

(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8月29日(29.08.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/176281 A1

(51) 国際特許分類:
G01K 17/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/005898

(22) 国際出願日: 2023年2月20日(20.02.2023)

(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: 千代田化工建設株式会社(**CHIYODA CORPORATION**) [JP/JP]; 〒2208765 神奈川県横浜市西区みなとみらい四丁目6番2号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 加次 淳一郎 (**KAJI Junichiro**); 〒2208765 神奈川県横浜市西区みなとみ

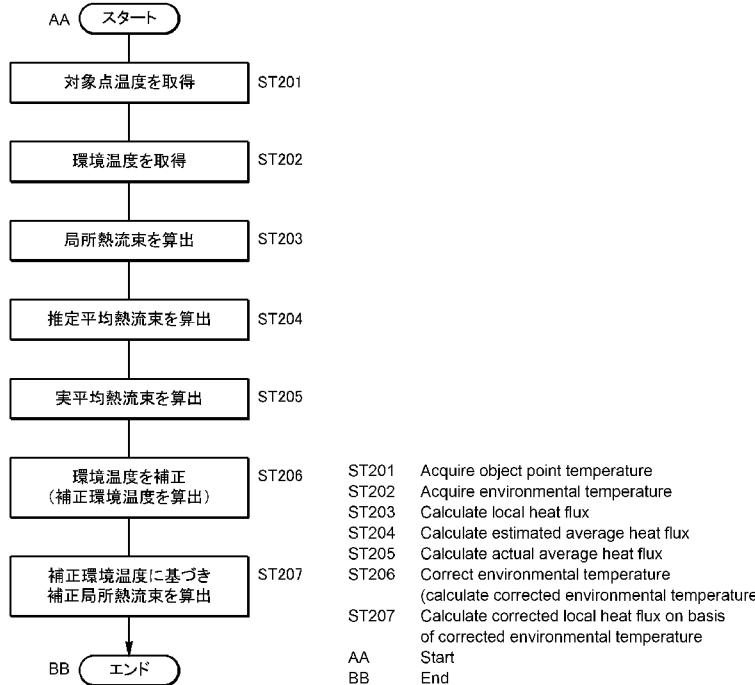
らい四丁目6番2号 千代田化工建設株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人大島特許事務所(**OSHIMA & PARTNERS**); 〒1010051 東京都千代田区神田神保町2-20 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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** HEAT FLUX ACQUISITION DEVICE, HEAT FLUX ACQUISITION SYSTEM, AND HEAT FLUX ACQUISITION METHOD FOR HEATING FURNACE

(54) 発明の名称: 加熱炉の熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法



(57) **Abstract:** [Problem] To easily obtain the local heat flux of an object in a heating furnace. [Solution] A heat flux acquisition device 4 comprises a processor that executes a process for acquiring the heat flux of an object 12 in a heating furnace 2. The processor acquires an object point temperature measured by a temperature sensor 23 for the object point on the outer surface of the object 12, acquires the environmental temperature corresponding to the object point, and calculates

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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the local heat flux for the object point on the basis of the object point temperature and the corresponding environmental temperature.

(57) 要約: 【課題】加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得可能とする。【解決手段】熱流束取得装置4は、であって、加熱炉2内における対象物12の熱流束を取得するための処理を実行するプロセッサを備え、プロセッサは、対象物12の外表面における対象点について温度センサ23によって測定された対象点温度を取得し、対象点に対応する環境温度を取得し、対象点温度およびそれに対応する環境温度に基づき、対象点に関する局所熱流束を算出する構成とする。

明 細 書

発明の名称：

加熱炉の熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法

技術分野

[0001] 本発明は、加熱炉内における対象物の熱流束を取得するための熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、エチレン生成分解炉のコイル外表面温度の推定方法であって、被撮像領域に相対的に温度が高い箇所が存在する場合にも、その部分の温度を反映してコイルの外表面温度を推定する方法が知られている（特許文献1参照）。この従来の方法では、コイルの被撮像領域を撮像するための撮像カメラとして、RGBの各波長における各受光画素での輝度を出力するカラービデオカメラ、 $1\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満の単一波長における輝度を測定する単色ビデオカメラ、又は $1\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満の第1波長および第2波長の輝度の比を測定する2センサーカメラが用いられる。

[0003] また、建物外表面の放射熱流束の測定方法であって、赤外線画像技術に基づいて、建物外表面における放射熱流束を定量的に測定することを目的とした方法が知られている（特許文献2参照）。この従来の方法では、建物外表面の正味の放射熱流を求めるにあたり、赤外線サーモグラフィ画像を撮影し、得られた画像の解析処理が行われる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第7111583号公報

特許文献2：中国特許出願公開第113970388号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、プラント設備として用いられる加熱炉において、加熱管等に関

する熱流束は、加熱炉における種々の現象（例えば、コーキングや膜沸騰の発生）などに関わる重要な指標である。

[0006] 一方、上記特許文献 1、2 に記載された従来技術のように、カメラやサーモグラフィを用いて対象物の温度または熱流束を推定または測定する方法は知られているが、加熱炉内の対象物の所望の部位における熱流束（すなわち、局所熱流束）を簡易に取得する方法は普及していない。

[0007] 本発明は、以上の背景に鑑み、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得可能な熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために本発明のある態様は、加熱炉（2）内における対象物（12）の熱流束を取得する熱流束取得装置（4）であって、前記対象物の熱流束を取得するための処理を実行するプロセッサを備え、前記プロセッサは、前記対象物の外表面における対象点について温度センサ（23）によって測定された対象点温度を取得し、前記対象点に対応する環境温度を取得し、前記対象点温度およびそれに対応する前記環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出する構成とする。

[0009] この態様によれば、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得することができる。

[0010] 上記の態様において、前記局所熱流束は、前記環境温度に基づいて算出される前記対象物に向けて放射されるエネルギーと、前記対象点温度から算出される前記対象物から放射されるエネルギーとに基づいて算出されるとよい。

[0011] この態様によれば、環境温度および対象点温度に基づき、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に算出することができる。

[0012] 上記の態様において、前記加熱炉は、管式加熱炉（2）であり、前記対象物は、前記管式加熱炉の加熱管（12）を含むとよい。

[0013] この態様によれば、加熱炉内における加熱管の局所熱流束を容易に取得することができる。

- [0014] 上記の態様において、前記環境温度は、サーモグラフィ（22）による前記対象点の測定において、前記対応する対象点温度に基づき推定される推定環境温度であるとよい。
- [0015] この態様によれば、サーモグラフィによる対象点の測定に基づき推定された環境温度（すなわち、推定環境温度）を取得することにより、環境温度の精度を向上させることができる。
- [0016] 上記の態様において、前記環境温度は、演算によって求められる補正環境温度であり、前記加熱管は、1以上のセグメント（ $G_1 - G_9$ ）及び当該各セグメントに対してそれぞれ設定される複数の対象点（ $P_{1-1} - P_{1-8}$ ）を有し、前記補正環境温度は、少なくとも、前記各対象点について前記温度センサによってそれぞれ測定された対象点温度と、前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量とに基づき算出されるとよい。
- [0017] この態様によれば、被加熱流体の熱量に基づき補正された環境温度（すなわち、補正環境温度）を取得することにより、環境温度の精度を向上させることができる。
- [0018] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記各対象点温度を取得し、前記各セグメントにそれぞれ対応する炉内の推定環境温度であって、前記対応する各対象点温度に基づき推定される、推定環境温度を取得し、前記各対象点温度およびそれに対応する前記推定環境温度に基づき、前記各対象点に関する推定局所熱流束を算出し、前記推定局所熱流束に基づき、前記各セグメントに関する推定セグメント平均熱流束又は推定セグメント入熱量を算出すると共に、当該推定セグメント平均熱流束又は推定セグメント入熱量に基づいて、前記加熱管に関する推定平均熱流束又は推定入熱量を取得し、前記加熱管に流入する前記被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流束又は実入熱量を算出し、前記推定平均熱流束を前記実平均熱流束に一致させるように、又は前記推定入熱量を前記実入熱量に一致させるように、前記推定環境温度を補

正することによって前記補正環境温度を算出するとよい。

[0019] この態様によれば、各対象点温度およびそれに対応する推定環境温度に基づく各セグメントの熱流束又は入熱量（すなわち、推定セグメント熱流束又は推定セグメント入熱量）と、被加熱流体の熱量に基づく熱流束又は入熱量（すなわち、実平均熱流束又は実入熱量）とによって、補正された環境温度（すなわち、補正環境温度）を算出することにより、環境温度の精度を向上させることができる。

[0020] 上記の態様において、前記各セグメントには、前記各対象点にそれぞれ対応して設定されたサブセグメント（ $G_{1-1} - G_{1-8}$ ）が含まれ、前記プロセッサは、前記各サブセグメントの表面積（ $s_{1-1} - s_{1-8}$ ）を、それぞれ対応する前記対象点に関する前記局所熱流束の重みとして用いた加重平均に基づき、前記各セグメントに関する前記推定セグメント平均熱流束を算出するとよい。

[0021] この態様によれば、各対象点にそれぞれ対応して設定された各サブセグメントの表面積を考慮することにより、各セグメントに関する熱流束を精度良く取得することができる。

