

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年8月9日(09.08.2018)



(10) 国際公開番号
WO 2018/142475 A1

- (51) 国際特許分類:
G01F 1/68 (2006.01) *G01P 5/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/003430
- (22) 国際出願日: 2017年1月31日(31.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 東京電力ホールディングス株式会社 (TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY HOLDINGS, INCORPORATED) [JP/JP]; 〒1008560 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 梅沢 修一 (UMEZAWA Shuichi); 〒1008560 東京都千代田区内幸町1丁目1番

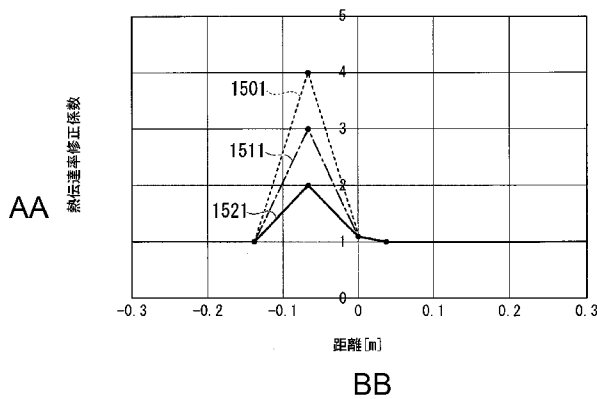
3号 東京電力ホールディングス株式会社内 Tokyo (JP). 杉田 勝彦(SUGITA Katsuhiko); 〒1008560 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力ホールディングス株式会社内 Tokyo (JP). 横坂 雅樹(YOKOSAKA Masaki); 〒1008560 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力エナジーパートナー株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: RELATIONSHIP INFORMATION SETTING METHOD, FLOW SPEED DETERMINATION METHOD, RELATIONSHIP INFORMATION SETTING SYSTEM, FLOW SPEED DETERMINATION SYSTEM, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 関係情報設定方法、流速決定方法、関係情報設定システム、流速決定システム及びプログラム

[図24]



AA Heat transfer coefficient correction coefficient
BB Distance

(57) Abstract: The relationship information setting method according to an embodiment of the present invention is for obtaining relationship information indicating a relationship between the flow speed of a fluid flowing through the inside of a piping and a temperature distribution on the surface of the piping, wherein the relationship information setting method includes: a heat exchange step for performing heat exchange in a predetermined portion of the surface of the piping; an analysis step for obtaining an analysis value of the temperature distribution on the surface of the piping in a state in which heat exchange is being performed in the predetermined portion of the surface of the piping; a heat transfer coefficient correction coefficient value acquisition step for acquiring the value of a heat transfer coefficient correction coefficient for correcting the analysis value of the temperature distribution on the surface of the piping in a state in which heat exchange is being performed in the predetermined portion of the surface of the piping, the heat transfer coefficient correction coefficient taking a value having a single peak between a rising position and a heated-part center position in the

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

pipe axis direction of the temperature distribution; and a relationship information setting step for correcting the analysis value acquired in the analysis step on the basis of the value of the heat transfer coefficient correction coefficient acquired in the heat transfer coefficient correction coefficient acquisition step.

(57) 要約 : 実施形態の関係情報設定方法は、配管の内部を流れる流体の流速と配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定方法であって、配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換工程と、配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での配管の表面の温度分布の解析値を求める解析工程と、配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得工程と、解析工程で取得した解析値を、熱伝達率修正係数値取得工程で取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、関係情報を求める関係情報設定工程と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

関係情報設定方法、流速決定方法、関係情報設定システム、流速決定システム及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、関係情報設定方法、流速決定方法、関係情報設定システム、流速決定システム及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1では、配管内を流れる流体の流速計測方法が開示されている。この流速計測方法では、配管の表面の所定部分で熱交換を行い、当該配管の管軸方向における温度分布を計測し、計測した温度分布に基づいて、配管の内部を流れる流体の流速を求める。

[0003] 配管の温度分布から配管の内部を流れる流体の流速を求める方法として、温度分布と流速との関係を予め求めておき、得られた関係を用いて温度分布を流速に換算する方法が考えられる。この方法では、流速を精度良く求めるために、温度分布と流速との関係を精度良く求めておくことが好ましい。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2015-148508号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明が解決しようとする課題は、配管の温度分布と配管の内部を流れる流体の流速との関係を精度良く求めることができる関係情報設定方法、流速決定方法、関係情報設定システム、流速決定システム及びプログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

- [0006] 一態様として、関係情報設定方法は、配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定方法であって、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換工程と、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を求める解析工程と、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得工程と、前記解析工程で取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数値取得工程で取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定工程と、を含む。
- [0007] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数は、前記加熱部中心の位置において1よりも大きい値を取る、構成が用いられてもよい。
- [0008] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数は、前記ピークに対して前記立ち上がりの位置よりも外側、及び前記ピークに対して前記加熱部中心の位置よりも外側の所定位置よりも外側において、ほぼ1の値を取る、構成が用いられてもよい。
- [0009] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数は、前記ピークに対してほぼ対称な形状を有する、構成が用いられてもよい。
- [0010] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数は、前記ピークの位置において、レイノルズ数の値に応じた大きさの値を取る、構成が用いられてもよい。
- [0011] 一態様として、関係情報設定方法において、前記配管は、50A配管又は65A配管のいずれかであり、前記ピークの位置は、ほぼ66mmの位置である、構成が用いられてもよい。
- [0012] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記配管に沿った位置毎に前記熱伝達率修正係数の値を取得する

、構成が用いられてもよい。

[0013] 一態様として、関係情報設定方法において、前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記配管の表面の温度分布を計測する温度計測工程と、前記流体の流速を設定する流速設定工程と、を含み、前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記温度計測工程で計測した温度分布、前記解析工程で取得した温度分布の解析値、及び、前記流速設定工程で設定した流速に基づいて、前記熱伝達率修正係数の値を設定する、構成が用いられてもよい。

[0014] 一態様として、関係情報設定方法において、前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記温度計測工程で計測した前記温度分布と、前記流速設定工程で設定した流速を用いて前記解析工程で取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う、構成が用いられてもよい。

[0015] 一態様として、流速決定方法は、配管の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う流速決定時熱交換工程と、前記流速決定時熱交換工程にて前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記表面の温度分布を計測する流速決定時温度分布計測工程と、前記流速決定時温度分布計測工程で計測した前記温度分布、及び、上記の関係情報設定方法にて得られた関係情報に基づいて、前記配管の内部を流れる前記流体の流速を求める流速決定工程と、を含む。

[0016] 一態様として、関係情報設定システムは、配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定システムであって、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換器と、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を求める解析部と、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する前記所定部分からの距離に

応じた値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得部と、前記解析部が取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数値取得部が取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定部と、を備える。

[0017] 一態様として、関係情報設定システムにおいて、前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記配管に沿った位置毎に前記熱伝達率修正係数の値を取得する、構成が用いられてもよい。

[0018] 一態様として、関係情報設定システムにおいて、前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記配管の表面の温度分布を計測する温度計測部と、前記流体の流速を設定する流速設定部と、を備え、前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記温度計測部が計測した温度分布、前記解析部が取得した温度分布の解析値、及び、前記流速設定部が設定した流速に基づいて、前記熱伝達率修正係数の値を設定する、構成が用いられてもよい。

[0019] 一態様として、関係情報設定システムにおいて、前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記温度計測部が計測した前記温度分布と、前記流速設定部が設定した流速を用いて前記解析部が取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う、構成が用いられてもよい。

[0020] 一態様として、流速決定システムは、上記の関係情報設定システムと、前記関係情報設定部が設定した関係情報を記憶する記憶部と、配管の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換器と、前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記配管の表面の温度分布を計測する温度計測部と、前記温度計測部が計測した温度分布、及び、前記記憶部が記憶している関係情報に基づいて、前記流体の流速を求める流速決定部と、を備える。

[0021] 一態様として、プログラムは、配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求めるプログラムであって、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換ステップと、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解

析値を求める解析ステップと、前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得ステップと、前記解析ステップで取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数値取得ステップで取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定ステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

発明の効果

[0022] 関係情報設定方法、流速決定方法、関係情報設定システム、流速決定システム及びプログラムによると、配管の温度分布と配管の内部を流れる流体の流速との関係を精度良く求めることができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本実施形態に係る流速決定システムの概略構成を示す図である。
[図2]流速決定システムの要部構成を示す図である。
[図3]配管の断面構造を示す図である。
[図4]配管の断面構造を示す図である。
[図5]制御ユニットを示す模式図である。
[図6]配管の領域のセルへの分割例を示す説明図である。
[図7]計測の条件テーブルを示す図である。
[図8]空気を用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である。
[図9]空気を用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である。
[図10]空気を用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である。
。
[図11]空気を用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である。
。
[図12]空気を用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である。
。

[図13]空気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図14]空気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図15]空気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図16]蒸気をを用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図17]蒸気をを用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図18]蒸気をを用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図19]蒸気をを用いた場合における50A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図20]蒸気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図21]蒸気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図22]蒸気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図23]蒸気をを用いた場合における65A配管の計測結果の例を示す図である

。

[図24]熱伝達率修正係数の設定の例を示す図である。

[図25]フィッティングの結果の例を示す図である。

[図26]流速解析プログラムの処理フローの例を示す図である。

[図27]流速解析プログラムの処理結果の例を示す図である。

[図28]流速解析プログラムの処理結果の例を示す図である。

[図29]流速の解析の結果を示す図である。

[図30]本実施形態に係る関係情報設定システムの一例の概略構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、本発明の実施形態を説明する。

[0025] [流速決定システムの概要]

図1は、本実施形態に係る流速決定システム100の概略構成を示す図である。本実施形態に係る流速決定システム100は、関係情報設定システムの機能を含む。

図2は、流速決定システム100の要部構成を示す図である。

本実施形態に係る流速決定システム100は、図1に示すように、加熱部（熱交換器）2と、プレヒーター2bと、温度計測部3と、制御ユニット（流速決定部）4と、を含む。図1において、配管10は、蒸気製造装置20（ボイラーなど）と負荷設備30との間に配設されている。蒸気製造装置20からの蒸気が配管10を流れ、負荷設備30に送られる。負荷設備30において、蒸気又は蒸気の熱が利用される。負荷設備30から排出された蒸気はドレンとして回収され、還水槽（不図示）に集約された後、蒸気製造装置20に再度給水される。また、配管10の周りには断熱材が巻かれている。

なお、流体としては、蒸気の代わりに、空気などが用いられてもよい。

[0026] 加熱部2は、配管10の表面10aと熱交換することで所定部分を加熱する。本実施形態において、加熱部2は、例えば、リング状のヒーターから構成されており、図2～図3に示すように、配管10の表面10aの所定位置において周方向に亘って配置される。これにより、加熱部2は、配管10の所定部分（当該加熱部2の設置部分11）において、当該配管10の表面10aを均一に加熱する。加熱部2は、制御ユニット4に電氣的に接続されており、その動作が制御される。

なお、ここでいう熱交換器は、温度の高い物体から温度の低い物体へ熱を移動させるものである。ヒーターは、熱交換器の一例である。

[0027] プレヒーター2bは、配管10内を流れる流体を加熱する。

プレヒーター 2 b は、配管 1 0 内を流れる気体（流体の一例）の液化を防止するために設けられている。例えば、配管 1 0 内を流れる流体が蒸気（あるいは、空気も同様）である場合に、プレヒーター 2 b が当該蒸気を加熱することで、当該蒸気が液化して配管 1 0 内や負荷設備 3 0 内に水滴が付着することを防止する。

なお、図 2 において、矢印 B 1 1 は、流体が配管 1 0 内を流れる向きを示している。

[0028] 温度センサー群 3 A は、配管 1 0 における表面 1 0 a の加熱部 2 の設置部分 1 1 の両側（上流側及び下流側）に配置されている。

図 2 の例では、各温度センサー群 3 A は、設置部分 1 1 の端面からの距離が 0 [mm（ミリメートル）]、4 [mm]、8 [mm]、12 [mm]、・・・といったように、所定の間隔（この例では、4 [mm] 間隔）ごとに設置される。

ここで、設置部分 1 1 の端面からの距離が 0 [mm] とは、温度センサー群 3 A が加熱部 2 の端面に沿って配置されることを意味する。

なお、温度センサー群 3 A の配置間隔は、任意であってもよく、例えば、流体が空気である場合、15 [mm] 間隔などが用いられてもよい。

[0029] 上記のように、図 2 の例では、温度センサー群 3 A は、等間隔で配置されている。

ここで、温度センサー群 3 A の配置間隔を不等な間隔とすることも可能である。この場合、各温度センサー群 3 A は、設置部分 1 1 からの距離に応じて設置位置が決定される。

例えば、設置部分 1 1 から離間するに従って、隣接する温度センサー群 3 A 間の距離が 2 [mm] ずつ大きくなるように配置することが可能である。この場合、温度センサー群 3 A は、設置部分 1 1（加熱部 2）に近い程、センサーが密集して配置されたものとなる。これにより、設置部分 1 1 の近傍において配管 1 0 の表面 1 0 a の温度を精度良く検出することが可能となる。例えば、設置部分 1 1 の上流側を例に挙げると、各温度センサー群 3 A は

、設置部分 11 の端面からの距離が 0 [mm]、6 [mm]、14 [mm]、24 [mm]、36 [mm]、50 [mm]、66 [mm]、84 [mm]、104 [mm]、126 [mm]、150 [mm]、176 [mm] に設置されてもよい。

[0030] 図 3 は、配管 10 の断面構造を示す図である。図 3 では、配管 10 の断面構造として、設置部分 11 の下流側端面の近傍（A-A 矢視による断面）を示した。

図 4 は、配管 10 の断面構造を示す図である。図 4 では、配管 10 の断面構造として、設置部分 11 の下流側端面からの距離 12 [mm] 近傍（B-B 矢視による断面）を示した。

[0031] 温度計測部 3 は、複数の温度センサー群 3A から構成される。各温度センサー群 3A は、配管 10 の表面 10a において、当該配管 10 の管軸方向に沿って配置される。各温度センサー群 3A は、それぞれ配管 10 の表面 10a の温度を計測する温度センサー 3a を複数含む。本実施形態において、各温度センサー群 3A は 4 つの温度センサー 3a から構成される。4 つの温度センサー 3a は、配管 10 の表面 10a において、周方向に均等に配置されている。すなわち、4 つの温度センサー 3a は、配管 10 の周方向において、90 度ずつ位置を違えるように配置されている。各温度センサー群 3A は、4 つの温度センサー 3a が計測した値の平均値を計測値として出力する。このように、各温度センサー群 3A が、複数の温度センサー 3a を備え、配管 10 の表面 10a における複数個所を計測した値の平均を計測値とすることで信頼性の高い計測結果（温度）を出力可能である。

[0032] なお、各温度センサー群 3A を構成する温度センサー 3a の数は、図 3～図 4 に示す 4 つに限らず 1 つ以上であればよい。例えば、各温度センサー群 3A が、2 つの温度センサー 3a から構成され、2 つの温度センサー 3a が、配管 10 の周方向に左右均等に（配管 10 の周方向において 180 度位置を違えるように）配置されていてもよい。

[0033] 上述した構成に基づき、温度計測部 3 は、各温度センサー群 3A の計測結

果から配管10の管軸方向における表面10aの温度分布を計測することが可能である。温度計測部3が計測した温度分布は、制御ユニット4に送信される。

[0034] なお、配管10は、表面10aの少なくとも一部が保温材12により覆われている。本実施形態において、保温材12は、配管10の表面に設けられた加熱部2及び温度計測部3（各温度センサー3a）を覆うように管軸方向に亘って設置されている。

[0035] 図5は、制御ユニット4を示す模式図である。図5において、計算装置50は、例えばコンピュータシステムである。制御ユニット4は、計算装置50に加え、入力装置60、及び表示装置（出力装置）64を備える。計算装置50は、A/D（Analog to Digital）変換器等の変換器61、CPU（演算処理手段）62、及びメモリ63等を備える。流速決定システム100の温度計測部3から送られる計測データ（温度分布）が、必要に応じて変換器61で変換され、CPU62に取り込まれる。また、初期設定値、及び仮データなどが入力装置60などを介して計算装置50に取り込まれる。表示装置64は、入力されたデータに関する情報、及び計算に関する情報などを表示することができる。

[0036] CPU62は、計測データ、及びメモリ63に記憶された情報に基づき、配管10の内部を流れる蒸気の流速を決定する。CPU62は、例えば、温度計測部3の計測結果（配管10の表面10aにおける温度分布）を用い、メモリ63に記憶された情報から配管10の内部を流れる蒸気の流速を決定する。制御ユニット4は、流速の決定値（計測値とみなされてもよい。）を取得する流速決定部の一例である。

具体的には、メモリ63は、配管10の表面10aにおける温度分布と、配管10の内部を流れる流体の流速との関係を示す関係情報を予め（流速の決定よりも前に）記憶しておく。メモリ63は記憶部の一例である。メモリ63が記憶する関係情報では、流体の流速毎に、当該流速と温度分布とが対応付けられている。

そして、温度計測部3が配管10の表面10aにおける温度分布を計測すると、CPU62は、関係情報を参照して、温度計測部3が計測した温度分布に最も近い（例えば、差の絶対値の合計が最も小さい）温度分布に対応付けられている流速を読み出して、流速の値（決定値）とする。

[0037] このように、メモリ63は、温度分布と流速とを対応付けた関係情報を予め記憶しておく。そして、加熱部2が、リングヒーター（リング状のヒーター）で所定箇所を加熱し、配管10の温度分布が定常状態になった状態で、温度計測部3が、配管10における温度分布を計測する。そして、制御ユニット4は、関係情報を参照して、計測で得られた温度分布に最も近い温度分布に対応付けられている流速を流速の値（決定値）とする。

[0038] 次に、メモリ63が予め記憶しておく関係情報の取得方法について説明する。

一例として、配管10の温度定常状態における熱の伝わりを、有限要素法で解析することで、関係情報を求めることができる。以下では、制御ユニット4が有限要素法の計算を行う場合を例に説明するが、他のコンピュータを用いて有限要素法の解析を行う構成としてもよい。

配管10に有限要素法を適用するために、配管10の領域をセル（部分領域）に分割する。

[0039] 図6は、配管10の領域のセルへの分割例を示す説明図である。

図6に示す領域A11は、管内の領域（流体が流れる領域）を示す。領域A12は、配管10の領域（管壁の領域）を示す。領域A13は、配管10の周りに巻かれた断熱材の領域を示す。領域A14は、断熱材の外側の空気の領域を示す。なお、図2と同様に、矢印B11は、流体が配管10内を流れる向きの例を示している。

[0040] 有限要素法を適用するためのセル分割にて、図6に示すように、配管10の管壁の領域A12を均等な厚みで3層に分割する。この3層と、流体の領域A11、断熱材の領域A13、及び、外部の空気の領域A14とで、配管10の半径方向の領域が6層に分割されている。

また、配管10の軸方向（長手方向）に関しては、例えば3 [mm] 幅など比較的小さい幅で均等に分割する。

また、加熱部2としてリング状のヒーターを用い、図6に示すように、配管10の長手方向における加熱部2の厚みを無視する。特に、加熱部2が、配管10の管壁の領域A12のセルのうち1つのみに入熱するものとして近似する。また、加熱部2自体の容量の影響は無視する（つまり、容量が十分に小さいとする）。

