

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-142113

(P2017-142113A)

(43) 公開日 平成29年8月17日(2017.8.17)

(51) Int.Cl.
G01N 25/18 (2006.01)F1
G01N 25/18テーマコード (参考)
2G040

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2016-22585 (P2016-22585)
(22) 出願日 平成28年2月9日 (2016.2.9)(71) 出願人 000006666
アズビル株式会社
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(74) 代理人 100079108
弁理士 稲葉 良幸
(74) 代理人 100109346
弁理士 大貫 敏史
(74) 代理人 100117189
弁理士 江口 昭彦
(74) 代理人 100134120
弁理士 内藤 和彦
(72) 発明者 武藤 裕行
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 ア
ズビル株式会社内

最終頁に続く

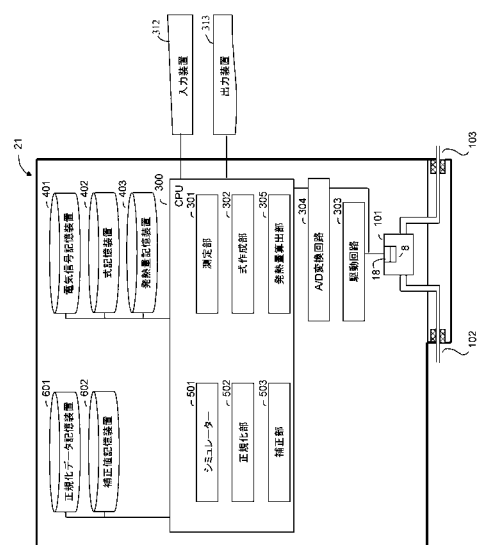
(54) 【発明の名称】 発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ガスの発熱量の算出式を容易に作成可能な発熱量算出式作成システムを提供する。

【解決手段】 測定部301は、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子からの電気信号の算出値と、校正ガスに接する発熱素子からの校正用電気信号の算出値及び実測値と、基準ガスに接する発熱素子からの基準電気信号の算出値及び実測値と、を保存する電気信号記憶装置401と、基準電気信号の算出値と実測値が同じになるよう、電気信号の算出値、校正用電気信号の算出値及び実測値、並びに基準電気信号の算出値及び実測値を正規化する正規化部502と、校正用電気信号と基準電気信号の正規化実測値の差を、校正用電気信号と基準電気信号の正規化算出値の差で割って補正係数を算出し、当該補正係数を用いて電気信号の補正算出値を算出する補正部503と、を備える、発熱量算出式作成システム。

【選択図】 図15



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の発熱温度のそれぞれにおいて、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子からの電気信号の算出値と、校正ガスに接する前記発熱素子からの校正用電気信号の算出値及び実測値と、基準ガスに接する前記発熱素子からの基準電気信号の算出値及び実測値と、を保存する電気信号記憶装置と、

前記基準電気信号の算出値と実測値が同じになるよう、前記電気信号の算出値、前記校正用電気信号の算出値及び実測値、並びに前記基準電気信号の算出値及び実測値を正規化する正規化部と、

前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記校正用電気信号と前記基準電気信号の正規化実測値の差を、前記校正用電気信号と前記基準電気信号の正規化算出値の差で割って補正係数を算出し、当該補正係数を用いて前記電気信号の補正算出値を算出する補正部と、

前記複数の混合ガスの発熱量の値、及び前記電気信号の補正算出値に少なくとも基づいて、前記複数の発熱温度における前記発熱素子からの電気信号を独立変数とし、前記発熱量を従属変数とする発熱量算出式を作成する式作成部と、

を備える、発熱量算出式作成システム。

【請求項 2】

前記補正部が、前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記電気信号と前記基準電気信号の正規化算出値の差に前記補正係数を掛け、さらに前記基準電気信号の正規化実測値を足した値に、前記基準電気信号の実測値を掛けて、前記電気信号の補正算出値を算出する、請求項 1 に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 3】

前記正規化部が、前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記電気信号の算出値を前記基準電気信号の算出値で割り、前記校正用電気信号の算出値を前記基準電気信号の算出値で割り、前記校正用電気信号の実測値を前記基準電気信号の実測値で割る、請求項 1 又は 2 に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 4】

前記複数の混合ガス、前記校正ガス、及び前記基準ガスのそれぞれが、前記複数の発熱温度で発熱する発熱素子に接した状態をシミュレーションし、前記電気信号記憶装置に保存される前記電気信号、前記校正用電気信号、及び前記基準電気信号の算出値を算出するシミュレーターを更に備える、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 5】

前記基準ガスがメタンガスである、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 6】

前記校正ガスがスパンガスである、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 7】

前記複数の混合ガスのそれぞれが天然ガスである、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 8】

前記発熱素子の複数の発熱温度の数が、少なくとも、前記複数の混合ガスのそれぞれが含むガス成分の数から 1 を引いた数である、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 9】

前記発熱素子の複数の発熱温度の数が 5 である、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 10】

前記式作成部が、サポートベクトル回帰を用いて前記発熱量算出式を作成する、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式作成システム。

【請求項 1 1】

複数の発熱温度のそれぞれにおいて、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子からの電気信号の算出値と、校正ガスに接する前記発熱素子からの校正用電気信号の算出値及び実測値と、基準ガスに接する前記発熱素子からの基準電気信号の算出値及び実測値と、を用意することと、

前記基準電気信号の算出値と実測値が同じになるよう、前記電気信号の算出値、前記校正用電気信号の算出値及び実測値、並びに前記基準電気信号の算出値及び実測値を正規化することと、

前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記校正用電気信号と前記基準電気信号の正規化実測値の差を、前記校正用電気信号と前記基準電気信号の正規化算出値の差で割って補正係数を算出し、当該補正係数を用いて前記電気信号の補正算出値を算出することと、

前記複数の混合ガスの発熱量の値、及び前記電気信号の補正算出値に少なくとも基づいて、前記複数の発熱温度における前記発熱素子からの電気信号を独立変数とし、前記発熱量を従属変数とする発熱量算出式を作成することと、

を備える、発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 2】

前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記電気信号と前記基準電気信号の正規化算出値の差に前記補正係数を掛け、さらに前記基準電気信号の正規化実測値を足した値に、前記基準電気信号の実測値を掛けて、前記電気信号の補正算出値を算出する、請求項 1 1 に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 3】

前記正規化することにおいて、前記複数の発熱温度のそれぞれにおいて、前記電気信号の算出値を前記基準電気信号の算出値で割り、前記校正用電気信号の算出値を前記基準電気信号の算出値で割り、前記校正用電気信号の実測値を前記基準電気信号の実測値で割る、請求項 1 1 又は 1 2 に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 4】

前記複数の混合ガス、前記校正ガス、及び前記基準ガスのそれぞれが、前記複数の発熱温度で発熱する発熱素子に接した状態をシミュレーションし、前記電気信号、前記校正用電気信号、及び前記基準電気信号の算出値を算出することを更に備える、請求項 1 1 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 5】

前記基準ガスがメタンガスである、請求項 1 1 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 6】

前記校正ガスがスパンガスである、請求項 1 1 から 1 5 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 7】

前記複数の混合ガスのそれぞれが天然ガスである、請求項 1 1 から 1 6 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 8】

前記発熱素子の複数の発熱温度の数が、少なくとも、前記複数の混合ガスのそれぞれが含むガス成分の数から 1 を引いた数である、請求項 1 1 から 1 7 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 1 9】

前記発熱素子の複数の発熱温度の数が 5 である、請求項 1 1 から 1 8 のいずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【請求項 2 0】

サポートベクトル回帰を用いて前記発熱量算出式を作成する、請求項 1 1 から 1 9 のい

10

20

30

40

50

ずれか 1 項に記載の発熱量算出式の作成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はガス検査技術に係り、発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、混合ガスの発熱量を求める際には、高価なガスクロマトグラフィ装置等を用いて混合ガスの成分を分析する必要がある。また、混合ガスの熱伝導率及び混合ガスにおける音速を測定することにより、混合ガスに含まれるメタン (CH_4)、プロパン (C_3H_8)、窒素 (N_2)、及び炭酸ガス (CO_2) の成分比率を算出し、混合ガスの発熱量を求める方法も提案されている (例えば、特許文献 1 参照。)

10

【0003】

しかし、特許文献 1 に開示された方法は、熱伝導率を測定するためのセンサの他に、音速を測定するための高価な音速センサが必要である。そこで、音速センサを用いずに、複数の発熱温度で発熱する発熱素子を用いて、混合ガスの発熱量を求める方法も提案されている (例えば、特許文献 2、3、4 参照。)

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0004】

【特許文献 1】特表 2004-514138 号公報

【特許文献 2】特許第 5075986 号公報

【特許文献 3】特許第 5781968 号公報

【特許文献 4】特開 2013-205109 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 2、3、4 に開示された方法は、予め発熱量が既知の複数の混合ガスを用いて、ガスの発熱量の算出式を作成する必要がある。そのため、複数の混合ガスを用意することが煩雑な場合がある。そこで、本発明は、ガスの発熱量の算出式を容易に作成可能な発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法を提供することを目的の一つとする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の態様によれば、(a) 複数の発熱温度のそれぞれにおいて、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子からの電気信号の算出値と、校正ガスに接する発熱素子からの校正用電気信号の算出値及び実測値と、基準ガスに接する発熱素子からの基準電気信号の算出値及び実測値と、を保存する電気信号記憶装置と、(b) 基準電気信号の算出値と実測値が同じになるよう、電気信号の算出値、校正用電気信号の算出値及び実測値、並びに基準電気信号の算出値及び実測値を正規化する正規化部と、(c) 複数の発熱温度のそれぞれにおいて、校正用電気信号と基準電気信号の正規化実測値の差を、校正用電気信号と基準電気信号の正規化算出値の差で割って補正係数を算出し、当該補正係数を用いて電気信号の補正算出値を算出する補正部と、(d) 複数の混合ガスの発熱量の値、及び電気信号の補正算出値に少なくとも基づいて、複数の発熱温度における発熱素子からの電気信号を独立変数とし、発熱量を従属変数とする発熱量算出式を作成する式作成部と、を備える、発熱量算出式作成システムが提供される。

40

【0007】

上記の発熱量算出式作成システムにおいて、補正部が、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、電気信号と基準電気信号の正規化算出値の差に補正係数を掛け、さらに基準電気信

50

号の正規化実測値を足した値に、基準電気信号の実測値を掛けて、電気信号の補正算出値を算出してもよい。

【0008】

上記の発熱量算出式作成システムにおいて、正規化部が、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、電気信号の算出値を基準電気信号の算出値で割り、校正用電気信号の算出値を基準電気信号の算出値で割り、校正用電気信号の実測値を基準電気信号の実測値で割ってもよい。

【0009】

上記の発熱量算出式作成システムが、複数の混合ガス、校正ガス、及び基準ガスのそれぞれが、複数の発熱温度で発熱する発熱素子に接した状態をシミュレーションし、電気信号記憶装置に保存される電気信号、校正用電気信号、及び基準電気信号の算出値を算出するシミュレーターをさらに備えていてもよい。

10

【0010】

上記の発熱量算出式作成システムにおいて、基準ガスがメタンガスであってもよい。校正ガスがスパンガスであってもよい。複数の混合ガスのそれぞれが天然ガスであってもよい。

【0011】

上記の発熱量算出式作成システムにおいて、発熱素子の複数の発熱温度の数が、少なくとも、複数の混合ガスのそれぞれが含むガス成分の数から1を引いた数であってもよい。発熱素子の複数の発熱温度の数が5であってもよい。式作成部が、サポートベクトル回帰を用いて発熱量算出式を作成してもよい。

20

【0012】

また、本発明の態様によれば、(a) 複数の発熱温度のそれぞれにおいて、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子からの電気信号の算出値と、校正ガスに接する発熱素子からの校正用電気信号の算出値及び実測値と、基準ガスに接する発熱素子からの基準電気信号の算出値及び実測値と、を用意することと、(b) 基準電気信号の算出値と実測値が同じになるよう、電気信号の算出値、校正用電気信号の算出値及び実測値、並びに基準電気信号の算出値及び実測値を正規化することと、(c) 複数の発熱温度のそれぞれにおいて、校正用電気信号と基準電気信号の正規化実測値の差を、校正用電気信号と基準電気信号の正規化算出値の差で割って補正係数を算出し、当該補正係数を用いて電気信号の補正算出値を算出することと、(d) 複数の混合ガスの発熱量の値、及び電気信号の補正算出値に少なくとも基づいて、複数の発熱温度における発熱素子からの電気信号を独立変数とし、発熱量を従属変数とする発熱量算出式を作成することと、を備える、発熱量算出式の作成方法が提供される。

30

【0013】

上記の発熱量算出式の作成方法において、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、電気信号と基準電気信号の正規化算出値の差に補正係数を掛け、さらに基準電気信号の正規化実測値を足した値に、基準電気信号の実測値を掛けて、電気信号の補正算出値を算出してもよい。

【0014】

上記の発熱量算出式の作成方法における正規化することにおいて、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、電気信号の算出値を基準電気信号の算出値で割り、校正用電気信号の算出値を基準電気信号の算出値で割り、校正用電気信号の実測値を基準電気信号の実測値で割ってもよい。

40

【0015】

上記の発熱量算出式の作成方法が、複数の混合ガス、校正ガス、及び基準ガスのそれぞれが、複数の発熱温度で発熱する発熱素子に接した状態をシミュレーションし、電気信号、校正用電気信号、及び基準電気信号の算出値を算出することをさらに備えていてもよい。