[0022] 上記の態様において、前記加熱管は、1つの代表セグメントおよび当該代表セグメント以外の従属セグメントを含む複数のセグメントを有し、前記従属セグメントの前記推定環境温度は、前記代表セグメントの前記推定環境温度に対する温度比を用いて表され、前記プロセッサは、前記代表セグメントの前記補正環境温度を算出し、前記代表セグメントの補正環境温度と前記温度比とに基づいて、前記従属セグメントの前記補正環境温度を算出するとよい。

[0023] この態様によれば、代表セグメントの補正環境温度に基づき従属セグメントの補正環境温度を算出するため、各セグメントの補正環境温度を容易に取得することができる。

[0024] 上記の態様において、前記従属セグメントの前記推定環境温度と、前記代表セグメントの前記推定環境温度との前記温度比を記憶する記憶装置（32

）を更に備えるとよい。

[0025] この態様によれば、従属セグメントの推定環境温度と、代表セグメントの推定環境温度との温度比の利用が容易となる。

[0026] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記各対象点温度を取得し、前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度を取得し、前記対象点温度ならびにそれに対応する前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出するとよい。

[0027] この態様によれば、過去に取得された温度比を利用することにより、加熱炉2の運転条件が変更された場合でも、代表セグメントの補正環境温度から各従属セグメントの補正環境温度を容易に算出することができるため、各対象点に関する局所熱流束の算出処理の負荷が軽減される。

[0028] 上記の態様において、前記プロセッサは、さらに前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度に基づき、前記対象点に関する対象点温度を算出するとよい。

[0029] この態様によれば、測定を必要とすることなく対象点温度を取得することができる。

[0030] 上記の態様において、記憶装置（32）を更に備え、前記プロセッサは、さらに、前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流束を算出し、前記実平均熱流束と前記局所熱流束との熱流束比を算出し、当該熱流束比を前記記憶装置に記憶させるとよい。

[0031] この態様によれば、実平均熱流束と局所熱流束との熱流束比の利用が容易となる。

[0032] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記記憶装置に記憶された前記熱流束比を取得し、前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流束を算出し、前記熱流束比と、前記実平均熱流束とに基づいて、前記局

所熱流束を取得するとよい。

[0033] この態様によれば、過去に取得された熱流束比を利用することにより、局所熱流束の算出処理の負荷が軽減される。特に、加熱管の対象点温度の測定が不要となり、環境温度の取得やその補正も不要となるという利点がある。

[0034] 上記の態様において、記憶装置をさらに備え、前記プロセッサは、前記加熱炉の運転条件と、当該運転条件における前記環境温度とを前記記憶装置に記憶させ、前記記憶装置に記憶された前記運転条件を入力とし、前記環境温度を出力する機械学習モデルを構築するとよい。

[0035] この態様によれば、過去の加熱炉の運転条件および当該運転条件における環境温度に基づき構築された機械学習モデルを用いて、現在の運転条件（または計画された運転条件）からそれに対応する環境温度を精度良く取得することができる。

[0036] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記加熱炉の新たな運転条件を前記機械学習モデルに入力することにより、前記環境温度を取得し、前記取得された環境温度と、対象物の外表面における対象点温度とに基づいて、局所熱流束を算出するとよい。

[0037] この態様によれば、機械学習モデルによって取得された環境温度に基づき、局所熱流束を精度良く算出することができる。

[0038] 上記の態様において、前記運転条件は、前記加熱炉の燃焼条件と、前記加熱炉内のバーナの稼働条件とを含むとよい。

[0039] この態様によれば、適切な運転条件を用いて環境温度（延いては局所熱流束）を精度良く取得することができる。

[0040] 上記の態様において、前記温度センサは、波長分布型の放射温度計を含むとよい。

[0041] この態様によれば、測定対象に対して非接触の測定であっても、対象点温度を精度良く取得することができる。

[0042] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記局所熱流束の分布を可視化した画像を生成するとよい。

- [0043] この態様によれば、ユーザは、局所熱流束の分布を可視化した画像に基づき、加熱炉内における種々の現象（例えば、コーキングや膜沸騰の発生）を容易に確認することができる。
- [0044] 上記の態様において、前記加熱管は、1以上のセグメント（ $G_1 - G_9$ ）及び当該各セグメントに対して設定される複数の対象点を有し、前記プロセッサは、前記推定環境温度を用いてサーモグラフィ（32）によって測定された前記対象物の温度分布を取得するとよい。
- [0045] この態様によれば、サーモグラフィを用いて加熱炉内の対象物の温度を広範囲に取得することが可能となる。
- [0046] 上記の態様において、前記プロセッサは、前記対象物の前記温度分布における温度を、前記対象点温度として取得するとよい。
- [0047] この態様によれば、対象物の対象点の設定の自由度が広がる。また、対象物の広範囲において対象点温度を容易に取得することができるという利点もある。
- [0048] 上記課題を解決するために本発明のある態様は、上記熱流束取得装置を含む熱流束取得システムであって、前記温度センサに含まれる波長分布型の放射温度計（23）と、前記環境温度を取得するためのサーモグラフィ（22）と、を含む構成とする。
- [0049] この態様によれば、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得することができる。
- [0050] 上記課題を解決するために本発明のある態様は、加熱炉（2）内における対象物（12）の熱流束を取得するための熱流束取得方法であって、コンピュータ（4）が、前記対象物の外表面における対象点について温度センサ（12）によって測定された対象点温度を取得し、前記対象点に対応する環境温度を取得し、前記対象点温度およびそれに対応する前記環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出する構成とする。
- [0051] この態様によれば、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得することができる。

発明の効果

[0052] 以上の態様によれば、加熱炉内における対象物の局所熱流束を容易に取得することができる。

図面の簡単な説明

[0053] [図1]実施形態に係る熱流束取得システム1の全体構成図

[図2]熱流束取得装置4のブロック図

[図3]加熱炉2内の構成例を示す模式図

[図4]熱流束取得装置4による熱流束取得処理の流れを示すフロー図

[図5]図4に示した熱流束取得処理の第1変形例を示すフロー図

[図6]図4に示した熱流束取得処理の第2変形例を示すフロー図

発明を実施するための形態

[0054] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態に係る加熱炉の熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法について説明する。

[0055] 図1に示すように、熱流束取得システム1は、加熱炉2に関する各種情報や測定データを取得するための現場設備3を含む。また、熱流束取得システム1は、加熱炉2内における対象物の熱流束を取得するための熱流束取得装置4を含む。現場設備3および熱流束取得装置4は、LAN (Local Area Network) やインターネット等の通信ネットワーク5を介して互いに通信可能である。ただし、現場設備3および熱流束取得装置4は、通信ケーブルによって直接接続されてもよい。

[0056] 加熱炉2は、プラント設備として用いられる公知の構成を有する。ここでは、加熱炉2は、管式加熱炉であるが、それ以外の他の形態を有してよい。ケーシング11内（すなわち、加熱炉2内）には、被加熱流体が流れる加熱管12と、バーナを含む燃焼装置13とが設けられる。加熱管12は、円管によって構成されるが、それ以外の他の形態を有してもよい。加熱管12は、燃焼装置13の火炎または燃焼ガスの熱によって加熱される。加熱炉2内には、被加熱流体を加熱（または予熱）する上部エリア14と、上部エリア14において加熱された被加熱流体を加熱する下部エリア15とが設けられ

る。また、図示は省略するが、ケーシング 11 の適所（例えば、側壁）には、加熱炉 2 内を観察するための複数の覗き窓が設けられる。

[0057] 本実施形態では、加熱炉 2 内における熱流束の取得対象（すなわち、対象物）として、主として放射伝熱（すなわち、輻射伝熱）によって加熱される加熱管 12 を例に説明する。ただし、そのような熱流束の取得対象は、加熱管 12 に限らず、加熱炉 2 内の他の構成物（例えば、ケーシング 11 の内壁）であってもよい。また例えば、スラブ加熱用の加熱炉内におけるスラブを熱流束の取得対象としてもよい。

[0058] 現場設備 3 は、被加熱流体用の計測機器 21、サーモグラフィ 22、二色温度計 23（温度センサの一例）、及び端末装置 24 を含む。

[0059] 被加熱流体用の計測機器 21 は、加熱管 12 の適所（例えば、加熱管 12 における被加熱流体の入口、出口、及び中間部）に付設される。計測機器 21 には、被加熱流体の温度、流量、及び圧力をそれぞれ測定するための温度計、流量計、及び圧力計などが含まれ得る。

[0060] サーモグラフィ 22 は、公知の構成を有し、加熱炉 2 内の加熱管 12 から放射される赤外線に基づき、所定の測定領域内における加熱管 12 の外表面温度を非接触で測定する。サーモグラフィ 22 による測定は、加熱炉 2 の覗き窓を介して行われる。加熱管 12 における複数の測定領域を同時に測定するために、複数のサーモグラフィ 22 が設けられてもよい。

[0061] 二色温度計 23 は、公知の構成を有し、互いに異なる 2 つの測定波長に基づき、加熱管 12 の外表面における所定の部位（以下、対象点という。）の温度を（以下、対象点温度という。）非接触で測定する。二色温度計 23 による測定は、サーモグラフィ 22 と同様に覗き窓を介して行われる。加熱管 12 における複数の対象点を同時に測定するために、複数の二色温度計 23 が設けられてもよい。なお、加熱炉 2 の対象点温度の測定は、二色温度計 23 に限らず、他の波長分布型の放射温度計によって行われてもよい。場合によっては、加熱炉 2 の対象点温度の測定は、加熱炉 2 内に予め設置された公知の温度計（例えば、熱電対）によって行われてもよい。