[0041] 隣接する接点との熱移動は、管内面と管内の流体との対流熱伝達、管壁内（図6の領域A12内）での熱伝導、管壁から断熱材への熱伝導及び断熱材内での熱伝導、断熱材外表面と周囲空気との対流熱伝達による熱移動とする。また、加熱部2から十分離れた管端の部分のセルの外縁を断熱条件とする。

以下の熱バランスによる方程式（以下の式（1））をセル毎に設定しておき、制御ユニット4が、有限要素法を用いて解析することで、セル間の温度差を算出する。有限要素法の解法（連立方程式の解法）として、例えばNewton-Raphson法を用いることができる。但し、制御ユニット4が用いる解法は、Newton-Raphson法に限らず、連立方程式に適用可能ないろいろな解法を用いることができる。

[0042] ここで、定常状態では、隣接するセルからの入熱量の和が0になる。なお、熱量の放出は、入熱量マイナスとして表す。

座標（ i ， j ）に位置するセルにおける熱バランスは、式（1）のように表される。

$$[0043] \quad Q_{i, j-1} + Q_{i, j+1} + Q_{i-1, j} + Q_{i+1, j} = 0 \quad \dots \quad (1)$$

[0044] ここで、座標（ i ， j ）に位置するセルに隣接するセルの座標を、（ i ， $j-1$ ）、（ i ， $j+1$ ）、（ $i-1$ ， j ）、（ $i+1$ ， j ）とする。また、 $Q_{i, j-1}$ 、 $Q_{i, j+1}$ 、 $Q_{i-1, j}$ 、 $Q_{i+1, j}$ は、それぞれ、添え字で示す座標に位置するセルからの入熱量を示す。なお、隣接するセルが無い場合は、当該セルからの入熱量を0とする。

上記のように、セル毎に熱バランスによる方程式（式（１））を設定する。当該方程式の設定は、例えば、流速決定システム１００のユーザーが行って、制御ユニット４のメモリ６３に記憶させる。そして、制御ユニット４は、流速の設定値毎に有限要素法による解析を行って、温度分布と流速との関係を示す関係情報を取得する。制御ユニット４は、配管１０における温度分布の解析値を求める点で、解析部の一例に該当する。

[0045] 式（１）の $Q_{i, j-1}$ 、 $Q_{i, j+1}$ 、 $Q_{i-1, j}$ 、 $Q_{i+1, j}$ には、例えば、以下の式（２）～式（４）のいずれかの右辺を適用する。

[0046] 対流熱伝達：配管１０のセルのうち最も内側のセルへの流体（配管１０内の流体）からの入熱量は、式（２）のように示される。

[0047] 対流熱伝達による入熱量 $= \alpha \cdot Z \cdot \Delta t \quad \dots \quad (2)$

[0048] ここで、 α [W (ワット) / (m² (平方メートル) · °C)] は、対流熱伝達率を示す。

Z [m²] は、伝熱面積を示す。ここでは、配管１０のセルが配管内の流体に接する面積である。

Δt [°C] は、隣接するセルとの温度差を示す。ここでは、配管１０と配管内の流体との接触部分における温度差を示す。

[0049] 半径方向熱伝導：配管１０内における配管１０の半径方向の熱伝導による入熱量は、式（３）のように示される。すなわち、管の半径方向に隣接する管のセル（管をメッシュに切ったセル）からの入熱量は、式（３）のように示される。

[0050] 半径方向熱伝導による入熱量 $= 2 \pi \cdot \lambda \cdot L \cdot \Delta t / \ln (r_o / r_i) \quad \dots \quad (3)$

[0051] ここで、 π は、円周率を示す。

λ [W / (m (メートル) · °C)] は、配管１０の素材（例えば鋼鉄）の熱伝導率を示す。

L [m] は、管軸方向（配管１０の軸方向）におけるセルの長さを示す。

Δt [°C] は、隣接するセルとの温度差を示す。ここでは、配管１０の

半径方向に隣接する配管 10 のセル同士の接触部分における温度差を示す。

\ln は、自然対数を示す。

r_o / r_i [m] は、半径方向におけるセル間の距離（例えば、セルの中心間の距離）を示す。

[0052] 管軸方向熱伝導：配管 10 内における配管 10 の軸方向（長手方向）の熱伝導による入熱量は式（4）のように示される。すなわち、管軸方向に隣接する配管 10 のセルからの入熱量は式（4）のように示される。

[0053] 管軸方向熱伝達による入熱量 = $\lambda \cdot Z \cdot \Delta t / L$. . . (4)

[0054] ここで、 λ 、 L は、上記のとおりである。

Z [m²] は、上記のように、伝熱面積を示す。ここでは、配管 10 のセル同士（配管 10 の半径方向に隣接する配管 10 のセル）が接する面積である。

Δt [°C] は、上記のように、隣接するセルとの温度差を示す。ここでは、管軸方向に隣接する配管 10 のセル同士の接触部分における温度差を示す。

[0055] また、対流熱伝達に関して、以下の式（5）を用いる。

[0056] $N_{ud} = 0.021 \cdot X_{WT} \cdot Re_d^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$. . . (5)

[0057] ここで、 N_{ud} は、ヌセルト数 (Nusselt Number) を示す。

Re_d は、レイノルズ数 (Reynolds Number) を示す。

Pr は、プラントル数 (Prandtl Number) を示す。

X_{WT} は、温度を修正する係数であり、加熱部 2（ヒーター）からの距離に応じた値を取る。特に、 X_{WT} は、加熱部 2 の近傍について温度を高くする（すなわち、熱伝達を大きくする）。以下では、 X_{WT} を熱伝達率修正係数と称する。

なお、本実施形態では、添え字の d は、配管内であることを表わしている。

[0058] ヌセルト数 N_{ud} は、式（6）のように示される。

[0059] $N_{ud} = \alpha_i \cdot d_i / \lambda$. . . (6)

[0060] ここで、 λ は、上記のとおりである。

d_i [m] は、配管10の内径を示す。

α_i [W / (m² · °C)] は、配管10の内部における熱伝導率を示す。

[0061] また、レイノルズ数 $R_{e,d}$ は、式(7)のように示される。

$$[0062] \quad R_{e,d} = u \times d_i / \nu \quad \dots \quad (7)$$

[0063] ここで、 u [m / s (秒)] は、配管10内を流れる流体の流速を示す。

ν [m² / s] は、配管10内を流れる流体の動粘性係数を示す。

d_i [m] は、上記のように、配管10の内径を示す。

[0064] また、プラントル数 P_r は、式(8)のように示される。

$$[0065] \quad P_r = \nu \times \rho \times C_p / \lambda \quad \dots \quad (8)$$

[0066] ν 、 λ は、上記のとおりである。

ρ [kg (キログラム) / m³ (立方メートル)] は、流体の密度を示す。

C_p [kJ (キロジュール) / (kg · °C)] は、流体の比熱を示す。

[0067] また、対流熱伝達に関して、以下の式(9)がある。

$$[0068] \quad W = Y_{HT} \cdot G \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \dots \quad (9)$$

[0069] ここで、 C_p は、上記のとおりである。

W [J (ジュール) / s] は、加熱部2による加熱量を示す。

G [kg / s] は、配管10を流れる流体の全流量を示す。

ΔT [°C (度)] は、加熱部2のヒーターの加熱による流体の上昇温度を示す。

Y_{HT} は、管断面を流れる流体の全量のうち、加熱部2のヒーターからの熱の伝達に寄与する流体の量(加熱部2のヒーターの加熱による熱を受けた流体の量)の割合を示す。

具体的には、管断面における流体全体の面積を S とし、管断面における流体のうちヒーターの加熱による熱を受けた部分の面積を S_1 として、 $Y_{HT} = S_1 / S$ と表される。以下では、 Y_{HT} を温度境界係数と称する。

[0070] [実験による計測結果]

以下で、実験による計測結果として、空気を用いた場合のヒーター法の計

測の結果と、蒸気を用いた場合のヒーター法の計測の結果を説明する。

以下の計測では、概略的には図1～図6に示される構成が用いられたが、相違する点もあり、計測の条件は以下に示される通りである。

[0071] ヒーター法では、配管10の外側にリング状の電熱ヒーターを設置し、管外面における管軸方向の温度分布を計測する。そして、温度分布から管内熱伝達を考慮して、管内流速を解析する。センサー要素は、電熱ヒーター（加熱部2の一例）、熱電対（温度センサー3aの一例）、保温材12であるため、耐熱性にも優れ、高温流体の計測も可能である。

[0072] より具体的には、ヒーター法では、配管10の外面にリング状の電熱ヒーターを設置して通電により発熱させる際に、配管内の流速が速いと、管内熱伝達が増加し、鋼材の管軸方向へ伝導する熱量が減少するため、配管10の表面10aに温度及び幅が共に小さい温度分布が生じる。一方、配管内の流速が遅いと、管内熱伝達が低下し、鋼材の管軸方向へ伝導する熱量が増加するため、配管10の表面10aに温度及び幅が共に大きい温度分布が生じる。これらの温度分布の大小を計測して、理論式をフィッティングさせることによって、流速を求める。

[0073] 図7は、計測の条件テーブル1001を示す図である。

条件テーブル1001に、実験で使用した計測の条件を示してある。

本計測では、流体として、空気と蒸気のそれぞれを用いた。配管10の外径として、外径が50A（=60.5 [mm]）である配管と、外径が65A（=76.3 [mm]）である配管を用いた。以下では、それぞれを、50A配管、65A配管と称する。

計測装置としては、空気用の計測装置と蒸気用の計測装置とで異なる装置を用いた。

計測の条件として、図7に示されるように、流速 [m/s] とヒーター出力（ヒーターの加熱量） [W] をそれぞれ変化させ、配管10の表面10aに取り付けた熱電対によって管軸方向の温度分布を計測した。

[0074] ここで、温度分布の理論値の計算について説明する。

温度分布の理論値として、伝熱管を差分割し、各接点での熱バランス式をNewton-Raphson法により連立計算して定常状態での各部の温度を算出した。50A配管の場合、管内の空気の流れ方向に加熱点を中心に全長1011 [mm]の長さを3 [mm]の幅で337分割し、管壁厚5.5 [mm]を半径方向の1.83 [mm]の幅で3等分割し、断熱材(100 [mm])を1分割し、これらにより計1348 (=337×4)のメッシュに分割した。65A配管の場合についても、50A配管と同じ分割メッシュ数で計算した。

[0075] 気体流に対しては、例えば、Colburnの式の係数を0.023から0.021へ変更し、プラントル数の乗数を1/3から0.4に見直すことが望ましいとされている。本装置の場合、大きな特徴として、管表面温度が加熱部2を中心に凸型に大きく変化しており、温度境界層の発達が一様でなくなることによる熱伝達率の変化を考慮する必要がある。そこで、解析に際して、加熱部2の近傍における熱伝達率修正係数 X_{WT} を含む式(5)を採用した。

[0076] 解析では、実験データとの整合がとれるように温度境界が及ぶ領域として、温度境界係数 Y_{HT} を導入した。温度境界係数 Y_{HT} は加熱による熱を受け取る空気量(あるいは、蒸気についても同様)と管断面を流れる全空気流量との比を表す。

本計測では、熱伝達率修正係数 X_{WT} と温度境界係数 Y_{HT} を、実測データを基に決定した。

[0077] <空気を用いた計測の説明>

(50A配管の場合)

空気用の計測装置では、配管10は50A、Sch80(内径 ϕ 49.5 [mm])、長さ1600 [mm]のSTPG鋼管であり、配管10の熱伝導率 λ は52.33 [W/m \cdot °C]である。配管10の計測部には外表面に厚さ100 [mm]の断熱を施してある。管中央部に最大出力275 [W]のマイクロヒーターを管壁に巻き付けリング状にし、伝熱セメントにより

管壁と密着させ、幅 9 [mm] の加熱部 2 を設けた。加熱部 2 の前後には管軸方向に沿って、管外表面に $\phi 1.6$ [mm] の熱電対（本例では、K 熱電対）を 15 [mm] 間隔に 24 箇所 \times 2 側面（右側、左側）の計 48 箇所に設置して管外表面温度の測定を行った。また、加熱部 2 のヒーター間に熱電対を設置してヒーター部の管表面温度の測定を行った。管内には常圧空気を流し、計測部の下流で渦流量計（本例では、オーバル渦流量計 V X W 1 0 5 0 - N 1 1 G - 1 1 0 4 A）により流量の測定を行った。ブローアから計測部までは 1.5 [m] であり 30D に相当する。

[0078] 50A 配管を用いた場合の計測結果の例を示す。

図 8～図 11 は、それぞれ、流体として空気を用い配管 10 として 50A 配管を用いた場合の計測結果の例を示す図である。

図 8～図 11 のそれぞれに示されるグラフでは、横軸は流体（空気）の流れ方向の距離 [m] を示しており、0 [m] の位置がヒーターの設置箇所である。また、縦軸は温度 [$^{\circ}$ C] を示している。

[0079] 図 8 は、空気の流速が 31.5 [m/s] であり、ヒーター出力が 63 [W] であるときの結果を示す。

図 9 は、空気の流速が 23.5 [m/s] であり、ヒーター出力が 64 [W] であるときの結果を示す。

図 10 は、空気の流速が 8.1 [m/s] であり、ヒーター出力が 63 [W] であるときの結果を示す。

図 11 は、空気の流速が 30.0 [m/s] であり、ヒーター出力が 40 [W] であるときの結果を示す。

[0080] 図 8～図 11 のそれぞれに示されるグラフでは、左側の計測値 (Measurement (Left Side)) と、右側の計測値 (Measurement (Right Side)) と、平均の計測値 (Measurement (Mean Side)) を示してある。

なお、図 8～図 11 のそれぞれに示されるグラフでは、プロットは配管 10 の管表面温度の実測値を示す。

[0081] また、図8～図11に示されるグラフでは、特性1101、1111、1121、1131は、配管10の管表面温度の理論値を表す。

また、特性1102、1112、1122、1132は、流体の温度を表す。

図8～図11に示されるように、各計測において、配管10の管表面温度の実測値と理論値とが良く一致しており、各値ともヒーターの設置個所で最大となり上流と下流に向けて一様に低下している。

[0082] (65A配管の場合)

65A配管の計測結果の例を示す。

65A配管の場合の計測装置としては、50A配管の場合と同じ計測装置を用いた。

配管10は65A、Sch80（内径 ϕ 62.3 [mm]）のSGP配管を用いて計測を行った。配管10の熱伝導率 λ は64.9 [W/m \cdot °C]である。計測部の上流の助走区間は1.625 [mm]であり、26Dに相当する。また、計測部の下流は10Dの直管長を確保した。

[0083] 図12～図15は、それぞれ、流体として空気を用い配管10として65A配管を用いた場合の計測結果の例を示す図である。

図12～図15のそれぞれに示されるグラフでは、横軸は流体（空気）の流れ方向の距離 [m] を示しており、0 [m] の位置がヒーターの設置個所である。また、縦軸は温度 [°C] を示している。

[0084] 図12は、空気の流速が7.9 [m/s] であり、ヒーター出力が102 [W] であるときの結果を示す。

図13は、空気の流速が9.8 [m/s] であり、ヒーター出力が100 [W] であるときの結果を示す。

図14は、空気の流速が15.7 [m/s] であり、ヒーター出力が101 [W] であるときの結果を示す。

図15は、空気の流速が24.2 [m/s] であり、ヒーター出力が99 [W] であるときの結果を示す。

[0085] 図12～図15のそれぞれに示されるグラフでは、左側の計測値 (Measurement (Left Side)) と、右側の計測値 (Measurement (Right Side)) と、平均の計測値 (Measurement (Mean Side)) を示してある。

なお、図12～図15のそれぞれに示されるグラフでは、プロットは配管10の管表面温度の実測値を示す。

[0086] また、図12～図15に示されるグラフでは、特性1201、1211、1221、1231は、配管10の管表面温度の理論値を表す。

また、特性1202、1212、1222、1232は、流体の温度を表す。

[0087] 図12～図15に示されるように、各計測において、配管10の管表面温度の実測値と理論値とが良く一致している。いずれの結果においても、ヒーターの加熱量は100 [W] 程度であり、流速が大きくなると、温度分布が小さくなることが確認された。また、温度分布のピーク温度の解析値についても、流速が7.9 [m/s] であるとき (図12の例) は90 [°C] 程度であり、流速が大きくなると低下していき、流速が24.2 [m/s] であるとき (図15の例) は、70 [°C] 程度になった。

[0088] <蒸気を用いた計測の説明>

(50A配管の場合)

蒸気用の計測装置では、空気用の計測装置と同様に、配管10は50A、Sch80 (内径 ϕ 49.5 [mm]) のSTPG鋼管であり、外表面に厚さ67.5 [mm] の断熱を施してある。管中央部に最大出力275 [W] のマイクロヒーターを管壁に巻き付けリング状にし、伝熱セメントにより管壁と密着させ、幅7.5 [mm] の加熱部2を設けた。加熱部2の前後には管軸方向に沿って、管外表面に内径 ϕ 1.6 [mm] の熱電対 (本例では、K熱電対) を、加熱部2に近い個所では精度を高めるために4～4.5 [mm] 間隔で設置し、加熱部2から遠い個所では15～30 [mm] 間隔で22個所×2側面 (右側、左側) の計44個所に設置して管外表面温度の測定

を行った。また、加熱部2のヒーター間に熱電対を設置してヒーター一部の管表面温度の測定を行った。管内には蒸気を流し、計測部の下流で渦流量計（本例では、オーバル渦流量計VXW1050-N11G-1104A 490 [m³/h (max)]）により流量の測定を行った。計測部の上流にはプレヒーター2bを設置し、蒸気の温度を飽和圧温度よりも数 [°C] 高くなるように設定した。プレヒーター2bを出てから計測部までは1.3 [m] であり26Dに相当する。

[0089] 50A配管を用いた場合の計測結果の例を示す。

図16～図19は、それぞれ、流体として蒸気を用い配管10として50A配管を用いた場合の計測結果の例を示す図である。

図16～図19のそれぞれに示されるグラフでは、横軸は流体（蒸気）の流れ方向の距離 [m] を示しており、0 [m] の位置がヒーターの設置個所である。また、縦軸は温度 [°C] を示している。

[0090] 図16は、蒸気の流速が10.7 [m/s] であり、ヒーター出力が160 [W] であるときの結果を示す。

図17は、蒸気の流速が20.0 [m/s] であり、ヒーター出力が155 [W] であるときの結果を示す。

図18は、蒸気の流速が32.6 [m/s] であり、ヒーター出力が161 [W] であるときの結果を示す。

図19は、蒸気の流速が39.8 [m/s] であり、ヒーター出力が154 [W] であるときの結果を示す。

[0091] 図16～図19のそれぞれに示されるグラフでは、左側の計測値 (Measurement (Left Side)) と、右側の計測値 (Measurement (Right Side)) と、平均の計測値 (Measurement (Mean Side)) を示してある。

