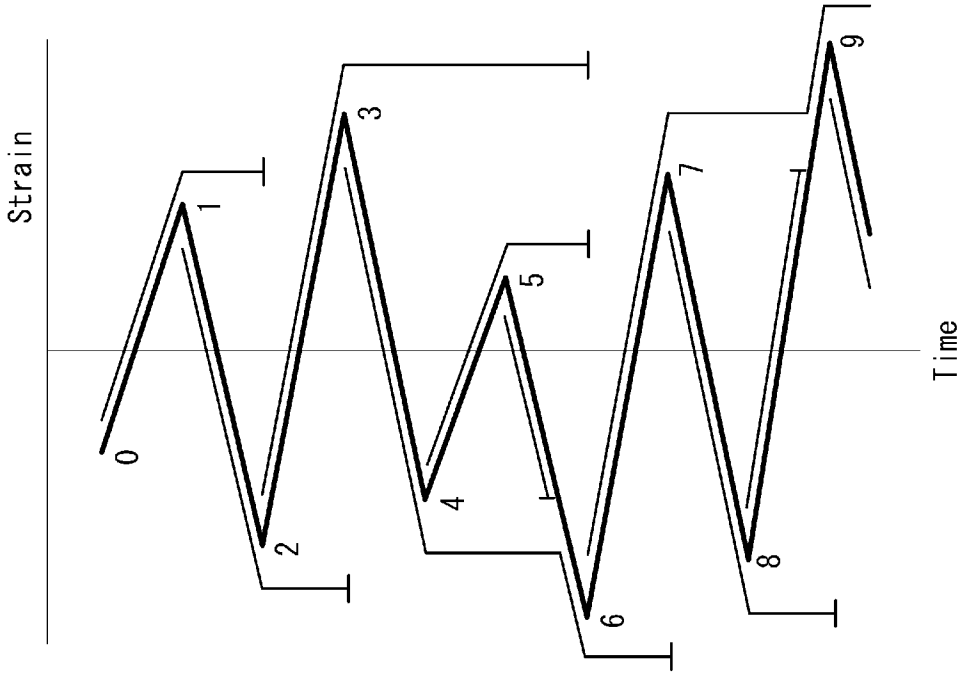
[図21]



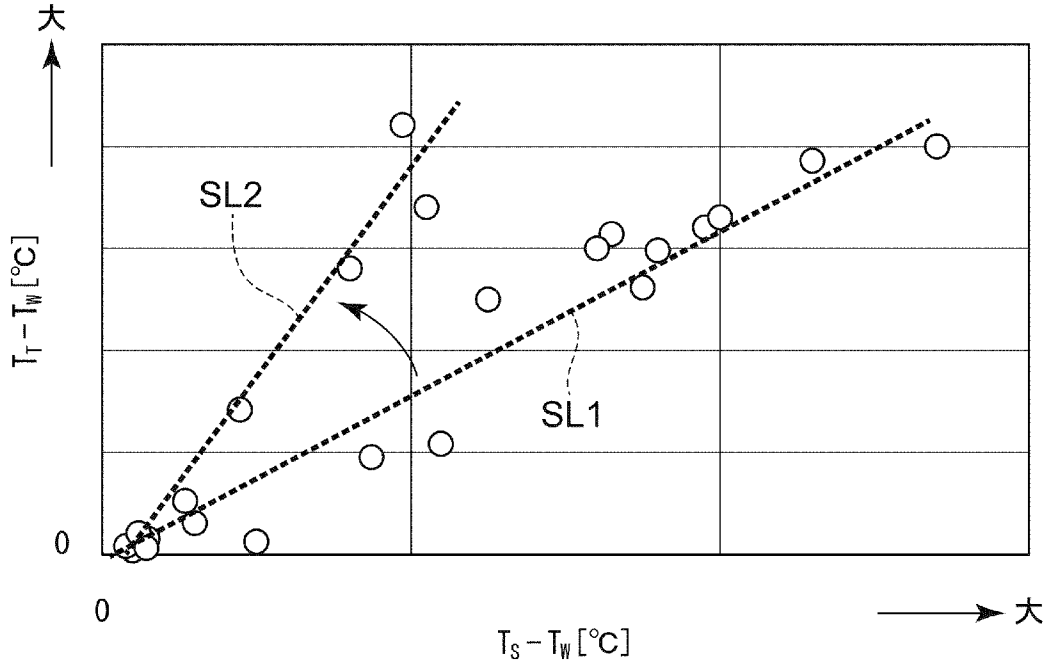
[図22]


