(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5527160号
(P5527160)
(45)発行日　平成26年6月18日(2014.6.18)　(24)登録日　平成26年4月25日(2014.4.25)

(51)Int.Cl.　F I
G01K 7/00 (2006.01)　G01K 7/00 381G

請求項の数 6 (全 45 頁)

(21)出願番号　特願2010-243290(P2010-243290)
(22)出願日　平成22年10月29日(2010.10.29)
(65)公開番号　特開2012-98038(P2012-98038A)
(43)公開日　平成24年5月24日(2012.5.24)
審査請求日　平成25年10月28日(2013.10.28)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100124682
弁理士　黒田　泰
(74)代理人　100104710
弁理士　竹腰　昇
(74)代理人　100090479
弁理士　井上　一
(74)代理人　100095728
弁理士　上柳　雅誉
(74)代理人　100107261
弁理士　須澤　修
(74)代理人　100127661
弁理士　宮坂　一彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】温度測定装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
基材と、
前記基材の外表面上、または前記基材の内部に位置する第１測定点における温度を第１温度として測定する第１温度センサーと、
前記基材の外表面上、または前記基材の内部に位置し、かつ前記第１測定点とは異なる第２測定点における温度を第２温度として測定する第２温度センサーと、
前記基材の周囲の温度を第３温度として取得する周囲温度取得部と、
前記基材に設けられた熱流制御部と、
演算部と、
を備え、
前記熱流制御部は、前記基材とは異なる熱伝導率の材料層を有し、かつ前記材料層の温度を可変に制御する温度制御部を有し、
前記演算部は、前記第１温度、前記第２温度、および前記第３温度に基づいて、被測定体の深部温度を求める、
ことを特徴とする温度測定装置。
【請求項２】
請求項１記載の温度測定装置であって、
前記温度制御部は、ペルチエ素子であり、
前記ペルチエ素子が、前記熱流制御部に接触している、

ことを特徴とする温度測定装置。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の温度測定装置であって、
前記第１温度が、前記第２温度ならびに前記第３温度を変数とし、かつ、複数の定数を含む関数により表されるとき、前記演算部は、測定された前記第１温度、前記第２温度および前記第３温度に基づいて前記複数の定数を算出し、算出された前記複数の定数を用いた、前記深部温度の演算式による演算によって、前記被測定体の深部温度を算出する、
ことを特徴とする温度測定装置。
【請求項４】
請求項３記載の温度測定装置であって、
前記第１温度は、前記第２温度を変数とし、第１の傾きと第１の切片を有する第１の１次関数によって表され、
前記第１の１次関数の前記第１の切片は、前記第３温度を変数とし、第２の傾きと第２の切片を有する第２の１次関数によって表され、
前記複数の定数は、前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片に相当し、
第１測定で得られた前記第１温度をＴｂ１とし、前記第２温度をＴｐ１とし、前記第３温度をＴｏｕｔ１とし、
第２測定で得られた前記第１温度をＴｂ２とし、前記第２温度をＴｐ２とし、前記第３温度をＴｏｕｔ２とし、
第３測定で得られた前記第１温度をＴｂ３とし、前記第２温度をＴｐ３とし、前記第３温度をＴｏｕｔ３としたとき、
前記演算部は、前記第１測定で得られた前記第１温度Ｔｂ１、前記第２温度Ｔｐ１および前記第３温度Ｔｏｕｔ１と、前記第２測定で得られた前記第１温度Ｔｂ２、前記第２温度Ｔｐ２および前記第３温度Ｔｏｕｔ２と、前記第３測定で得られた前記第１温度Ｔｂ３、前記第２温度Ｔｐ３および前記第３温度Ｔｏｕｔ３と、に基づいて、前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片の値を算出し、算出された前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片の値を用いた、前記深部温度の演算式による演算によって、前記被測定体の深部温度を算出する、
ことを特徴とする温度測定装置。
【請求項５】
請求項４記載の温度測定装置であって、
前記演算部は、
前記第１の傾きをａとし、前記第２の傾きをｃとし、前記第２の切片をｄとしたとき、前記ａ，ｃ，ｄの値を、
【数１９】

$$\begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix}$$

によって算出し、
前記演算部は、
前記深部温度Ｔｃを、
【数２０】

$$Tc = \frac{d}{1-a-c}$$

によって表される、前記深部温度の演算式としての第１算出式によって算出する、
ことを特徴とする温度測定装置。

【請求項６】
請求項１又は２に記載の温度測定装置であって、
第１測定で得られた前記第１温度をＴｂ１とし、前記第２温度をＴｐ１とし、前記第３温度をＴｏｕｔ１とし、
第２測定で得られた前記第１温度をＴｂ２とし、前記第２温度をＴｐ２とし、前記第３温度をＴｏｕｔ２とし、かつ、前記Ｔｏｕｔ２の値が前記Ｔｏｕｔ１とは異なる値であるとき、
前記演算部は、前記第１測定で得られた前記第１温度Ｔｂ１および前記第２温度Ｔｐ１と、前記第２測定で得られた前記第１温度Ｔｂ２および前記第２温度Ｔｐ２と、を用いて、前記深部温度の演算式としての第２算出式による演算を実行して、前記深部温度Ｔｃを算出し、
前記第２算出式は、
【数２１】