【0016】

50

上記の発熱量算出式の作成方法において、基準ガスがメタンガスであってもよい。校正ガスがスパンガスであってもよい。複数の混合ガスのそれぞれが天然ガスであってもよい。

【0017】

上記の発熱量算出式の作成方法において、発熱素子の複数の発熱温度の数が、少なくとも、複数の混合ガスのそれぞれが含むガス成分の数から1を引いた数であってもよい。発熱素子の複数の発熱温度の数が5であってもよい。サポートベクトル回帰を用いて発熱量算出式を作成してもよい。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、ガスの発熱量の算出式を容易に作成可能な発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法を提供可能である。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施の形態に係る第1のマイクロチップの斜視図である。

【図2】本発明の実施の形態に係る第1のマイクロチップの図1のI-I方向から見た断面図である。

【図3】本発明の実施の形態に係る第2のマイクロチップの斜視図である。

【図4】本発明の実施の形態に係る第2のマイクロチップの図3のV-V方向から見た断面図である。

【図5】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、放熱係数と、の関係を示すグラフである。

【図6】本発明の実施の形態に係る発熱素子の温度と、ガスの放熱係数の関係を示すグラフである。

【図7】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の抵抗と、の関係を示す第1のグラフである。

【図8】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の抵抗と、の関係を示す第2のグラフである。

【図9】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の抵抗と、の関係を示す第3のグラフである。

【図10】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の抵抗と、の関係を示す第4のグラフである。

【図11】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の駆動電力と、の関係を示す第1のグラフである。

【図12】本発明の実施の形態に係る熱伝導率と、発熱素子の駆動電力と、の関係を示す第2のグラフである。

【図13】本発明の実施の形態の参考例に係る発熱量算出式作成システムの模式図である。

【図14】本発明の実施の形態の参考例に係る発熱量算出式の作成方法を示すフローチャートである。

【図15】本発明の実施の形態に係る発熱量算出式作成システムの模式図である。

【図16】本発明の実施の形態に係る電気信号の算出値のテーブルの模式図である。

【図17】本発明の実施の形態に係る電気信号の実測値のテーブルの模式図である。

【図18】本発明の実施の形態に係る電気信号の正規化算出値のテーブルの模式図である。

【図19】本発明の実施の形態に係る電気信号の正規化実測値のテーブルの模式図である。

【図20】本発明の実施の形態に係る補正係数のテーブルの模式図である。

【図21】本発明の実施の形態に係る電気信号の補正算出値のテーブルの模式図である。

【図22】本発明の参考例に係る発熱量の算出誤差を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 2 3】本発明の実施例 1 に係る電気信号の正規化実測値と正規化算出値とを示すグラフである。

【図 2 4】本発明の実施例 1 に係る電気信号の正規化実測値と補正された正規化算出値とを示すグラフである。

【図 2 5】本発明の実施例 2 に係る複数の混合ガスについて算出された発熱量を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下に本発明の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号で表している。但し、図面は模式的なものである。したがって、具体的な寸法等は以下の説明を照らし合わせて判断するべきものである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

【0021】

まず、斜視図である図 1、及び I I - I I 方向から見た断面図である図 2 を参照して、実施の形態に係る発熱量算出式作成システムに用いられるマイクロチップ 8 について説明する。マイクロチップ 8 は、キャビティ 6 6 が設けられた基板 6 0、及び基板 6 0 上にキャビティ 6 6 を覆うように配置された絶縁膜 6 5 を備える。基板 6 0 の厚みは、例えば 0.5 mm である。また、基板 6 0 の縦横の寸法は、例えばそれぞれ 1.5 mm 程度である。絶縁膜 6 5 のキャビティ 6 6 を覆う部分は、断熱性のダイアフラムをなしている。さらにマイクロチップ 8 は、絶縁膜 6 5 のダイアフラムの部分に設けられた発熱素子 6 1 と、発熱素子 6 1 を挟むように絶縁膜 6 5 のダイアフラムの部分に設けられた第 1 の測温素子 6 2 及び第 2 の測温素子 6 3 と、基板 6 0 上に設けられた保温素子 6 4 と、を備える。

【0022】

ダイアフラムには、複数の孔が設けられている。ダイアフラムに複数の孔を設けることにより、キャビティ 6 6 内のガスの置換が速くなる。あるいは、絶縁膜 6 5 は、図 3、及び I V - I V 方向から見た断面図である図 4 に示すように、キャビティ 6 6 をブリッジ状に覆うように、基板 6 0 上に配置されてもよい。これによっても、キャビティ 6 6 内が露出し、キャビティ 6 6 内のガスの置換が速くなる。

【0023】

図 1 及び図 2 に示す発熱素子 6 1 は、キャビティ 6 6 を覆う絶縁膜 6 5 のダイアフラムの部分の中心に配置されている。発熱素子 6 1 は、例えば抵抗器であり、電力を与えられて発熱し、発熱素子 6 1 に接する雰囲気ガスを加熱する。第 1 の測温素子 6 2 及び第 2 の測温素子 6 3 は、例えば抵抗器等の受動素子等の電子素子であり、雰囲気ガスのガス温度に依存した電気信号を出力する。以下においては、第 1 の測温素子 6 2 の出力信号を利用する例を説明するが、これに限定されず、例えば第 1 の測温素子 6 2 の出力信号及び第 2 の測温素子 6 3 の出力信号の平均値を、測温素子の出力信号として利用してもよい。

【0024】

保温素子 6 4 は、例えば抵抗器であり、電力を与えられて発熱し、基板 6 0 の温度を一定に保つ。基板 6 0 の材料としては、シリコン (Si) 等が使用可能である。絶縁膜 6 5 の材料としては、酸化ケイ素 (SiO₂) 等が使用可能である。キャビティ 6 6 は、異方性エッチング等により形成される。また発熱素子 6 1、第 1 の測温素子 6 2、第 2 の測温素子 6 3、及び保温素子 6 4 のそれぞれの材料には白金 (Pt) 等が使用可能であり、リソグラフィ法等により形成可能である。また、発熱素子 6 1、第 1 の測温素子 6 2、及び第 2 の測温素子 6 3 は、同一の部材からなってもよい。

【0025】

マイクロチップ 8 は、マイクロチップ 8 の底面に配置された断熱部材 1 8 を介して、雰囲気ガスが充填されるチャンバ等の容器に固定される。断熱部材 1 8 を介してマイクロチップ 8 を容器に固定することにより、マイクロチップ 8 の温度が、容器の内壁の温度変動の影響を受けにくくなる。

【0026】

10

20

30

40

50

発熱素子 6 1 には、複数の電圧が段階的に印加される。発熱素子 6 1 に 3 段階の電圧が印加されると、発熱素子 6 1 は、印加電圧に応じて、3 段階の温度で発熱する。あるいは、発熱素子 6 1 に 5 段階の電圧が印加されると、発熱素子 6 1 は、印加電圧に応じて、5 段階の温度で発熱する。以下、第 1 の電圧 V_{L1} を印加された発熱素子 6 1 の温度を T_{H1} 、第 2 の電圧 V_{L2} を印加された発熱素子 6 1 の温度を T_{H2} 、第 3 の電圧 V_{L3} を印加された発熱素子 6 1 の温度を T_{H3} 、第 4 の電圧 V_{L4} を印加された発熱素子 6 1 の温度を T_{H4} 、第 5 の電圧 V_{L5} を印加された発熱素子 6 1 の温度を T_{H5} とする。ただし、段階的に加えられる電圧の数は、これらに限定されない。

【0027】

第 1 の測温素子 6 2 には、第 1 の測温素子 6 2 が自己発熱しない程度の弱い電圧が加えられる。

10

【0028】

発熱素子 6 1 の抵抗値は、発熱素子 6 1 の温度によって変化する。発熱素子 6 1 の温度 T_H と、発熱素子 6 1 の抵抗値 R_H と、の関係は、下記 (1) 式で与えられる。

$$R_H = R_{H-STD} \times [1 + \alpha_H (T_H - T_{H-STD}) + \beta_H (T_H - T_{H-STD})^2] \quad \cdots (1)$$

ここで、 T_{H-STD} は発熱素子 6 1 の標準温度を表し、例えば 20°C である。 R_{H-STD} は標準温度 T_{H-STD} における予め測定された発熱素子 6 1 の抵抗値を表す。 α_H は 1 次の抵抗温度係数を表す。 β_H は 2 次の抵抗温度係数を表す。

【0029】

発熱素子 6 1 の抵抗値 R_H は、発熱素子 6 1 の駆動電力 P_H と、発熱素子 6 1 の通電電流 I_H から、下記 (2) 式で与えられる。

20

$$R_H = P_H / I_H^2 \quad \cdots (2)$$

あるいは発熱素子 6 1 の抵抗値 R_H は、発熱素子 6 1 にかかる電圧 V_H と、発熱素子 6 1 の通電電流 I_H から、下記 (3) 式で与えられる。

$$R_H = V_H / I_H \quad \cdots (3)$$

【0030】

ここで、発熱素子 6 1 の温度 T_H は、発熱素子 6 1 と雰囲気ガスの間が熱的に平衡になったときに安定する。なお、熱的に平衡な状態とは、発熱素子 6 1 の発熱と、発熱素子 6 1 から雰囲気ガスへの放熱と、が釣り合っている状態をいう。下記 (4) 式に示すように、平衡状態における発熱素子 6 1 の駆動電力 P_H を、発熱素子 6 1 の温度 T_H と雰囲気ガスの温度 T_I との差 ΔT_H で割ることにより、雰囲気ガスの放熱係数 M_I が得られる。なお、放熱係数 M_I の単位は、例えば $\text{W}/^\circ\text{C}$ である。

30

$$\begin{aligned} M_I &= P_H / (T_H - T_I) \\ &= P_H / \Delta T_H = (V_H^2 / R_H) / \Delta T_H \quad \cdots (4) \end{aligned}$$

【0031】

上記 (1) 式より、発熱素子 6 1 の温度 T_H は下記 (5) 式で与えられる。

$$T_H = (1 / 2 \beta_H) \times [-\alpha_H + [\alpha_H^2 - 4 \beta_H (1 - R_H / R_{H-STD})]^{1/2}] + T_{H-STD} \quad \cdots (5)$$

したがって、発熱素子 6 1 の温度 T_H と雰囲気ガスの温度 T_I との差 ΔT_H は、下記 (6) 式で与えられる。

40

$$\Delta T_H = (1 / 2 \beta_H) \times [-\alpha_H + [\alpha_H^2 - 4 \beta_H (1 - R_H / R_{H-STD})]^{1/2}] + T_{H-STD} - T_I \quad \cdots (6)$$

【0032】

雰囲気ガスの温度 T_I は、自己発熱しない程度の電力を与えられる第 1 の測温素子 6 2 の温度 T_I に近似する。第 1 の測温素子 6 2 の温度 T_I と、第 1 の測温素子 6 2 の抵抗値 R_I と、の関係は、下記 (7) 式で与えられる。

$$R_I = R_{I-STD} \times [1 + \alpha_I (T_I - T_{I-STD}) + \beta_I (T_I - T_{I-STD})^2] \quad \cdots (7)$$

T_{I-STD} は第 1 の測温素子 6 2 の標準温度を表し、例えば 20°C である。 R_{I-STD} は標準温度 T_{I-STD} における予め測定された第 1 の測温素子 6 2 の抵抗値を表す。 α_I は 1 次の抵抗温度係数を表す。 β_I は 2 次の抵抗温度係数を表す。上記 (7) 式より、第 1 の測温素

50

子 6 2 の温度 T_I は下記 (8) 式で与えられる。

$$T_I = (1 / 2 \beta_I) \times [-\alpha_I + [\alpha_I^2 - 4 \beta_I (1 - R_I / R_{I-STD})]^{1/2}] + T_{I-STD} \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

【0033】

よって、雰囲気ガスの放熱係数 M_I は、下記 (9) 式で与えられる。

$$M_I = P_H / \Delta T_H \\ = P_H / [(1/2 \beta_H) [-\alpha_H + [\alpha_H^2 - 4 \beta_H (1 - R_H / R_{H-STD})]^{1/2}] + T_{H-STD} - (1/2 \beta_I) [-\alpha_I + [\alpha_I^2 - 4 \beta_I (1 - R_I / R_{I-STD})]^{1/2}] - T_{I-STD}] \quad \cdot \cdot \cdot (9)$$

【0034】

発熱素子 6 1 の通電電流 I_H と、駆動電力 P_H 又は電圧 V_H は測定可能であるため、上記 (2) 式又は (3) 式から発熱素子 6 1 の抵抗値 R_H を算出可能である。同様に、第 1 の測温素子 6 2 の抵抗値 R_I も算出可能である。よって、マイクロチップ 8 を用いて、上記 (9) 式から雰囲気ガスの放熱係数 M_I が算出可能である。

【0035】

なお、保温素子 6 4 で基板 6 0 の温度を一定に保つことにより、発熱素子 6 1 が発熱する前のマイクロチップ 8 の近傍の雰囲気ガスの温度が、基板 6 0 の一定の温度と近似する。そのため、発熱素子 6 1 が発熱する前の雰囲気ガスの温度の変動が抑制される。温度変動が一度抑制された雰囲気ガスを発熱素子 6 1 でさらに加熱することにより、より高い精度で放熱係数 M_I を算出することが可能となる。