[0062] 端末装置 24 は、加熱炉 2 に関して測定された種々の測定データを収集する。そのような測定データには、被加熱流体用の計測機器 21、サーモグラフィ 22、及び二色温度計 23 によって測定されたデータが含まれる。さらに、測定データには、それらの測定されたデータを用いて所定の演算処理を行うことによって得られたデータ（すなわち、間接的に測定されたデータ）が含まれ得る。端末装置 24 は、通信ネットワーク 5 を介して熱流束取得装置 4 と通信可能に接続され、収集した測定データを熱流束取得装置 4 に対して適宜送信する。また、端末装置 24 は、加熱炉 2 のスペックデータを記憶し、そのデータを熱流束取得装置 4 に対して送信することができる。加熱炉 2 のスペックデータには、熱流束取得装置 4 による熱流束の取得のための演算処理に必要とされるデータ（例えば、加熱管 12 の物性値、サイズ、位置などに関するデータ）が含まれる。端末装置 24 は、加熱炉 2 の動作を制御するための制御装置として用いられてもよい。

[0063] 端末装置 24 は、公知のハードウェアを備えたコンピュータから構成される。端末装置 24 は、1 以上のプロセッサ、メモリ、ディスプレイ、入力機器、ネットワークインタフェース、及びストレージ等の公知のハードウェアを適宜備える。端末装置 24 の機能の少なくとも一部は、プロセッサが所定の制御プログラムを実行することにより実現可能である。なお、熱流束取得システム 1 では、上述の端末装置 24 の機能の少なくとも一部を、複数のコンピュータが協働することにより実現してもよい。

[0064] なお、端末装置 24 として、熱流束取得システム 1 のユーザ（例えば、加熱炉 2 のオペレータや管理者）が携帯する通信機能を有するタブレット PC やスマートフォンなどのモバイルデバイスが用いられてもよい。また、端末装置 24 の機能の少なくとも一部（例えば、測定データを熱流束取得装置 4 に送信する機能）を、計測機器 21、サーモグラフィ 22、及び二色温度計 23 が有してもよい。

[0065] 次に、熱流束取得装置 4 の詳細について説明する。

[0066] 図 2 に示すように、熱流束取得装置 4 は、制御部 31、記憶部 32、及び

通信部 33 を有する。

[0067] 制御部 31 において、データ取得部 41 は、通信部 33 を介して端末装置 24 から受信した加熱炉 2 に関する測定データやスペックデータ等を取得する。計測機器 21 によって得られた測定データおよび加熱炉 2 のスペックデータは、加熱炉データ 51 として記憶部 32 に記憶される。サーモグラフィ 22 及び二色温度計 23 によって得られた加熱管 12 の温度に関する測定データは、加熱管温度データ 52 として記憶部 32 に記憶される。サーモグラフィ 22 によって得られた環境温度（すなわち、加熱炉 2 内における加熱管 12 の周囲の温度）に関する測定データは、環境温度データ 53 として記憶部 32 に記憶される。加熱炉 2 内では、加熱管 12 の部位の位置（例えば、燃焼装置 13 の火炎との相対位置）に応じて、対応する環境温度が異なる。なお、後述するように、環境温度は、サーモグラフィ 22 によって間接的に測定される（すなわち、測定された他のデータに基づき算出または推定される）。

[0068] なお、加熱炉データ 51 には、加熱炉 2 内における位置データが含まれる。そのような位置データには、例えば、加熱管 12 の各対象点の位置に対応するグローバル座標のデータが含まれ得る。サーモグラフィ 22 や二色温度計 23 による測定点の位置についてもグローバル座標によって定める（すなわち、測定された温度等をグローバル座標に対応づける）ことができる。ただし、加熱炉 2 内における位置データとしては、加熱炉 2 について独自に設定された座標のデータが用いられてもよい。

[0069] 熱流束算出部 42 は、加熱管温度データ 52（ここでは、各対象点の対象点温度）および環境温度データ 53（ここでは、各対象点に対応する環境温度）に基づき、加熱管 12 の対象点における局所熱流束（推定局所熱流束の一例）を算出する。また、後述するように、熱流束算出部 42 は、補正された環境温度に基づき局所熱流束を算出してもよい。さらに、熱流束算出部 42 は、複数の対象点における局所熱流束に基づき、加熱管 12 の全体に関する平均的な熱流束（以下、推定平均熱流束という。）を算出することができ

る。ただし、推定平均熱流束は、必ずしも加熱管 1 2 の全体に関する熱流束である必要はなく、加熱管 1 2 の所定の区域（例えば、後述するセグメント $G_1 - G_9$ ）に関する熱流束であってもよい。

[0070] なお、熱流束算出部 4 2 は、推定平均熱流束の代わりに、或いは推定平均熱流束と共に、複数の対象点における入熱量に基づき、加熱管 1 2 の全体への入熱量（以下、推定平均入熱量という。）を算出してもよい。

[0071] また、熱流束算出部 4 2 は、加熱管 1 2 に流入する被加熱流体の熱量および加熱管 1 2 から流出する被加熱流体の熱量（すなわち、加熱管 1 2 を流れた被加熱流体への入熱量）に基づき、加熱管 1 2 の全体に関する平均的な熱流束（以下、実平均熱流束という。）を算出することができる。実平均熱流束は、必ずしも加熱管 1 2 の全体の熱流束である必要はなく、加熱管 1 2 の所定の区域（例えば、後述するセグメント $G_1 - G_9$ ）に関する熱流束であってもよい。

[0072] なお、熱流束算出部 4 2 は、実平均熱流束の代わりに、或いは実平均熱流束と共に、加熱管 1 2 の全体を流れた被加熱流体への入熱量から、加熱管 1 2 の全体への入熱量（以下、実平均入熱量という。）を算出または推定してもよい。また、複数の対象点を含む加熱管 1 2 の各区域（例えば、後述するセグメント $G_1 - G_9$ ）を流れた被加熱流体への入熱量の和から、実平均入熱量を算出または推定してもよい。

[0073] 熱流束算出部 4 2 によって算出された局所熱流束、推定平均熱流束、推定平均入熱量と、実平均熱流束、及び実平均入熱量等に関するデータは、熱流束データ 5 4 として記憶部 3 2 に記憶される。

[0074] 後に詳述するように、熱流束算出部 4 2 は、実平均熱流束と各対象点における局所熱流束との熱流束比をそれぞれ算出し、熱流束データ 5 4 として記憶部 3 2 に蓄積することができる。これにより、熱流束算出部 4 2 は、運転条件が変更された場合であっても、過去に算出された熱流束比のデータと、実平均熱流束とに基づいて局所熱流束を算出することができる。熱流束比のデータは、熱流束データ 5 4 の一部として記憶部 3 2 に記憶される。

[0075] 環境温度補正部 4 3 は、端末装置 2 4 から受信する環境温度を、推定平均熱流束および実平均熱流束に基づき補正することにより補正環境温度を取得する。環境温度補正部 4 3 によって算出された補正環境温度のデータは、環境温度データ 5 3 として記憶部 3 2 に記憶される。より詳細には、環境温度補正部 4 3 によって補正環境温度が算出されると、既に記憶部 3 2 に記憶されている環境温度は、その補正環境温度によって更新される。なお、環境温度補正部 4 3 は、端末装置 2 4 から受信する環境温度に代えて、予め記憶部 3 2 に記憶された環境温度の初期値を補正することにより補正環境温度を取得してもよい。

[0076] 熱流束分布生成部 4 4 は、熱流束算出部 4 2 によって算出された局所熱流束のデータに基づき、加熱管 1 2 の複数の対象点における局所熱流束の分布を配色（すなわち、色変化）によって可視化した画像（以下、熱流束可視化画像という。）を生成する。熱流束可視化画像は、端末装置 2 4 に送信され、端末装置 2 4 のディスプレイに表示される。これにより、ユーザは、熱流束可視化画像に基づき、加熱炉 2 内における種々の現象（例えば、加熱管 1 2 におけるコーキングや膜沸騰の発生）を容易に確認することができる。熱流束分布生成部 4 4 によって生成された熱流束可視化画像に関するデータは、熱流束画像データ 5 5 として記憶部 3 2 に記憶される。

[0077] なお、熱流束分布生成部 4 4 による熱流束可視化画像の生成では、より多くの対象点における局所熱流束が用いられることが好ましい。そこで、制御部 3 1 は、補正環境温度を用いて補正されたサーモグラフィ 2 2 の温度測定データ（すなわち、所定の測定領域内における加熱管 1 2 の温度分布）を取得し、当該温度分布における温度を、対象点温度として取得することができる。これにより、制御部 3 1 は、サーモグラフィ 2 2 の測定によって取得された対象点温度と、それらに対応する環境温度に基づき、より多くの部位（二色温度計 2 3 によって測定される対象点以外の加熱管 1 2 の外表面における部位）について局所熱流束を算出することが可能となる。

[0078] 制御部 3 1 は、上記のような構成により、加熱炉 2 内における加熱管 1 2

の熱流束を取得するための処理（以下、熱流束取得処理という。）を実行することができる。

[0079] 記憶部 32 は、上述のように熱流束取得装置 4 による熱流束取得処理に必要なデータや情報を記憶するためのストレージ等のハードウェア（記憶装置の一例）によって構成され得る。