なお、図16～図19のそれぞれに示されるグラフでは、プロットは配管10の管表面温度の実測値を示す。

[0092] また、図16～図19に示されるグラフでは、特性1301、1311、

1321、1331は、配管10の管表面温度の理論値を表す。

また、特性1302、1312、1322、1332は、流体の温度を表す。

[0093] 図16～図19に示されるように、各計測において、配管10の管表面温度の実測値と理論値とが良く一致している。いずれの結果においても、ヒーターの加熱量は160[W]程度であり、流速が大きくなると、温度分布が小さくなることが確認された。また、温度分布のピーク温度の解析値についても、流速が10.7[m/s]であるとき(図16の例)は231[°C]程度であり、流速が大きくなると低下していき、流速が39.8[m/s]であるとき(図19の例)は208[°C]程度になった。ヒーターの直近の温度の計測値が理論値よりも高くなっているが、この理由としては輻射の影響等が考えられる。

[0094] (65A配管の場合)

65A配管の計測結果の例を示す。

65A配管の場合の計測装置としては、50A配管の場合と同じ計測装置を用いた。

空気用の計測装置と同様に、65A、Sch80(内径62.3[mm])、長さ2.595[mm]のSGP配管を用いた計測を行った。助走区間は1625[mm]であり、26Dに相当する。また、計測部の下流についても10Dの直管長を確保した。

[0095] 図20～図23は、それぞれ、流体として蒸気を用い配管10として65A配管を用いた場合の計測結果の例を示す図である。

図20～図23のそれぞれに示されるグラフでは、横軸は流体(蒸気)の流れ方向の距離を示しており、0[m]の位置がヒーターの設置個所である。また、縦軸は温度[°C]を示している。

[0096] 図20は、蒸気の流速が9.6[m/s]であり、ヒーター出力が108[W]であるときの結果を示す。

図21は、蒸気の流速が9.6[m/s]であり、ヒーター出力が172

[W] であるときの結果を示す。

図 22 は、蒸気の流速が 9.8 [m/s] であり、ヒーター出力が 232 [W] であるときの結果を示す。

図 23 は、蒸気の流速が 29.1 [m/s] であり、ヒーター出力が 230 [W] であるときの結果を示す。

[0097] 図 20～図 23 のそれぞれに示されるグラフでは、左側の計測値 (Measurement (Left Side)) と、右側の計測値 (Measurement (Right Side)) と、平均の計測値 (Measurement (Mean Side)) を示してある。

なお、図 20～図 23 のそれぞれに示されるグラフでは、プロットは配管 10 の管表面温度の実測値を示す。

[0098] また、図 20～図 23 に示されるグラフでは、特性 1401、1411、1421、1431 は、配管 10 の管表面温度の理論値を表す。

また、特性 1402、1412、1422、1432 は、流体の温度を表す。

[0099] 図 20～図 23 に示されるように、各計測において、配管 10 の管表面温度の実測値と理論値とが良く一致している。図 20～図 22 の例では、いずれも、流速が 9.6 [m/s] 程度であり、ヒーターの加熱量が大きくなると温度分布も大きくなることが確認された。また、温度分布のピーク温度の解析値についても、108 [W] のときは 206 [°C] 程度であり、ヒーターの加熱量が大きくなると上昇していき、231 [W] のときには 242 [°C] 程度になった。

[0100] <計測結果の検討>

以上の計測結果に基づいて、熱伝達率修正係数 X_{WT} と温度境界係数 Y_{HT} に関して検討した。

[0101] (熱伝達率修正係数 X_{WT})

図 24 は、熱伝達率修正係数 X_{WT} の設定の例を示す図である。

図 24 に示されるグラフでは、横軸は流体の流れ方向の距離を示してあり

、0 [m] の位置がヒーターの設置個所である。また、縦軸は熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を示してある。

本計測では、多くの実測データに基づいて、配管10の管軸方向の位置に対する熱伝達率の依存性を細かく検討した結果、図24に示されるような形状を有する熱伝達率修正係数 X_{WT} の特性（特性1501、特性1511、あるいは、特性1521など）が有効であると判断した。ここで、特性1501は熱伝達率修正係数 X_{WT} の最大値が4となる特性であり、特性1511は熱伝達率修正係数 X_{WT} の最大値が3となる特性であり、特性1521は熱伝達率修正係数 X_{WT} の最大値が2となる特性である。

[0102] それぞれの特性1501、1511、1521では、距離が0より小さい位置に熱伝達率修正係数 X_{WT} のピーク（最大値）が存在し、当該ピークから左右対称（距離0の横軸について左右対称）に熱伝達率修正係数 X_{WT} の値が落ちていく。当該ピークよりも負の位置（左側の位置）では熱伝達率修正係数 X_{WT} の値が1に落ちた後に一定値（=1）となっている。当該ピークよりも正の位置（右側の位置）では距離が0 [m] の位置に向かって熱伝達率修正係数 X_{WT} の値が所定値（0よりも大きい値）に落ちた後に、さらに、傾きを変えて熱伝達率修正係数 X_{WT} が1に落ちた後に一定値（=1）となっている。それぞれの特性1501、1511、1521は、概略的には、三角形の山のような形状となっている。

[0103] 本計測では、配管10の管軸方向の位置が-66 [mm] と0 [mm] である2個所で、熱伝達率修正係数 X_{WT} をそれぞれ、加熱入口部における熱伝達率修正係数B（ $X_{WT}=B$ ）、加熱部中心における熱伝達率修正係数C（ $X_{WT}=C$ ）として定義した。各係数の値は実測値に合わせるように、制限範囲無く調整することができる。これにより、熱伝達率が上昇する位置の判別が可能となる。

なお、図24の例では、加熱入口部における熱伝達率修正係数Bの方が加熱部中心における熱伝達率修正係数Cよりも大きく描かれているが、計測結果によってはその逆もあり得た。

図24の例では、 -132 [mm] より上流と 36 [mm] より下流のそれぞれにおいて熱伝達率修正係数 X_{WT} を 1 として、 -132 [mm]、 -66 [mm]、 0 [mm]、 36 [mm] の間の熱伝達率修正係数 X_{WT} を直線で結んだ。

[0104] (温度境界係数 Y_{HT})

温度境界係数 Y_{HT} については、流体の種類に対する依存性が考えられることから、式(10)に示すように、流体の種類に依存しない標準化された温度境界係数 A を定義した。

[0105] $A = Y_{HT} \cdot P_r \quad \dots \quad (10)$

[0106] (係数 A 、 B 、 C のフィッティング)

図25は、フィッティングの結果の例を示す図である。

図25に示されるグラフにおいて、横軸は $\ln(R_{ed})$ を示しており、縦軸はそれぞれの係数 A 、 B 、 C の値を示している。このグラフは、係数 A 、 B 、 C を変数パラメータとして用いて、得られた各実測データに理論式をフィッティングさせた結果である。図25の例では、係数 A の特性 1601 と、係数 B の特性 1611 と、係数 C の特性 1621 を示してある。

[0107] 式(11)に、係数 A の近似式を示す。

式(12)に、係数 B の近似式を示す。

式(13)に、係数 C の近似式を示す。

なお、「 E_p (p は -3 、 -2 、 -1 、 $+0$ 、 $+1$)」は 10^p を表わしている。

[0108] $A = -6.433E-3 \cdot \ln(R_{ed}) + 2.956E-1$
 $\dots \quad (11)$

[0109] $B = 3.589E-2 \cdot \{\ln(R_{ed})\}^3$
 $-9.928E-1 \{\ln(R_{ed})\}^2$
 $+9.041E+0 \cdot \{\ln(R_{ed})\} - 2.511E+1$
 $\dots \quad (1$

2)

$$[0110] \quad C = 8.733E-3 \cdot \{ \ln(R_{e,d}) \} + 1.014E+0 \quad \dots \quad (13)$$

[0111] まず、各係数A、B、Cとも、空気と蒸気とで同じ傾向を示し、近似式に対する偏差も比較的小さかった。

加熱入口部における熱伝達率修正係数Bについては、レイノルズ数 $R_{e,d}$ が比較的低い領域では2程度の値で一定であり、レイノルズ数 $R_{e,d}$ が大きくなると漸次的に上昇し、最大で4程度になった。

また、加熱部中心における熱伝達率修正係数Cについては、1.1程度の値であり、レイノルズ数 $R_{e,d}$ によらずほぼ一定であった。すなわち、加熱入口部（つまり、加熱部2）からの熱伝導によって管内壁の温度が上昇し始めているポイントで熱伝達が局地的に上昇し、それより下流の加熱部中心では、既に熱伝達率はほとんど上昇しないことがわかった。

標準化された温度境界係数Aについては、0.2程度の値でほぼ一定であった。ただし、細かく見ると、若干、レイノルズ数 $R_{e,d}$ に対する負の依存性があり、今回の計測よりもレイノルズ数 $R_{e,d}$ が低い領域では、浮力の影響も考えられ、式(11)とは異なる傾向になることも想定される。

なお、標準化された温度境界係数Aについては、概略的には、レイノルズ数 $R_{e,d}$ あるいは流体の種類の影響はほとんどない。

[0112] ここで、例えば、流速決定システム100のユーザーが、配管10に流速が既知である流体を流して温度分布を測定し、得られた計測結果に基づいて熱伝達率修正係数 X_{wT} の値を設定するようにしてもよい。

[0113] 式(5)のヌセルト数 $N_{u,d}$ は、式(2)の対流熱伝達率 α と比例し、これにより、ヌセルト数 $N_{u,d}$ から熱伝達率 α を求めることができる。式(5)のように熱伝達率修正係数 X_{wT} を導入してヌセルト数 $N_{u,d}$ の値を高精度に求めることで、対流熱伝達率 α の値を高精度に求めることができる。対流熱伝達率 α の値を高精度に得られることで、有限要素法を用いた解析によりセル間の温度差を高精度に求めることができ、これにより、配管10における温度分布の解析値の精度を高めることができる。

[0114] 例えば、熱伝達率修正係数 X_{WT} や温度境界係数 Y_{HT} を導入せずに、配管10内に蒸気（あるいは、空気）を流して温度分布及び流速を実測し、温度分布の解析値（一般的な熱伝達の式を適用して有限要素法を用いた解析で得られた値）と実測値とを比較すると、加熱部2のヒーター設置位置の近傍で、温度実測値が解析値よりも高くなる。加熱部2のヒーター設置位置から上流側での温度のずれに加えて、加熱部2のヒーター設置位置から下流側でも、温度実測値が解析値よりも高くなる。この温度のずれの一因として、配管10内を流れる流体のうち、ヒーターからの熱を伝達するのは配管10の内面に近い一部のみであることが考えられる。そこで、温度境界係数 Y_{HT} を導入して再計算を行うことで、解析値と実測値とをより良く一致させることが可能である。特に、熱伝達率修正係数 X_{WT} 、温度境界係数 Y_{HT} の両方を導入することで、解析値と実測値とをより良く一致させることが可能である。

[0115] ここで、温度境界係数 Y_{HT} の値を1より小さくすることは、ヒーターからの熱の伝達に寄与する流体の量を少なくすることに相当する。ヒーターからの熱の伝達に寄与する流体の量が少ないと、式(2)の温度差 Δt の値（配管10と配管内の流体との接触部分における温度差）が大きく算出される。温度境界係数 Y_{HT} を導入して式(2)の温度差 Δt の値を高精度に算出することで、配管10における温度分布の解析値の精度を高めることができる。

[0116] [流速解析プログラム]

熱伝達率修正係数 X_{WT} と温度境界係数 Y_{HT} を算出する式(11)～(13)を用いて、温度分布の実測値を基に、流速を解析するプログラムの開発を行った。

[0117] (流速解析プログラムの処理フロー)

図26は、流速解析プログラムの処理フローの例を示す図である。

概略的には、流速解析プログラムでは、配管10の管表面温度の実測データのほか、配管10の外径、配管10の内径、断熱材の厚さ、配管10の熱伝導率、ヒーターの加熱量などを入力する。そして、流速解析プログラムでは、理論値と実測値とが一致するように、流速（流速の設定値）を調整しな

がら管表面温度の理論値計算を繰り返し行い、流速を決定（算出）する。流速解析プログラムでは、繰り返し計算において、初めの段階では、実測の温度分布の面積と解析した温度分布の面積とを比較して、粗く流量を調整し、続く詳細計算では、最小二乗法を用いて、実測値に理論値をフィッティングして、流量を決定する。

[0118] この場合に、流速解析プログラムでは、計測された温度分布と、設定された流速を用いて取得された温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる処理（収束させる計算）を行う。

なお、本実施形態では、上記した収束計算において、例えば流速の初期値あるいは更新値を設定する機能（制御ユニット4が流速解析プログラムを実行して該当する処理を行う機能）により、流速設定部の機能が構成される。

本実施形態における流速解析プログラムでは、概略としては、計測された温度分布に基づいて流速を想定（設定）し、想定した流速を用いて温度分布の解析値を計算し、計測された温度分布と計算された温度分布の解析値とを比較して、これら2つの温度分布が所定の精度で合うように収束させる。当該所定の精度は任意に設定されてもよい。この場合に、想定される流速の値が変化すると、当該流速の想定値（設定値）を用いて計算される温度分布の解析値が変化し、また、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値も変化し、これにより、間接的に上記した2つの温度分布の比較結果が変化し得る。このため、上記の収束計算が行われる。

[0119] 図26に示される流速解析プログラムの処理フローにおいて行われる処理の手順の一例を示す。

本実施形態では、制御ユニット4において、メモリ63に流速解析プログラムが記憶され、CPU62が当該流速解析プログラムを実行することで、規定の処理フローが実行される。

[0120] （ステップS1）

流速解析プログラムは、起動すると、まず、配管10の外側における軸方向の温度分布の測定値を入力する処理を実行する。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 2の処理及びステップS 9の処理を実行する。

[0121] (ステップS 2)

流速解析プログラムは、各パラメータの値を入力する処理を実行する。パラメータとしては、例えば、配管10の外径、配管10の厚さ、配管10の素材(材料)、ヒーターの電力(ワット)、流体の特性、絶縁体の厚さなどがある。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 3の処理を実行する。

[0122] (ステップS 3)

流速解析プログラムは、流速の初期値(初期の設定値)を入力する処理を実行する。この初期値は、例えば、20[m/s]である。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 4の処理を実行する。

[0123] (ステップS 4)

流速解析プログラムは、配管10の外部における軸方向の温度分布の理論的解析を行う処理を実行する。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 5の処理及びステップS 10の処理を実行する。

[0124] (ステップS 5)

流速解析プログラムは、温度分布領域の測定値が温度分布領域の解析値よりも大きいか否かを判定する処理を実行する。

この判定の結果、温度分布領域の測定値が温度分布領域の解析値と比べて所定値(正である第1の所定値)を超える差で大きい場合には、流速解析プログラムは、ステップS 6の処理を実行する。

一方、温度分布領域の測定値が温度分布領域の解析値と比べて所定値(正である第2の所定値)を超える差で小さい場合には、流速解析プログラムは、ステップS 11の処理を実行する。

他の場合には、流速解析プログラムは、ステップS 7の処理を実行する。ここで、他の場合とは、温度分布領域の測定値が温度分布領域の解析値と比

べて前記第1の所定値以下の差で大きい場合、あるいは、温度分布領域の測定値が温度分布領域の解析値と比べて前記第2の所定値以下の差で小さい場合であり、つまり、両者の差が小さい場合である。ここで、前記第1の所定値と前記第2の所定値とは、例えば、同じ値であってもよく、あるいは、異なる値であってもよい。

[0125] (ステップS6)

流速解析プログラムは、流体の流速（設定値）を減少させる処理を実行する。これにより、流体の流速の設定値が更新される。

次に、流速解析プログラムは、ステップS4の処理を実行する。

[0126] (ステップS7)

流速解析プログラムは、温度分布の測定値と解析値との差が所定の閾値を超えて大きいか否かを判定する処理を実行する。

この判定の結果、温度分布の測定値と解析値との差が所定の閾値を超えて大きい場合には、流速解析プログラムは、ステップS12の処理を実行する。一方、温度分布の測定値と解析値との差が所定の閾値を超えて大きくない場合（つまり、所定値以下である場合）には、流速解析プログラムは、ステップS8の処理を実行する。ここでは、温度分布の測定値と解析値との差が所定の閾値以下となった場合に、当該差が最小値であるとみなしている。

[0127] (ステップS8)

流速解析プログラムは、流速を決定する処理を実行する。

そして、流速解析プログラムは、終了する。

[0128] (ステップS9)

流速解析プログラムは、温度分布領域を計算する処理を実行する。

この結果は、例えば、ステップS5の処理において利用されてもよい。

[0129] (ステップS10)

流速解析プログラムは、温度分布領域を計算する処理を実行する。

この結果は、例えば、ステップS5の処理において利用されてもよい。

[0130] (ステップS11)

流速解析プログラムは、流速（設定値）を増加させる処理を実行する。これにより、流体の流速の設定値が更新される。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 4の処理を実行する。

[0131] （ステップS 1 2）

流速解析プログラムは、流速（設定値）を調整する処理を実行する。これにより、流体の流速の設定値が更新される。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 1 3の処理を実行する。

[0132] （ステップS 1 3）

流速解析プログラムは、配管10の外部における軸方向の温度分布の理論的解析を行う処理を実行する。

次に、流速解析プログラムは、ステップS 7の処理を実行する。

[0133] （流速解析プログラムの処理結果）

図27～図28は、それぞれ、流速解析プログラムの処理結果（解析の結果）の例を示す図である。

図27～図28のそれぞれに示されるグラフにおいて、横軸は流体（蒸気）の流れ方向の距離を示してあり、0[m]の位置がヒーターの設置個所である。また、縦軸は温度[°C]を示してある。

図27～図28の例では、測定値と、理論的な表面温度の特性1701、1801と、理論的な流体（図27の例では空気、図28の例では蒸気）の温度の特性1711、1811を示してある。

[0134] 図27は、流体として空気が用いられ、配管10として50A配管が用いられ、流体（空気）の流速が20.0[m/s]であり、ヒーター出力が64[W]であるときの結果を示す。

図28は、流体として蒸気が用いられ、配管10として50A配管が用いられ、流体（蒸気）の流速が20.0[m/s]であり、ヒーター出力が155[W]であるときの結果を示す。

[0135] 流速の実測値と解析値との比較を行った。

図27～図28に示されるように、配管10の管表面温度の実測値と解析

値とが良く一致している。

[0136] 図29は、流速の解析の結果を示す図である。

図29に示されるグラフにおいて、横軸は参照となる流速 $[m/s]$ を示している。この流速としては、計測点の下流に設けた渦流量計の流速をリファレンスとしてある。縦軸は、流速解析プログラムで解析した流速 $[m/s]$ を示している。

また、図29には、解析結果として直線で近似された特性1901を示してある。

なお、図29の例では、流体として空気を用いた場合と蒸気を用いた場合を示してあり、配管10として50A配管を用いた場合と65A配管を用いた場合を示してある。

図29に示されるように、全体的にリファレンスの流速と解析された流速（決定された流速）とが良く一致している。なお、標準偏差 σ は1.50であった。

[0137] 以上のように、本計測では、ヒーター法を用いて空気と蒸気の管内流速を計測した。その計測結果を用いて、熱伝達率修正係数 X_{WT} と温度境界係数 Y_{HT} を算出する式を生成した。加熱入口部の熱伝達率修正係数 X_{WT} はレイノルズ数 R_{ed} と正の相関（両者が大きくなる関係、または、両者が小さくなる関係）があり2~4程度の値であり、加熱部中心の熱伝達率修正係数 X_{WT} はレイノルズ数 R_{ed} によらず1.1程度であった。このことから熱伝達係数（対流熱伝達率 α ）が上昇する位置をより詳細に確認することができた。