【0036】

ここで、雰囲気ガスが混合ガスであり、混合ガスが、ガス A、ガス B、ガス C、及びガス D の 4 種類のガス成分からなっているとす。ガス A の体積率 V_A 、ガス B の体積率 V_B 、ガス C の体積率 V_C 、及びガス D の体積率 V_D の総和は、下記 (10) 式で与えられるように、1 である。

$$V_A + V_B + V_C + V_D = 1 \quad \cdot \cdot \cdot (10)$$

【0037】

また、ガス A の単位体積当たりの発熱量を K_A 、ガス B の単位体積当たりの発熱量を K_B 、ガス C の単位体積当たりの発熱量を K_C 、ガス D の単位体積当たりの発熱量を K_D とすると、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、各ガス成分の体積率に、各ガス成分の単位体積当たりの発熱量を乗じたものの総和で与えられる。したがって、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、下記 (11) 式で与えられる。なお、単位体積当たりの発熱量の単位は、例えば MJ/m^3 である。

$$Q = K_A \times V_A + K_B \times V_B + K_C \times V_C + K_D \times V_D \quad \cdot \cdot \cdot (11)$$

【0038】

さらに、ガス A の単位体積当たりの熱伝導率を C_A 、ガス B の単位体積当たりの熱伝導率を C_B 、ガス C の単位体積当たりの熱伝導率を C_C 、ガス D の単位体積当たりの熱伝導率を C_D とすると、混合ガスの単位体積当たりの熱伝導率 C_I は、各ガス成分の体積率に、各ガス成分の単位体積当たりの熱伝導率を乗じたものの総和で与えられる。したがって、混合ガスの単位体積当たりの熱伝導率 C_I は、下記 (12) 式で与えられる。なお、単位体積当たりの熱伝導率の単位は、例えば $W/(mK)$ である。

$$C_I = C_A \times V_A + C_B \times V_B + C_C \times V_C + C_D \times V_D \quad \cdot \cdot \cdot (12)$$

【0039】

図 5 は、発熱素子 6 1 に第 1 の電圧 V_1 、第 1 の電圧 V_1 より大きい第 2 の電圧 V_2 、及び第 2 の電圧 V_2 より大きい第 3 の電圧 V_3 を加えた場合の、熱伝導率と、放熱係数と、の関係を示すグラフである。図 5 に示すように、熱伝導率と、放熱係数と、は、一般に、比例関係にある。したがって、ガス A の放熱係数を M_A 、ガス B の放熱係数を M_B 、ガス C の放熱係数を M_C 、ガス D の放熱係数を M_D とすると、混合ガスの放熱係数 M_I は、各ガス成分の体積率に、各ガス成分の放熱係数を乗じたものの総和で与えられる。よって、混合ガスの放熱係数 M_I は、下記 (13) 式で与えられる。

$$M_I = M_A \times V_A + M_B \times V_B + M_C \times V_C + M_D \times V_D \quad \cdot \cdot \cdot (13)$$

10

20

30

40

50

【0040】

さらに、ガスの放熱係数は発熱素子61の温度 T_H に依存するので、混合ガスの放熱係数 M_I は、発熱素子61の温度 T_H の関数として、下記(14)式で与えられる。

$$M_I(T_H) = M_A(T_H) \times V_A + M_B(T_H) \times V_B + M_C(T_H) \times V_C + M_D(T_H) \times V_D \quad \cdots (14)$$

【0041】

したがって、発熱素子61の温度が T_{H1} のときの混合ガスの放熱係数 $M_{I1}(T_{H1})$ は下記(15)式で与えられる。また、発熱素子61の温度が T_{H2} のときの混合ガスの放熱係数 $M_{I2}(T_{H2})$ は下記(16)式で与えられ、発熱素子61の温度が T_{H3} のときの混合ガスの放熱係数 $M_{I3}(T_{H3})$ は下記(17)式で与えられる。

$$M_{I1}(T_{H1}) = M_A(T_{H1}) \times V_A + M_B(T_{H1}) \times V_B + M_C(T_{H1}) \times V_C + M_D(T_{H1}) \times V_D \quad \cdots (15)$$

$$M_{I2}(T_{H2}) = M_A(T_{H2}) \times V_A + M_B(T_{H2}) \times V_B + M_C(T_{H2}) \times V_C + M_D(T_{H2}) \times V_D \quad \cdots (16)$$

$$M_{I3}(T_{H3}) = M_A(T_{H3}) \times V_A + M_B(T_{H3}) \times V_B + M_C(T_{H3}) \times V_C + M_D(T_{H3}) \times V_D \quad \cdots (17)$$

【0042】

ここで、発熱素子61の温度 T_H に対して各ガス成分の放熱係数 $M_A(T_H)$ 、 $M_B(T_H)$ 、 $M_C(T_H)$ 、 $M_D(T_H)$ が非線形性を有する場合、上記(15)から(17)式は、線形独立な関係を有する。また、発熱素子61の温度 T_H に対して各ガス成分の放熱係数 $M_A(T_H)$ 、 $M_B(T_H)$ 、 $M_C(T_H)$ 、 $M_D(T_H)$ が線形性を有する場合でも、発熱素子61の温度 T_H に対する各ガス成分の放熱係数 $M_A(T_H)$ 、 $M_B(T_H)$ 、 $M_C(T_H)$ 、 $M_D(T_H)$ の変化率が異なる場合は、上記(15)から(17)式は、線形独立な関係を有する。さらに、(15)から(17)式が線形独立な関係を有する場合、(10)及び(15)から(17)式は線形独立な関係を有する。

【0043】

図6は、天然ガスに含まれるメタン(CH_4)、プロパン(C_3H_8)、窒素(N_2)、及び二酸化炭素(CO_2)の放熱係数と、発熱抵抗体である発熱素子61の温度との関係を示すグラフである。発熱素子61の温度に対して、メタン(CH_4)、プロパン(C_3H_8)、窒素(N_2)、及び二酸化炭素(CO_2)のそれぞれのガス成分の放熱係数は線形性を有する。しかし、発熱素子61の温度に対する放熱係数の変化率は、メタン(CH_4)、プロパン(C_3H_8)、窒素(N_2)、及び二酸化炭素(CO_2)のそれぞれで異なる。したがって、混合ガスを構成するガス成分がメタン(CH_4)、プロパン(C_3H_8)、窒素(N_2)、及び二酸化炭素(CO_2)である場合、上記(15)から(17)式は、線形独立な関係を有する。

【0044】

(15)から(17)式中の各ガス成分の放熱係数 $M_A(T_{H1})$ 、 $M_B(T_{H1})$ 、 $M_C(T_{H1})$ 、 $M_D(T_{H1})$ 、 $M_A(T_{H2})$ 、 $M_B(T_{H2})$ 、 $M_C(T_{H2})$ 、 $M_D(T_{H2})$ 、 $M_A(T_{H3})$ 、 $M_B(T_{H3})$ 、 $M_C(T_{H3})$ 、 $M_D(T_{H3})$ の値は、測定等により予め得ることが可能である。したがって、(10)及び(15)から(17)式の連立方程式を解くと、ガスAの体積率 V_A 、ガスBの体積率 V_B 、ガスCの体積率 V_C 、及びガスDの体積率 V_D のそれぞれが、下記(18)から(21)式に示すように、混合ガスの放熱係数 $M_{I1}(T_{H1})$ 、 $M_{I2}(T_{H2})$ 、 $M_{I3}(T_{H3})$ の関数として与えられる。なお、下記(18)から(21)式において、 n を自然数として、 f_n は関数を表す記号である。

$$V_A = f_1[M_{I1}(T_{H1}), M_{I2}(T_{H2}), M_{I3}(T_{H3})] \quad \cdots (18)$$

$$V_B = f_2[M_{I1}(T_{H1}), M_{I2}(T_{H2}), M_{I3}(T_{H3})] \quad \cdots (19)$$

$$V_C = f_3[M_{I1}(T_{H1}), M_{I2}(T_{H2}), M_{I3}(T_{H3})] \quad \cdots (20)$$

$$V_D = f_4[M_{I1}(T_{H1}), M_{I2}(T_{H2}), M_{I3}(T_{H3})] \quad \cdots (21)$$

【0045】

ここで、上記(11)式に(18)から(21)式を代入することにより、下記(22)式が得られる。

$$\begin{aligned}
Q &= K_A \times V_A + K_B \times V_B + K_C \times V_C + K_D \times V_D \\
&= K_A \times f_1 [M_{I1} (T_{H1}), M_{I2} (T_{H2}), M_{I3} (T_{H3})] \\
&\quad + K_B \times f_2 [M_{I1} (T_{H1}), M_{I2} (T_{H2}), M_{I3} (T_{H3})] \\
&\quad + K_C \times f_3 [M_{I1} (T_{H1}), M_{I2} (T_{H2}), M_{I3} (T_{H3})] \\
&\quad + K_D \times f_4 [M_{I1} (T_{H1}), M_{I2} (T_{H2}), M_{I3} (T_{H3})] \quad \dots (22)
\end{aligned}$$

【0046】

上記(22)式に示すように、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、発熱素子61の温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の混合ガスの放熱係数 $M_{I1}(T_{H1})$ 、 $M_{I2}(T_{H2})$ 、 $M_{I3}(T_{H3})$ を変数とする方程式で与えられる。したがって、混合ガスの発熱量 Q は、 g_1 を関数を表す記号として、下記(23)式で与えられる。

$$Q = g_1 [M_{I1} (T_{H1}), M_{I2} (T_{H2}), M_{I3} (T_{H3})] \quad \dots (23)$$

【0047】

よって、ガスA、ガスB、ガスC、及びガスDからなる混合ガスについて、予め上記(23)式を得れば、ガスAの体積率 V_A 、ガスBの体積率 V_B 、ガスCの体積率 V_C 、及びガスDの体積率 V_D が未知の測定対象混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q を容易に算出可能であることを、本発明者らは見出した。具体的には、上記(9)式を用いて、発熱素子61の発熱温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の測定対象混合ガスの放熱係数 $M_{I1}(T_{H1})$ 、 $M_{I2}(T_{H2})$ 、 $M_{I3}(T_{H3})$ を測定し、(23)式に代入することにより、測定対象混合ガスの発熱量 Q を一意に求めることが可能となる。

【0048】

以上説明した方法では、マイクロチップ8の発熱素子61と、第1の測温素子62と、を用いて、測定対象混合ガスの放熱係数 $M_{I1}(T_{H1})$ 、 $M_{I2}(T_{H2})$ 、 $M_{I3}(T_{H3})$ を測定し、発熱量 Q を求める。これに対し、以下の方法によれば、マイクロチップ8の第1の測温素子62を用いることなく、発熱素子61のみを用いて、混合ガスの発熱量 Q を求めることが可能となる。

【0049】

上記(4)式に示すように、ガスの放熱係数 M_I は、発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_H$)に比例する。また、上述したように、放熱係数と、熱伝導率と、は比例関係にある。そのため、発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_H$)と、熱伝導率と、は比例関係にある。図7は、発熱素子61に第1の電圧 V_1 、第2の電圧 V_2 、及び第3の電圧 V_3 を加えた場合の、熱伝導率と、発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_H$)と、の関係を示すグラフである。図7及び図8に示すように、熱伝導率と、発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_H$)と、は、発熱素子61への印加電圧が一定であれば、比例関係にある。また、図9及び図10に示すように、熱伝導率と、発熱素子61の抵抗 R_H と、は、発熱素子61への印加電圧が一定であれば、相関する。さらに、図11及び図12に示すように、熱伝導率と、発熱素子61の駆動電力と、は、発熱素子61への印加電圧が一定であれば、相関する。

【0050】

したがって、ガスAに接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数を $1/R_{HA}$ 、ガスBに接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数を $1/R_{HB}$ 、ガスCに接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数を $1/R_{HC}$ 、ガスDに接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数を $1/R_{HD}$ とすると、上記(12)式を変形して、混合ガスに接する発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_{HI}$)は、各ガス成分の体積率に、各ガス成分に接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数を乗じたものの総和で与えられる。よって、一定の電圧が印可され、混合ガスに接する発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_{HI}$)は、下記(24)式で与えられる。

$$1/R_{HI} = 1/R_{HA} \times V_A + 1/R_{HB} \times V_B + 1/R_{HC} \times V_C + 1/R_{HD} \times V_D \quad \dots (24)$$

【0051】

また、発熱素子61の抵抗 R_H は、発熱素子61の温度 T_H に依存するので、混合ガスに接する場合の発熱素子61の抵抗 R_H の逆数($1/R_{HI}$)は、発熱素子61の温度 T_H の関

10

20

30

40

50

数として、下記（２５）式で与えられる。

$$\begin{aligned} 1/R_{H1} (T_H) \\ = 1/R_{HA}(T_H) \times V_A + 1/R_{HB}(T_H) \times V_B + 1/R_{HC}(T_H) \times V_C + 1/R_{HD}(T_H) \times V_D \quad \cdot \cdot \\ \cdot (25) \end{aligned}$$

【００５２】

したがって、発熱素子６１の温度が T_{H1} のときの混合ガスに接する発熱素子６１の抵抗 R_H の逆数（ $1/R_{H11}$ ）は下記（２６）式で与えられる。また、発熱素子６１の温度が T_{H2} のときの混合ガスに接する発熱素子６１の抵抗 R_H の逆数（ $1/R_{H12}$ ）は下記（２７）式で与えられ、発熱素子６１の温度が T_{H3} のときの混合ガスに接する発熱素子６１の抵抗 R_H の逆数（ $1/R_{H13}$ ）は下記（２８）式で与えられる。