$$Tc = \frac{Tb2(Tb1 - Tp1) - Tb1(Tb2 - Tp2)}{(Tb1 - Tp1) - (Tb2 - Tp2)}$$

によって表される、
ことを特徴とする温度測定装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、温度測定装置等に関する。
【背景技術】
【０００２】
例えば、基本的なバイタル情報である体温からは健康状態・基礎代謝状態・精神状態などの生体情報が得られる。人体あるいは動物の体温に基づいて、人または動物の健康状態、基礎代謝状態あるいは精神状態を推定する場合には、表層部の温度ではなく、深部の温度（深部温度）の情報が必要である。
【０００３】
また、例えば、炉や配管等の内部における温度を測定する場合に、炉や配管の外側に設けられた温度計測装置によって内部温度（すなわち深部温度）を測定できれば、温度測定装置を、炉や配管等の内部に設置するための工事が不要となり、また、内部の物質によって、温度測定装置が腐食する等の問題も生じない。
【０００４】
深部温度を測定する体温計は、例えば、特許文献１に記載されている。特許文献１では、人体上において、距離Ｌを隔てて並列に２つの温度測定部（第１温度測定部および第２温度測定部）を配置する。第１温度測定部の環境（大気）側には第１の断熱材が設けられており、第２温度測定部の環境（大気）側にも第２の断熱材が設けられており、第２の断熱材の材料を、第１の断熱材の材料とは異なる材料とすることによって、２つの温度測定部の熱抵抗値を異ならせ、これによって、２つの異なる熱流束を生じさせる。第１温度測定部は、第１の体表面温度ならびに第１の中間温度を測定し、第２温度測定部は、第２の体表面温度ならびに第２の中間温度を測定する。そして、これらの４点の温度データを用いて、所定の演算式によって深部温度を測定する。
【０００５】
すなわち、第１の熱流束に関して、第１温度測定部を流れる熱流束と、人体の深部から体表面に至るまでの熱流束が等しい点に着目し、これによって、深部温度と、測定された温度および熱抵抗とを関連付ける一つ目の式が得られる。同様に、第２の熱流束に関しても、深部温度と、測定された温度および熱抵抗とを関連付ける二つ目の式が得られる。連

立方程式を解くことによって、人体の熱抵抗値が不明であったとしても、精度よく深部温度を求めることができる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００６】
【特許文献１】特開２００６－３０８５３８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
特許文献１に記載される技術では、深部温度の算出に関して、温度測定部と、その周囲の環境（大気）との間における熱収支が考慮されていない。つまり、特許文献１に記載される技術では、熱収支が生じない、理想的な系を形成できることを前提としている。
【０００８】
しかし、温度測定部の小型化を、さらに促進した場合には、例えば、温度測定部の側面と環境（大気）との間での熱収支が顕在化し、熱収支の差分に対応する測定誤差を無視できなくなる。この点で、わずかながら測定誤差が生じるのは否めない。
【０００９】
本発明の少なくとも一つの態様によれば、より高精度な深部温度の測定が可能となる。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
（１）本発明の温度測定装置の一態様は、温度測定部と、環境温度取得部と、演算部と、前記温度測定部および前記演算部の動作を制御する制御部と、を含み、前記温度測定部は、被測定体に接触する接触面としての第１面を有する、熱媒体としての基材と、前記基材の第１測定点における温度を第１温度として測定する第１温度センサーと、前記基材の、前記第１測定点とは異なる第２測定点における温度を第２温度として測定する第２温度センサーと、前記基材における前記第１面に対向する面であって、前記環境側の面である第２面上に設けられた熱流制御部と、を有し、前記環境温度取得部は、前記基材の周囲の環境の温度を第３温度として取得し、前記第１測定点および前記第２測定点は、前記基材の外表面上、または前記基材の内部に位置し、前記熱流制御部は、前記基材の前記第２面における温度を、前記熱流制御部が無い場合と比較して、より前記環境の温度である前記第３温度に近づけるように、前記環境との間で熱交換を行い、前記第１温度センサーおよび前記第２温度センサーは、前記第３温度の値が異なるという条件の下で、前記第１温度および前記第２温度を複数回、測定し、前記演算部は、前記複数回の測定によって得られた前記第１温度および前記第２温度、ならびに前記複数回の測定に対応する前記異なる値の前記第３温度に基づいて、前記第１面から離れた、前記被測定体の深部における深部温度を、深部温度の演算式に基づいて求める。
【００１１】
従来例では、環境温度が一定であるという条件の下で、２つの温度測定部における断熱材の種類を異ならせて、２つの異なる熱流束を生成していたが、本態様では、環境温度が異なる、少なくとも２つの系において熱流束を生成する。なお、以下の説明で環境という用語を使用するが、環境は、例えば大気等の熱媒体であり、周囲媒体あるいは環境媒体と言い換えることができる。
【００１２】
従来例における熱流のモデルでは、２つの温度測定系における環境温度Ｔｏｕｔは同じ値（つまり一定）となっている。そして、各系における深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔ間に生じる熱流が一定であり、従来例は、このことを前提条件としている。被測定体から環境に向かう、例えば鉛直方向の熱流が一定であるということは、その鉛直方向の熱流の一部が、例えば基材の側面を経由して環境に逃げるといった熱収支が生じないことを前提として成立する。
【００１３】