[0080] 通信部 33 は、通信ネットワーク 5 を介して熱流束取得装置 4 が端末装置 24 等と通信を行うためのアンテナや通信回路等を含むハードウェアによって構成され得る。制御部 31 は、通信部 33 による端末装置 24 等との通信を制御する通信制御部としても機能し得る。

[0081] 熱流束取得装置 4 は、公知のハードウェアを備えたサーバなどのコンピュータから構成される。熱流束取得装置 4 は、1 以上のプロセッサ、メモリ、ディスプレイ、入力機器、ネットワークインタフェース、及びストレージ等の公知のハードウェアを適宜備える。制御部 31 における各部 41－44 の機能の少なくとも一部は、プロセッサが所定の制御プログラムを実行することにより実現可能である。なお、熱流束取得システム 1 では、上述の熱流束取得装置 4 の機能の少なくとも一部を、複数のコンピュータが協働することにより実現してもよい。また、熱流束取得装置 4 の機能の少なくとも一部を、端末装置 24 が有してもよい。

[0082] 次に、熱流束取得システム 1 による熱流束取得方法の詳細について、図 3 に示した加熱炉 2 内の模式図に基づき説明する。

[0083] 図 3 に示すように、加熱炉 2 内には、加熱管 12 が配置される 9 つのエリア A1－A9 が設定されている。より厳密には、加熱管 12 は、立体的なスペースに配置されるが、ここでは説明の便宜上、加熱炉 2 の一方向側（例えば、覗き窓側）から観察される平面的な矩形のエリア A1－A9 に配置されるものとする。加熱管 12 は、加熱炉 2 内を左右に往復しつつ上方から下方に向けて延在する。被加熱流体は、加熱管 12 の入口 12A から流入し、加熱管 12 を流れて加熱された後、加熱管 12 の出口 12B から流出する。加熱管 12 及びそれを流れる被加熱流体は、下方に配置されたバーナの火炎ま

たは排ガスによって加熱される。

[0084] 図3では、エリアA₁－A₉における加熱管12の部位（以下、それぞれセグメントG₁－G₉という。）の外表面積（すなわち、外周面の表面積）は、それぞれS₁－S₉に設定されている。また、加熱管12のセグメントG₁－G₉にそれぞれ対応するエリアA₁－A₉の環境温度は、それぞれT_{B1}－T_{B9}に設定されている。また、セグメントG₁－G₉には、各セグメントG₁－G₉が長手方向に複数分割されることによって、それぞれに対して複数のサブセグメントが設定され得る。図3では、サブセグメントの一例として、エリアA₁におけるセグメントG₁に対して設定された8つのサブセグメントG₁₋₁－G₁₋₈を示している。加熱管12の対象点P₁₋₁－P₁₋₈は、例えば、サブセグメントG₁₋₁－G₁₋₈の代表位置（例えば、長手方向の中央）に設定され得る。また、対象点P₁₋₁－P₁₋₈の対象点温度T_{R1-1}－T_{R1-8}は、サブセグメントG₁₋₁－G₁₋₈の代表温度となる。他のエリアA₂－A₉についても、エリアA₁と同様にそれぞれ対象点やサブセグメントが設定される。

[0085] なお、加熱炉2に関して設定されるエリア、セグメント、及びサブセグメントの数やサイズ（すなわち、範囲）については、図3に示すものに限定されず、種々の変更が可能である。また、サブセグメントは省略されてもよい。

[0086] 図4に示すように、熱流束取得装置4による熱流束取得処理では、まず、エリアA₁において熱流束の取得対象となる各対象点P₁₋₁－P₁₋₈について、それぞれ二色温度計23によって測定された対象点温度T_{R1-1}－T_{R1-8}が取得される（ST101）。

[0087] 次に、熱流束取得装置4は、各対象点P₁₋₁－P₁₋₈について、後述するサーモグラフィ22による測定時のチューニングによって得られた環境温度T_{B1}（推定環境温度の一例）を取得する（ST102）。

[0088] その後、熱流束取得装置4は、各対象点P₁₋₁－P₁₋₈について、対象点温度T_{R1-1}－T_{R1-8}および環境温度T_{B1}に基づき、それぞれの局所熱流束q₁₋₂－q₁₋₈を算出する（ST103）。例えば、対象点P₁₋₁における局所

熱流束 q_{1-1} [W/m^2]は、次の式 (1) から求めることができる。

$$q_{1-1} = \varepsilon \cdot \sigma (T_{B1}^4 - T_{R1-1}^4) \quad \dots (1)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

T_{R1-1} : 加熱管 1 2 の対象点 P_{1-1} における外表面温度 [K]

T_{B1} : エリア A 1 の環境温度 [K]

ε : 加熱管 1 2 の放射率

σ : ステファンボルツマン定数 (5.67×10^{-8} [$W/(m^2 \cdot K^4)$])

[0089] なお、他の対象点 $P_{1-2} - P_{1-8}$ における局所熱流束 $q_{1-2} - q_{1-8}$ [W/m^2]についても、対象点 P_{1-1} における局所熱流束 q_{1-1} と同様に求めることができる。

[0090] 熱流束取得装置 4 は、他のエリア A 2 - A 9 について、上述のステップ S T 1 0 1 - S T 1 0 3 と同様の処理を繰り返し実行することによって、加熱管 1 2 の全体にわたって局所熱流束を取得することができる。

[0091] ここで、上記ステップ S T 1 0 2 に関する環境温度の取得について説明する。加熱管 1 2 の温度の測定においてサーモグラフィ 2 2 に入射する赤外線

$$E(T) = \varepsilon \cdot E(T_R) + (1 - \varepsilon) \cdot E(T_B) \quad \dots (2)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

$E(T_R)$: 加熱管 1 2 からの放射エネルギー [J]

$E(T_B)$: 加熱管 1 2 の外表面での環境反射エネルギー [J]

T : サーモグラフィ 2 2 による温度指示値 [K]

T_R : 加熱管 1 2 の外表面温度 (すなわち、真温度) [K]

T_B : 環境温度 [K]

ε : 加熱管 1 2 の放射率

[0092] 加熱管 1 2 の外表面温度 T_R としては、二色温度計 2 3 の測定値を用いることができる。二色温度計 2 3 (すなわち、波長分布型の放射温度計) では、放射率及び環境条件に依存しないため、サーモグラフィ 2 2 の測定に比べてより精度の高い測定が可能である。

[0093] ユーザは、サーモグラフィ 22 による測定時のチューニングにおいて、或る対象点におけるサーモグラフィ 22 による温度指示値 T を、同じ対象点における二色温度計 23 の測定値 T_{Rm} とそれぞれ一致させるように、環境温度 T_B を設定することができる。

[0094] 例えば、エリア A1 については、次の式 (3) で示す誤差 e を最小とする環境温度 T_{B1} が設定される。

[0095] [数1]

$$e = \sum_{j=1}^8 (T_{1-j} - T_{R1-j})^2 \quad \cdots (3)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

T_{1-j} : サーモグラフィ 22 による対象点の温度指示値[K]

T_{R1-j} : 対象点温度

ただし、 j ($=1, 2, \cdots, 8$) はサブセグメント番号である。

[0096] なお、他のエリア A2 - A9 の環境温度 $T_{B2} - T_{B9}$ についても、エリア A1 の環境温度 T_{B1} と同様に設定することができる。設定された環境温度 $T_{B1} - T_{B9}$ は、端末装置 24 に入力され、熱流束取得装置 4 に送信される。

[0097] このようなサーモグラフィ 22 による測定時のチューニングは、ユーザの操作によらず自動で行われてもよい。その場合、サーモグラフィ 22 は、例えば、二色温度計 23 との近距離通信により、二色温度計 23 によって測定された対象点温度 T_{Ri-j} を取得することができる。

[0098] 上記ステップ S T 103 において求められた局所熱流束 (例えば、局所熱流束 $q_{1-2} - q_{1-8}$ [W/m²]) は、円管からなる加熱管 12 の周方向の所定部分における熱流束値である。一方、加熱管 12 においては、燃焼装置 13 の火炎との相対位置によって、周方向における熱流束や温度が異なる場合があり得る。

[0099] 管の周方向の熱流束分布は、例えば、API (American Petroleum Institute) 530 にしたがって、管径、管スペース、及び配置に基づき定めることが

できる。同様に、ST103で求められる局所熱流束に対する比率を適切に設定することにより、加熱管12における周方向の各部における熱流束（すなわち、3次元的な熱流束分布）を取得することができる。また、所定のサブセグメントにおける周方向の平均局所熱流束は、例えば、火炎面比率 γ_1 を用いて求めることができ、エリアA1のサブセグメント G_{1-1} における火炎面比率を γ_1 とすると、平均局所熱流束 $q_{1-1\text{ave}}$ は、 q_{1-1}/γ_1 として求めることができる。

[0100] 次に、図5を参照して、図4に示した熱流束取得処理の第1変形例について説明する。なお、第1変形例において、以下で特に言及しない事項については、上述の熱流束取得方法と同様である。

[0101] 第1変形例による熱流束取得処理では、図5に示すように、図4のステップST101-ST103とそれぞれ同様のステップST201-ST203が実行される。これにより、加熱管12の全体にわたって（すなわち、エリアA1-A9における）局所熱流束が取得される。