このような結果を基に、ヒーター法による流速解析プログラムを生成した。解析値とリファレンスとなる渦流量計の計測値とは良く一致していた。この結果は、ヒーター法による流体の流量計測の実用化に役立つと考えられる。

[0138] 本計測では、好ましい一例として、配管10として50A配管あるいは65A配管が用いられる場合に、上記したように流体の流れ方向の距離が66[mm]であるところでピークを有する熱伝達率修正係数 X_{WT} を設定する

。

但し、 -66 [mm] という値は、誤差によりずれてもよい。誤差の程度としては、例えば、温度センサー（例えば、熱電対）が設置された間隔が用いられてもよい。一例として、本計測では、加熱部 2 に近い個所において熱電対の設置間隔は 4 [mm] 程度（ここでは、説明の便宜上、 4 [mm] とする。）である場合、 -62 [mm] ~ -70 [mm] ($= -66 \pm 4$ [mm]) のうちの所定の 1 個の距離において、熱伝達率修正係数 X_{WT} がピーク（最大値）を取るように、当該熱伝達率修正係数 X_{WT} を決定する手法が用いられてもよい。

[0139] 本計測では、好ましい一例として、配管 10 として 50 A 配管あるいは 65 A 配管が用いられる場合に、標準化された温度境界係数 A を 0.2 に設定する。そして、当該標準化された温度境界係数 A をプラントル数 P_r で割った結果の値を温度境界係数 Y_{HT} として設定する手法が用いられてもよい。

ここで、プラントル数 P_r は、熱伝導に関する無次元の物性値であり、流体の動粘度と温度拡散率との比で表される。

[0140] 次に、図 30 を参照して、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値、及び、温度境界係数 Y_{HT} の値の設定方法の一例について説明する。

図 30 は、本実施形態に係る関係情報設定システム 101 の一例の概略構成を示す図である。図 30 に示す各部のうち、図 1 の各部に対応して同様の機能を有する部分には同一の符号（2、2b、3、4、10、20、30）を付して説明を省略する。

[0141] 図 30 に示す関係情報設定システム 101 は、図 1 に示す流速決定システム 100（本実施形態では、関係情報設定システムの機能を有するシステム）の各部に加えて、さらに、流速計 5 を備えている一例である。なお、図 30 に示す関係情報設定システム 101 は、図 1 に示す流速決定システム 100 の各部を有しており、流速決定システムとしても機能する。

流速計 5 は流速計測部の一例である。流速計 5 は、配管 10 内を流れる流体の流速を計測する。流速計 5 を備えることで、関係情報設定システム 10

1は、配管10における温度分布と、配管10内を流れる流体の流速を計測する。これにより、関係情報設定システム101は、配管10の表面10aにおける温度分布と、配管10の内部を流れる流体の流速との実測値における対応関係を取得する。

また、関係情報設定システム101では、制御ユニット4は、流速決定システム100での制御ユニット4の機能を有しており、上述した、配管10の温度定常状態における熱の伝わりを有限要素法で解析する機能を有している。関係情報設定システム101の制御ユニット4は、流速決定システム100での制御ユニット4の機能を有している点で、流速決定部の一例に該当する。

[0142] ここで、配管10内を流れる流体の様々な流速について温度分布及び流速を計測すれば、メモリ63に記憶させる関係情報を取得することができる。しかしながら、関係情報を全て実測にて取得しようとする計測回数が多くなり、関係情報設定システム101のユーザーにとって、関係情報設定システム101を設定する負担（例えば、流体の流速を調節（調整）する負担）が大きくなる。

そこで、制御ユニット4が、配管10の温度定常状態における熱の伝わりを流体の流速毎に有限要素法で解析して関係情報を取得する。これにより、ユーザーが関係情報設定システム101を設定する負担を低減させることができる。制御ユニット4は、関係情報設定部の一例である。

[0143] 制御ユニット4は、上述した式(1)～式(13)に基づいて、配管10の温度定常状態における熱の伝わりを解析する。その際、制御ユニット4は、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値、及び、温度境界係数 Y_{HT} の値を予め（関係情報を取得するための解析を行う前に）設定しておく。制御ユニット4は、熱伝達率修正係数値取得部の一例であり、また、温度境界係数値取得部の一例である。

制御ユニット4は、例えば、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値と温度境界係数 Y_{HT} の値との組み合わせを複数用意しておく。そして、制御ユニット4は、関係

情報設定システム 101 が実測した流速（流速計 5 が計測した流速）について、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値と温度境界係数 Y_{HT} の値との組み合わせ毎に、有限要素法による解析を行って配管 10 における温度分布を算出する。そして、制御ユニット 4 は、配管 10 における温度分布の実測値に最も近い解析値を得られた、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値と温度境界係数 Y_{HT} の値との組み合わせを採用する。

[0144] このように、熱伝達率修正係数 X_{WT} 及び温度境界係数 Y_{HT} を導入することで、制御ユニット 4 による配管 10 の温度分布の解析精度が向上している。これにより、メモリ 63 が記憶する関係情報の精度が向上する。関係情報の精度が向上することで、制御ユニット 4 が当該情報を参照して取得（決定）する流速決定値の精度が向上する。

[0145] なお、（関係情報設定部としての）制御ユニット 4 が、関係情報の設定に用いる流速は、流速計 5 による流速の実測値（流速計 5 が計測した流速）に限らない。例えば、制御ユニット 4 が、配管 10 の温度定常状態における熱の伝わりを有限要素法で解析する際に設定した流速を、関係情報における流速として用いるようにしてもよい。あるいは、制御ユニット 4 が、温度計測部 3 が計測した温度分布から推定される流速を、関係情報における流速として用いるようにしてもよい。

この場合、制御ユニット 4 が、有限要素法による解析を行う際に熱伝達率修正係数 X_{WT} を用いることで、温度分布の解析値を実測値に近づけることができる。これにより、（流速決定部としての）制御ユニット 4 が温度分布の実測値から流速を求める際に、温度分布の実測値と関係情報に示される温度分布との乖離が小さくなる。当該乖離が小さくなることで、制御ユニット 4 は、関係情報に示される温度分布のうち、実測値に対応する温度分布を精度よく選択することができ、選択した温度分布に対応する流速を決定できる。この点で、制御ユニット 4 は、流速を精度よく求めることができる。

[0146] 以上のように、制御ユニット 4（熱伝達率修正係数値取得部）は、配管 10 の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数 X_{WT} であって所定

部分（加熱部2のヒーターの設置位置）からの距離に応じた値を取る熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する。例えば、制御ユニット4は、温度計測部3が計測した温度分布の計測値、及び、制御ユニット4（解析部）が取得した温度分布の解析値に基づいて、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を設定する。そして、制御ユニット4（関係情報設定部）は、設定した熱伝達率修正係数 X_{WT} の値に基づいて関係情報を取得する。

これにより、関係情報設定システム101では、配管10の温度分布と配管10を流れる流体の流速との関係を示す関係情報を、熱伝達率修正係数 X_{WT} を用いない場合よりも精度よく求めることができる。関係情報の精度が高いことで、制御ユニット4（流速決定部）が当該関係情報を用いて流体の流速を決定する際に、流速を精度よく求めることができる。

[0147] また、制御ユニット4（熱伝達率修正係数値取得部）は、配管10に沿った位置毎に熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する。ここでいう配管10に沿った位置は、図2及び図6にて矢印B11で示している流体の流れの方向における位置である。

このように、制御ユニット4（熱伝達率修正係数値取得部）が配管10に沿った位置毎に熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得することで、制御ユニット4（関係情報設定部）は、配管10に沿った位置に応じた熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を用いることができ、関係情報をより高精度に求めることができる。

[0148] [計測結果から考察される熱伝達率修正係数 X_{WT} 及び温度境界係数 Y_{HT} の設定手法]

<熱伝達率修正係数 X_{WT} の設定手法>

本実施形態では、横軸が配管10の軸方向における距離を表し縦軸が配管10の管表面温度を表す温度分布の特性において、立ち上がりの位置（一定値からの変化が開始する位置）と加熱部中心の位置（ヒーターが設けられている位置）との間に、熱伝達率修正係数 X_{WT} のピークの位置を設定する。なお、ピークは1つであるとする。

加熱部中心の位置では、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、1よりも大きい値（例えば、1よりも少し大きい値）である。そして、加熱部中心の位置よりも下流の位置P1で、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、1に低下する。また、加熱部中心の位置よりも上流の位置P2（本例では、上記した立ち上がりの位置）で、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、1に低下する。

上記した下流の位置P1より下流では、熱伝達率修正係数 X_{WT} は1である。

上記した上流の位置P2より上流では、熱伝達率修正係数 X_{WT} は1である。

[0149] ここで、上記した計測結果の例では、位置P2（立ち上がりの位置）は-132 [mm]であり、ピークの位置は-66 [mm]であり、加熱部中心の位置は0 [mm]であり、位置P1は36 [mm]である。これらの値は、計測の条件などによって変化し得ると考えられるが、熱伝達率修正係数 X_{WT} の特性としては同様なものが用いられることが好ましいと考えられる。つまり、本実施形態のような特性を有する熱伝達率修正係数 X_{WT} が用いられる場合には、それが用いられない場合と比べて、配管10の温度分布と配管10の内部を流れる流体の流速との関係を精度良く求めることができると考えられる。

[0150] ここで、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、例えば、ピークの位置に対して、上流側と下流側について、対称（横軸に距離を取った場合に、左右対称）の特性となる。

熱伝達率修正係数 X_{WT} の特性を表す形状としては、例えば、三角形、ガウス分布、サイクロイド曲線、 \sin カーブ（又は、 \cos カーブ）などのうちの任意の形状が用いられてもよい。

熱伝達率修正係数 X_{WT} は、温度分布に影響され得る。また、温度分布は、例えば、流体の種類、管（配管10）の直径、ヒーターのワット数、流体の速さ（流速）、管（配管10）の材質（ステンレス、又は、炭素鋼）などのパラメータに依存し得る。このため、熱伝達率修正係数 X_{WT} についても、こ

れらと同様なパラメータの値に依存し得ると考えられる。

[0151] 本実施形態における熱伝達率修正係数 X_{WT} の設定手法では、ヒーター法において精度の良い解析が可能になり、計測による省エネルギー化を期待することができる。

なお、本実施形態における熱伝達率修正係数 X_{WT} の設定手法では、例えば、加熱入口部から加熱部中心まで一定値（0よりも大きい一定値）となる熱伝達率修正係数を使用する場合と比べて、フィッティングの精度を良好にすることが可能である。

[0152] <温度境界係数 Y_{HT} の設定手法>

本実施形態では、標準化された温度境界係数 A に相当する一定値をプラントル数 P_{rd} で割った結果の値を、温度境界係数 Y_{HT} として使用するよう設定する。

ここで、標準化された温度境界係数 A の変化は、流速の変化に対して非常に小さい。なお、標準化された温度境界係数 A は、レイノルズ数 R_{ed} に依存して変化し得るが、その変化は、誤差範囲である。

プラントル数 P_{rd} は、流体の種類（例えば、空気など）によって、変化し得る。

[0153] 本実施形態における温度境界係数 Y_{HT} の設定手法では、ヒーター法において精度の良い解析が可能になり、計測による省エネルギー化を期待することができる。

なお、本実施形態における温度境界係数 Y_{HT} の設定手法では、例えば、流速が遅くなると大きくなる温度補正係数（温度境界係数）を使用する場合と比べて、フィッティングの精度を良好にすることが可能である。

[0154] [実施形態のまとめ]

以上のように、本実施形態では、配管10の温度分布と配管10の内部を流れる流体の流速との関係を精度良く求めることができる。

[0155] ここで、上記実施形態では、配管10において、加熱部2及び温度計測部3（各温度センサー3a）が保温材12で覆われた構成を例に挙げたが、こ

れに限定されることは無い。例えば、制御ユニット4が配管10の表面10aからの放熱を考慮して温度計測部3から送られる測定データ（温度分布）を補正する態様であれば、配管10の表面10aを保温材12で被覆しなくてもよい。あるいは、表面10aの一部（温度計測部3の設置部分）のみを保温材12で被覆する構成であってもよい。

[0156] また、配管内を流れる流体は蒸気又は空気に限られない。例えば、配管内を流れる熱水の流速を計測する場合にも本発明を適用可能である。また、配管内を流れる流体がフロン、アンモニア、LNG（Liquefied Natural Gas）等であってもよく、これらの流体の流速を計測する場合にも本発明は適用可能である。

[0157] また、上記実施形態では、配管10と熱交換を行う熱交換器として加熱部2を例示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、熱交換器としては、配管10の表面10aを冷却する冷却器を用いてもよく、冷却することで配管10の管軸方向に生じた温度分布に基づいて配管10内を流れる流体（蒸気あるいは空気など）の流速を決定しても良い。この場合において、例えば、蒸気が飽和蒸気あるいはそれに近い過熱蒸気の際は、凝縮が生じる可能性があることから熱伝達率算出の際はそれを考慮する必要がある。

[0158] また、流速決定システム100（図1）、関係情報設定システム101（図30）のいずれにおいても、プレヒーター2bは必須の構成ではない。流速決定システム100、及び、関係情報設定システム101いずれか又は両方の構成を、プレヒーター2bを備えていない構成としてもよい。

[0159] なお、上記実施形態では、温度Tの単位として[°C（度C）]が用いられたが、その代わりに、[K（ケルビン）]が用いられてもよい。

[0160] <熱伝達率修正係数に関する構成例>

一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定方法であって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換工程と、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの

温度分布の解析値を求める解析工程と、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数 X_{WT} であって温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する熱伝達率修正係数値取得工程と、解析工程で取得した解析値を、熱伝達率修正係数値取得工程で取得した熱伝達率修正係数 X_{WT} の値に基づいて修正して、関係情報を求める関係情報設定工程と、を含む関係情報設定方法である。

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、加熱部中心の位置において1よりも大きい値を取る。

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、ピークに対して立ち上がりの位置よりも外側（図24の例では、左側）、及びピークに対して加熱部中心の位置よりも外側（図24の例では、右側）の所定位置よりも外側（図24の例では、右側）において、ほぼ1の値（例えば、1、又は、1に近い値）を取る。

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、前記ピークに対してほぼ対称な形状を有する。

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数 X_{WT} は、ピークの位置において、レイノルズ数の値に応じた大きさの値を取る。

一構成例として、関係情報設定方法において、配管10は、50A配管又は65A配管のいずれかであり、ピークの位置は、ほぼ-66mm（例えば、-66mm、又は、-66mmに近い値）の位置である、

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数値取得工程では、配管10に沿った位置毎に熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する。

一構成例として、関係情報設定方法において、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測工程と、流体の流速を設定する流速設定工程と、を含み、熱伝達率修正係数値取得工程では、温度計測工程で計測した温度分布、解析工程で取得

した温度分布の解析値、及び、流速設定工程で設定した流速に基づいて、熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を設定する。

一構成例として、関係情報設定方法において、熱伝達率修正係数値取得工程では、温度計測工程で計測した温度分布と、流速設定工程で設定した流速を用いて解析工程で取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う。

[0161] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う流速決定時熱交換工程と、流速決定時熱交換工程にて所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における表面10aの温度分布を計測する流速決定時温度分布計測工程と、流速決定時温度分布計測工程で計測した温度分布、及び、上記した関係情報設定方法にて得られた関係情報に基づいて、配管10の内部を流れる流体の流速を求める流速決定工程と、を含む流速決定方法である。

[0162] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定システム101であって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換器と、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの温度分布の解析値を求める解析部と、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数 X_{WT} であって温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する所定部分からの距離に応じた値を取る熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する熱伝達率修正係数値取得部と、解析部が取得した解析値を、熱伝達率修正係数値取得部が取得した熱伝達率修正係数 X_{WT} の値に基づいて修正して、関係情報を求める関係情報設定部と、を備える関係情報設定システム（実施形態では、例えば、流速決定システム100に含まれる関係情報設定システムの機能部分、または、関係情報設定システム101）である。

一構成例として、関係情報設定システムにおいて、熱伝達率修正係数値取

得部は、配管10に沿った位置毎に熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する。

一構成例として、関係情報設定システムにおいて、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測部と、流体の流速を設定する流速設定部と、を備え、熱伝達率修正係数値取得部は、温度計測部が計測した温度分布、解析部が取得した温度分布の解析値、及び、流速設定部が設定した流速に基づいて、熱伝達率修正係数の値を設定する。

一構成例として、関係情報設定システムにおいて、熱伝達率修正係数値取得部は、温度計測部が計測した温度分布と、流速設定部が設定した流速を用いて解析部が取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う。

[0163] 一構成例として、上記した関係情報設定システムと、関係情報設定部が設定した関係情報を記憶する記憶部と、配管10の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換器と、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測部と、温度計測部が計測した温度分布、及び、記憶部が記憶している関係情報に基づいて、流体の流速を求める流速決定部と、を備える流速決定システム100である。

[0164] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求めるプログラムであって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換ステップと、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの温度分布の解析値を求める解析ステップと、配管10の表面10aの所定部分で熱交換が行われている状態での配管10の表面10aの温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数 X_{WT} であって温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数 X_{WT} の値を取得する熱伝達率修正係数値取得ステップと、解析ステップで取得した解析値を、熱伝達率修正係数値取得ステップで取得した熱

伝達率修正係数 X_{WT} の値に基づいて修正して、関係情報を求める関係情報設定ステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

[0165] <温度境界係数に関する構成例>

一構成例として、関係情報設定方法は、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定方法であって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換工程と、配管10を流れる流体のうち、配管10の表面10aの所定部分で行われる熱交換による熱の伝達に寄与する流体の量的割合を示す温度境界係数 Y_{HT} であって一定値をプラントル数で割った結果の値を取る温度境界係数 Y_{HT} の値を取得する温度境界係数値取得工程と、温度境界係数値取得工程で取得した温度境界係数 Y_{HT} の値に基づいて関係情報を求める関係情報設定工程と、を含む。

一構成例として、関係情報設定方法において、配管10は、50A配管又は65A配管のいずれかであり、上記した一定値は、ほぼ0.2（例えば、0.2、又は、0.2に近い値）である。

一構成例として、関係情報設定方法において、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測工程と、流体の流速を設定する流速設定工程と、を含み、温度境界係数値取得工程では、温度計測工程で計測した温度分布、及び、流速設定工程で設定した流速に基づいて、温度境界係数 Y_{HT} の値を設定する。

一構成例として、関係情報設定方法において、温度境界係数値取得工程では、温度計測工程で計測した温度分布と、流速設定工程で設定した流速を用いて取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う。

[0166] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う流速決定時熱交換工程と、流速決定時熱交換工程にて所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における表面10aの温度分布を計測する流速決定時温度分

布計測工程と、流速決定時温度分布計測工程で計測した温度分布、及び、上記の関係情報設定方法にて得られた関係情報に基づいて、配管10の内部を流れる流体の流速を求める流速決定工程とを含む流速決定方法である。