しかし、温度測定装置の小型化が促進され、基材のサイズが小さくなると、被測定体と環境との間の熱収支（例えば、基材の側面からの熱の逃げ等）が顕在化する。この場合、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔ間に生じる熱流が一定であるという前提が満足されなくなる。

【００１４】

これに対して、本態様では、複数の熱流の系において、各熱流の一端は、温度変動が許容されている環境であり、例えば、第１の系では、環境温度はＴｏｕｔ１（任意の温度）であり、第２の系では環境温度はＴｏｕｔ２（Ｔｏｕｔ１とは異なる任意の温度）である。よって、複数の熱流の系の間で、環境温度（Ｔｏｕｔ）と深部温度（Ｔｃ）との間で生じる熱流が一定でなければならない、という、従来例のような制約が生じない。つまり、各系の熱流束には、熱収支による熱の移動が本来的に含まれており、環境温度Ｔｏｕｔ（任意の温度）と被測定体の深部温度Ｔｃとの間で、その熱収支の成分も含むような熱流が生じるだけである。

【００１５】

そして、このような熱流の系のモデルでは、基材における任意の２点（第１測定点と第２測定点）の温度は、環境温度（Ｔｏｕｔ）を変数（パラメーター）として含む式によって表すことができる。

【００１６】

また、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔとが等しいときは、熱収支はゼロとなる。よって、例えば、深部温度Ｔｃの演算を行う際に、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔとが等しいという条件を与えることによって、熱収支による測定誤差をゼロとすることができる。

【００１７】

また、深部温度を演算する演算式として、系が異なる２つの熱流束に基づいて測定された温度情報の差（の比）をとる形式の演算式を使用したとき、各系から得られた温度情報に含まれている、熱収支に対応する成分は相殺されて見えなくなる。つまり、基材と環境との間で熱収支が発生すること、あるいは、被測定体と環境との間で熱収支が発生することは、何ら問題とならない。

【００１８】

このような測定原理によって、被測定体の深部温度を、より高精度に測定することができる。熱収支が測定に与える影響は、一般に、温度測定装置を小型にするほど顕在化するが、本態様では、熱収支による誤差を抑制することができるため、温度測定装置の小型化と、極めて高精度な測定とを両立することができる。

【００１９】

また、本態様の温度測定装置では、異なる環境温度の下で、複数回の温度測定（温度情報の取得）を実行し、得られた複数の温度データを用いて演算を実行することによって、深部温度を求めることができる。よって、基本的には、基材は一つ設ければよく、特許文献１に記載される従来例のように、２つの基材（２つの温度測定部）を設ける必要がない。よって、この点でも、温度測定装置の小型化が可能である。また、特許文献１の体温計では、各温度測定部の熱抵抗値を異ならせるために、温度測定部の表層部に、材料が異なる断熱材を設ける必要があったが、本態様では、基本的には、熱を伝達する熱媒体としての基材が一つあればよく、この点で、温度測定装置の構成を簡素化することができる。基材としては、例えば、所定の熱伝導率（あるいは熱抵抗）をもつ材料（例えばシリコンゴム）を使用することができる。

【００２０】

また、本態様では、熱流制御部は、基材の第２面における温度を、熱流制御部が無い場合と比較して、より環境の温度である第３温度に近づけるように、環境との間で熱交換を行う。基材の第２面の温度が変化すると、第１測定点の温度である第１温度Ｔｂ、ならびに第２測定点の温度である第２温度Ｔｐは、共に、その影響を受けて変化する。但し、第２測定点を、例えば環境側の測定点とすると、原則として、第２測定点は、基材の第２面により近い位置にあると考えられ、第２温度Ｔｐは、基材の第２面の温度変化の影響をよ

り多く受け、ゆえに、第２温度Ｔｐの温度の変化量ΔＴｐは、第１温度Ｔｂの変化量ΔＴｂよりも大きくなる。よって、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間の温度差ΔＴｂｐは、（ΔＴｐ－ΔＴｂ）の分、拡大されることになる。つまり、本態様によれば、熱流制御部を設けない場合に比べて、第１測定点の温度である第１温度と、第２測定点の温度である第２温度との温度差が拡大される。これによって、測定温度に本来的に含まれる誤差の影響度が小さくなる等の効果が得られ、よって、測定精度を確保することができる。

【００２１】

第１温度と第２温度との差が大きいほど、高精度な深部温度の測定が可能であり、逆に、第１温度と第２温度との差が小さくなるほど、測定精度を保証できなくなる。しかし、温度測定部の小型化が促進されると、基材の厚みが薄くなり、第１温度と第２温度をはっきりと区別することがむずかしくなる、つまり、基材の内部における温度の分解能を確保できなくなる傾向がある。

【００２２】

本態様によれば、熱流制御部による環境との熱交換によって、第２温度を環境の温度により近づけて、第１温度と第２温度との差を拡大できることから、基材における温度の分解能を確保することができる。よって、温度測定部をさらに小型化した場合でも、深部温度の測定精度の低下を抑制することができる。

【００２３】

（２）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記熱流制御部は、前記基材とは異なる熱伝導率を有する材料により構成される材料層である。