200
S31
T_Tの取得
S32
T_Sの取得
S33
R_tの導出
S34
フィン温度の
レインフロー評価
S35
コーダル温度の
レインフロー評価
S36
CRの導出
S41
CT2の設定
S42
CC2の導出
S43
CT1の導出
S44
CC1の導出
S45
CCRの取得
S21
T_Sの取得
S22
LR1 (A1, C1) の取得
S23
LR2 (A2, C2) の取得
S24
RC2の取得
S25
疲労寿命評価

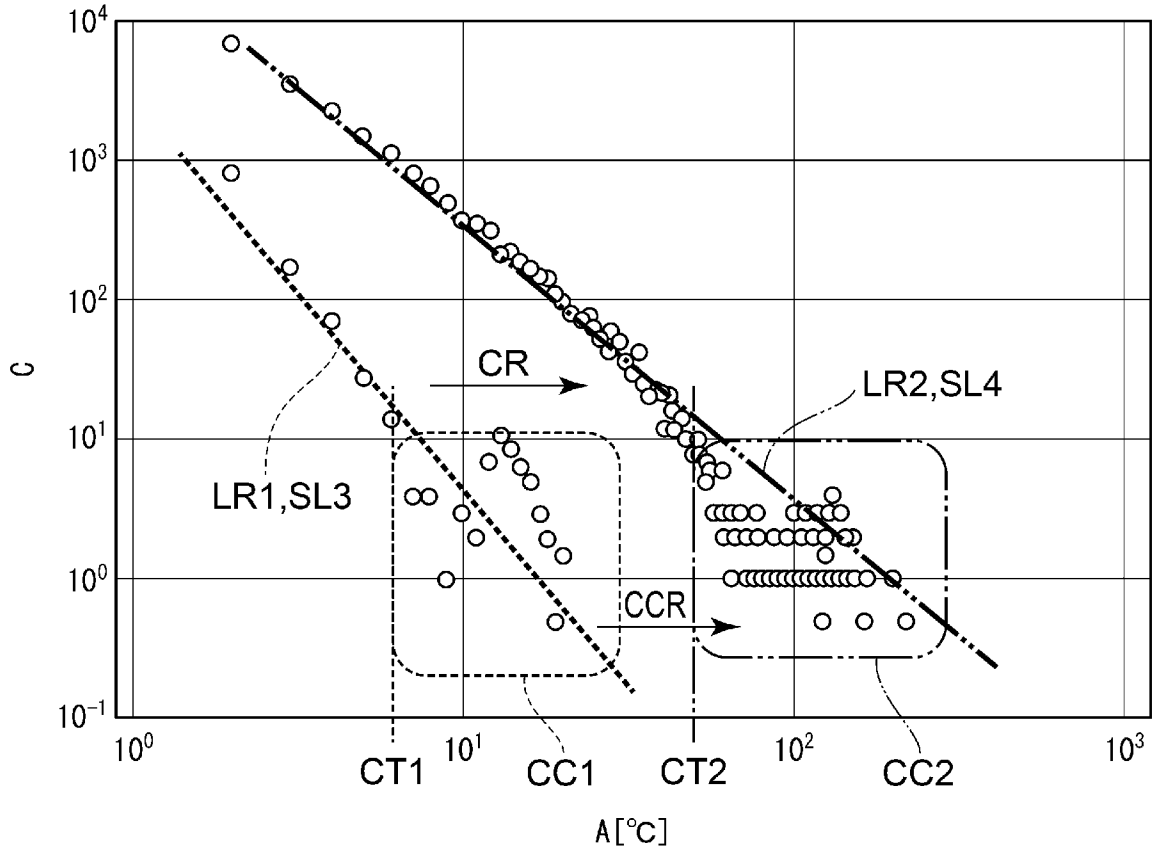
[図23]