[0167] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定システム（実施形態では、例えば、流速決定システム100に含まれる関係情報設定システムの機能部分、または、関係情報設定システム101）であって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換器と、配管10を流れる流体のうち、配管10の表面10aの所定部分で行われる熱交換による熱の伝達に寄与する流体の量的割合を示す温度境界係数であって一定値をプラントル数で割った結果の値を取る温度境界係数 Y_{HT} の値を取得する温度境界係数値取得部と、温度境界係数値取得部が取得した温度境界係数 Y_{HT} の値に基づいて関係情報を求める関係情報設定部と、を備える関係情報設定システムである。

一構成例として、関係情報設定システムにおいて、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測部と、流体の流速を設定する流速設定部と、を備え、温度境界係数値取得部は、温度計測部が計測した温度分布、及び、流速設定部が設定した流速に基づいて、温度境界係数 Y_{HT} の値を設定する。

一構成例として、関係情報設定システムにおいて、温度境界係数値取得部は、温度計測部で計測した温度分布と、流速設定部で設定した流速を用いて取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う。

[0168] 一構成例として、上記した関係情報設定システムと、関係情報設定部が設定した関係情報を記憶する記憶部と、配管10の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換器と、所定部分で熱交換が行われた配管10の管軸方向における配管10の表面10aの温度分布を計測する温度計測部と、温度計測部が計測した温度分布、及び、記憶部が記憶している関係情報に基づいて、流体の流速を求める流速決定部と、を備える流速決定システム100である。

[0169] 一構成例として、配管10の内部を流れる流体の流速と配管10の表面10aの温度分布との関係を示す関係情報を求めるプログラムであって、配管10の表面10aの所定部分で熱交換を行う熱交換ステップと、配管10を流れる流体のうち、配管10の表面10aの所定部分で行われる熱交換による熱の伝達に寄与する流体の量的割合を示す温度境界係数 Y_{HT} であって一定値をプラントル数で割った結果の値を取る温度境界係数 Y_{HT} の値を取得する温度境界係数値取得ステップと、温度境界係数値取得ステップで取得した温度境界係数 Y_{HT} の値に基づいて関係情報を求める関係情報設定ステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

[0170] 以上に示した実施形態に係る装置（例えば、制御ユニット4）の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体（記憶媒体）に記録（記憶）して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより、処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、オペレーティング・システム（OS: Operating System）あるいは周辺機器等のハードウェアを含むものであってもよい。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM（Read only Memory）、フラッシュメモリ等の書き込み可能な不揮発性メモリ、DVD（Digital Versatile Disc）等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ（例えばDRAM（Dynamic Random Access Memory））のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。

また、上記のプログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波

により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）あるいは電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。

また、上記のプログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、上記のプログラムは、前述した機能をコンピュータシステムに既に記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

[0171] 以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述したが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

また、以上の実施形態は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

符号の説明

[0172] 2…加熱部、2 b…プレヒーター、3…温度計測部、3 a…温度センサー、3 A…温度センサー群、4…制御ユニット、5…流速計、10…配管、10 a…表面、11…設置部分、12…保温材、20…蒸気製造装置、30…負荷設備、50…計算装置、60…入力装置、61…変換器、62…CPU、63…メモリ、64…表示装置、100…流速決定システム、101…関係情報設定システム、1001…条件テーブル、1101～1102、1111～1112、1121～1122、1131～1132、1201～1202、1211～1212、1221～1222、1231～1232、1301～1302、1311～1312、1321～1322、1331～1332、1401～1402、1411～1412、1421～1422、1431～1432、1501、1511、1521、1601、1611、1621、1701、1711、1801、1811、1901…特性、A11～A14…領域、B11…矢印

請求の範囲

- [請求項1] 配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定方法であって、
前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換工程と、
前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を求める解析工程と、
前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に1つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得工程と、
前記解析工程で取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数値取得工程で取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定工程と、
を含む関係情報設定方法。
- [請求項2] 前記熱伝達率修正係数は、前記加熱部中心の位置において1よりも大きい値を取る、
請求項1に記載の関係情報設定方法。
- [請求項3] 前記熱伝達率修正係数は、前記ピークに対して前記立ち上がりの位置よりも外側、及び前記ピークに対して前記加熱部中心の位置よりも外側の所定位置よりも外側において、ほぼ1の値を取る、
請求項1または請求項2のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項4] 前記熱伝達率修正係数は、前記ピークに対してほぼ対称な形状を有する、
請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項5] 前記熱伝達率修正係数は、前記ピークの位置において、レイノルズ数の値に応じた大きさの値を取る、

- 請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項6] 前記配管は、50 A 配管又は 65 A 配管のいずれかであり、
前記ピークの位置は、ほぼ 66 mm の位置である、
請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項7] 前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記配管に沿った位置毎に
前記熱伝達率修正係数の値を取得する、
請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項8] 前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記
配管の表面の温度分布を計測する温度計測工程と、
前記流体の流速を設定する流速設定工程と、
を含み、
前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記温度計測工程で計測し
た温度分布、前記解析工程で取得した温度分布の解析値、及び、前記
流速設定工程で設定した流速に基づいて、前記熱伝達率修正係数の値
を設定する、
請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の関係情報設定方法。
- [請求項9] 前記熱伝達率修正係数値取得工程では、前記温度計測工程で計測し
た前記温度分布と、前記流速設定工程で設定した流速を用いて前記解
析工程で取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させ
る計算を行う、
請求項 8 に記載の関係情報設定方法。
- [請求項10] 配管の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態
で、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う流速決定時熱交換工程
と、
前記流速決定時熱交換工程にて前記所定部分で熱交換が行われた前
記配管の管軸方向における前記表面の温度分布を計測する流速決定時
温度分布計測工程と、
前記流速決定時温度分布計測工程で計測した前記温度分布、及び、

請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の関係情報設定方法にて得られた関係情報に基づいて、前記配管の内部を流れる前記流体の流速を求める流速決定工程と、

を含む流速決定方法。

[請求項11]

配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求める関係情報設定システムであって、

前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換器と、

前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を求める解析部と、

前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に 1 つのピークを有する前記所定部分からの距離に応じた値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得部と、

前記解析部が取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数値取得部が取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定部と、

を備える関係情報設定システム。

[請求項12]

前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記配管に沿った位置毎に前記熱伝達率修正係数の値を取得する、

請求項 1 1 に記載の関係情報設定システム。

[請求項13]

前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記配管の表面の温度分布を計測する温度計測部と、

前記流体の流速を設定する流速設定部と、

を備え、

前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記温度計測部が計測した温度分布、前記解析部が取得した温度分布の解析値、及び、前記流速設定部が設定した流速に基づいて、前記熱伝達率修正係数の値を設定する

、
請求項 1 1 または請求項 1 2 のいずれか一項に記載の関係情報設定システム。

[請求項14] 前記熱伝達率修正係数値取得部は、前記温度計測部が計測した前記温度分布と、前記流速設定部が設定した流速を用いて前記解析部が取得した温度分布の解析値とを比較して、これらを収束させる計算を行う、

請求項 1 3 に記載の関係情報設定システム。

[請求項15] 請求項 1 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載の関係情報設定システムと、

前記関係情報設定部が設定した関係情報を記憶する記憶部と、
配管の内部を流れる流体の流速が決定対象の流速となっている状態で、前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換器と、

前記所定部分で熱交換が行われた前記配管の管軸方向における前記配管の表面の温度分布を計測する温度計測部と、

前記温度計測部が計測した温度分布、及び、前記記憶部が記憶している関係情報に基づいて、前記流体の流速を求める流速決定部と、
を備える流速決定システム。

[請求項16] 配管の内部を流れる流体の流速と前記配管の表面の温度分布との関係を示す関係情報を求めるプログラムであって、

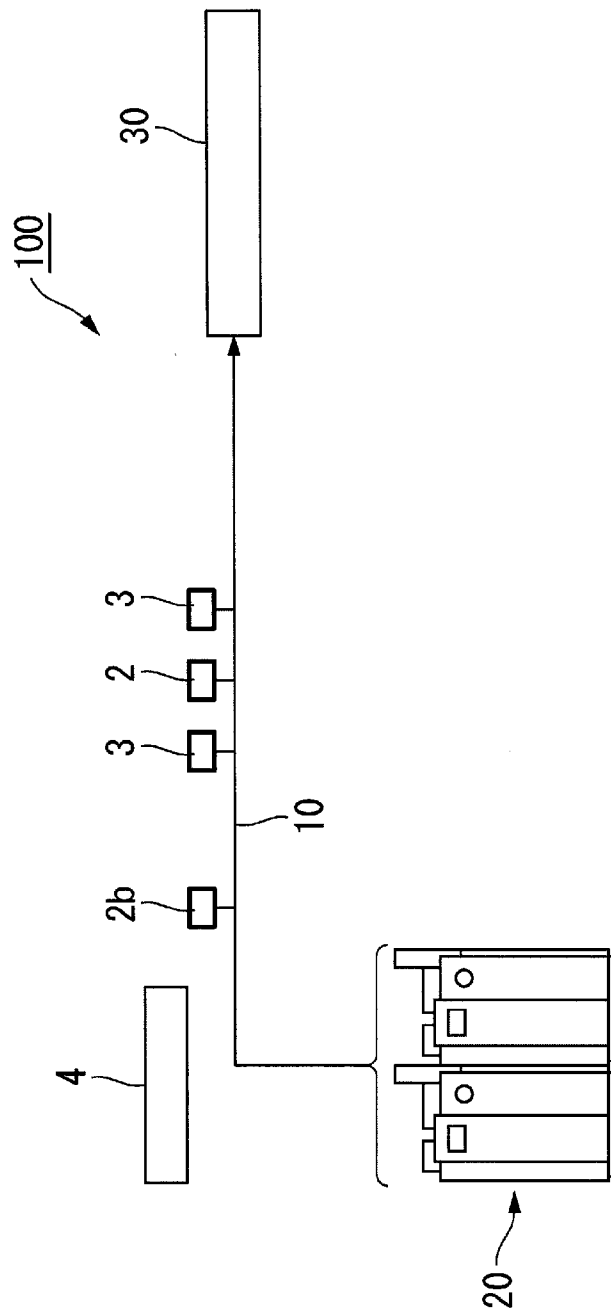
前記配管の表面の所定部分で熱交換を行う熱交換ステップと、

前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を求める解析ステップと、

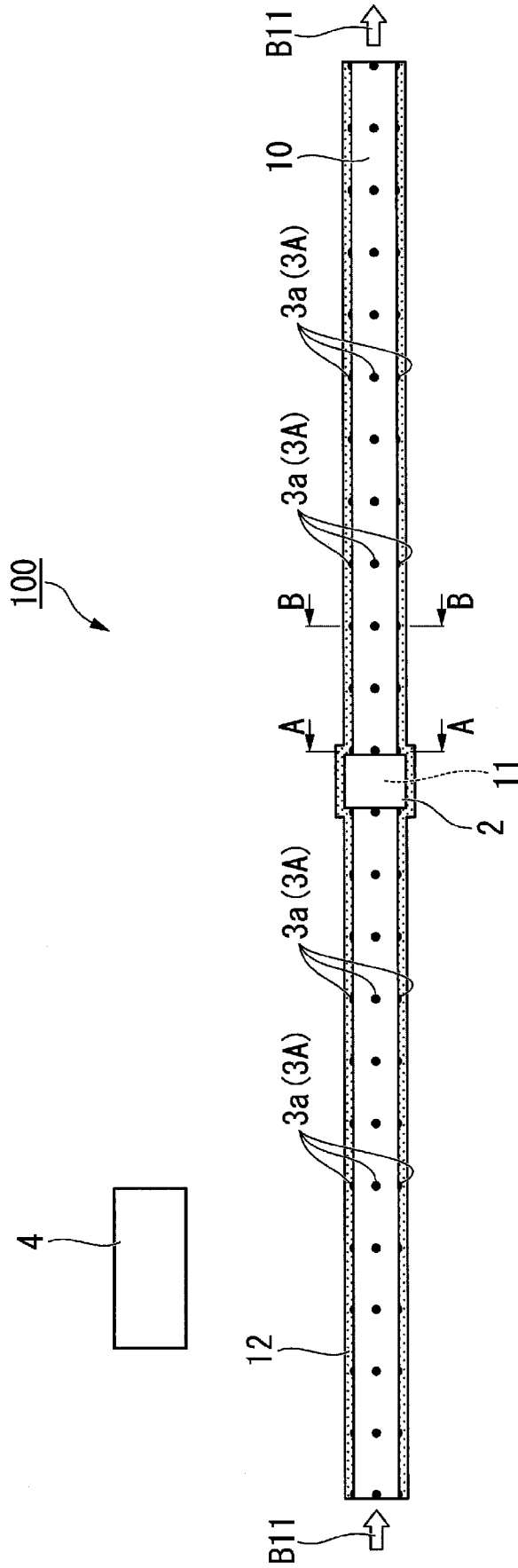
前記配管の表面の所定部分で熱交換が行われている状態での前記配管の表面の温度分布の解析値を修正する熱伝達率修正係数であって前記温度分布の管軸方向における立ち上がりの位置と加熱部中心の位置との間に 1 つのピークを有する値を取る熱伝達率修正係数の値を取得する熱伝達率修正係数値取得ステップと、

前記解析ステップで取得した解析値を、前記熱伝達率修正係数值取得ステップで取得した熱伝達率修正係数の値に基づいて修正して、前記関係情報を求める関係情報設定ステップと、
をコンピュータに実行させるためのプログラム。

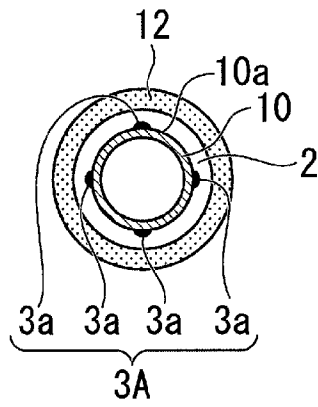
[図1]



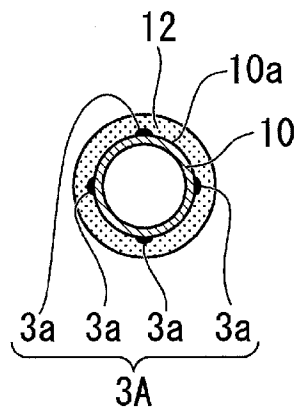
[図2]



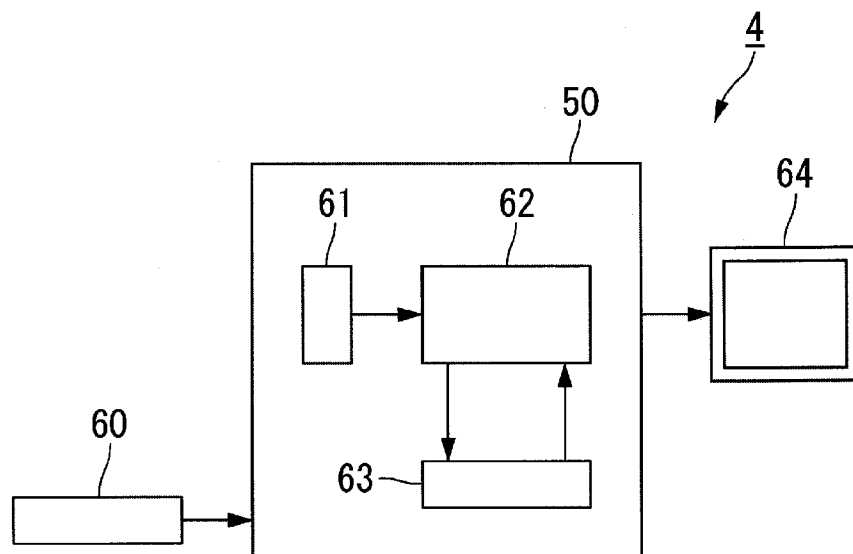
[図3]



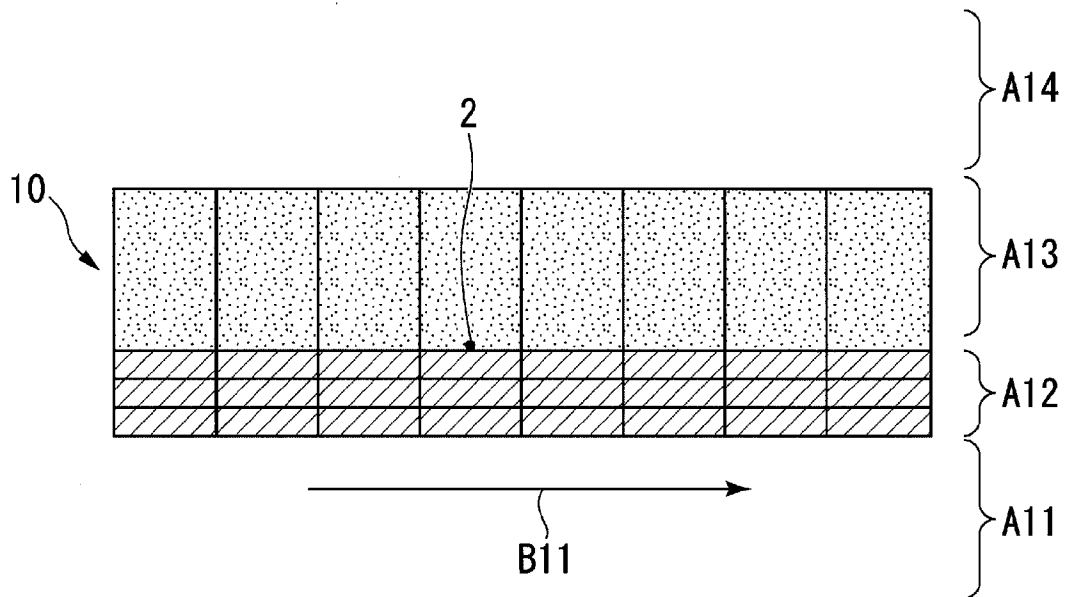
[図4]



[図5]



[図6]

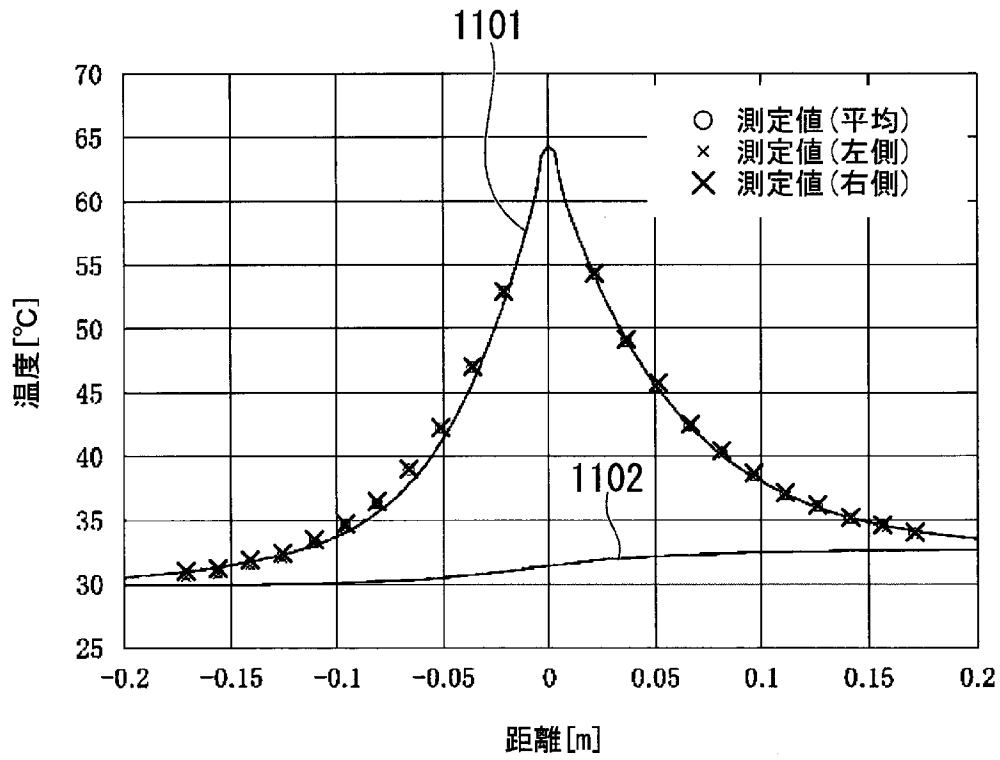


[図7]