【００２４】

本態様では、基材の第２面（環境側の面）上に、基材とは異なる熱伝導率を有する材料（好ましくは、熱伝導率が基材より小さい材料）により構成される材料層を設け、この材料層を熱流制御部とする。例えば、基材の材料としてシリコンゴムを使用し、熱流制御部としての材料層として、アルミニュウム等の金属層を使用することができる。基材の第２面上に材料層を設けるだけで熱流制御部を形成することができる。よって、本態様の発明は実現が容易である。

【００２５】

（３）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記熱流制御部は、前記材料層の温度を可変に制御する温度制御部を、さらに有する。

【００２６】

本態様では、熱流制御部は、材料層に加えて、温度制御部を含んで構成される。温度制御部としては、例えば、ペルチエ素子等の電子部品、コイル式ヒーター、空冷式あるいは水冷式の放熱器等を使用することができる。

【００２７】

上述の（２）の態様では、熱流制御部と環境との間の熱の移動は自然の摂理に従っていた（つまり、自然放熱／自然吸熱であった）が、本態様によれば、基材の第２面の温度を、所望の温度に制御することができることから、第１温度と第２温度との間に、より確実に温度差を設けることができる。

【００２８】

（４）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記温度制御部は、吸熱面および放熱面を有するペルチエ素子であり、前記吸熱面または前記放熱面が、前記材料層における前記環境側の面に接触している。

【００２９】

本態様では、温度制御部として、ペルチエ素子を使用する。ペルチエ素子は、ペルチエ効果を利用した電子部品である。ペルチエ効果は、Ｐ型半導体とＮ型半導体とを接合してなる接合面、または異なる２種類の金属の接合面に電流を流すと、熱の移動が生じて、吸熱または放熱が生じる効果である。例えば、半導体のＮＰＮ構造に直流電流を流したとき、例えば、Ｎ型半導体からＰ型半導体に電流が流れるときは吸熱現象が生じ、また、Ｐ型半導体からＮ型半導体に電流が流れるときは放熱現象が生じる。電流の向きを逆転させる

と、吸熱と発熱が反転する。ペルチエ素子の性能は、最大吸熱量と、最大電流と、最大電圧とで表わすことができる。

【００３０】

ペルチエ素子は小型の電子部品であり、高精度な温度制御が可能であり、かつ、騒音や振動を発生しないという利点を有している。よって、ペルチエ素子を利用して積極的に温度制御を行うことによって、熱流制御部の構成要素である材料層の温度を高精度に管理することができる。

【００３１】

上述の（２）の態様では、熱流制御部と環境との間の熱の移動は自然の摂理に従っていた（つまり、自然放熱／自然吸熱であった）が、本態様によれば、基材の第２面の温度を、所望の温度に制御することができることから、第１温度と第２温度との間に、確実に温度差を設けることができる。

【００３２】

例えば、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上になるように、負帰還制御系によってペルチエ素子の吸熱や放熱を制御することができる。このような温度制御を行えば、第１温度および第２温度が、共に環境温度（第３温度）の影響を受けて変化するという前提を満足させつつ、第１温度と第２温度との差分を所望の値以上に維持することができる。

【００３３】

負帰還制御系は、常時、動作させてもよく、また、必要なときにのみ動作させることもできる。例えば、負帰還制御系を常時、動作させて、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）になるように制御することもできる。

【００３４】

また、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値ΔＴＱ以上であるときは、負帰還制御系を非動作状態とし（自然放置状態）、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値ΔＴＱ未満となると、負帰還制御系を動作させて、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）になるように制御することもできる。この例では、負帰還制御系を用いて、（Ｔｂ－ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上になるように制御していることになる。この例では、負帰還制御系を常時、動作させる例と比較して、消費電力を削減することができるという効果が得られる。

【００３５】

また、材料層として、例えば金属層が用いられるとき、ペルチエ素子の吸熱面／放熱面を、例えば金属層の表面の一部の領域のみに接触させれば、金属層の熱伝導率は高いことから、金属層の全面の温度をほぼ均一に変化させることができる。

【００３６】

本態様によれば、第１温度と第２温度との温度差は、熱流制御部が無い場合に比べて、確実に拡大される。したがって、基材における温度の分解能を確保することができる。よって、温度測定部をさらに小型化した場合でも、深部温度の測定精度の低下を、確実に抑制することができる。

【００３７】

（５）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記第１温度が、前記第２温度ならびに前記第３温度を変数とし、かつ、複数の定数を含む関数により表されるとき、前記演算部は、測定された前記第１温度、前記第２温度および前記第３温度に基づいて前記複数の定数を算出し、算出された前記複数の定数を用いた、前記深部温度の演算式による演算によって、前記被測定体の深部温度を算出する。

【００３８】

被測定体の温度が変化すると、基材における被測定体側の第１温度が変化し、基材における環境測の第２温度も変化する。従来は、このような被測定体を起点とした、基材における２点の温度の変化のみに着目していた。本態様では、逆に、環境を起点とした、基材における温度の変化にも着目する。

【００３９】

つまり、環境（大気等）の温度が変化すれば、基材における環境側の第２温度が変化し、そして、基材における被測定体測の第１温度も変化する。コンピューターシミュレーションによって、この環境を起点とした、基材における２点の温度変化には、所定の規則性があることがわかった。

【００４０】

つまり、第１温度は、第２温度ならびに第３温度を変数とし、かつ、複数の定数を含む関数により表すことができる。また、深部温度（Ｔｃ）と環境温度（Ｔｏｕｔ）とが等しいときは、熱収支はゼロとなる点に着目して、上述の関数を変形することによって、深部温度の算出式が得られる。