[図24]



[図25]


C
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
CR
LR2,SL4
LR1,SL3
CCR
10^0
CT1
10^1
CC1
CT2
10^2
CC2
10^3
A[℃]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/033734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F23G 5/50(2006.01)i; ***F27D 21/00***(2006.01)i; ***C10J 3/46***(2006.01)i; ***C10J 3/48***(2006.01)i; ***G01K 1/14***(2021.01)i; ***G01K 11/3206***(2021.01)i
FI: F27D21/00 Z; C10J3/46 L; C10J3/46 M; C10J3/48; F23G5/50 F; F27D21/00 G; G01K1/14 P; G01K11/3206

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)

F23G5/50; F27D21/00; C10J3/46; C10J3/48; G01K1/14; G01K11/3206

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 58-55707 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 02 April 1983 (1983-04-02) entire text, all drawings	1-16
A	JP 7-310080 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 28 November 1995 (1995-11-28) entire text, all drawings	1-16
A	JP 10-259387 A (HITACHI LTD) 29 September 1998 (1998-09-29) entire text, all drawings	1-16
A	JP 2003-294219 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 15 October 2003 (2003-10-15) entire text, all drawings	1-16
A	JP 2011-58933 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 24 March 2011 (2011-03-24) entire text, all drawings	1-16

☐ 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	Date of mailing of the international search report
20 November 2023	**28 November 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/033734

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 58-55707 A	02 April 1983	US 4419755 A entire text, all drawings KR 10-1986-0000963 B1	
JP 7-310080 A	28 November 1995	(Family: none)	
JP 10-259387 A	29 September 1998	(Family: none)	
JP 2003-294219 A	15 October 2003	(Family: none)	
JP 2011-58933 A	24 March 2011	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/033734

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

F23G 5/50(2006.01)i; F27D 21/00(2006.01)i; C10J 3/46(2006.01)i; C10J 3/48(2006.01)i; G01K 1/14(2021.01)i; G01K 11/3206(2021.01)i
FI: F27D21/00 Z; C10J3/46 L; C10J3/46 M; C10J3/48; F23G5/50 F; F27D21/00 G; G01K1/14 P; G01K11/3206

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））

F23G5/50; F27D21/00; C10J3/46; C10J3/48; G01K1/14; G01K11/3206

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 58-55707 A (富士電機株式会社) 02.04.1983 (1983-04-02) 全文、全図	1-16
A	JP 7-310080 A (三菱重工業株式会社) 28.11.1995 (1995-11-28) 全文、全図	1-16
A	JP 10-259387 A (株式会社日立製作所) 29.09.1998 (1998-09-29) 全文、全図	1-16
A	JP 2003-294219 A (三菱重工業株式会社) 15.10.2003 (2003-10-15) 全文、全図	1-16
A	JP 2011-58933 A (三菱重工業株式会社) 24.03.2011 (2011-03-24) 全文、全図	1-16

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
20.11.2023	28.11.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
櫻井　雄介 4K 2585

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/033734

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 58-55707 A	02.04.1983	US 4419755 A 全文、全図 KR 10-1986-0000963 B1	
JP 7-310080 A	28.11.1995	（ファミリーなし）	
JP 10-259387 A	29.09.1998	（ファミリーなし）	
JP 2003-294219 A	15.10.2003	（ファミリーなし）	
JP 2011-58933 A	24.03.2011	（ファミリーなし）	