10

$$\begin{aligned} 1/R_{H11} (T_{H1}) \\ = 1/R_{HA}(T_{H1}) \times V_A + 1/R_{HB}(T_{H1}) \times V_B + 1/R_{HC}(T_{H1}) \times V_C + 1/R_{HD}(T_{H1}) \times V_D \quad \cdot \\ \cdot \cdot (26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1/R_{H12} (T_{H2}) \\ = 1/R_{HA}(T_{H2}) \times V_A + 1/R_{HB}(T_{H2}) \times V_B + 1/R_{HC}(T_{H2}) \times V_C + 1/R_{HD}(T_{H2}) \times V_D \quad \cdot \\ \cdot \cdot (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1/R_{H13} (T_{H3}) \\ = 1/R_{HA}(T_{H3}) \times V_A + 1/R_{HB}(T_{H3}) \times V_B + 1/R_{HC}(T_{H3}) \times V_C + 1/R_{HD}(T_{H3}) \times V_D \quad \cdot \\ \cdot \cdot (28) \end{aligned}$$

【００５３】

20

（２６）式から（２８）式中の各ガス成分に接する場合の発熱素子６１の抵抗 $R_{HA}(T_{H1})$ 、 $R_{HB}(T_{H1})$ 、 $R_{HC}(T_{H1})$ 、 $R_{HD}(T_{H1})$ 、 $R_{HA}(T_{H2})$ 、 $R_{HB}(T_{H2})$ 、 $R_{HC}(T_{H2})$ 、 $R_{HD}(T_{H2})$ 、 $R_{HA}(T_{H3})$ 、 $R_{HB}(T_{H3})$ 、 $R_{HC}(T_{H3})$ 、 $R_{HD}(T_{H3})$ の値は、測定等により予め得ることが可能である。したがって、（１０）及び（２６）から（２８）式の連立方程式を解くと、ガスＡの体積率 V_A 、ガスＢの体積率 V_B 、ガスＣの体積率 V_C 、及びガスＤの体積率 V_D のそれぞれが、下記（２９）から（３２）式に示すように、混合ガスに接する発熱素子６１の抵抗 $R_{H11}(T_{H1})$ 、 $R_{H12}(T_{H2})$ 、 $R_{H13}(T_{H3})$ の関数として与えられる。なお、下記（２９）から（３２）式において、 n を自然数として、 f_n は関数を表す記号である。

$$V_A = f_5[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (29)$$

30

$$V_B = f_6[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (30)$$

$$V_C = f_7[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (31)$$

$$V_D = f_8[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (32)$$

【００５４】

ここで、上記（１１）式に（２９）から（３２）式を代入することにより、下記（３３）式が得られる。

$$\begin{aligned} Q &= K_A \times V_A + K_B \times V_B + K_C \times V_C + K_D \times V_D \\ &= K_A \times f_5[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \\ &\quad + K_B \times f_6[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \\ &\quad + K_C \times f_7[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \\ &\quad + K_D \times f_8[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (33) \end{aligned}$$

40

3)

【００５５】

上記（３３）式に示すように、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、発熱素子６１の温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の発熱素子６１の抵抗 $R_{H11}(T_{H1})$ 、 $R_{H12}(T_{H2})$ 、 $R_{H13}(T_{H3})$ を変数とする方程式で与えられる。したがって、混合ガスの発熱量 Q は、 g_2 、 g_3 を関数を表す記号として、下記（３４）式で与えられる。

$$\begin{aligned} Q &= g_2[1/R_{H11}(T_{H1}), 1/R_{H12}(T_{H2}), 1/R_{H13}(T_{H3})] \\ &= g_3[R_{H11}(T_{H1}), R_{H12}(T_{H2}), R_{H13}(T_{H3})] \quad \cdot \cdot \cdot (34) \end{aligned}$$

【００５６】

50

よって、ガスA、ガスB、ガスC、及びガスDからなる混合ガスについて、予め上記（34）式を得れば、ガスAの体積率 V_A 、ガスBの体積率 V_B 、ガスCの体積率 V_C 、及びガスDの体積率 V_D が未知の測定対象混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q を容易に算出可能であることを、本発明者らは見出した。具体的には、発熱温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の発熱素子61の抵抗値 $R_{H11}(T_{H1})$ 、 $R_{H12}(T_{H2})$ 、 $R_{H13}(T_{H3})$ を測定し、（34）式に代入することにより、測定対象混合ガスの発熱量 Q を一意に求めることが可能となる。また、この場合、マイクロチップ8の第1の測温素子62を用いることなく、発熱素子61のみを用いて、混合ガスの発熱量 Q を求めることが可能となる。

【0057】

さらに、抵抗 R と、電流 I と、は相関するから、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、 g_4 を関数を表す記号として、発熱素子61の温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の発熱素子61の通電電流 $I_{H1}(T_{H1})$ 、 $I_{H2}(T_{H2})$ 、 $I_{H3}(T_{H3})$ を変数とする下記（35）式で与えられる。

$$Q = g_4[I_{H1}(T_{H1}), I_{H2}(T_{H2}), I_{H3}(T_{H3})] \quad \dots (35)$$

【0058】

また、発熱素子61の抵抗 R と、発熱素子61に接続されたアナログーデジタル変換回路（以下において「A/D変換回路」という。）の出力信号 AD と、は相関するから、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、 g_5 を関数を表す記号として、発熱素子61の温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合のA/D変換回路の出力信号 $AD_{H1}(T_{H1})$ 、 $AD_{H2}(T_{H2})$ 、 $AD_{H3}(T_{H3})$ を変数とする下記（36）式で与えられる。

$$Q = g_5[AD_{H1}(T_{H1}), AD_{H2}(T_{H2}), AD_{H3}(T_{H3})] \quad \dots (36)$$

【0059】

よって、混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q は、下記（37）式に示すように、 g_6 を関数を表す記号として、発熱素子61の発熱温度が T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} である場合の発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ を変数とする方程式で与えられる。

$$Q = g_6[S_{H1}(T_{H1}), S_{H2}(T_{H2}), S_{H3}(T_{H3})] \quad \dots (37)$$

【0060】

なお、混合ガスのガス成分は、4種類に限定されることはない。例えば、混合ガスが n 種類のガス成分からなる場合、 g_7 を関数を表す記号として、下記（38）式で与えられる、少なくとも $n-1$ 種類の発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 $\dots$ 、 T_{Hn-1} における発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $\dots$ 、 $S_{Hn-1}(T_{Hn-1})$ を変数とする方程式を予め取得する。そして、 $n-1$ 種類の発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 $\dots$ 、 T_{Hn-1} における、 n 種類のガス成分のそれぞれの体積率が未知の測定対象混合ガスに接する発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $\dots$ 、 $S_{Hn-1}(T_{Hn-1})$ の値を測定し、（38）式に代入することにより、測定対象混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q を一意に求めることが可能となる。なお、下記（38）式を、混合ガス（雰囲気ガス）の温度ごとに複数用意してもよい。

$$Q = g_7[S_{H1}(T_{H1}), S_{H2}(T_{H2}), S_{H3}(T_{H3}), \dots, S_{Hn-1}(T_{Hn-1})] \quad \dots (38)$$

【0061】

例えば、測定対象混合ガスが、メタン（ CH_4 ）、エタン（ C_2H_5 ）、プロパン（ C_3H_8 ）、ブタン（ C_4H_{10} ）、二酸化炭素（ CO_2 ）、及び窒素（ N_2 ）の6種類のガスからなる場合、少なくとも5種類の発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} における発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ を変数とする方程式を予め取得する。そして、5種類の発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} における、6種類のガス成分のそれぞれの体積率が未知の測定対象混合ガスに接する発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ の値を測定し、下記（39）式に代入することにより、測定対象混合ガスの単位体積当たりの発熱量 Q を一意に求めることが可能である。

$$Q = g_7[S_{H1}(T_{H1}), S_{H2}(T_{H2}), S_{H3}(T_{H3}), S_{H4}(T_{H4}), S_{H5}(T_{H5})] \quad \dots (39)$$

【0062】

ただし、混合ガスが、ガス成分としてメタン (CH_4)、プロパン (C_3H_8) に加えて、 j を自然数として、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) 以外のアルカン ($\text{C}_j\text{H}_{2j+2}$) を含む場合、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) 以外のアルカン ($\text{C}_j\text{H}_{2j+2}$) を、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) の混合物とみなして (38) 式を算出してもよい。例えば、エタン (C_2H_6)、ブタン (C_4H_{10})、ペンタン (C_5H_{12})、ヘキサン (C_6H_{14}) を、下記 (40) から (43) 式に示すように、それぞれ所定の係数を掛けられたメタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) の混合物とみなして (38) 式を算出してもかまわない。

$$\text{C}_2\text{H}_6 = 0.5 \text{CH}_4 + 0.5 \text{C}_3\text{H}_8 \quad \dots (40)$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = -0.5 \text{CH}_4 + 1.5 \text{C}_3\text{H}_8 \quad \dots (41)$$

$$\text{C}_5\text{H}_{12} = -1.0 \text{CH}_4 + 2.0 \text{C}_3\text{H}_8 \quad \dots (42)$$

$$\text{C}_6\text{H}_{14} = -1.5 \text{CH}_4 + 2.5 \text{C}_3\text{H}_8 \quad \dots (43)$$

10

【0063】

したがって、 z を自然数として、 n 種類のガス成分からなる混合ガスが、ガス成分としてメタン (CH_4)、プロパン (C_3H_8) に加えて、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) 以外の z 種類のアルカン ($\text{C}_j\text{H}_{2j+2}$) を含む場合、少なくとも $n - z - 1$ 種類の発熱温度における発熱素子 61 からの電気信号 S_H を変数とする方程式を求めてもよい。

【0064】

また、(38) 式の算出に用いられた混合ガスのガス成分の種類と、単位体積当たりの発熱量 Q が未知の測定対象混合ガスのガス成分の種類が同じ場合に、測定対象混合ガスの発熱量 Q の算出に (38) 式を利用可能であることはもちろんである。さらに、測定対象混合ガスが n 種類より少ない種類のガス成分からなり、かつ、 n 種類より少ない種類のガス成分が、(38) 式の算出に用いられた混合ガスに含まれている場合も、(38) 式を利用可能である。例えば、(38) 式の算出に用いられた混合ガスが、メタン (CH_4)、プロパン (C_3H_8)、窒素 (N_2)、及び二酸化炭素 (CO_2) の 4 種類のガス成分を含む場合、測定対象混合ガスが、窒素 (N_2) を含まず、メタン (CH_4)、プロパン (C_3H_8)、及び二酸化炭素 (CO_2) の 3 種類のガス成分のみを含む場合も、測定対象混合ガスの発熱量 Q の算出に (38) 式を利用可能である。

20

【0065】

さらに、(38) 式の算出に用いられた混合ガスが、ガス成分としてメタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) を含む場合、測定対象混合ガスが、(38) 式の算出に用いられた混合ガスに含まれていないアルカン ($\text{C}_j\text{H}_{2j+2}$) を含んでいても、(38) 式を利用可能である。これは、上述したように、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) 以外のアルカン ($\text{C}_j\text{H}_{2j+2}$) を、メタン (CH_4) とプロパン (C_3H_8) の混合物とみなしてもよいためである。

30

【0066】

ここで、図 13 に示す実施の形態の参考例に係る発熱量算出式作成システム 20 は、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれが注入される容器であるチャンバ 101 を備える。

40

【0067】

基準ガスとしては、メタンガスが使用可能である。校正ガスは、複数種類のガス成分を含む混合ガスであり、例えばメタン (CH_4)、エタン (C_2H_6)、プロパン (C_3H_8)、ブタン (C_4H_{10})、窒素 (N_2)、及び二酸化炭素 (CO_2) の 6 種類のガス成分のいずれか又は全部を含む。校正ガスは、例えば天然ガスと同じ成分からなる。校正ガスとしては、スパンガスが使用可能である。

【0068】

複数の混合ガスのそれぞれは、複数種類のガス成分を含む。複数の混合ガスのそれぞれは、例えばメタン (CH_4)、エタン (C_2H_6)、プロパン (C_3H_8)、ブタン (C_4H_{10})、窒素 (N_2)、及び二酸化炭素 (CO_2) の 6 種類のガス成分のいずれか又は全部を含

50

む。複数の混合ガスのいずれか又は全部は、天然ガスである。

【0069】

発熱量算出式作成システム20は、さらに、チャンバ101に配置され、複数の発熱温度 T_H で発熱する図1又は図3に示した発熱素子61を含むマイクロチップ8を備える。以下においては、発熱量算出式作成システム20が図1に示したマイクロチップ8を備えている例を説明するが、発熱量算出式作成システム20が図3に示したマイクロチップ8を備えていても、図13に示す発熱量算出式作成システム20の動作は同様である。

【0070】

マイクロチップ8は、断熱部材18を介してチャンバ101内に配置されている。チャンバ101には、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれをチャンバ101に送るための流路102と、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれをチャンバ101から外部に排出するための流路103と、が接続されている。