【００４１】

但し、算出式に基づいて深部温度を算出するためには、上述の関数に含まれる複数の定数の値を決める必要がある。そこで、演算部は、まず、例えば、複数回の測定の結果として得られた各温度データに基づいて、上述の複数の定数の値を算出する。次に、演算部は、各定数の値を用いて、算出式による演算を実行して、深部温度を算出する。これによって、熱収支による影響が除去された、理想に近い深部温度が求められる。

【００４２】

（６）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記第１温度は、前記第２温度を変数とし、第１の傾きと第１の切片を有する第１の１次関数によって表され、前記第１の１次関数の前記第１の切片は、前記第３温度を変数とし、第２の傾きと第２の切片を有する第２の１次関数によって表され、前記複数の定数は、前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片に相当し、第１測定で得られた前記第１温度をＴｂ１とし、前記第２温度をＴｐ１とし、前記第３温度をＴｏｕｔ１とし、第２測定で得られた前記第１温度をＴｂ２とし、前記第２温度をＴｐ２とし、前記第３温度をＴｏｕｔ２とし、第３測定で得られた前記第１温度をＴｂ３とし、前記第２温度をＴｐ３とし、前記第３温度をＴｏｕｔ３としたとき、前記演算部は、前記第１測定で得られた前記第１温度Ｔｂ１、前記第２温度Ｔｐ１および前記第３温度Ｔｏｕｔ１と、前記第２測定で得られた前記第１温度Ｔｂ２、前記第２温度Ｔｐ２および前記第３温度Ｔｏｕｔ２と、前記第３測定で得られた前記第１温度Ｔｂ３、前記第２温度Ｔｐ３および前記第３温度Ｔｏｕｔ３と、に基づいて、前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片の値を算出し、算出された前記第１の傾きと、前記第２の傾きと、前記第２の切片の値を用いた、前記深部温度の演算式による演算によって、前記被測定体の深部温度を算出する。

【００４３】

コンピューターシミュレーションによって、第１温度（基材の被測定体側の温度）は、第２温度（基材の環境側の温度）に対して線形性を有し、よって、第１温度は、第２温度を変数とし、第１の傾きと第１の切片を有する第１の１次関数によって表すことができることがわかった。すなわち、（第１温度）＝（第１の傾き）・（第２温度）＋（第１の切片）と表すことができる。

【００４４】

また、コンピューターシミュレーションによって、第１の１次関数における第１の切片は、第３温度（環境温度）に対して線形性を有し、よって、第１の１次関数の第１の切片は、第３温度を変数とし、第２の傾きと第２の切片を有する第２の１次関数によって表わすことができることがわかった。すなわち、（第１の切片）＝（第２の傾き）・（第３温度）＋（第２の切片）と表すことができる。

【００４５】

この結果、（第１温度）＝（第１の傾き）・（第２温度）＋（第２の傾き）・（第３温度）＋（第２の切片）と表すことができる。この関係式が、上述の（５）の態様において記載されている、「第２温度と第３温度を変数とし、かつ、複数の定数を含む関数」に相当する。したがって、「複数の定数」は、上述の式における、「第１の傾き」と、「第２の傾き」と、「第２の切片」に相当する。つまり、３つの定数の値を求める必要が生じる。

【００４６】
そこで、例えば、少なくとも３回の温度測定（温度情報の取得）を実行し、温度測定（温度情報の取得）毎に、一組の第１温度、第２温度ならびに第３温度を得る。得られた温度値を、上述の関数、すなわち、（第１温度）＝（第１の傾き）・（第２温度）＋（第２の傾き）・（第３温度）＋（第２の切片）という関係式に代入すると、３つの方程式、つまり、（第１の傾き）、（第２の傾き）ならびに（第２の切片）という３つの変数を含む３元連立方程式が得られる。この３元連立方程式を解くことによって、「複数の定数の」、すなわち、「第１の傾き」と、「第２の傾き」と、「第２の切片」の値を決定することができる（但し、この方法に限定されるものではない）。

【００４７】
（７）本発明の温度測定装置の他の態様では、前記演算部は、前記第１の傾きをａとし、前記第２の傾きをｃとし、前記第２の切片をｄとしたとき、前記ａ，ｃ，ｄの値を、

【数１】

$$\begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix}$$

によって算出し、前記演算部は、前記深部温度Ｔｃを、

【数２】

$$Tc = \frac{d}{1-a-c}$$

によって表される、前記深部温度の演算式としての第１算出式によって算出する。

【００４８】
本態様では、上記（５）の態様で説明した複数の定数としての、「第１の傾き」、「第２の傾き」ならびに「第２の切片」を、複数の定数ａ，ｃ，ｄと表現する。

【００４９】
上述した、（第１温度）＝（第１の傾き）・（第２温度）＋（第２の傾き）・（第３温度）＋（第２の切片）という関数は、具体的には、「Ｔｂ＝ａ・Ｔｐ＋ｃ・Ｔｏｕｔ＋ｄ」と表すことができる。Ｔｂは第１温度であり、Ｔｐは第２温度であり、Ｔｏｕｔは環境温度（第３温度）であり、ａ，ｃ，ｄは定数である。よって、上述した３元連立方程式は、下記の式によって表すことができる。