[0102] 次に、熱流束取得装置4は、推定平均熱流束を算出する（ST204）。この推定平均熱流束の算出では、熱流束取得装置4は、まず、エリアA1について、各サブセグメント $G_{1-1}-G_{1-8}$ の外表面積 $S_{1-1}-S_{1-8}$ を、それぞれ対応する対象点 $P_{1-1}-P_{1-8}$ に関する局所熱流束 $q_{1-1}-q_{1-8}$ の重みとして用いた加重平均に基づき、セグメントG1に関する推定セグメント平均熱流束 $q_{1\text{total}}$ を算出する。ここで、 $q_{1-1}-q_{1-8}$ の値としては、上述の周方向の平均局所熱流束を用いるとよい。

[0103] より詳細には、セグメントG1に関する推定セグメント平均熱流束 $q_{1\text{total}}$ [W/m²]は、次の式（4）から求めることができる。

[0104] [数2]

$$q_{1\text{total}} = \frac{\sum_{j=1}^8 q_{1-j} \cdot S_{1-j}}{\sum_{j=1}^8 S_{1-j}} \quad \dots (4)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

q_{1-j} : 対象点 P_{1-j} に関する局所熱流束 [W/m^2]

S_{1-j} : サブセグメント G_{1-j} の外表面積 [m^2]

ただし、 j ($=1, 2, \dots, 8$) はサブセグメント番号である。

[0105] なお、エリア $A_2 - A_9$ におけるセグメント $G_2 - G_9$ に関する推定セグメント平均熱流束 $q_{2\text{total}} - q_{9\text{total}}$ についても、セグメント G_1 に関する推定セグメント平均熱流束 $q_{1\text{total}}$ と同様に求めることができる。

[0106] 熱流束取得装置 4 は、それら推定セグメント平均熱流束 $q_{1\text{total}} - q_{9\text{total}}$ の平均値を加熱管 12 の全体における推定平均熱流束 q_{AVG} として算出することができる。

[0107] 次に、熱流束取得装置 4 は、実平均熱流束を算出する (ST205)。熱流束取得装置 4 は、次の式 (5) から実平均熱流束 q_{REAL} [W/m^2] を算出することができる。

$$q_{\text{REAL}} = M_F \cdot (H_{\text{OUT}} - H_{\text{IN}}) / S_{\text{ALL}} \quad \dots (5)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

M_F : 被加熱流体の質量流量 [kg/s]

H_{IN} : 加熱管 12 に流入する被加熱流体の比エンタルピー [J/kg]

H_{OUT} : 加熱管 12 から流出する被加熱流体の比エンタルピー [J/kg]

S_{ALL} : 加熱管 12 の全体の表面積 ($= S_1 + S_2 + \dots + S_9$) [m^2]

[0108] 次に、熱流束取得装置 4 は、式 (4) の推定平均熱流束 q_{AVG} を式 (5) の実平均熱流束 q_{REAL} に一致させるように、ST202 で取得した環境温度を補正する (ST206)。換言すれば、熱流束取得装置 4 は、推定平均熱流束 q_{AVG} を実平均熱流束 q_{REAL} に一致させるように、補正環境温度を算出する。

[0109] さらに、熱流束取得装置 4 は、算出した補正環境温度に基づき、ステップ ST202 と同様に、補正された局所熱流束を算出する (ST207)。

[0110] このようにして、熱流束取得装置 4 は、加熱管 12 の全体にわたって局所

熱流束を取得することができる。

[0111] <別法 1>

次に、熱流束取得処理の一部を改変した別法 1 について説明する。別法 1 について以下で特に言及しない事項については、上述の熱流束取得処理におけるステップ S T 2 0 1 – S T 2 0 7 と同様である。

[0112] 別法 1 では、熱流束取得装置 4 は、上記ステップ S T 2 0 2 において、セグメント $G_1 - G_9$ の何れか 1 つ（ここでは、セグメント G_1 ）を代表セグメントとし、他のセグメント（ここでは、セグメント $G_2 - G_9$ ）を従属セグメントとして設定することができる。さらに、熱流束取得装置 4 は、従属セグメント $G_2 - G_9$ にそれぞれ対応する環境温度 $T_{B2} - T_{B9}$ と、代表セグメント G_1 に対応する環境温度 T_{B1} との温度比をそれぞれ設定することができる。設定された各温度比は、環境温度データ 5 3 の一部として記憶部 3 2 に記憶される。

[0113] 例えば、従属セグメント G_2 に対応する環境温度 T_{B2} と、代表セグメント G_1 に対応する環境温度 T_{B1} との温度比 α_{B2} は、次の式（6）のように、それらの 4 乗の比として表すことができる。

$$T_{B2}^4 = \alpha_{B2} \cdot T_{B1}^4 \quad \dots (6)$$

[0114] なお、他の従属セグメント $G_3 - G_9$ にそれぞれ対応する環境温度 $T_{B3} - T_{B9}$ と環境温度 T_{B1} との温度比 $\alpha_{B3} - \alpha_{B9}$ についても、従属セグメント G_2 に関する温度比 α_{B2} と同様に表すことができる。

[0115] これにより、熱流束取得装置 4 は、それらの温度比 $\alpha_{B2} - \alpha_{B9}$ を取得した後は、例えば、加熱炉 2 の運転条件が変更された場合でも、代表セグメント G_1 の環境温度 T_{B1} を取得（または算出）することにより、当該環境温度 T_{B1} から従属セグメント $G_2 - G_9$ の環境温度 $T_{B2} - T_{B9}$ を新たに算出することができる。これにより、熱流束取得装置 4 による環境温度（延いては、局所熱流束）の算出処理の負荷が軽減される。

[0116] 上記のような環境温度比を用いて、運転条件が変更された場合の局所熱流束を算出するには、代表セグメントの環境温度と、運転データから求められ

た環境温度比とから従属セグメントの環境温度を算出し、さらに、全セグメントの各対象点における対象点温度と、環境温度とを用いて、各対象点における熱流束を取得する。

[0117] この場合、対象点温度は、温度センサによって測定された値でもよいし、別途計算により算出される値であってもよい。

[0118] 次に、対象点温度の値を算出する方法について説明する。

[0119] 対象点（セグメント i 、サブセグメント j ）における局所熱流束 q_{i-j} は、当該対象点における加熱管 12 の外表面温度（すなわち、対象点温度） T_{Ri-j} [K] 及び内表面温度 T_{Ii-j} [K] ならびに熱抵抗 R_{i-j} [$m^2 \cdot K/W$] を用いて次の式（7）のように表すことができる。

$$[0120] \quad q_{i-j} = (1/R_{i-j}) \cdot (T_{Ri-j} - T_{Ii-j}) \quad \dots (7)$$

ここで、 $R_{i-j} = R_{Wi-j} + R_{Ri-j} + R_{Ii-j} + (1/h_{i-j})$ であり、各記号は以下に示す通りである。なお、 h_{i-j} は、API 530 に基づき取得することができる。

R_{Wi-j} : 加熱管の熱抵抗 = t_{Wi-j} / λ [$m^2 \cdot K/W$]

（ただし、 t_{Wi-j} : 管の肉厚[m]、 λ : 管の熱伝導率 [$W/(m \cdot K)$]

R_{Ri-j} : 加熱管の外表面に付着したスケールの熱抵抗 [$m^2 \cdot K/W$]

R_{Ii-j} : 加熱管の内表面に付着したスケールの熱抵抗 [$m^2 \cdot K/W$]

h_{i-j} : 管内流の熱伝達率 [$W/(m \cdot K)$]

[0121] 内表面温度 T_{Ii-j} [K] は、対象点における管内の被加熱流体の温度に相当し、次の式（8）のように表すことができる。

[0122] [数3]

$$T_{Ii-j} = \frac{\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^8 q_{i-j} \cdot S_{i-j} \cdot \frac{1}{\gamma}}{M_F \cdot Cp} + T_{first} \quad \dots (8)$$

ここで、各記号は以下に示す通りである。

q_{i-j} : 局所熱流束 [W/m^2]

T_{first} : 被加熱流体の流入時温度（初期温度）[K]

S_{i-j} : 対象点までの管路の表面積 [m^2]

γ : 火炎面比率

M_F : 被加熱流体の質量流量[kg/s]

C_p : 比熱[J/(kg · K)]

[0123] 上記の式(1)、(7)に基づき、加熱管12の入口付近の対象点 P_{1-1} ($i = 1, j = 1$) について、次の式(9)が成り立つ。ただし、 $T_{11-1} = T_{first}$ とする。

[0124] [数4]

$$\sigma \varepsilon (T_{B1}^4 - T_{R1-1}^4) = \frac{1}{R_{1-1}} \cdot (T_{R1-1} - T_{first}) \quad \dots (9)$$

[0125] これにより、式(9)から T_{R1-1} (加熱管12の対象点 P_{1-1} における外表面温度 [K]) を算出することができる。また、他の対象点の外表面についても対象点 P_{1-1} と同様に算出することができる。

[0126] <別法2>

次に、熱流束取得処理の一部を改変した別法2について説明する。別法2について以下で特に言及しない事項については、上述の熱流束取得処理(図5参照)と同様である。

[0127] 別法2では、過去の加熱炉2の運転条件および各運転条件における各セグメント $G_1 - G_9$ の環境温度 $T_{B1} - T_{B9}$ のデータが準備され、熱流束取得装置4は、それらのデータを教師データとして機械学習モデルを構築する。構築された機械学習モデルは、熱流束取得装置4の記憶部32に格納される。特に限定されないが、機械学習モデルには、例えばニューラルネットワーク等の公知のアルゴリズムを用いることができる。