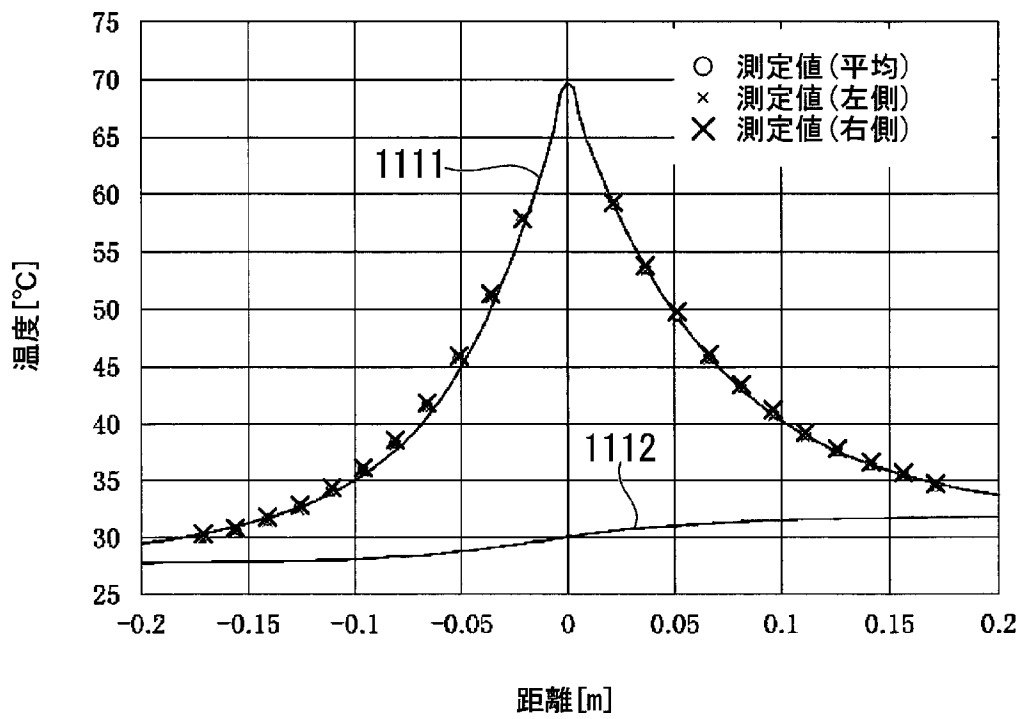
1001

流体	配管の外径	流速[m/s]	ヒーター出力[W]
空気	50A	8.1	39
		10.1	39
		10.1	60
		14.9	62
		20.0	64
		25.2	63
		30.0	40
		31.5	63
	39.7	39	
	65A	7.9	102
		7.3	159
		9.8	100
		15.7	101
		15.7	162
24.2		99	
24.2	160		
蒸気	50A	10.7	160
		20.0	155
		32.6	161
		39.8	154
	65A	3.6	166
		3.9	227
		6.7	61
		6.2	102
		6.2	165
		6.1	223
		9.6	108
		9.5	172
		9.8	231
		18.5	170
18.9	233		
22.7	169		
24.8	234		
26.6	206		
29.1	230		

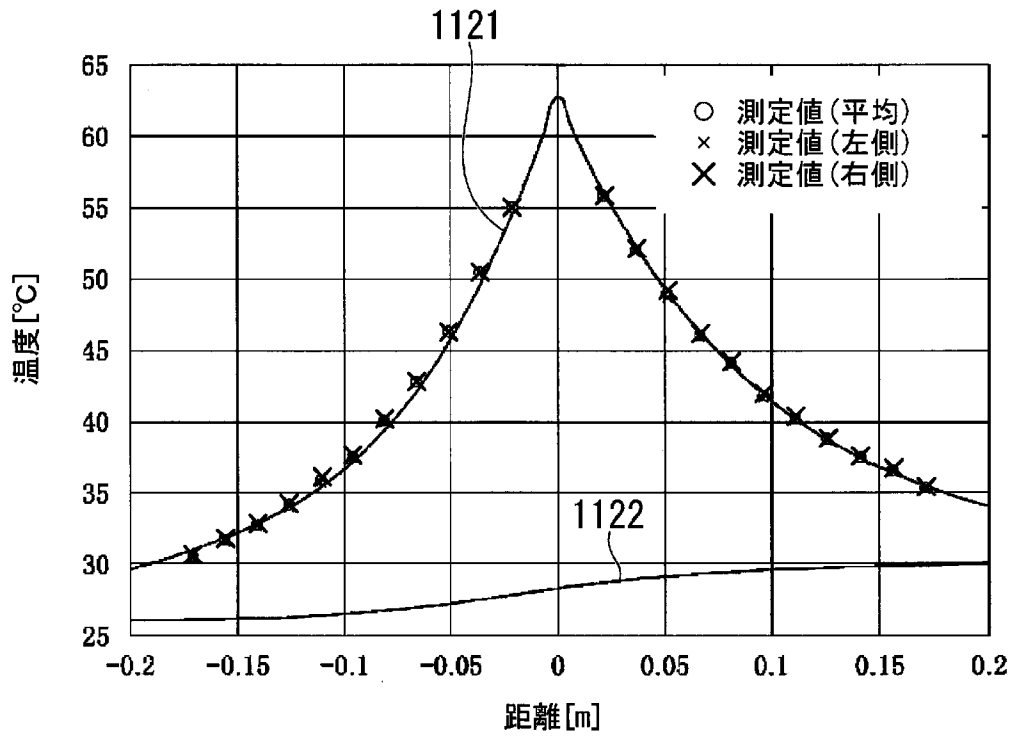
[図8]



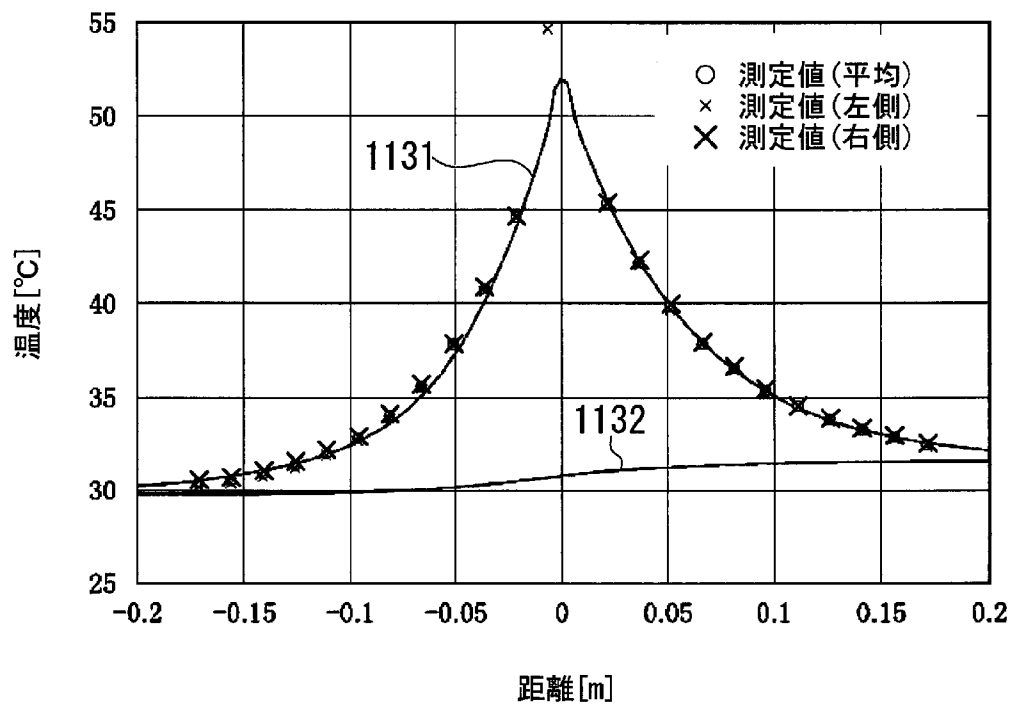
[図9]



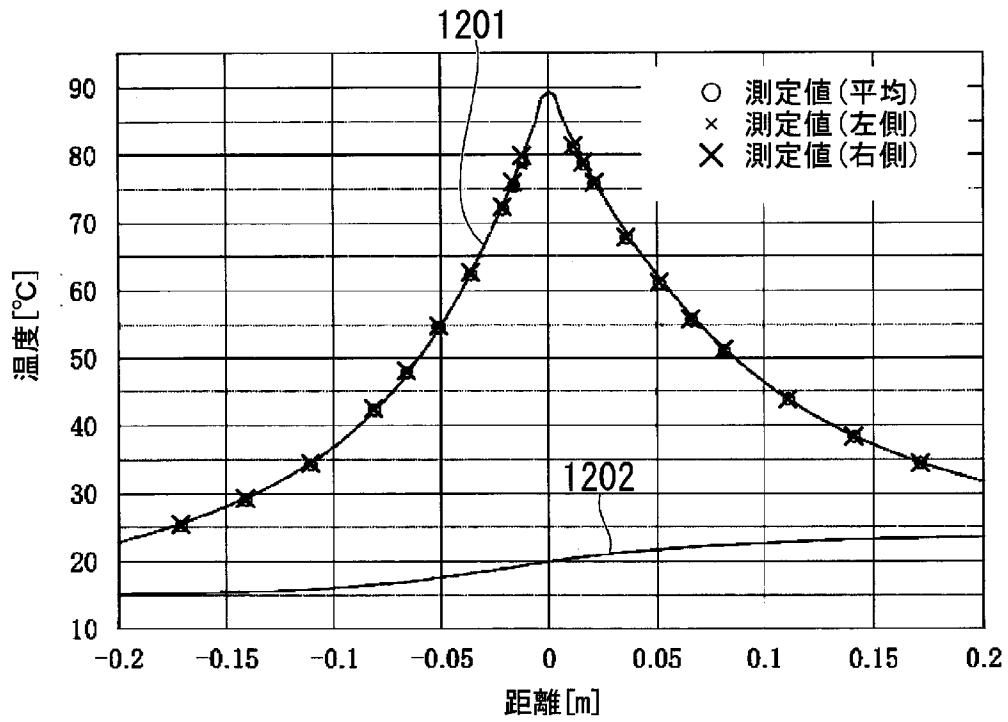
[図10]



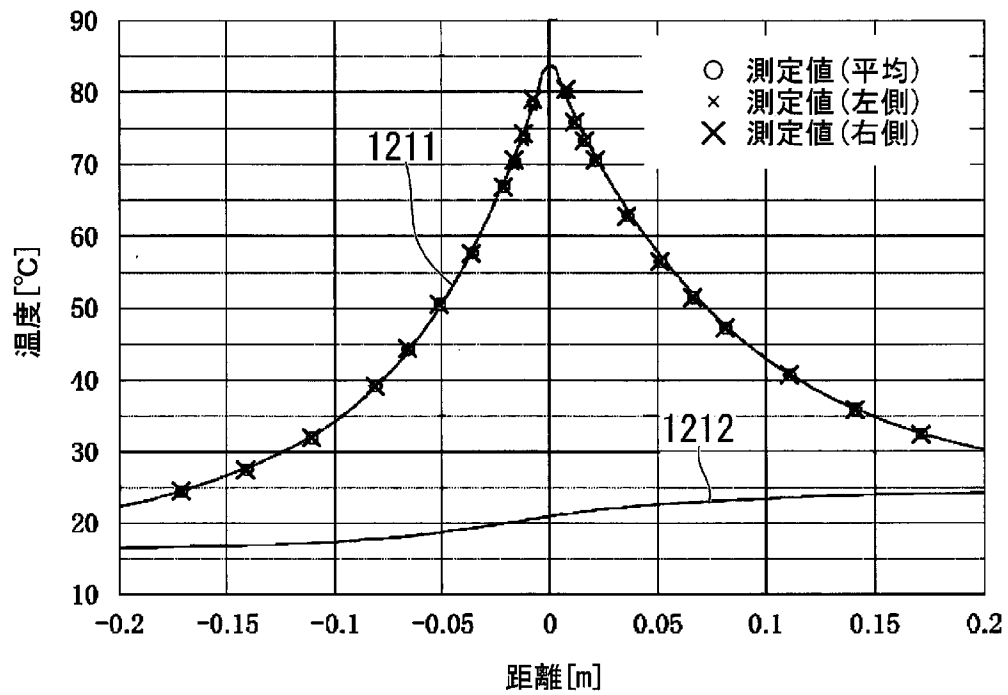
[図11]



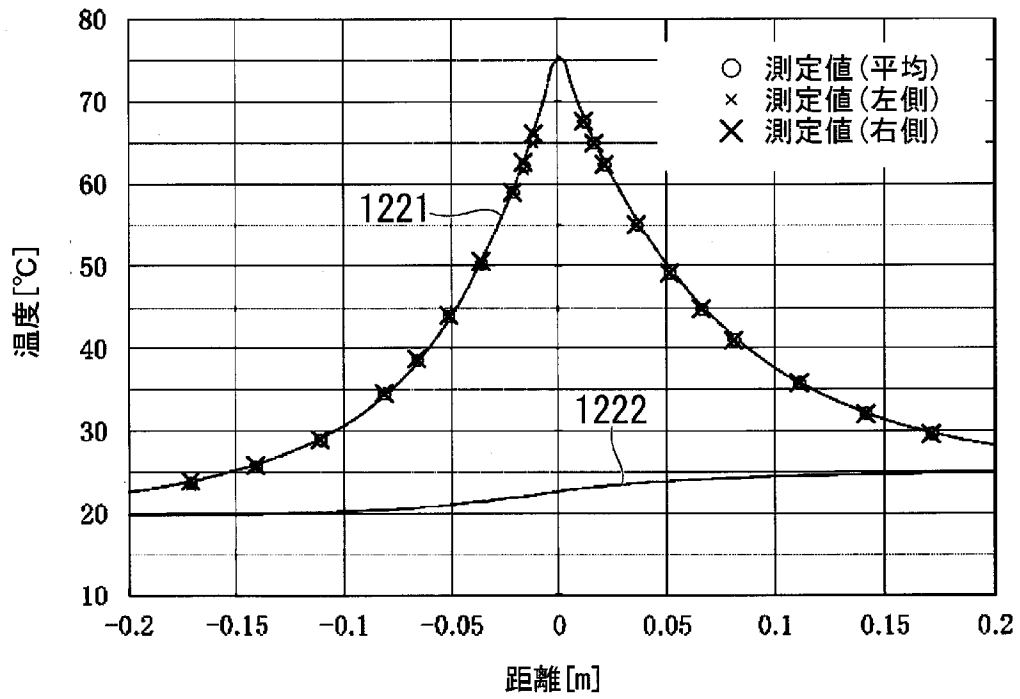
[図12]



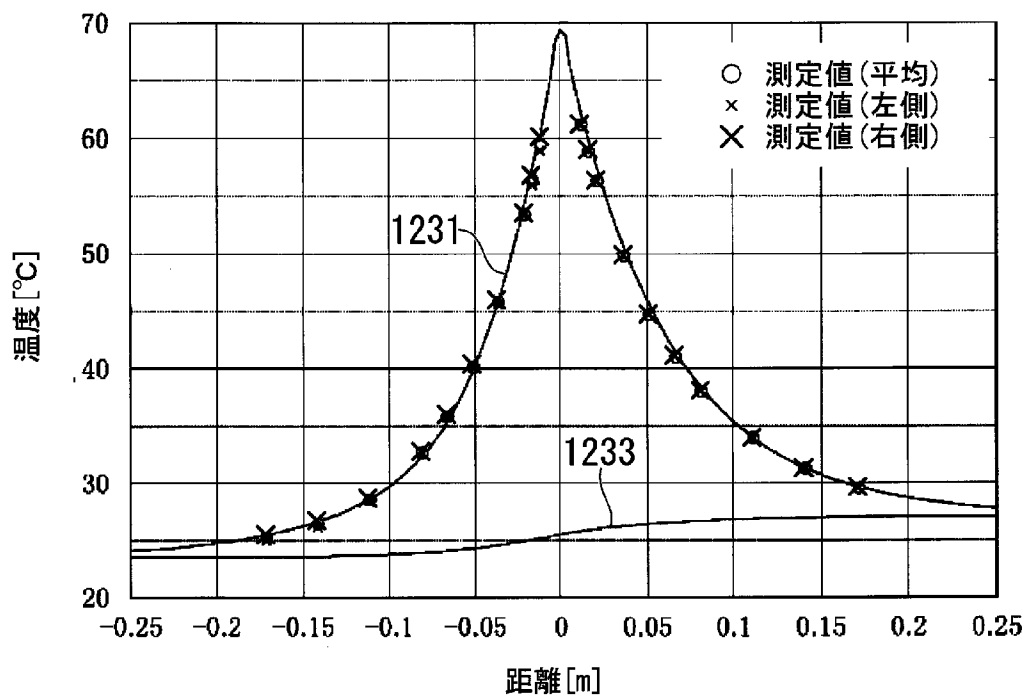
[図13]