【数３】

$$\begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix}$$

ゆえに、複数の定数（ａ，ｃ，ｄ）は、上述の逆行列を含む式によって求めることができる。

【００５０】
また、求められた、ａ，ｃ，ｄの各値を、第１算出式に代入して、演算を実行することによって、熱収支の影響を受けない、ほぼ理想的に補正された深部温度Ｔｃが得られる。

【００５１】
（８）本発明の温度測定装置の他の態様は、第１測定で得られた前記第１温度をＴｂ１とし、前記第２温度をＴｐ１とし、前記第３温度をＴｏｕｔ１とし、第２測定で得られた前記第１温度をＴｂ２とし、前記第２温度をＴｐ２とし、前記第３温度をＴｏｕｔ２とし、かつ、前記Ｔｏｕｔ２の値が前記Ｔｏｕｔ１とは異なる値であるとき、前記演算部は、前記第１測定で得られた前記第１温度Ｔｂ１および前記第２温度Ｔｐ１と、前記第２測定で得られた前記第１温度Ｔｂ２および前記第２温度Ｔｐ２と、を用いて、前記深部温度の演算式としての第２算出式による演算を実行して、前記深部温度Ｔｃを算出し、前記第２

算出式は、

【数４】

$$Tc = \frac{Tb2(Tb1 - Tp1) - Tb1(Tb2 - Tp2)}{(Tb1 - Tp1) - (Tb2 - Tp2)}$$

によって表される。

【００５２】

本態様では、少なくとも２回の温度測定（温度情報の取得）を実行し、各温度測定では、第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔの値を異ならせる。環境温度（第３温度）を異にして、２回の温度測定を実行したとき、第１測定では、始端を被測定体の深部とし、終端を環境（大気等）とする第１の熱流束の系が構成されることになる。また、第２測定では、始端を被測定体の深部とし、終端を環境（大気等）とする第２の熱流束の系が構成される。第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔは、各系で異なることから、各系の熱流束は互いに異なる熱流束である。

【００５３】

これらの熱流束の系では、終端が環境であることから、従来例にて問題となる熱収支の差分という概念が生じない。つまり、その熱収支も含めて、環境温度Ｔｏｕｔ（Ｔｏｕｔ１，Ｔｏｕｔ２）が一義的に定まるというだけである。

【００５４】

また、使用している基材の熱特性（例えば熱伝導率）は、第１の熱流束の系、第２の熱流束の系で同じである（これは、共通の基材を使用しているのだから、当然のことである）。つまり、熱抵抗の分布は、第１の系と第２の系との間で、何ら変化しない。よって、基材に第１測定点と第２測定を設定したとき、（第１測定点と第２測定点の温度の差）／（被測定体の深部温度Ｔｃと第１測定点の温度の差）は、第１の熱流束の系、第２の熱流束の系ともに同じである。よって、下記の式が成立する。

【数５】

$$\frac{(Tb1 - Tp1)}{(Tc - Tb1)} = \frac{(Tb2 - Tp2)}{(Tc - Tb2)}$$

この式を、Ｔｃについて解くと、上述の第２算出式が得られる。従来例における、ΔＴｃという誤差成分の概念自体が生じないことから、第２算出式によれば、ほぼ理想的な深部温度Ｔｃが得られる。

【００５５】

すなわち、第２算出式は、系が異なる２つの熱流束に基づいて測定された温度情報の差の比をとる形式の演算式であることから、各温度情報に含まれている、熱収支に対応する成分は相殺されて見えなくなる。つまり、基材と環境との間で熱収支が発生すること、あるいは、被測定体と環境との間で熱収支が発生することは、何ら問題とならない。

【００５６】

第２算出式は、形式的には従来例における算出式と同じように見えるが、第２算出式は、従来例の算出式とは、根本的に異なる算出式である。つまり、第２算出式は、環境を終端とする２つの熱流束の系から得られたデータに基づいて、基材における熱抵抗の比が同じ（共通）であるという観点から導き出される算出式であり、根本的に異なるものである。

【００５７】

なお、本態様では、第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔは、深部温度Ｔｃの算出自体には直接的には関係しない。但し、上述のとおり、第１測定におけるＴｏｕｔ１と、第２測定におけるＴｏｕｔ２とは異なっている必要があり、Ｔｏｕｔ１＝Ｔｏｕｔ２であるときは、正確な深部温度の算出ができない。よって、第３温度センサーで測定された第３温度Ｔｏｕｔは、算出可能条件（第１測定と第２測定における第３温度が異なるという条件）が満足されているかを確認するために、つまり、演算の可否の判断に使用することができる。