[0128] 加熱炉2の運転条件には、加熱炉2における燃焼条件(例えば、燃料組成、燃料圧力、燃料流量など)が含まれる。また、運転条件には、各バーナの稼働条件(燃料の供給(噴射)圧力、空気量など)や、炉内条件(炉内温度、火炎形状・サイズ)などが含まれ得る。

[0129] 熱流束取得装置4では、加熱炉2の現在の運転条件(または計画された運転条件)のデータを取得することにより、機械学習モデルを用いて各セグメ

ントG1ーG9の環境温度 T_{B1} ー T_{B9} のデータを推定することができる。

[0130] なお、別法2では、機械学習モデルは、熱流束取得装置4と通信ネットワーク5を介して通信可能なサーバ等に格納されてもよい。また、加熱炉2における過去の運転条件および各運転条件における各局所熱流束のデータが準備され、熱流束取得装置4が、それらのデータを教師データとして機械学習モデルを構築してもよい。また、熱流束取得装置4は、他の情報処理装置等のコンピュータによって構築された機械学習モデルを利用することもできる。

[0131] 以上で具体的な実施形態の説明を終えるが、本発明は上記実施形態や変形例に限定されることなく、幅広く変形実施することができる。上述の実施形態に示したプロジェクトの熱流束取得装置、熱流束取得システム、及び熱流束取得方法の各構成要素は、必ずしも全てが必須ではなく、少なくとも当業者であれば本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて適宜取捨選択することが可能である。

符号の説明

- [0132] 1 : 熱流束取得システム
2 : 加熱炉
3 : 現場設備
4 : 熱流束取得装置
5 : 通信ネットワーク
11 : ケーシング
12 : 加熱管
12A : 入口
12B : 出口
13 : 燃焼装置
14 : 上部エリア
15 : 下部エリア
21 : 計測機器

- 2 2 : サーモグラフィ
- 2 3 : 二色温度計
- 2 4 : 端末装置
- 3 1 : 制御部
- 3 2 : 記憶部
- 3 3 : 通信部
- 4 1 : データ取得部
- 4 2 : 熱流束算出部
- 4 3 : 環境温度補正部
- 4 4 : 熱流束分布生成部
- 5 1 : 加熱炉データ
- 5 2 : 加熱管温度データ
- 5 3 : 環境温度データ
- 5 4 : 熱流束データ
- 5 5 : 熱流束画像データ
- A 1 – A 9 : エリア
- G₁ – G₉ : セグメント
- G₁₋₁ – G₁₋₈ : サブセグメント

請求の範囲

- [請求項1] 加熱炉内における対象物の熱流束を取得する熱流束取得装置であって、
- 前記対象物の熱流束を取得するための処理を実行するプロセッサを備え、
- 前記プロセッサは、
- 前記対象物の外表面における対象点について温度センサによって測定された対象点温度を取得し、
- 前記対象点に対応する環境温度を取得し、
- 前記対象点温度およびそれに対応する前記環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出する、
- 熱流束取得装置。
- [請求項2] 前記局所熱流束は、前記環境温度に基づいて算出される前記対象物に向けて放射されるエネルギーと、前記対象点温度から算出される前記対象物から放射されるエネルギーとに基づいて算出される、請求項1に記載の熱流束取得装置。
- [請求項3] 前記加熱炉は、管式加熱炉であり、
- 前記対象物は、前記管式加熱炉の加熱管を含む、請求項1に記載の熱流束取得装置。
- [請求項4] 前記環境温度は、サーモグラフィによる前記対象点の測定において、前記対応する対象点温度に基づき推定される推定環境温度である、請求項1から請求項3の何れか1項に記載の熱流束取得装置。
- [請求項5] 前記環境温度は、演算によって求められる補正環境温度であり、
- 前記加熱管は、1以上のセグメント及び当該各セグメントに対してそれぞれ設定される複数の対象点を有し、
- 前記補正環境温度は、少なくとも、前記各対象点について前記温度センサによってそれぞれ測定された対象点温度と、前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体

の熱量とに基づき算出される、請求項3に記載の熱流束取得装置。

[請求項6]

前記プロセッサは、

前記各対象点温度を取得し、

前記各セグメントにそれぞれ対応する炉内の推定環境温度であって、前記対応する各対象点温度に基づき推定される、推定環境温度を取得し、

前記各対象点温度およびそれに対応する前記推定環境温度に基づき、前記各対象点に関する推定局所熱流束を算出し、

前記推定局所熱流束に基づき、前記各セグメントに関する推定セグメント平均熱流束又は推定セグメント入熱量を算出すると共に、当該推定セグメント平均熱流束又は推定セグメント入熱量に基づいて、前記加熱管に関する推定平均熱流束又は推定入熱量を取得し、

前記加熱管に流入する前記被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流束又は実入熱量を算出し、

前記推定平均熱流束を前記実平均熱流束に一致させるように、又は前記推定入熱量を前記実入熱量に一致させるように、前記推定環境温度を補正することによって前記補正環境温度を算出する、請求項5に記載の熱流束取得装置。

[請求項7]

前記各セグメントには、前記各対象点にそれぞれ対応して設定されたサブセグメントが含まれ、

前記プロセッサは、

前記各サブセグメントの表面積を、それぞれ対応する前記対象点に関する前記局所熱流束の重みとして用いた加重平均に基づき、前記各セグメントに関する前記推定セグメント平均熱流束を算出する、請求項6に記載の熱流束取得装置。

[請求項8]

前記加熱管は、1つの代表セグメントおよび当該代表セグメント以外の従属セグメントを含む複数のセグメントを有し、

前記従属セグメントの前記推定環境温度は、前記代表セグメントの前記推定環境温度に対する温度比を用いて表され、

前記プロセッサは、

前記推定平均熱流束を前記実平均熱流束に一致させるように、又は前記推定入熱量を前記実入熱量に一致させるように、前記代表セグメントの補正環境温度を算出し、

前記代表セグメントの前記補正環境温度と前記温度比とに基づいて、前記従属セグメントの補正環境温度を算出する、請求項 7 に記載の熱流束取得装置。

[請求項9] 前記従属セグメントの前記推定環境温度と、前記代表セグメントの前記推定環境温度との前記温度比を記憶する記憶装置を更に備える、請求項 8 に記載の熱流束取得装置。

[請求項10] 前記プロセッサは、
前記各対象点温度を取得し、
前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度を取得し、
前記対象点温度ならびにそれに対応する前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出する、請求項 9 に記載の熱流束取得装置。

[請求項11] 前記プロセッサは、さらに前記代表セグメントの前記補正環境温度および前記従属セグメントの前記補正環境温度に基づき、前記対象点に関する対象点温度を算出する、請求項 10 に記載の熱流束取得装置。

[請求項12] 記憶装置を更に備え、
前記プロセッサは、さらに、
前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流

束を算出し、

前記実平均熱流束と前記局所熱流束との熱流束比を算出し、当該熱流束比を前記記憶装置に記憶させる、請求項 3 に記載の熱流束取得装置。

[請求項13]

前記プロセッサは、

前記記憶装置に記憶された前記熱流束比を取得し、

前記加熱管に流入する被加熱流体の熱量および前記加熱管から流出する前記被加熱流体の熱量に基づき、前記加熱管に関する実平均熱流束を算出し、

前記熱流束比と、前記実平均熱流束とに基づいて、前記局所熱流束を取得する、請求項 1 2 に記載の熱流束取得装置。

[請求項14]

記憶装置をさらに備え、

前記プロセッサは、

前記加熱炉の運転条件と、当該運転条件における前記環境温度とを前記記憶装置に記憶させ、

前記記憶装置に記憶された前記運転条件を入力とし、前記環境温度を出力する機械学習モデルを構築する、

請求項 1 に記載の熱流束取得装置。

[請求項15]

前記プロセッサは、

前記加熱炉の新たな運転条件を前記機械学習モデルに入力することにより、前記環境温度を取得し、

前記取得された環境温度と、対象物の外表面における対象点温度とに基づいて、局所熱流束を算出する、

請求項 1 4 に記載の熱流束取得装置。

[請求項16]

前記運転条件は、前記加熱炉の燃焼条件と、前記加熱炉内のバーナの稼働条件とを含む、請求項 1 4 又は 1 5 に記載の熱流束取得装置。

[請求項17]

前記温度センサは、波長分布型の放射温度計を含む、請求項 1 に記

載の熱流束取得装置。

[請求項18]

前記プロセッサは、

前記局所熱流束の分布を可視化した画像を生成する、請求項1に記載の熱流束取得装置。

[請求項19]

前記加熱管は、1以上のセグメント及び当該各セグメントに対して設定される複数の対象点を有し、

前記プロセッサは、前記推定環境温度を用いてサーモグラフィによって測定された前記対象物の温度分布を取得する、請求項6に記載の熱流束取得装置。

[請求項20]

前記プロセッサは、

前記対象物の前記温度分布における温度を、前記対象点温度として取得する、請求項19に記載の熱流束取得装置。

[請求項21]

請求項1に記載の熱流束取得装置を含む熱流束取得システムであって、

前記温度センサに含まれる波長分布型の放射温度計と、

前記環境温度を取得するためのサーモグラフィと、を含む、熱流束取得システム。

[請求項22]