【0071】

発熱量算出式作成システム20は、さらに、基準ガスに接し、複数の発熱温度 T_H のそれぞれで発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の実測値と、校正ガスに接し、複数の発熱温度 T_H のそれぞれで発熱する発熱素子61からの校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の実測値と、複数の混合ガスのそれぞれに接し、複数の発熱温度 T_H のそれぞれで発熱する発熱素子61からの電気信号 $S_H(T_H)$ の実測値と、を測定する測定部301を備える。

【0072】

発熱量算出式作成システム20は、さらに、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれの既知の発熱量 Q の値、並びに複数の発熱温度 T_H における発熱素子61からの基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の実測値、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の実測値、及び電気信号 $S_H(T_H)$ の実測値に基づいて、複数の発熱温度 T_H における発熱素子61からの電気信号 $S_H(T_H)$ を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする発熱量算出式を作成する式作成部302を備える。

【0073】

チャンバ101に基準ガスが供給されると、図1及び図2に示す発熱素子61は、図13に示す駆動回路303から駆動電力 P_{H1} 、 P_{H2} 、 P_{H3} 、 P_{H4} 、 P_{H5} を順次与えられる。駆動電力 P_{H1} 、 P_{H2} 、 P_{H3} 、 P_{H4} 、 P_{H5} を与えられた場合、基準ガスに接する発熱素子61は、5段階の温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} で発熱し、発熱温度 T_{H1} における基準電気信号 $S_{H1A}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における基準電気信号 $S_{H2A}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における基準電気信号 $S_{H3A}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} における基準電気信号 $S_{H4A}(T_{H4})$ 、及び発熱温度 T_{H5} における基準電気信号 $S_{H5A}(T_{H5})$ を出力する。

【0074】

チャンバ101から基準ガスが除去された後、校正ガスがチャンバ101に供給される。チャンバ101に校正ガスが供給されると、校正ガスに接する発熱素子61は、5段階の温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} で発熱し、発熱温度 T_{H1} における校正用電気信号 $S_{H1B}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における校正用電気信号 $S_{H2B}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における校正用電気信号 $S_{H3B}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} における校正用電気信号 $S_{H4B}(T_{H4})$ 、及び発熱温度 T_{H5} における校正用電気信号 $S_{H5B}(T_{H5})$ を出力する。

【0075】

チャンバ101から校正ガスが除去された後、複数の混合ガスのそれぞれがチャンバ101に順次供給される。チャンバ101に複数の混合ガスの内の第1の混合ガスが供給されると、第1の混合ガスに接する図1及び図2に示す発熱素子61は、発熱温度 T_{H1} における電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における電気信号 $S_{H2}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における電気信号 $S_{H3}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} における電気信号 $S_{H4}(T_{H4})$ 、及び発熱温度 T_{H5} における電気信号 $S_{H5}(T_{H5})$ を出力する。他の混合ガスのそれぞれについても、発熱素子61は、発熱温度 T_{H1} における電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における電気信号 $S_{H2}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における電気信号 $S_{H3}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} にお

ける電気信号 S_{H4} (T_{H4})、及び発熱温度 T_{H5} における電気信号 S_{H5} (T_{H5}) を出力する。

【0076】

なお、チャンバ101に供給されるガスの順番は任意である。例えば、複数の混合ガスの間に、校正ガスがチャンバ101に供給されてもよい。

【0077】

図13に示すように、マイクロチップ8は、測定部301を含む中央演算処理装置(CPU)300に接続されている。CPU300には、電気信号記憶装置401が接続されている。測定部301は、基準ガスに接する発熱素子61からの発熱温度 T_{H1} における基準電気信号 S_{H1A} (T_{H1})、発熱温度 T_{H2} における基準電気信号 S_{H2A} (T_{H2})、発熱温度 T_{H3} における基準電気信号 S_{H3A} (T_{H3})、発熱温度 T_{H4} における基準電気信号 S_{H4A} (T_{H4})、及び発熱温度 T_{H5} における基準電気信号 S_{H5A} (T_{H5}) の実測値を測定し、実測値を電気信号記憶装置401に保存する。

【0078】

また、測定部301は、校正ガスに接する発熱素子61からの発熱温度 T_{H1} における校正用電気信号 S_{H1B} (T_{H1})、発熱温度 T_{H2} における校正用電気信号 S_{H2B} (T_{H2})、発熱温度 T_{H3} における校正用電気信号 S_{H3B} (T_{H3})、発熱温度 T_{H4} における校正用電気信号 S_{H4B} (T_{H4})、及び発熱温度 T_{H5} における校正用電気信号 S_{H5B} (T_{H5}) の実測値を測定し、実測値を電気信号記憶装置401に保存する。

【0079】

さらに、測定部301は、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子61からの発熱温度 T_{H1} における電気信号 S_{H1} (T_{H1})、発熱温度 T_{H2} における電気信号 S_{H2} (T_{H2})、発熱温度 T_{H3} における電気信号 S_{H3} (T_{H3})、発熱温度 T_{H4} における電気信号 S_{H4} (T_{H4})、及び発熱温度 T_{H5} における電気信号 S_{H5} (T_{H5}) の実測値を測定し、実測値を電気信号記憶装置401に保存する。

【0080】

発熱素子61からの電気信号 S_H とは、発熱素子61の抵抗値 R_H 、発熱素子61の通電電流 I_H 、及び発熱素子61に接続されたA/D変換回路304の出力信号 AD_H のいずれであってもよい。

【0081】

CPU300に含まれる式作成部302は、例えば基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれの既知の発熱量 Q の値と、発熱素子61からの基準電気信号 S_{H1A} (T_{H1})、 S_{H2A} (T_{H2})、 S_{H3A} (T_{H3})、 S_{H4A} (T_{H4})、 S_{H5A} (T_{H5}) の実測値、校正用電気信号 S_{H1B} (T_{H1})、 S_{H2B} (T_{H2})、 S_{H3B} (T_{H3})、 S_{H4B} (T_{H4})、 S_{H5B} (T_{H5}) の実測値、及び電気信号 S_{H1} (T_{H1})、 S_{H2} (T_{H2})、 S_{H3} (T_{H3})、 S_{H4} (T_{H4})、 S_{H5} (T_{H5}) の複数の実測値と、を収集する。さらに式作成部302は、収集した発熱量 Q の値と、基準電気信号 S_{HA} の実測値、校正用電気信号 S_{HB} の実測値、及び電気信号 S_H の実測値に基づいて、多変量解析により、発熱素子61からの電気信号 S_{H1} (T_{H1})、 S_{H2} (T_{H2})、 S_{H3} (T_{H3})、 S_{H4} (T_{H4})、 S_{H5} (T_{H5}) を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする発熱量算出式を算出する。

【0082】

「多変量解析」とは、A. J. Smola及びB. Scholkopf著の「A Tutorial on Support Vector Regression」(NeuroCOLT Technical Report (NC-TR-98-030)、1998年)に開示されているサポートベクトル回帰、重回帰分析、及び特開平5-141999号公報に開示されているファジィ数量化理論II類等を含む。

【0083】

発熱量算出式作成システム20は、CPU300に接続された式記憶装置402をさらに備える。式記憶装置402は、式作成部302が作成した発熱量算出式を保存する。さらにCPU300には、入力装置312及び出力装置313が接続される。入力装置31

10

20

30

40

50

2としては、例えばキーボード、及びマウス等のポインティングデバイス等が使用可能である。出力装置313には液晶ディスプレイ、モニタ等の画像表示装置、及びプリンタ等が使用可能である。

【0084】

次に、図14に示すフローチャートを用いて実施の形態の参考例に係る発熱量算出式の作成方法について説明する。

【0085】

(a) ステップS100で、図13に示すチャンバ101内に基準ガスを導入する。ステップS101で、駆動回路303は、図1及び図2に示す発熱素子61に駆動電力 P_{H1} を与え、発熱素子61を発熱温度 T_{H1} で発熱させる。図13に示す測定部301は、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{H1A}(T_{H1})$ の実測値を測定し、電気信号記憶装置401に保存する。

10

【0086】

(b) ステップS102で、駆動回路303は、図1及び図2に示す発熱素子61の温度の切り替えが完了したか否かを判定する。発熱温度 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} への切り替えが完了していない場合には、ステップS101に戻り、図13に示す駆動回路303は、図1及び図2に示す発熱素子61を発熱温度 T_{H2} で発熱させる。図13に示す測定部301は、基準ガスに接し、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{H2A}(T_{H2})$ の実測値を測定し、電気信号記憶装置401に保存する。

【0087】

20

(c) 以後、ステップS101とステップS102のループを繰り返し、図13に示す測定部301は、基準ガスに接し、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{H3A}(T_{H3})$ の実測値、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{H4A}(T_{H4})$ の実測値、及び発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号 $S_{H5A}(T_{H5})$ の実測値を電気信号記憶装置401に保存する。

【0088】

(d) 発熱素子61の温度の切り替えが完了した場合には、ステップS102からステップS103に進む。ステップS103で、ガスの切り替えが完了したか否かを判定する。基準ガスから校正ガスへの切り替えが完了していない場合には、ステップS100に戻る。ステップS100で、図13に示すチャンバ101内に校正ガスを導入する。

30

【0089】

(e) 基準ガスがチャンバ101に導入されたときと同様に、ステップS101からステップS102のループが繰り返される。測定部301は、校正ガスに接し、発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号 $S_{H1B}(T_{H1})$ 、 $S_{H2B}(T_{H2})$ 、 $S_{H3B}(T_{H3})$ 、 $S_{H4B}(T_{H4})$ 、 $S_{H5B}(T_{H5})$ の実測値を測定し、電気信号記憶装置401に保存する。

【0090】

(f) 発熱素子61の温度の切り替えが完了した場合には、ステップS102からステップS103に進む。ステップS103で、ガスの切り替えが完了したか否かを判定する。校正ガスから複数の混合ガスのそれぞれへの切り替えが完了していない場合には、ステップS100に戻る。ステップS100で、図13に示すチャンバ101内に複数の混合ガスの内の第1の混合ガスを導入する。

40

【0091】

(g) 基準ガスがチャンバ101に導入されたときと同様に、ステップS101からステップS102のループが繰り返される。測定部301は、第1の混合ガスに接し、発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ の実測値を測定し、電気信号記憶装置401に保存する。

【0092】

(h) その後、ステップS100からステップS103のループが繰り返される。これ

50

により、他の混合ガスのそれぞれに接し、発熱温度 T_{H1} 、 T_{H2} 、 T_{H3} 、 T_{H4} 、 T_{H5} で発熱する発熱素子 61 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ の実測値が電気信号記憶装置 401 に保存される。

【0093】

(i) ステップ S104 で、入力装置 312 から式作成部 302 に、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれの既知の発熱量 Q の値を入力する。また、式作成部 302 は、電気信号記憶装置 401 から、発熱素子 61 からの基準電気信号 $S_{H1A}(T_{H1})$ 、 $S_{H2A}(T_{H2})$ 、 $S_{H3A}(T_{H3})$ 、 $S_{H4A}(T_{H4})$ 、 $S_{H5A}(T_{H5})$ の実測値、校正用電気信号 $S_{H1B}(T_{H1})$ 、 $S_{H2B}(T_{H2})$ 、 $S_{H3B}(T_{H3})$ 、 $S_{H4B}(T_{H4})$ 、 $S_{H5B}(T_{H5})$ の実測値、及び電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ の複数の実測値を読み出す。

10

【0094】

(j) ステップ S105 で、基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれの既知の発熱量 Q の値と、発熱素子 61 からの基準電気信号 $S_{H1A}(T_{H1})$ 、 $S_{H2A}(T_{H2})$ 、 $S_{H3A}(T_{H3})$ 、 $S_{H4A}(T_{H4})$ 、 $S_{H5A}(T_{H5})$ の実測値、校正用電気信号 $S_{H1B}(T_{H1})$ 、 $S_{H2B}(T_{H2})$ 、 $S_{H3B}(T_{H3})$ 、 $S_{H4B}(T_{H4})$ 、 $S_{H5B}(T_{H5})$ の実測値、及び電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ の複数の実測値と、に基づいて、式作成部 302 は、重回帰分析を行う。重回帰分析により、式作成部 302 は、発熱素子 61 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする発熱量算出式を算出する。その後、ステップ S106 で、式作成部 302 は作成した発熱量算出式を式記憶装置 402 に保存し、実施の形態の参考例に係る発熱量算出式の作成方法が終了する。

20

【0095】

以上示したように、実施の形態の参考例に係る発熱量算出式の作成方法によれば、測定対象混合ガスの発熱量 Q の値を一意に算出可能な発熱量算出式を作成することが可能となる。

【0096】

しかし、精度の高い発熱量算出式を作成するために必要な複数の混合ガスの種類は、数十から百近くになる場合がある。このように多数の混合ガスを用意し、保管するのは、負担が大きい場合がある。また、雰囲気ガスの温度ごとに発熱量算出式を複数用意する場合がある。例えば、50種類の混合ガスと、5段階の発熱温度と、を用いて、発熱量算出式を雰囲気温度ごとに5つ作成しようとする、合計1250回、電気信号 $S_H(T_H)$ を測定する必要があり、作業が煩雑になる場合がある。