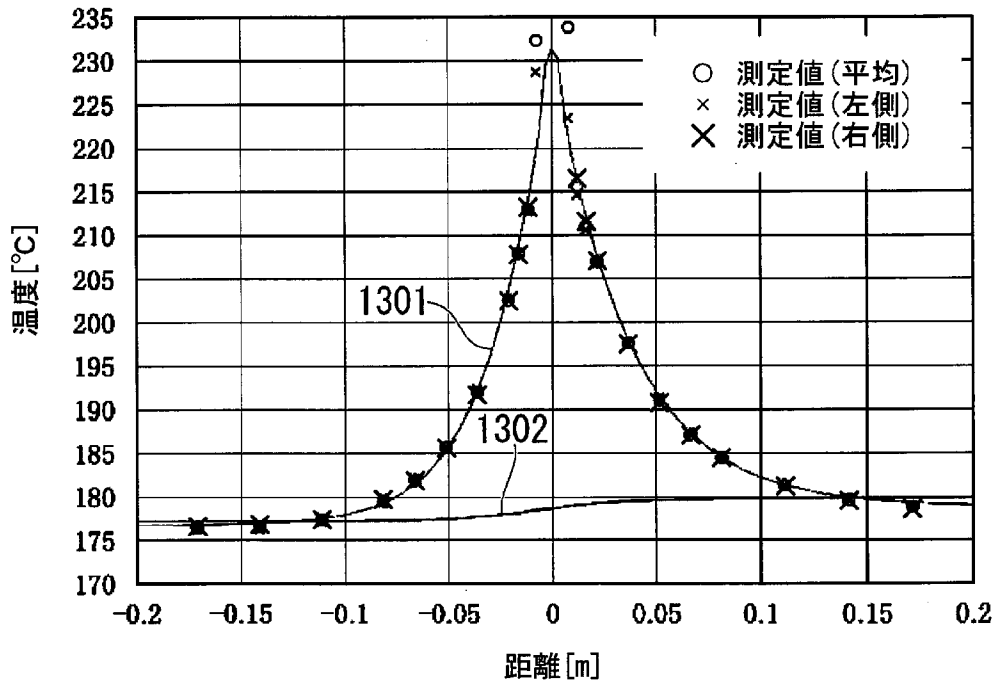
[図14]



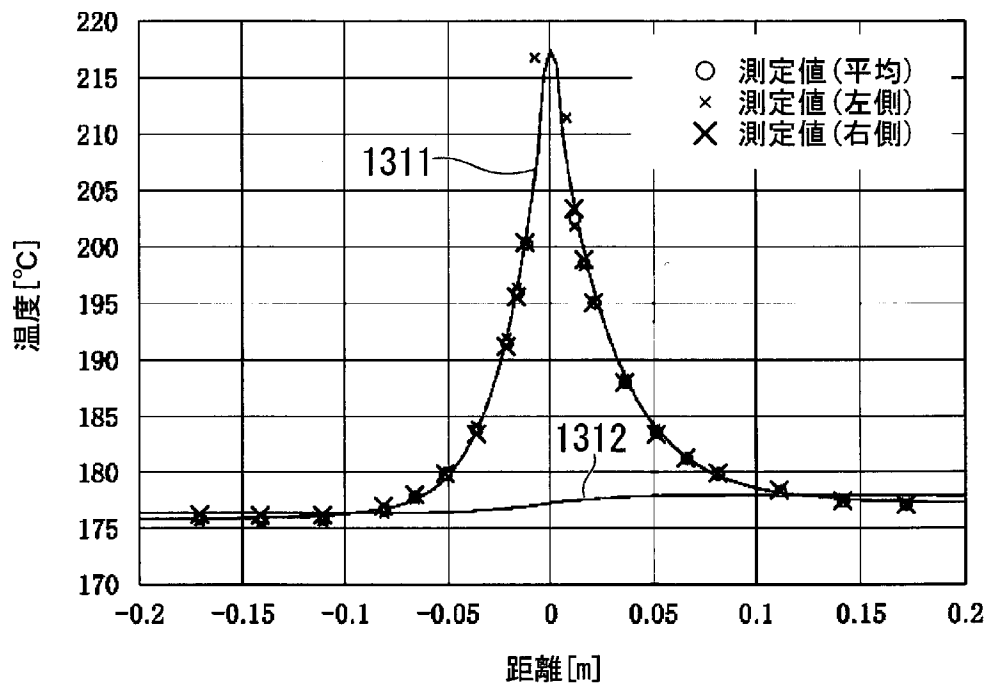
[図15]



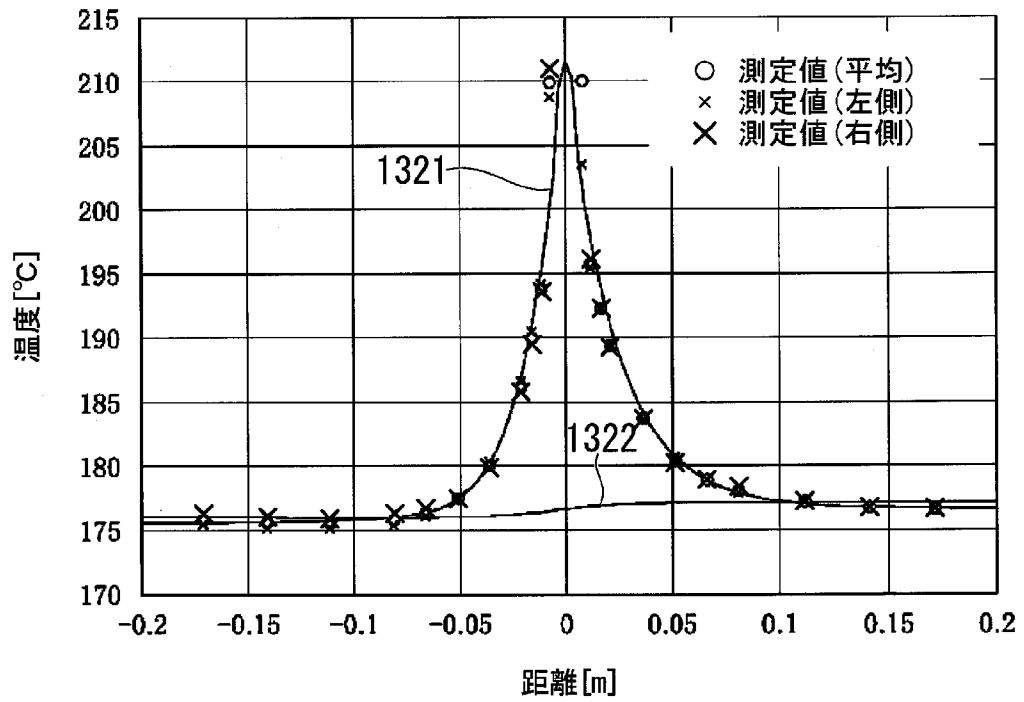
[図16]



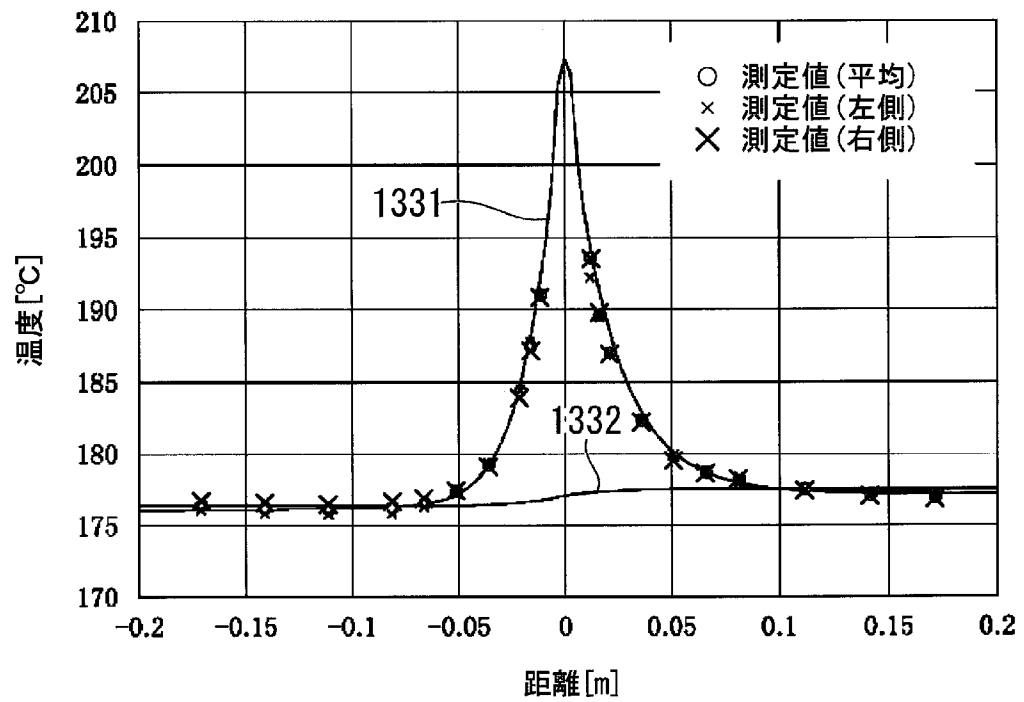
[図17]



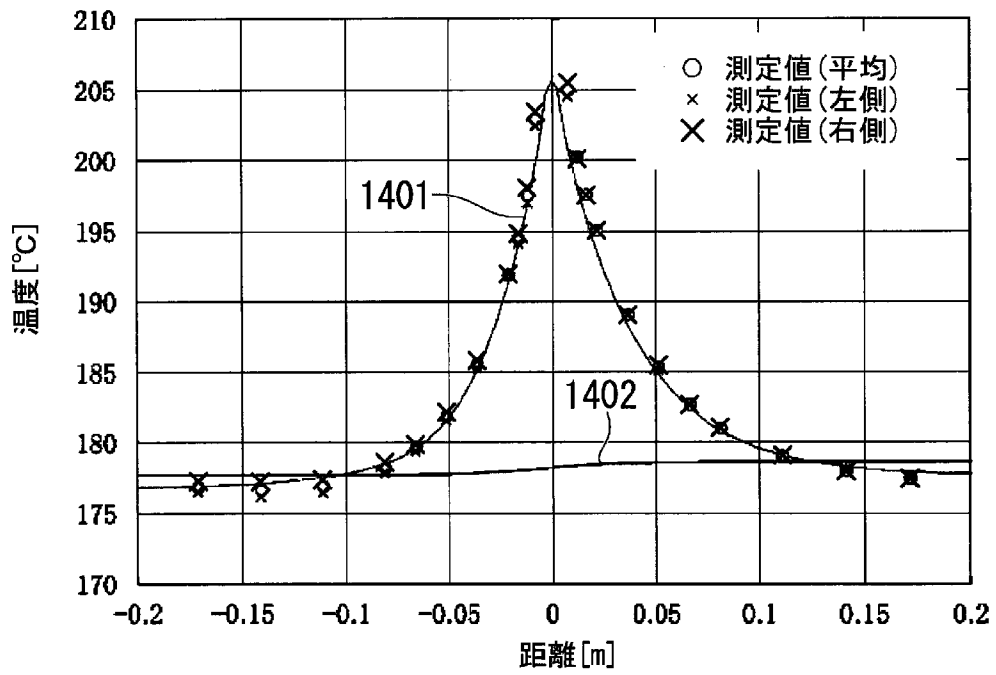
[図18]



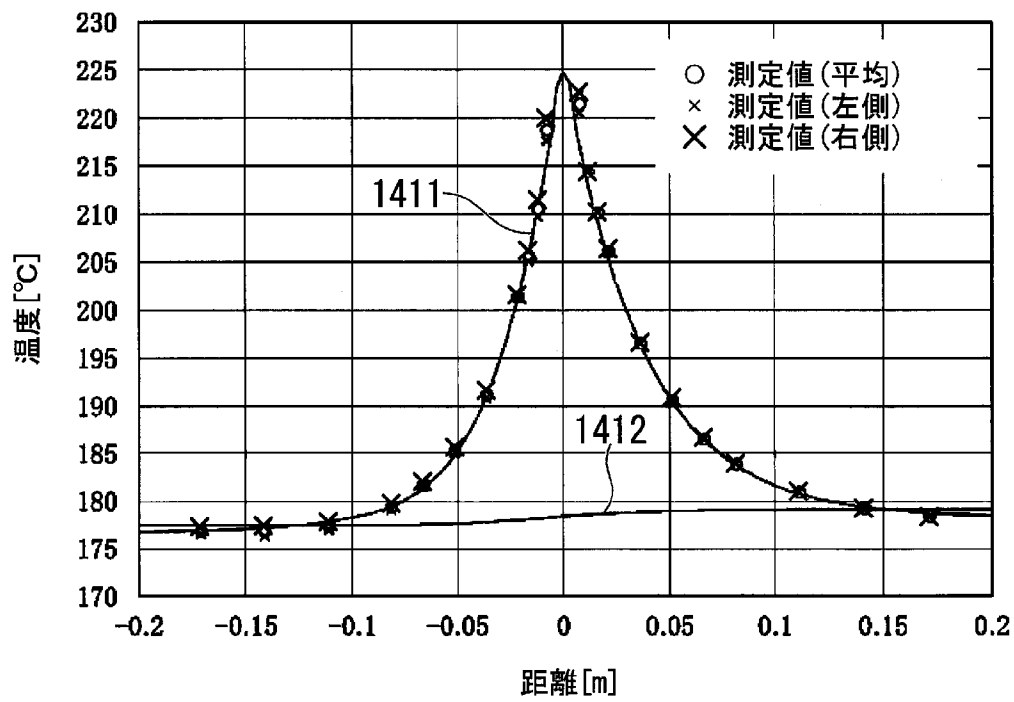
[図19]



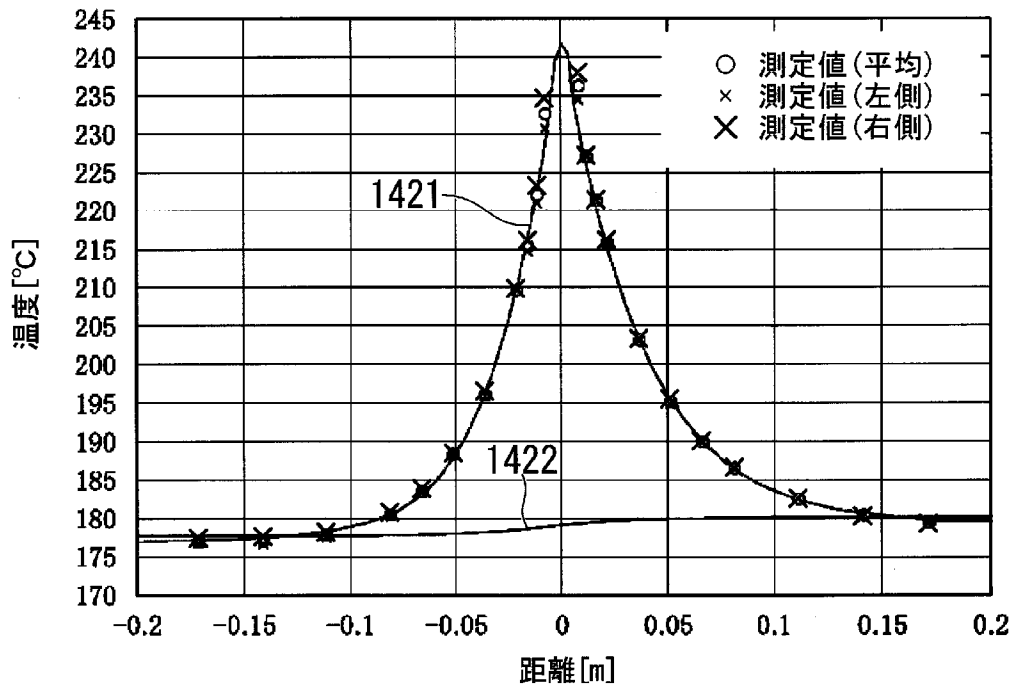
[図20]



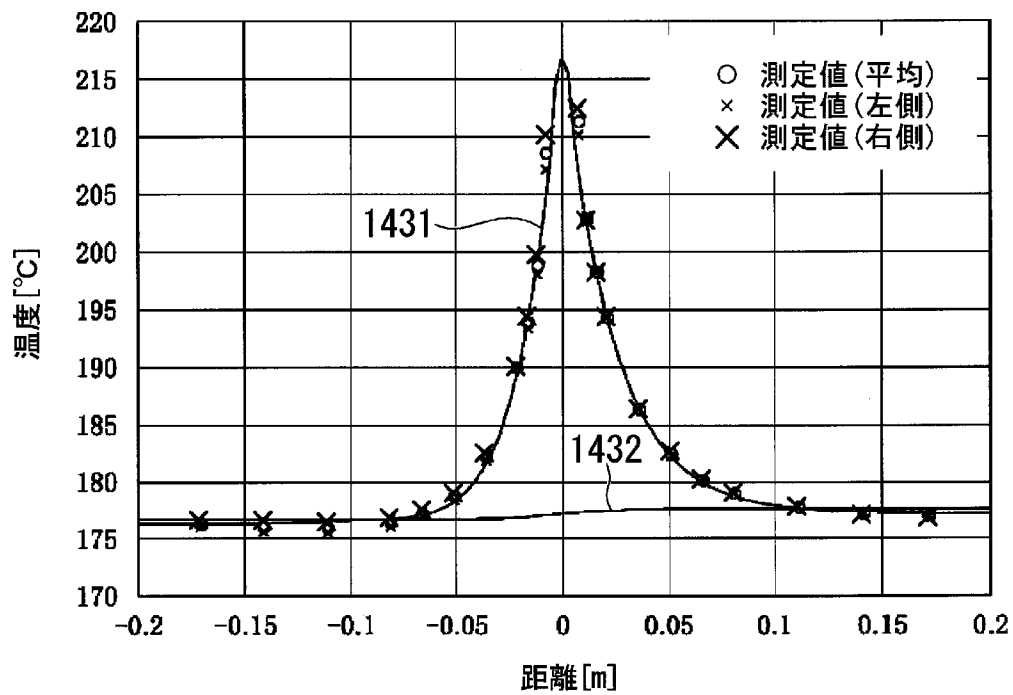
[図21]



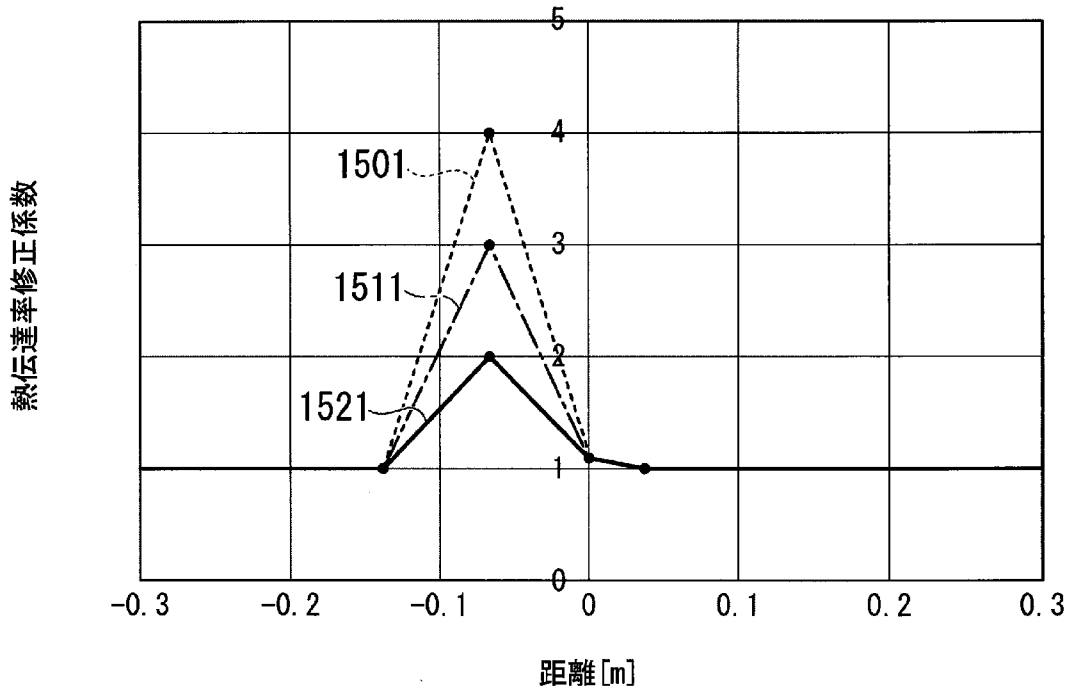
[図22]