加熱炉内における対象物の熱流束を取得するための熱流束取得方法であって、

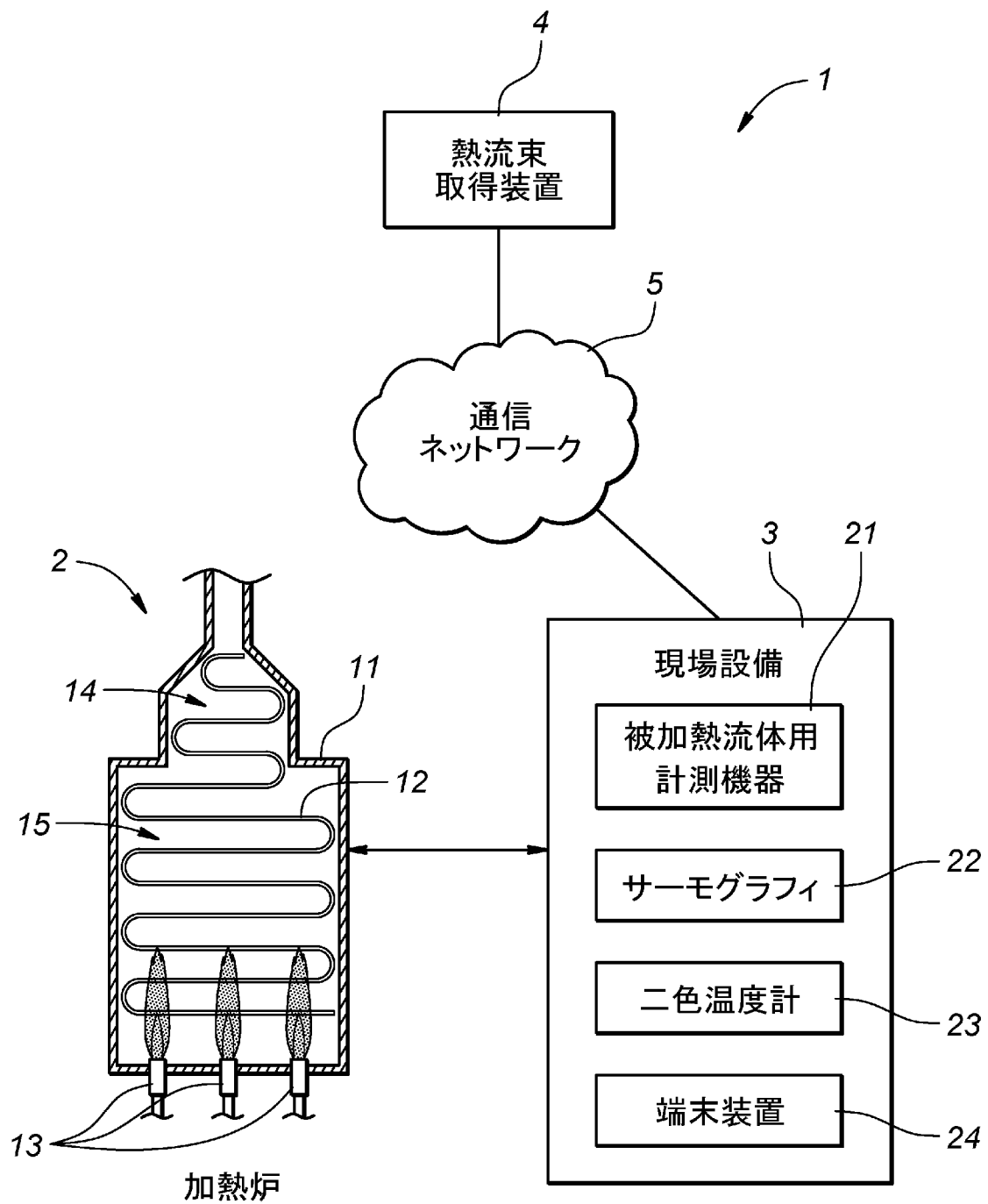
コンピュータが、

前記対象物の外表面における対象点について温度センサによって測定された対象点温度を取得し、

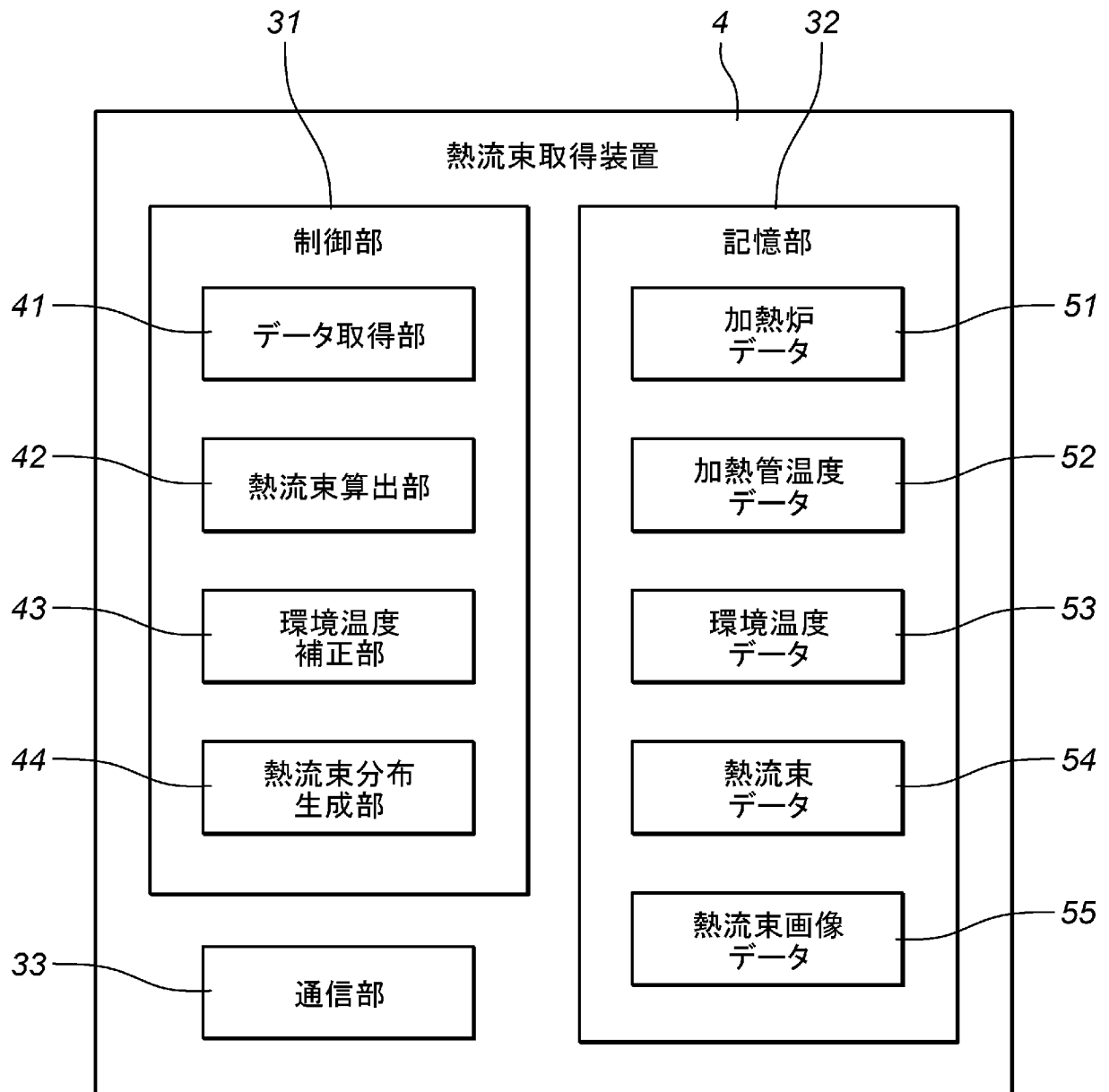
前記対象点に対応する環境温度を取得し、

前記対象点温度およびそれに対応する前記環境温度に基づき、前記対象点に関する局所熱流束を算出する、熱流束取得方法。

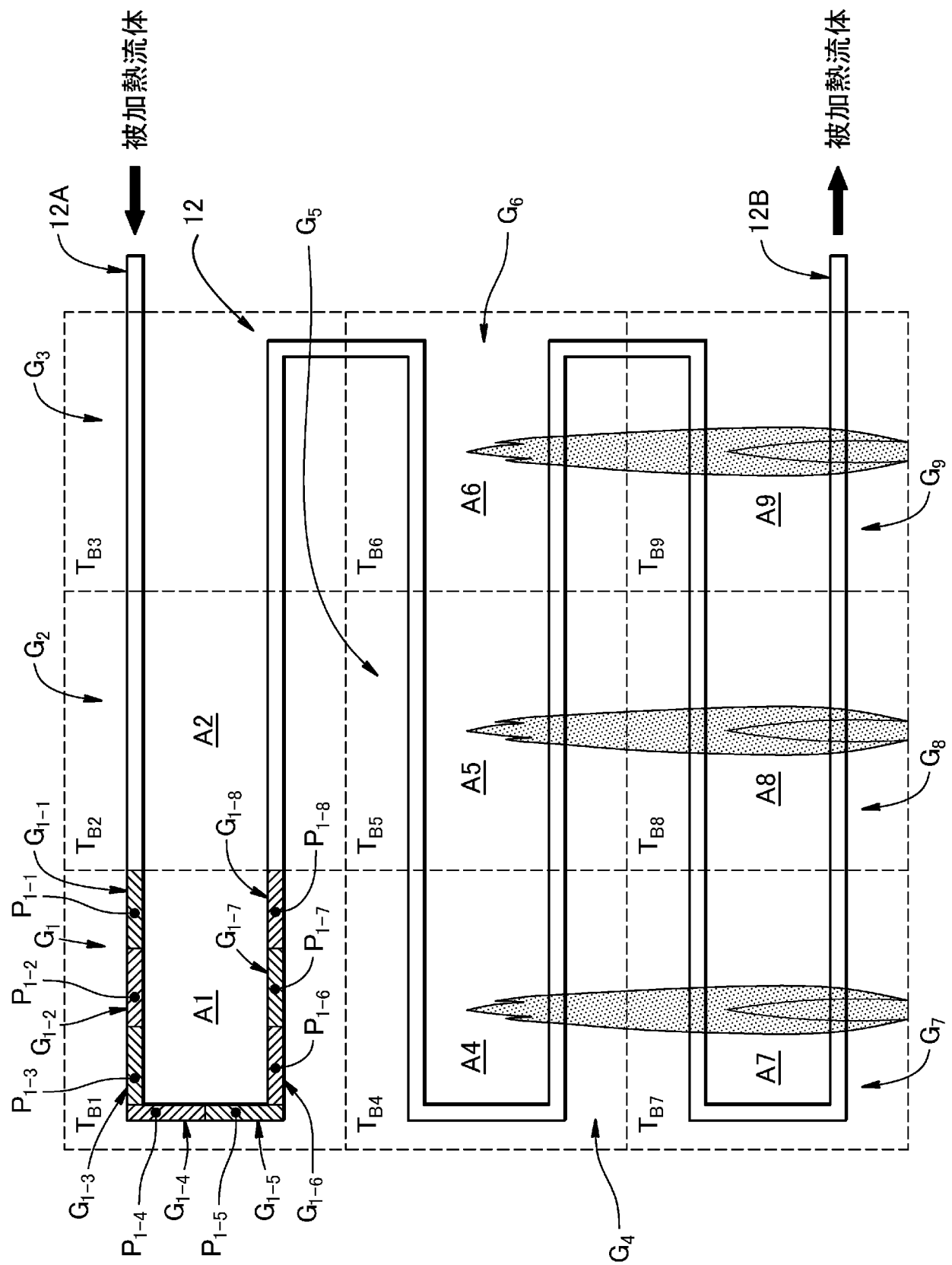
[図1]



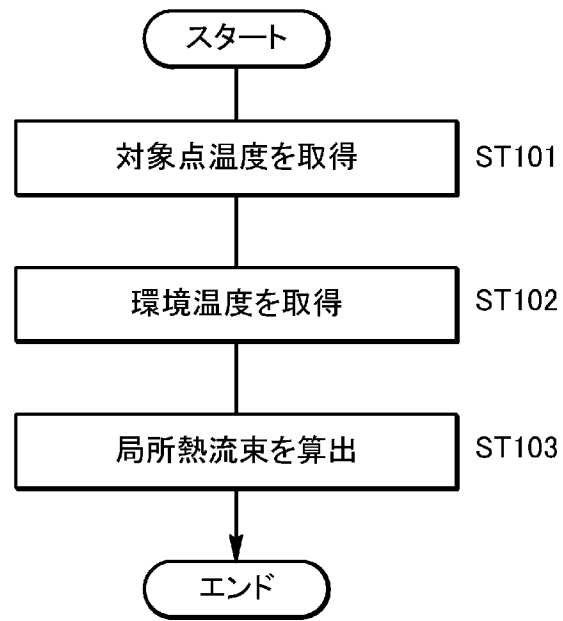
[図2]



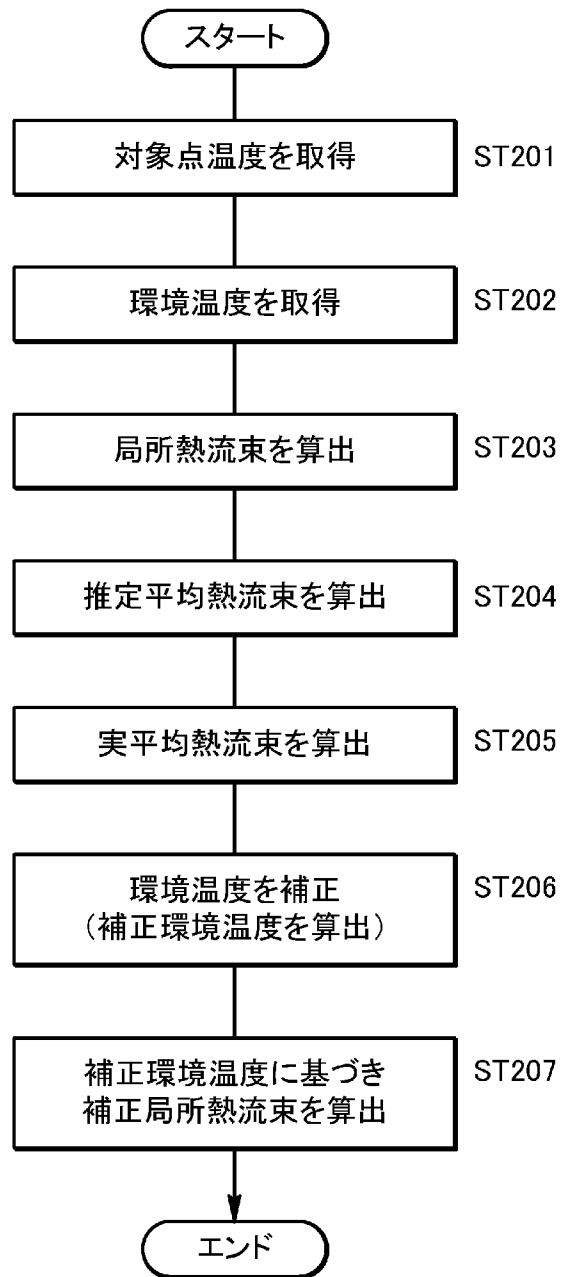
[図3]



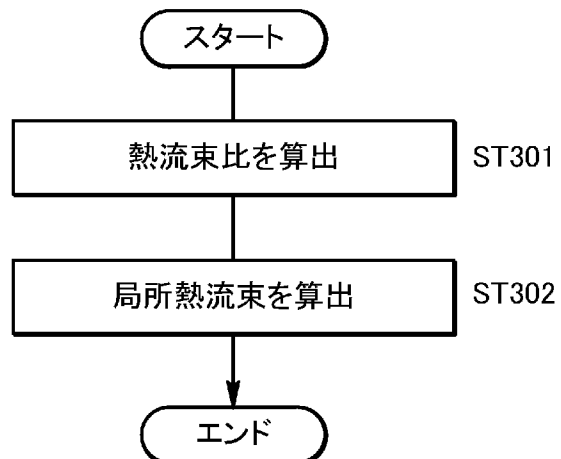
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/005898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01K 17/00**(2006.01)i

FI: G01K17/00 Z

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)

G01K1/00-19/00; G01J5/00-5/90; G01N25/00-25/72

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.
X	JP 2004-27314 A (JFE STEEL CORPORATION) 29 January 2004 (2004-01-29) paragraphs [0029]-[0034], fig. 1, 2	1-2, 17, 21-22
A		3-16, 18-20
A	JP 11-108773 A (NKK CORP.) 23 April 1999 (1999-04-23)	1-22
A	JP 2021-196116 A (MITSUBISHI POWER, LTD.) 27 December 2021 (2021-12-27)	1-22
A	JP 2015-117921 A (IHI CORP.) 25 June 2015 (2015-06-25)	1-22



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

11 April 2023

Date of mailing of the international search report

09 May 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/JP2023/005898