30

【0097】

これに対し、図15に示すように、実施の形態に係る発熱量算出式作成システム21は、例えば、シミュレーター501を備える。シミュレーター501は、基準ガスが、複数の発熱温度 T_H で発熱する図1及び図2に示す発熱素子61に接した状態をシミュレーションし、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値を算出する。また、図15に示すシミュレーター501は、校正ガスが、複数の発熱温度 T_H で発熱する図1及び図2に示す発熱素子61に接した状態をシミュレーションし、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の算出値を算出する。さらに、図15に示すシミュレーター501は、複数の混合ガスのそれぞれが、複数の発熱温度 T_H で発熱する図1及び図2に示す発熱素子61に接した状態をシミュレーションし、電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値を算出する。

40

【0098】

具体的には、図15に示すシミュレーター501は、図14に示すフローチャートを用いて説明した発熱量算出式の作成方法のステップS100からステップS103を、コンピュータ上でシミュレーションする。

【0099】

図15に示すシミュレーター501は、複数の発熱温度 T_H のそれぞれにおける、基準ガスに接する図1及び図2に示す発熱素子61からの基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値

50

を、図 15 に示す電気信号記憶装置 401 に保存する。また、シミュレーター 501 は、複数の発熱温度 T_H のそれぞれにおける、校正ガスに接する発熱素子 61 からの校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の算出値を、電気信号記憶装置 401 に保存する。さらに、シミュレーター 501 は、複数の発熱温度 T_H のそれぞれにおける、複数の混合ガスのそれぞれに接する発熱素子 61 からの電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値を、電気信号記憶装置 401 に保存する。電気信号記憶装置 401 には、例えば図 16 に示すような、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ 、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ 、及び電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値のテーブルが保存されてもよい。

【0100】

図 15 に示す測定部 301 は、シミュレーションによらずに、基準ガスが、複数の発熱温度 T_H のそれぞれで発熱する図 1 及び図 2 に示す発熱素子 61 に接した状態における、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の実測値を測定する。また、図 15 に示す測定部 301 は、シミュレーションによらずに、校正ガスが、複数の発熱温度 T_H のそれぞれで発熱する図 1 及び図 2 に示す発熱素子 61 に接した状態における、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の実測値を測定する。

【0101】

図 15 に示す測定部 301 は、複数の発熱温度 T_H のそれぞれにおける、基準ガスに接する図 1 及び図 2 に示す発熱素子 61 からの基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の実測値を、図 15 に示す電気信号記憶装置 401 に保存する。また、測定部 301 は、複数の発熱温度 T_H のそれぞれにおける、校正ガスに接する発熱素子 61 からの校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の実測値を、電気信号記憶装置 401 に保存する。電気信号記憶装置 401 には、例えば図 17 に示すような、基準電気信号、及び校正用電気信号の実測値のテーブルが保存されてもよい。

【0102】

なお、校正用電気信号の算出値を算出する際にシミュレーション上で用いられた校正ガスの組成と、校正用電気信号の実測値を算出する際に用いられた校正ガスの組成と、は同じである。また、基準電気信号の算出値を算出する際にシミュレーション上で用いられた基準ガスの組成と、基準電気信号の実測値を算出する際に用いられた基準ガスの組成と、は同じである。

【0103】

実施の形態に係る図 15 に示す発熱量算出式作成システム 21 は、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値と実測値が同じになるよう、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値及び実測値、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の算出値及び実測値、並びに電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値を正規化する正規化部 502 をさらに備える。

【0104】

例えば、正規化部 502 は、電気信号記憶装置 401 から、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値及び実測値、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の算出値及び実測値、並びに電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値を読み出し、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値と実測値が共に 1 になるよう、基準電気信号 $S_{HA}(T_H)$ の算出値及び実測値、校正用電気信号 $S_{HB}(T_H)$ の算出値及び実測値、並びに電気信号 $S_H(T_H)$ の算出値を正規化する。

【0105】

この場合、正規化部 502 は、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ を、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ 自身で割って 1 にする。また、正規化部 502 は、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、下記 (44) 式に示すように、校正用電気信号の算出値 $S_{HBS}(T_H)$ を、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ で割って、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNS}(T_H)$ を算出する。さらに、正規化部 502 は、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、下記 (45) 式に示すように、電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ を、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ で割って、電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ を算出する。

$$S_{HBNS}(T_H) = S_{HBS}(T_H) / S_{HAS}(T_H) \quad \cdots (44)$$

10

20

30

40

50

$$S_{HNS}(T_H) = S_{HS}(T_H) / S_{HAS}(T_H) \quad \cdots (45)$$

【0106】

より具体的には、発熱素子61が5段階の発熱温度で発熱する場合、正規化部502は、複数の混合ガスの内の第1の混合ガスに接する、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{H1S}(T_{H1})$ を、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{H1AS}(T_{H1})$ で割って、発熱温度 T_{H1} における電気信号の正規化算出値 $S_{H1NS}(T_{H1})$ を算出する。

【0107】

また、正規化部502は、第1の混合ガスに接する、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{H2S}(T_{H2})$ を、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{H2AS}(T_{H2})$ で割って、発熱温度 T_{H2} における電気信号の正規化算出値 $S_{H2NS}(T_{H2})$ を算出し、第1の混合ガスに接する、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{H3S}(T_{H3})$ を、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{H3AS}(T_{H3})$ で割って、発熱温度 T_{H3} における電気信号の正規化算出値 $S_{H3NS}(T_{H3})$ を算出する。

【0108】

さらに、正規化部502は、第1の混合ガスに接する、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{H4S}(T_{H4})$ を、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{H4AS}(T_{H4})$ で割って、発熱温度 T_{H4} における電気信号の正規化算出値 $S_{H4NS}(T_{H4})$ を算出し、第1の混合ガスに接する、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{H5S}(T_{H5})$ を、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{H5AS}(T_{H5})$ で割って、発熱温度 T_{H5} における電気信号の正規化算出値 $S_{H5NS}(T_{H5})$ を算出する。

【0109】

正規化部502は、その他の混合ガスのそれぞれが発熱素子61に接している場合についても、混合ガスに接する、各発熱温度 T_H で発熱する発熱素子61からの電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ を、基準ガスに接する、各発熱温度 T_H で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ で割って、各発熱温度 T_H における電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ を算出する。

【0110】

校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNS}(T_H)$ は、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ に対する校正用電気信号の算出値 $S_{HBS}(T_H)$ の比率を表している。また、電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ は、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ に対する電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ の比率を表している。

【0111】

正規化部502は、図16に示すテーブルの各列において、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の算出値 $S_{HBS}(T_H)$ 、及び電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ のそれぞれを、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ で割ってもよい。

【0112】

図15に示す正規化部502は、基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNS}(T_H)$ 、及び電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ を、正規化データ記憶装置601に保存する。正規化データ記憶装置601には、例えば図18に示すような、基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNS}(T_H)$ 、及び電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ のテーブルが保存されてもよい。

【0113】

また、図15に示す正規化部502は、例えば、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ を、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ 自身で割って1にする。また、正規化部502は、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、下記(46)

式に示すように、校正用電気信号の実測値 $S_{HBM}(T_H)$ を、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ で割って、校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ を算出する。

$$S_{HBNM}(T_H) = S_{HBM}(T_H) / S_{HAM}(T_H) \quad \cdots (46)$$

【0114】

校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ は、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ に対する校正用電気信号の実測値 $S_{HBM}(T_H)$ の比率を表している。

【0115】

正規化部502は、図17に示すテーブルの各列において、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ 及び校正用電気信号の実測値 $S_{HBM}(T_H)$ のそれぞれを、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ で割ってもよい。

10

【0116】

図15に示す正規化部502は、基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）、及び校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ を、正規化データ記憶装置601に保存する。正規化データ記憶装置601には、例えば図19に示すような、基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）、及び校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ のテーブルが保存されてもよい。

【0117】

実施の形態に係る図15に発熱量算出式作成システム21は、補正部503をさらに備える。補正部503は、正規化データ記憶装置601から、校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ 、基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNs}(T_H)$ 、基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）を読み出す。さらに、補正部503は、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、下記(47)式に示すように、校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ と基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）の差を、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HBNs}(T_H)$ と基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）の差で割って補正係数 $A(T_H)$ を算出する。

20

$$A(T_H) = (S_{HBNM}(T_H) - 1) / (S_{HBNs}(T_H) - 1) \quad \cdots (47)$$

【0118】

具体的には、補正部503は、校正ガスに接する、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化実測値 $S_{H1BNM}(T_{H1})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）と、の差を、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化算出値 $S_{H1BNs}(T_{H1})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H1} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と、の差で割って、発熱温度 T_{H1} における補正係数 $A(T_{H1})$ を算出する。

30

【0119】

また、補正部503は、校正ガスに接する、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化実測値 $S_{H2BNM}(T_{H2})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）と、の差を、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化算出値 $S_{H2BNs}(T_{H2})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H2} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と、の差で割って、発熱温度 T_{H2} における補正係数 $A(T_{H2})$ を算出する。

40

【0120】

また、補正部503は、校正ガスに接する、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化実測値 $S_{H3BNM}(T_{H3})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）と、の差を、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化算出値 $S_{H3BNs}(T_{H3})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H3} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と、の差で割って、発熱温度 T_{H3} における補正係数 $A(T_{H3})$ を算出する。

50

【0121】

また、補正部503は、校正ガスに接する、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化実測値 $S_{H4BNM}(T_{H4})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）と、の差を、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化算出値 $S_{H4BNS}(T_{H4})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H4} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と、の差で割って、発熱温度 T_{H4} における補正係数 $A(T_{H4})$ を算出する。

【0122】

また、補正部503は、校正ガスに接する、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化実測値 $S_{H5BNM}(T_{H5})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）と、の差を、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの校正用電気信号の正規化算出値 $S_{H5BNS}(T_{H5})$ と、基準ガスに接する、発熱温度 T_{H5} で発熱する発熱素子61からの基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と、の差で割って、発熱温度 T_{H5} における補正係数 $A(T_{H5})$ を算出する。

【0123】

補正部503は、図20に示すような、補正係数 $A(T_H)$ のテーブルを作成してもよい。

【0124】

図15に示す補正部503は、補正係数 $A(T_H)$ を用いて、電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を算出する。例えば、補正部503は、下記(48)式に示すように、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）と基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）の差に補正係数 $A(T_H)$ を掛け、さらに基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）を足した値に、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ を掛けて、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ を算出する。単に、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ を基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ としてもよい。

$$S_{HCAS}(T_H) = S_{HAM}(T_H) \times [(1-1) \times A(T_H) + 1] \quad \dots (48)$$

【0125】

また、補正部503は、下記(49)式に示すように、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、校正用電気信号の正規化算出値 $S_{HNBS}(T_H)$ と基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）の差に補正係数 $A(T_H)$ を掛け、さらに基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）を足した値に、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ を掛けて、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBS}(T_H)$ を算出する。

$$S_{HCBS}(T_H) = S_{HAM}(T_H) \times [(S_{HNBS}(T_H) - 1) \times A(T_H) + 1] \quad \dots (49)$$

【0126】

また、補正部503は、下記(50)式に示すように、複数の発熱温度のそれぞれにおいて、電気信号の正規化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ と基準電気信号の正規化算出値（例えば、1）の差に補正係数 $A(T_H)$ を掛け、さらに基準電気信号の正規化実測値（例えば、1）を足した値に、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ を掛けて、電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を算出する。

$$S_{HCS}(T_H) = S_{HAM}(T_H) \times [(S_{HNS}(T_H) - 1) \times A(T_H) + 1] \quad \dots (50)$$

【0127】

具体的には、補正部503は、複数の混合ガスの内の第1の混合ガスについて、発熱温度 T_{H1} における電気信号の正規化算出値 $S_{H1NS}(T_{H1})$ と1の差に発熱温度 T_{H1} における補正係数 $A(T_{H1})$ を掛け、さらに1を足した値に、発熱温度 T_{H1} における基準電気信号の実測値 $S_{H1AM}(T_{H1})$ を掛けて、発熱温度 T_{H1} における電気信号の補正算出値 $S_{H1CS}(T_{H1})$ を算出する。

【0128】

また、補正部503は、第1の混合ガスについて、発熱温度 T_{H2} における電気信号の正

10

20

30

40

50

規化算出値 $S_{H2NS}(T_{H2})$ と 1 の差に発熱温度 T_{H2} における補正係数 $A(T_{H2})$ を掛け、さらに 1 を足した値に、発熱温度 T_{H2} における基準電気信号の実測値 $S_{H2AM}(T_{H2})$ を掛けて、発熱温度 T_{H2} における電気信号の補正算出値 $S_{H2CS}(T_{H2})$ を算出する。

【0129】

また、補正部 503 は、第 1 の混合ガスについて、発熱温度 T_{H3} における電気信号の正規化算出値 $S_{H3NS}(T_{H3})$ と 1 の差に発熱温度 T_{H3} における補正係数 $A(T_{H3})$ を掛け、さらに 1 を足した値に、発熱温度 T_{H3} における基準電気信号の実測値 $S_{H3AM}(T_{H3})$ を掛けて、発熱温度 T_{H3} における電気信号の補正算出値 $S_{H3CS}(T_{H3})$ を算出する。

【0130】

また、補正部 503 は、第 1 の混合ガスについて、発熱温度 T_{H4} における電気信号の正規化算出値 $S_{H4NS}(T_{H4})$ と 1 の差に発熱温度 T_{H4} における補正係数 $A(T_{H4})$ を掛け、さらに 1 を足した値に、発熱温度 T_{H4} における基準電気信号の実測値 $S_{H4AM}(T_{H4})$ を掛けて、発熱温度 T_{H4} における電気信号の補正算出値 $S_{H4CS}(T_{H4})$ を算出する。