【図面の簡単な説明】
【００５８】
【図１】図１（Ａ）～図１（Ｄ）は、第１の実施形態における、深部温度の測定方法を説明するための図
【図２】図２（Ａ）～図２（Ｄ）は、熱流制御部の具体例を示す図
【図３】図３（Ａ）～図３（Ｃ）は、熱流制御部の効果について考察するための、実測された温度データ例を示す図
【図４】図４（Ａ）および図４（Ｂ）は、温度測定方法の一例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の一例を示す図
【図５】図５（Ａ）および図５（Ｂ）は、温度測定方法の他の例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の他の例を示す図
【図６】図６（Ａ）および図６（Ｂ）は、温度測定方法の他の例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の他の例を示す図
【図７】図７（Ａ）～図７（Ｃ）は、環境温度が一定であるという条件下における、第１温度と第２温度との間の関係、ならびに、その関係を深部温度の算出式に適用した場合の結果を示す図
【図８】図８（Ａ）～図８（Ｄ）は、環境温度を変化させた場合における、第１温度と第２温度との間の関係を示す図
【図９】図９（Ａ）～図９（Ｄ）は、第１実施形態における、深部温度の測定方法を示す図
【図１０】図１０（Ａ）～図１０（Ｃ）は、温度測定装置の全体構成の例を示す図
【図１１】図１１（Ａ）および図１１（Ｂ）は、無線通信を利用した温度測定装置の使用例を説明するための図
【図１２】第１実施形態における、深部温度の測定手順を示す図
【図１３】深部温度の算出結果の一例を示す図
【図１４】深部温度の算出結果の他の例を示す図
【図１５】深部温度の算出結果の他の例を示す図
【図１６】深部温度の算出結果の他の例を示す図
【図１７】図１７（Ａ）および図１７（Ｂ）は、基材の内部における温度分布と測定結果との関係の一例を示す図
【図１８】図１８（Ａ）および図１８（Ｂ）は、基材の内部における温度分布と測定結果との関係の他の例を示す図
【図１９】第２の実施形態における、深部温度の測定方法を説明するための図
【図２０】図２０（Ａ）および図２０（Ｂ）は、特許文献１に示される従来例において、熱収支に起因する誤差成分が生じる理由を説明するための図
【図２１】図２１（Ａ）および図２１（Ｂ）は、本発明の第２実施形態において、熱収支に起因する誤差成分が生じない理由を説明するための図
【図２２】図２２（Ａ）および図２２（Ｂ）は、第２実施形態における、深部温度の測定手順と、第２実施形態における深部温度の算出結果例を示す図
【図２３】図２３（Ａ）～図２３（Ｅ）は、温度センサーを、基材に設ける方法の一例について説明するための図
【図２４】図２４（Ａ）～図２４（Ｃ）は、特許文献１（特開２００６－３０８５３８号公報）の図７に記載される体温計の例を説明するための図
【図２５】熱流束が定常状態であるときの体温計の接触部モデルと、深部温度の算出式を示す図
【図２６】従来例における熱収支による測定誤差について説明するための図
【発明を実施するための形態】
【００５９】
本発明の実施形態について説明する前に、特許文献１に記載される、深部温度を求めるための演算式について、簡単に説明する。

【００６０】
図２４（Ａ）～図２４（Ｃ）は、特許文献１（特開２００６－３０８５３８号公報）の図７に記載される体温計の例を説明するための図である。図２４（Ａ）では、特許文献１の図７の内容を、そのまま記載している。図２４（Ｂ）および図２４（Ｃ）は、特許文献１の図７に記載される例の動作を説明するために、今回、新規に追加した補助的な図である。
【００６１】
図２４（Ａ）に示されるように、体温計本体３は、人体２上に設けられている。体温計本体３は、第１温度測定部３Ａと第２温度測定部３Ｂを備えている。第１温度測定部３Ａは、人体２の体表面２Ａに接触する接触面３００Ａを有している断熱材３７と、熱流束調整手段として、断熱材３７と外気との間に設けられた第１の断熱材としての断熱材３８Ａとを備えている。また、温度測定部３Ｂは、温度測定部３Ａの接触位置から距離Ｌだけ離れた位置における体表面２Ａに接触する接触面３００Ｂを有している断熱材３７と、熱流束調整手段として、断熱材３７と外気との間に第２の断熱材としての断熱材３８Ｂを備えている。すなわち、断熱材３７は、第１温度測定部３Ａと第２温度測定部３Ｂとで共通しており、共通の熱抵抗値を有している。
【００６２】
第１温度測定部３Ａは、体表面２Ａの温度を第１の基準温度として測定する第１基準温度測定部としての体表面センサー３１Ａと、断熱材３７と断熱材３８Ａとの界面３０１Ａの温度を第１の参照温度として測定する第１参照温度測定部としての中間センサー３２Ａとを備えている。
【００６３】
また、温度測定部３Ｂは、体表面２Ａの温度を第２の基準温度として測定する第２基準温度測定部としての体表面センサー３１Ｂと、断熱材３７と断熱材３８Ｂとの界面３０１Ｂの温度を第２の参照温度として測定する第２の参照温度測定部としての中間センサー３２Ｂとを備えている。断熱材３８の材料は、断熱材３７の材料とは異なっている。したがって、第１温度測定部３Ａと第２温度測定部３Ｂとの間の熱抵抗値を異なり、各温度測定部には、異なる熱流束が生じることになる。
【００６４】
図２４（Ｂ）では、図２４（Ａ）に示される体温計本体の構造を簡略化して示している。図２４（Ｃ）では、図２４（Ｂ）に示される第１温度測定部３Ａおよび２温度測定部３Ｂにおける、熱抵抗と熱流束とが記載されている。
【００６５】
図２４（Ｃ）に示されるように、人体２の表層部の熱抵抗はＲｓであり、また、各温度測定部３Ａ，３Ｂと人体２との接触箇所には、接触抵抗Ｒｔが存在する。（Ｒｓ＋Ｒｔ）の値は不明である。また、共通の断熱材３７の熱抵抗はＲｕ０（既知）である。また、第１温度測定部３Ａの大気側に設けられる断熱材３８Ａの熱抵抗は（Ｒｕ１＋ＲＶ）である。なお、ＲＶは大気に近い表層部の熱抵抗である。また、第１温度測定部３Ｂの大気側に設けられる断熱材３８Ｂの熱抵抗は（Ｒｕ２＋ＲＶ）である。
【００６６】
また、図２４（Ｃ）では、体表面センサー３１Ａ，３１Ｂによって測定された温度をＴｂ１，Ｔｂ３とし、中間センサー３２Ａ，３２Ｂによって測定された温度をＴｂ２，Ｔｂ４とする。
【００６７】
図２４（Ｃ）の左側に太線の矢印で示されるように、第１温度測定部３Ａには、人体２の深部から、断熱材３７と断熱材３８Ａとが接触する界面３０１Ａに向かう熱流束が生じる。この熱流束は、人体２の深部（温度Ｔｃｏｒｅ）から体表面２Ａに向かう熱流束Ｑ（ｓ＋ｔ）と、体表面２Ａから界面３０１Ａに向かう熱流束Ｑｕ１と、に分けることができる。また、第２温度測定部３Ｂにおいても、人体２の深部から、断熱材３７と断熱材３８Ａとが接触する界面３０１Ａに向かう熱流束が生じ、この熱流束は、人体２の深部（温度