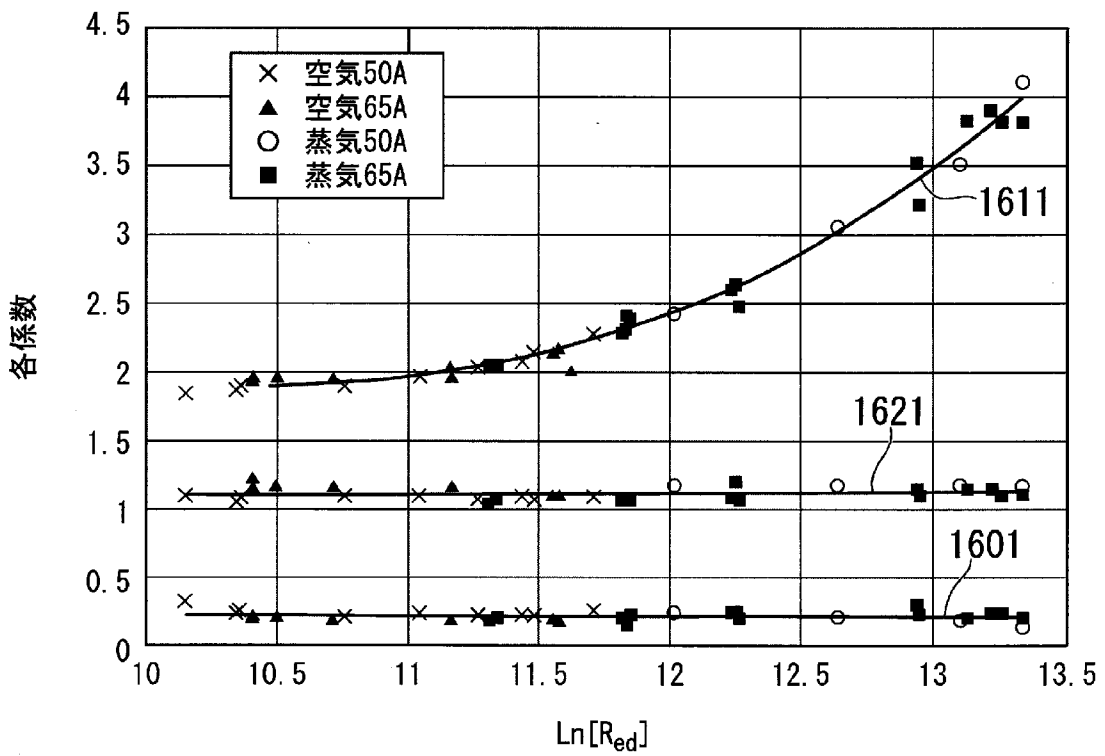
[図23]



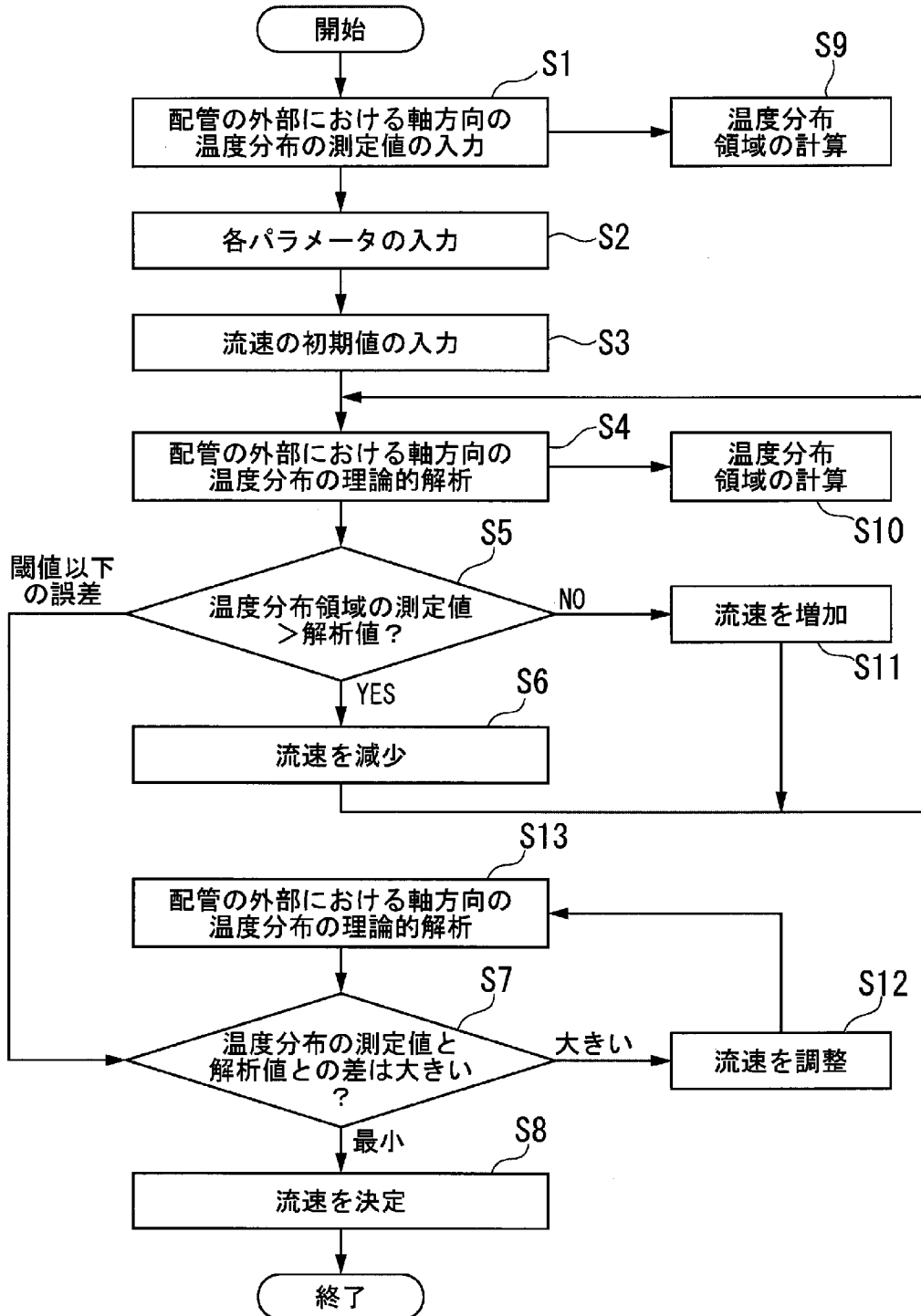
[圖24]



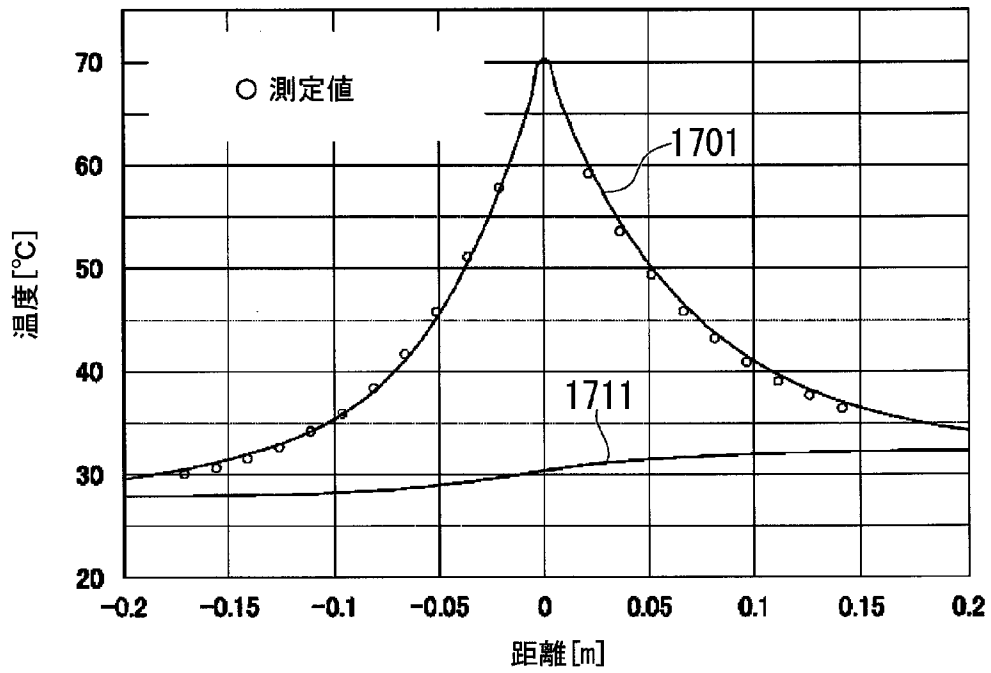
[圖25]



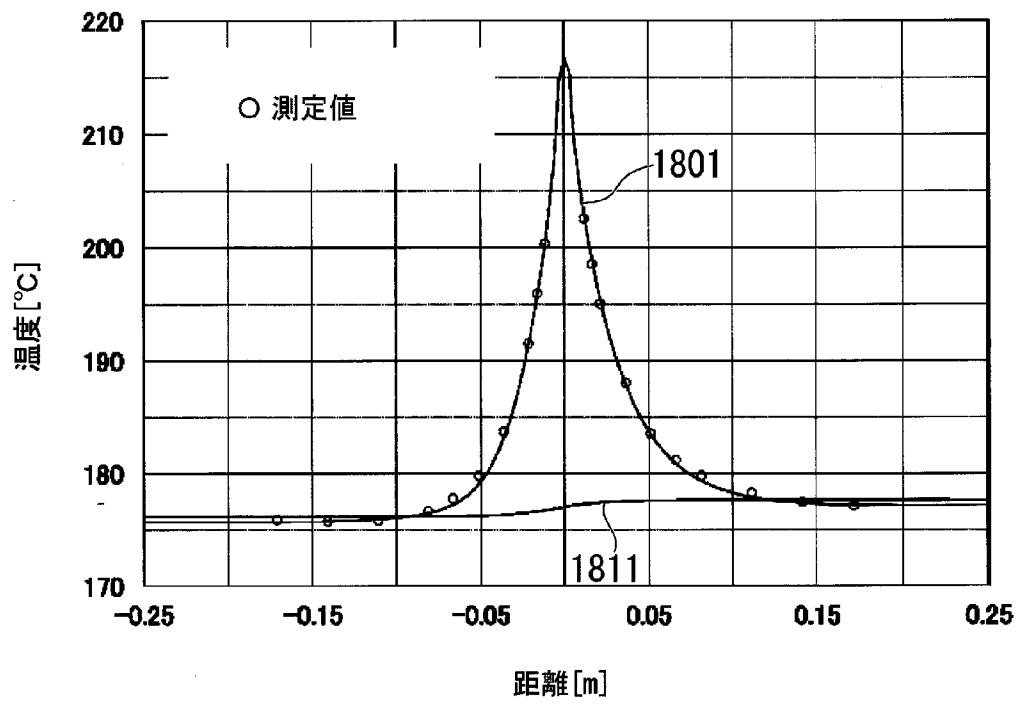
[図26]



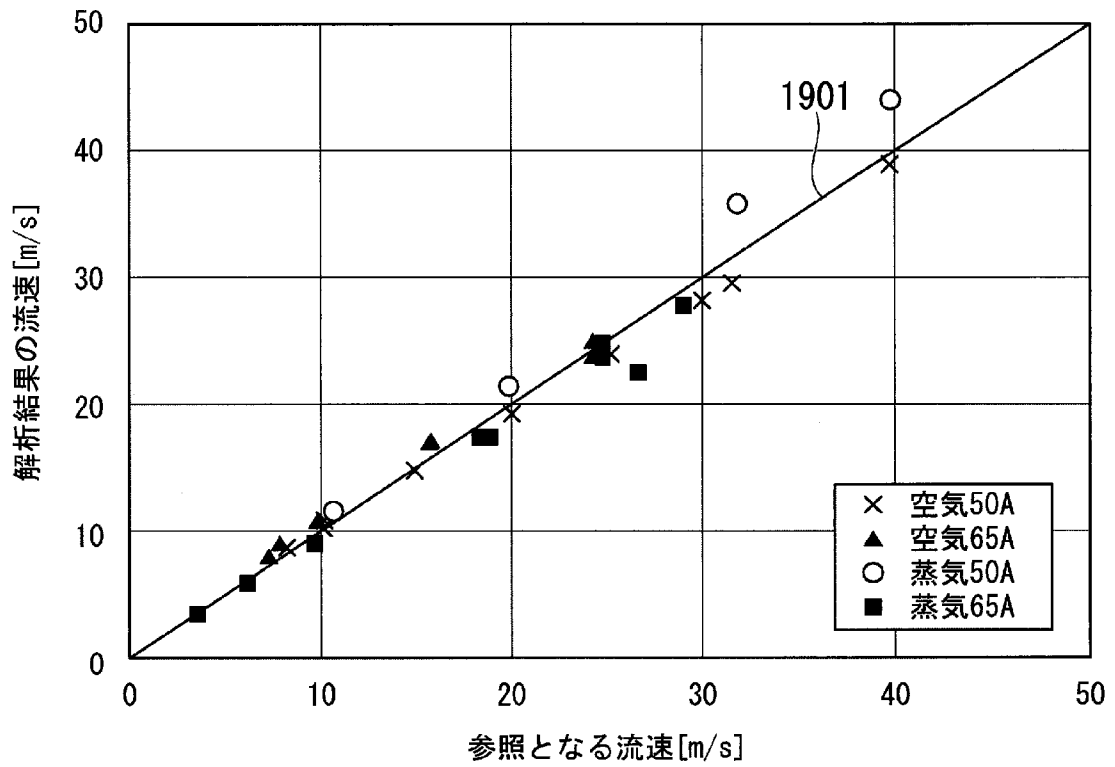
[図27]



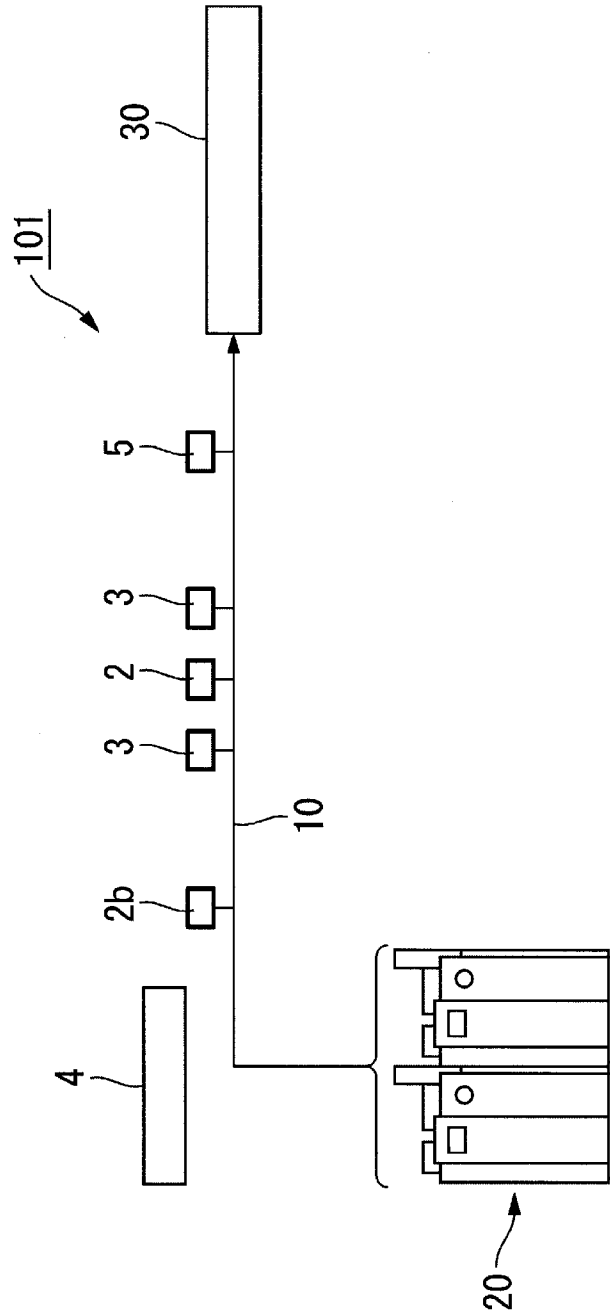
[図28]



[図29]



[図30]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003430

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01F1/68(2006.01) i, G01P5/10(2006.01) i</i></p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>G01F1/68-1/699, G01F15/00-15/18, G01P5/10-5/12, G01P21/00-21/02</i></p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <i>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017</i> <i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017</i></p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2016-212030 A (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.), 15 December 2016 (15.12.2016), entire text; all drawings (Family: none)</td> <td align="center">1-16</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2016-109551 A (Shin Nippon Air Technologies Co., Ltd.), 20 June 2016 (20.06.2016), entire text; all drawings (Family: none)</td> <td align="center">1-16</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	JP 2016-212030 A (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.), 15 December 2016 (15.12.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-16	A	JP 2016-109551 A (Shin Nippon Air Technologies Co., Ltd.), 20 June 2016 (20.06.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-16
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
A	JP 2016-212030 A (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.), 15 December 2016 (15.12.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-16									
A	JP 2016-109551 A (Shin Nippon Air Technologies Co., Ltd.), 20 June 2016 (20.06.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-16									
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>							
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>										
<p>Date of the actual completion of the international search 16 March 2017 (16.03.17)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 28 March 2017 (28.03.17)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003430

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-148508 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 20 August 2015 (20.08.2015), entire text; all drawings & CN 105960577 A & EP 3104136 A1 & WO 2015/119139 A1	1-16
A	US 2009/0235735 A1 (TSYPKO Nikolay), 24 September 2009 (24.09.2009), entire text; all drawings & IL 171764 A & WO 2007/052253 A2	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01F1/68(2006.01)i, G01P5/10(2006.01)i										
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01F1/68-1/699, G01F15/00-15/18, G01P5/10-5/12, G01P21/00-21/02										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2017年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2017年	日本国実用新案登録公報	1996-2017年	日本国登録実用新案公報	1994-2017年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2017年									
日本国実用新案登録公報	1996-2017年									
日本国登録実用新案公報	1994-2017年									
国際調査で利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 2016-212030 A（東京電力ホールディングス株式会社） 2016.12.15, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-16								
A	JP 2016-109551 A（新日本空調株式会社） 2016.06.20, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-16								
A	JP 2015-148508 A（東京電力株式会社） 2015.08.20, 全文, 全図 & CN 105960577 A & EP 3104136 A1 & WO 2015/119139 A1	1-16								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願										
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 16.03.2017	国際調査報告の発送日 28.03.2017									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 岡田 卓弥 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F 9206								

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	US 2009/0235735 A1 (TSYPKO Nikolay) 2009.09.24, 全文, 全図 & IL 171764 A & WO 2007/052253 A2	1-16