【0131】

また、補正部 503 は、第 1 の混合ガスについて、発熱温度 T_{H5} における電気信号の正規化算出値 $S_{H5NS}(T_{H5})$ と 1 の差に発熱温度 T_{H5} における補正係数 $A(T_{H5})$ を掛け、さらに 1 を足した値に、発熱温度 T_{H5} における基準電気信号の実測値 $S_{H5AM}(T_{H5})$ を掛けて、発熱温度 T_{H5} における電気信号の補正算出値 $S_{H5CS}(T_{H5})$ を算出する。

【0132】

補正部 503 は、その他の複数の混合ガスのそれぞれについても、各発熱温度 T_H における電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を算出する。

【0133】

補正部 503 は、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBs}(T_H)$ 、及び電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を補正值記憶装置 602 に保存する。補正值記憶装置 602 には、例えば図 21 に示すような、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBs}(T_H)$ 、及び電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ のテーブルが保存されてもよい。

【0134】

図 15 に示す式作成部 302 は、例えば基準ガス、校正ガス、及び複数の混合ガスのそれぞれの既知の発熱量 Q の値を収集する。また、式作成部 302 は、補正值記憶装置 602 から、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBs}(T_H)$ 、及び電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を読み出す。さらに式作成部 302 は、収集した発熱量 Q 、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBs}(T_H)$ 、及び電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ に基づいて、多変量解析により、発熱素子 61 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ 、 $S_{H4}(T_{H4})$ 、 $S_{H5}(T_{H5})$ を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする発熱量算出式を算出する。式作成部 302 は、作成した発熱量算出式を、式記憶装置 402 に保存する。式作成部 302 は、雰囲気温度ごとに、発熱量算出式を作成してもよい。

【0135】

なお、実施の形態に係る発熱量算出式作成システム 21 の各構成要素は、同じ筐体に収まっている必要は無く、各構成要素の少なくとも一部が分離されて配置されていてもよい。

【0136】

以上説明した実施の形態に係る発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法によれば、シミュレーションにより電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ を算出するため、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ 及び校正用電気信号の実測値 $S_{HBM}(T_H)$ のみを実測すればよく、複数の混合ガスを用意して電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ を実測する作業を省略することが可能となる。

【0137】

また、実施の形態に係る発熱量算出式作成システム及び発熱量算出式の作成方法によれ

ば、シミュレーションで得られた電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ を、実際の発熱素子 6 1、A/D 変換回路、及び測定部 3 0 1 等の装置の感度に応じて補正することが可能となる。そのため、シミュレーションで得られた電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ と、実際の装置で得られる電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ と、の差を補間することが可能となる。よって、基準電気信号の補正算出値 $S_{HCAS}(T_H)$ 、校正用電気信号の補正算出値 $S_{HCBs}(T_H)$ 、及び電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を用いると、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ 、校正用電気信号の実測値 $S_{HBM}(T_H)$ 、及び電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ を用いた場合と同様の精度で、発熱量算出式を作成することが可能となる。

【0138】

次に、発熱量 Q が未知の測定対象混合ガスの発熱量 Q の値を測定する際には、実施の形態に係る発熱量算出式作成システム 2 1 は、発熱量測定システム 2 1 として機能する。例えば未知の体積率でメタン (CH_4)、エタン (C_2H_6)、プロパン (C_3H_8)、ブタン (C_4H_{10})、窒素 (N_2)、及び二酸化炭素 (CO_2) 等を含む、発熱量 Q が未知の天然ガス等の測定対象混合ガスが、チャンバ 1 0 1 に導入される。図 1 及び図 2 に示すマイクロチップ 8 の発熱素子 6 1 は、図 1 5 に示す駆動回路 3 0 3 から駆動電力 P_{H1} , P_{H2} , P_{H3} , P_{H4} , P_{H5} を順次与えられる。駆動電力 P_{H1} , P_{H2} , P_{H3} , P_{H4} , P_{H5} を与えられた場合、測定対象混合ガスに接する発熱素子 6 1 は、例えば、5 段階の発熱温度で順次発熱し、発熱温度 T_{H1} における電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における電気信号 $S_{H2}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における電気信号 $S_{H3}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} における電気信号 $S_{H4}(T_{H4})$ 、及び発熱温度 T_{H5} における電気信号 $S_{H5}(T_{H5})$ を出力する。

【0139】

測定部 3 0 1 は、測定対象混合ガスに接する発熱素子 6 1 からの発熱温度 T_{H1} における電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、発熱温度 T_{H2} における電気信号 $S_{H2}(T_{H2})$ 、発熱温度 T_{H3} における電気信号 $S_{H3}(T_{H3})$ 、発熱温度 T_{H4} における電気信号 $S_{H4}(T_{H4})$ 、及び発熱温度 T_{H5} における電気信号 $S_{H5}(T_{H5})$ の実測値を測定し、実測値を電気信号記憶装置 4 0 1 に保存する。

【0140】

上述したように、式記憶装置 4 0 2 は、電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$, $S_{H2}(T_{H2})$, $S_{H3}(T_{H3})$, $S_{H4}(T_{H4})$, $S_{H5}(T_{H5})$ を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする発熱量算出式を保存している。

【0141】

実施の形態に係る発熱量測定システム 2 1 は、さらに、発熱量算出部 3 0 5 を備える。発熱量算出部 3 0 5 は、発熱量算出式の発熱素子 6 1 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$, $S_{H2}(T_{H2})$, $S_{H3}(T_{H3})$, $S_{H4}(T_{H4})$, $S_{H5}(T_{H5})$ の独立変数に、発熱素子 6 1 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$, $S_{H2}(T_{H2})$, $S_{H3}(T_{H3})$, $S_{H4}(T_{H4})$, $S_{H5}(T_{H5})$ の実測値をそれぞれ代入し、測定対象混合ガスの発熱量 Q の測定値を算出する。CPU 3 0 0 には、発熱量記憶装置 4 0 3 がさらに接続されている。発熱量記憶装置 4 0 3 は、発熱量算出部 3 0 5 が算出した測定対象混合ガスの発熱量 Q の値を保存する。

【0142】

以上説明した実施の形態に係る発熱量測定システム 2 1 によれば、高価なガスクロマトグラフィ装置や音速センサを用いることなく、測定対象混合ガスに接する発熱素子 6 1 からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$, $S_{H2}(T_{H2})$, $S_{H3}(T_{H3})$, $S_{H4}(T_{H4})$, $S_{H5}(T_{H5})$ の実測値から、測定対象混合ガスの混合ガスの発熱量 Q の値を測定することが可能となる。

【0143】

天然ガスは、産出ガス田によって炭化水素の成分比率が異なる。また、天然ガスには、炭化水素の他に、窒素 (N_2) や炭酸ガス (CO_2) 等が含まれる。そのため、産出ガス田によって、天然ガスに含まれるガス成分の体積率は異なり、ガス成分の種類が既知であっても、天然ガスの発熱量 Q は未知であることが多い。また、同一のガス田由来の天然ガスであっても、発熱量 Q が常に一定であるとは限らず、採取時期によって変化することもある。

る。

【0144】

従来、天然ガスの使用料金を徴収する際には、天然ガスの使用発熱量 Q でなく、使用体積に応じて課金する方法がとられている。しかし、天然ガスは由来する産出ガス田によって発熱量 Q が異なるため、使用体積に課金するのは公平でない。これに対し、実施の形態に係る発熱量測定システム21を用いれば、ガス成分の種類が既知であるが、ガス成分の体積率が未知であるために発熱量 Q が未知の天然ガス等の混合ガスの発熱量 Q を、簡易に算出することが可能となる。そのため、公平な使用料金を徴収することが可能となる。

【0145】

また、ガスタービンを駆動する際には、ガスタービンに供給する燃料ガスとしての天然ガスの発熱量 Q をタイムラグなく監視することが求められる。燃料ガスの発熱量 Q が一定でない場合、燃焼振動等でガスタービンが破損することがあるためである。しかし、従来の熱量計は、応答時間が分単位と長く、ガスタービンに供給する燃料ガスの発熱量 Q の制御に適さない。これに対し、実施の形態に係る発熱量測定システムは、秒単位で発熱量を測定することが可能であるため、ガスタービンに供給する燃料ガスの発熱量 Q の制御にも適する。

【0146】

さらに、実施の形態に係る発熱量算出方法によれば、天然ガス等の混合ガスの正確な発熱量 Q を容易に知ることが可能となるため、混合ガスを燃焼させる場合に必要な空気量を適切に設定することが可能となる。そのため、無駄な二酸化炭素(CO_2)の排出量を削減することも可能となる。

【実施例】

【0147】

(参考例)

まず、発熱量 Q の値が既知の40種類の混合ガスを用意した。40種類の混合ガスのそれぞれは、ガス成分としてメタン(CH_4)、エタン(C_2H_6)、プロパン(C_3H_8)、ブタン(C_4H_{10})、窒素(N_2)、及び二酸化炭素(CO_2)のいずれか又は全部を含んでいた。例えば、ある混合ガスは、90vol%のメタン、3vol%のエタン、1vol%のプロパン、1vol%のブタン、4vol%の窒素、及び1vol%の二酸化炭素を含んでいた。また、ある混合ガスは、85vol%のメタン、10vol%のエタン、3vol%のプロパン、及び2vol%のブタンを含み、窒素及び二酸化炭素を含んでいなかった。また、ある混合ガスは、85vol%のメタン、8vol%のエタン、2vol%のプロパン、1vol%のブタン、2vol%の窒素、及び2vol%の二酸化炭素を含んでいた。

【0148】

次に、40種類の混合ガスのそれぞれを用いて、発熱素子からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ の複数の実測値を取得した。その後、40種類の混合ガスの既知の発熱量 Q の値と、発熱素子からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ の複数の実測値と、に基づいて、サポートベクトル回帰により、発熱素子からの電気信号 $S_{H1}(T_{H1})$ 、 $S_{H2}(T_{H2})$ 、 $S_{H3}(T_{H3})$ を独立変数とし、発熱量 Q を従属変数とする、発熱量 Q を算出するための1次方程式、2次方程式、及び3次方程式を作成した。

【0149】

発熱量 Q を算出するための1次方程式を作成する際には、キャリブレーション・ポイントは、3から5個を目安に、適宜決定できる。発熱量 Q を算出するための2次方程式を作成する際には、キャリブレーション・ポイントは、8から9個を目安に、適宜決定できる。発熱量 Q を算出するための3次方程式を作成する際には、キャリブレーション・ポイントは、10から14個を目安に、適宜決定できる。

【0150】

作成した発熱量算出式を用いて40種類の混合ガスのそれぞれの発熱量 Q を算出し、真

の発熱量 Q と比較したところ、図22に示すように、誤差はプラスマイナス1.3%以内であった。また、発熱素子の抵抗を、意図的に0.03%、0.07%、及び0.10%減少させたが、誤差は増えなかった。このことは、発熱素子の経年劣化等に伴うドリフトが生じて、発熱量の算出に影響を及ぼさないことを示していた。

【0151】

(実施例1)

メタンガスと約50種類の混合ガスを用意し、シミュレーションによらずに、基準電気信号の実測値 $S_{HAM}(T_H)$ と、電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ と、を測定し、電気信号の規格化実測値 $S_{HNM}(T_H)$ を算出した。次に、シミュレーションによって、同じメタンガスと混合ガスについて、基準電気信号の算出値 $S_{HAS}(T_H)$ と、電気信号の算出値 $S_{HS}(T_H)$ と、を算出し、電気信号の規格化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ を算出した。両者を比較したところ、図23に示すように、電気信号の規格化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ と、電気信号の規格化実測値 $S_{HNM}(T_H)$ と、は、一致しなかった。

【0152】

次に、約50種類の混合ガスの内の特定の混合ガスを校正ガスとして特定し、校正用電気信号の正規化実測値 $S_{HBNM}(T_H)$ を用いて、補正係数 $A(T_H)$ を算出した。当該補正係数 $A(T_H)$ を電気信号の規格化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ に掛けて電気信号の規格化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ を補正したところ、図24に示すように、補正された電気信号の規格化算出値 $S_{HNS}(T_H)$ と、電気信号の規格化実測値 $S_{HNM}(T_H)$ と、は、ほぼ一致した。

【0153】

(実施例2)

電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ を用いて、発熱量算出式を作成した。また、電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を用いて、発熱量算出式を作成した。次に、両方の発熱量算出式を用いて、約80種類の混合ガスのそれぞれの発熱量を算出したところ、図25に示すように、電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ を用いて作成された発熱量算出式を用いて算出された発熱量と、電気信号の実測値 $S_{HM}(T_H)$ を用いて作成された発熱量算出式を用いて算出された発熱量と、は、ほぼ一致した。

【0154】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす記述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施の形態及び運用技術が明らかになるはずである。例えば、複数の混合ガスを、電気信号の正規化算出値が基準電気信号の正規化算出値(例えば、1)に近い第1のグループと、電気信号の正規化算出値が基準電気信号の正規化算出値に近くない第2のグループに分け、それぞれのグループのなかから校正ガスを特定し、第1のグループにおける補正係数と、第2のグループにおける補正係数と、を別々に算出し、第1のグループにおける電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ と、第2のグループにおける電気信号の補正算出値 $S_{HCS}(T_H)$ と、を別々に算出してもよい。本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を包含するということを理解すべきである。