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2004-27314	A	29 January 2004	(Family: none)	
JP	11-108773	A	23 April 1999	(Family: none)	
JP	2021-196116	A	27 December 2021	WO 2021/256245	A1
JP	2015-117921	A	25 June 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01K 17/00(2006.01)i FI: G01K17/00 Z		
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）） G01K1/00-19/00; G01J5/00-5/90; G01N25/00-25/72		
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
X	JP 2004-27314 A (J F E スチール株式会社) 29.01.2004 (2004 - 01 - 29)	1-2, 17, 21-22
A	段落[0029]-[0034], 図1, 2	3-16, 18-20
A	JP 11-108773 A (日本鋼管株式会社) 23.04.1999 (1999 - 04 - 23)	1-22
A	JP 2021-196116 A (三菱パワー株式会社) 27.12.2021 (2021 - 12 - 27)	1-22
A	JP 2015-117921 A (株式会社 I H I) 25.06.2015 (2015 - 06 - 25)	1-22
☐ 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 11.04.2023		国際調査報告の発送日 09.05.2023
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） 平野 真樹 2F 4631 電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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/JP2023/005898

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2004-27314	A	29.01.2004	(ファミリーなし)	
JP	11-108773	A	23.04.1999	(ファミリーなし)	
JP	2021-196116	A	27.12.2021	WO 2021/256245	A1
JP	2015-117921	A	25.06.2015	(ファミリーなし)	