【符号の説明】

【0155】

- 8 マイクロチップ
- 18 断熱部材
- 20、21 発熱量算出式作成システム
- 60 基板
- 61 発熱素子
- 62 第1の測温素子
- 63 第2の測温素子
- 64 保温素子
- 65 絶縁膜

10

20

30

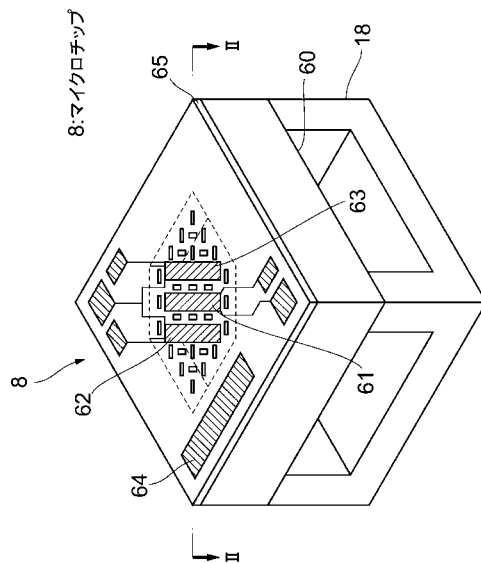
40

50

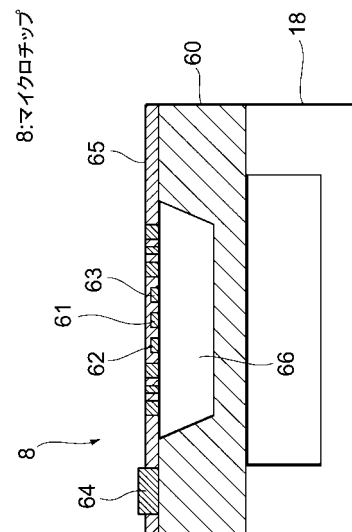
- 6 6 キャビティ
- 1 0 1 チャンバ
- 1 0 2、1 0 3 流路
- 3 0 0 中央演算処理装置
- 3 0 1 測定部
- 3 0 2 式作成部
- 3 0 3 駆動回路
- 3 0 4 変換回路
- 3 0 5 発熱量算出部
- 3 1 2 入力装置
- 3 1 3 出力装置
- 4 0 1 電気信号記憶装置
- 4 0 2 式記憶装置
- 4 0 3 発熱量記憶装置
- 5 0 1 シミュレーター
- 5 0 2 正規化部
- 5 0 3 補正部
- 6 0 1 正規化データ記憶装置
- 6 0 2 補正值記憶装置

10

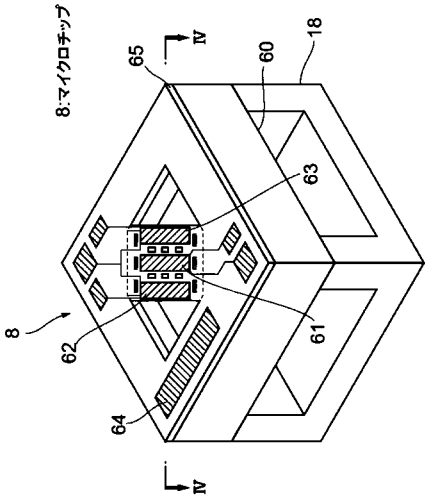
【図 1】



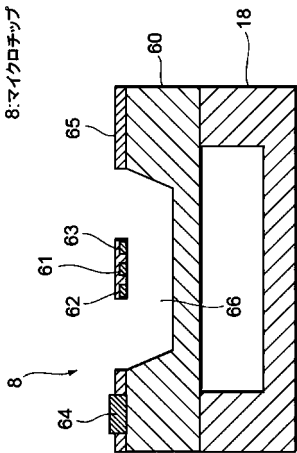
【図 2】



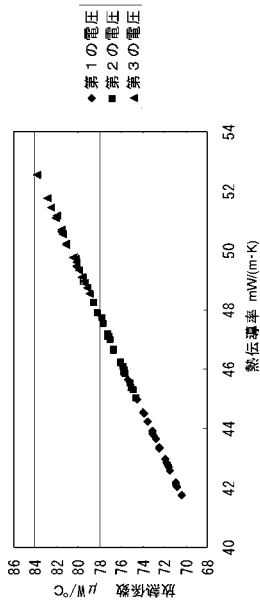
【図 3】



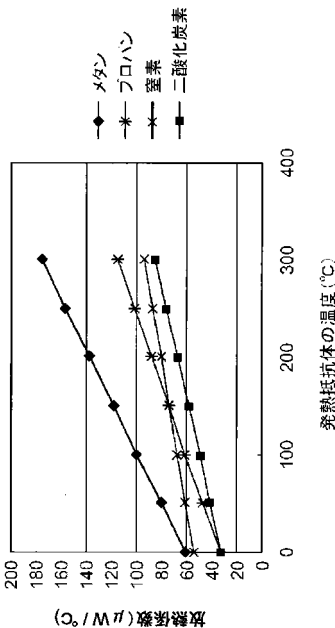
【図 4】



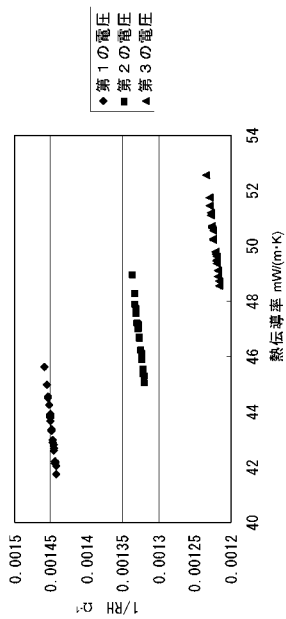
【図 5】



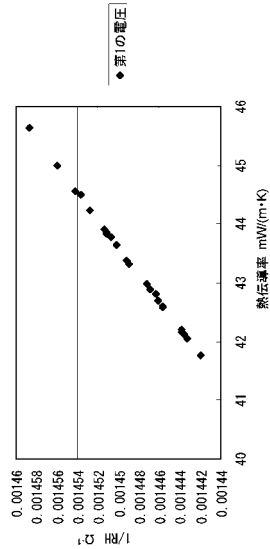
【図 6】



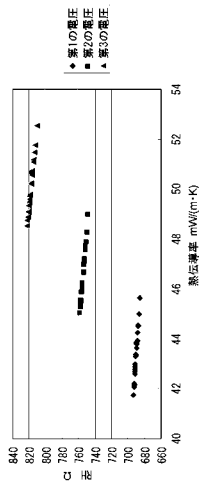
【図 7】



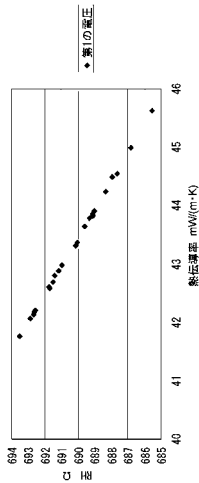
【図 8】



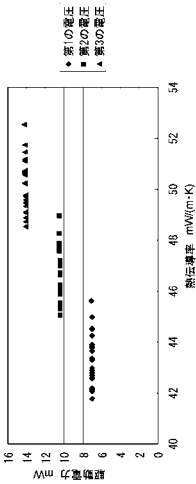
【図 9】



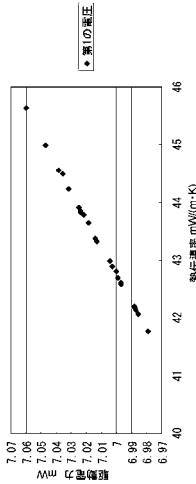
【図 10】



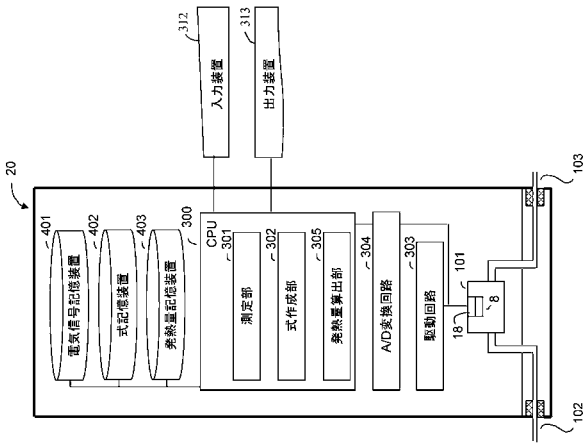
【図 1 1】



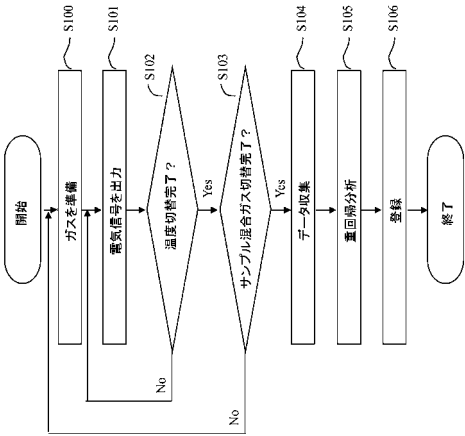
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 9】

電気信号の正誤化変換値のテーブル

	発熱温度 T_{11}	発熱温度 T_{12}	発熱温度 T_{13}	発熱温度 T_{14}
基準ガス	1	1	1	1
校正ガス				

【図 2 1】

電気信号の補正算出値のテーブル

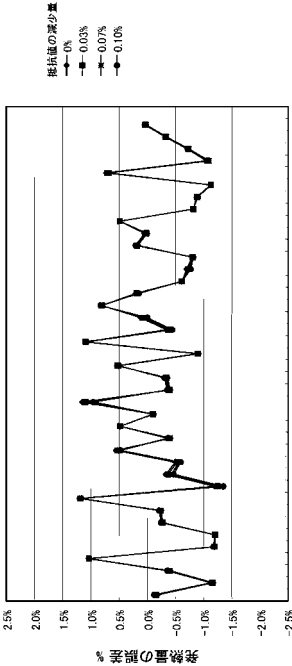
	発熱温度 T_{11}	発熱温度 T_{12}	発熱温度 T_{13}	発熱温度 T_{14}
基準ガス				
校正ガス				
第1の混合ガス				
第2の混合ガス				
第3の混合ガス				
第4の混合ガス				
第5の混合ガス				
第6の混合ガス				
第7の混合ガス				
第8の混合ガス				
第9の混合ガス				
第10の混合ガス				
↓				
↓				
↓				
↓				

【図 2 0】

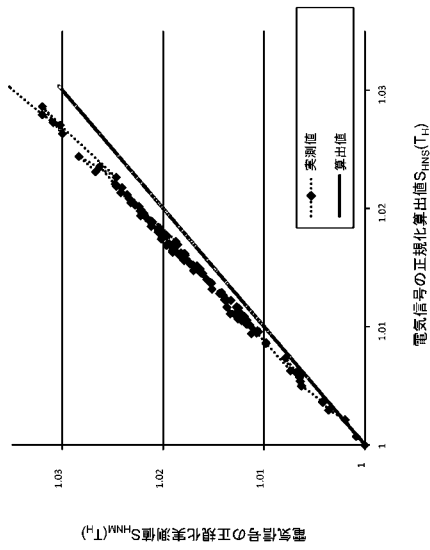
補正係数のテーブル

	発熱温度 T_{11}	発熱温度 T_{12}	発熱温度 T_{13}	発熱温度 T_{14}
補正係数				

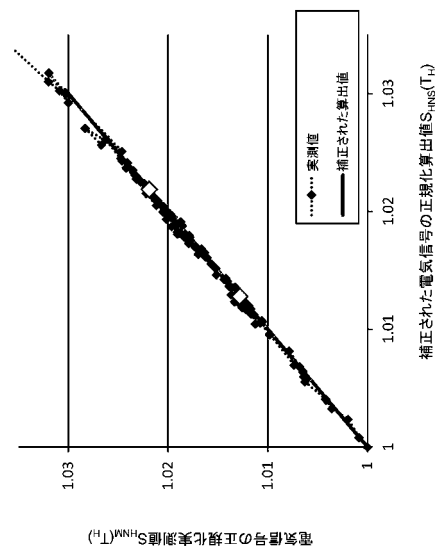
【図 2 2】



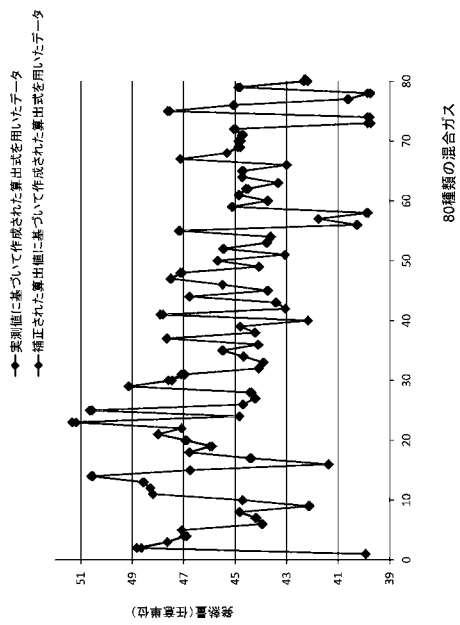
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

(72)発明者 大石 安治

東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内

(72)発明者 濱口 竜一

東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内

Fターム(参考) 2G040 AB09 AB15 BA23 CA13 CA22 CB02 DA02