Ｔｃｏｒｅ）から体表面２Ａに向かう熱流束Ｑ（ｓ＋ｔ）と、体表面２Ａから界面３０１Ａに向かう熱流束Ｑｕ２と、に分けることができる。

【００６８】

熱流束は、２点の温度の差を、２点間の熱抵抗値で除算して求めることができる。よって、熱流束Ｑ（ｓ＋ｔ）は、下記の式（Ａ）で示され、熱流束Ｑｕ１は、下記の式（Ｂ）で示され、熱流束Ｑｕ２は、下記の式（Ｃ）で示される。

Ｑ（ｓ＋ｔ）＝（Ｔｃｏｒｅ－Ｔｂ１）／（Ｒｓ＋Ｒｔ）・・・（Ａ）

Ｑｕ１＝（Ｔｂ１－Ｔｂ２）／Ｒｕ０・・・（Ｂ）

Ｑｕ２＝（Ｔｂ３－Ｔｂ４）／Ｒｕ０・・・（Ｃ）

ここで、人体２における熱流束と、温度測定部３Ａ，３Ｂにおける熱流束とは等しい。よって、Ｑ（ｓ＋ｔ）＝Ｑｕ１が成立し、同様に、Ｑ（ｓ＋ｔ）＝Ｑｕ２が成立する。

したがって、式（Ａ）ならびに式（Ｂ）から、下記（Ｄ）式が得られ、式（Ａ）と式（Ｃ）から、下記の式（Ｅ）が得られる。

Ｔｃｏｒｅ＝｛（Ｒｓ＋Ｒｔ）／Ｒｕ０｝・（Ｔｂ１－Ｔｂ２）＋Ｔｂ１・・・（Ｄ）

Ｔｃｏｒｅ＝｛（Ｒｓ＋Ｒｔ）／Ｒｕ０｝・（Ｔｂ３－Ｔｂ４）＋Ｔｂ３・・・（Ｅ）

図２５は、熱流束が定常状態であるときの体温計の接触部モデルと、深部温度の算出式を示す図である。この図２５の上側に示される図は、特許文献１の図９の内容を、ほぼそのまま記載した図である。図２２の上側の図に示されるように、２つの異なる熱流束（Ｑ（ｓ＋ｔ）とＱｕ１、Ｑ（ｓ＋ｔ）とＱｕ２）は、傾きが異なる直線で示される。各熱流束において、人体２における熱流束と、温度測定部３Ａ，３Ｂにおける熱流束とは等しいという条件より、上述のとおり、深部温度Ｔｃｏｒｅの算出式である（Ｄ）式と（Ｅ）式とが得られる。

【００６９】

式（Ｄ）と式（Ｅ）に基づいて、｛（Ｒｓ＋Ｒｔ）／Ｒｕ０｝の項を除去することができる。この結果、深部温度Ｔｃｏｒｅの算出式である、下記の式（Ｆ）が得られる。

【数６】

$$Tcore=\frac{Tb3(Tb1-Tb2)-Tb1(Tb3-Tb4)}{(Tb1-Tb2)-(Tb3-Tb4)}\quad\cdots\cdots(\mathrm{F})$$

この式（Ｆ）によれば、人体２における熱抵抗値に関係なく、人体２の深部温度Ｔｃｏｒｅを精度よく求めることができる。

【００７０】

図２６は、図２４に示した従来例において、熱収支による測定誤差が生じる様子を示している。なお、図２６では、説明の便宜上、各体表面センサー３１Ａ～３２Ｂの測定温度を、Ｔ１～Ｔ４と表記している。

【００７１】

図２６において、人体２と環境（ここでは大気）７との間、あるいは、温度測定部３Ａ，３Ｂと環境７との間に生じる熱収支（熱の授受）が、太線の破線の矢印で示されている。上述のとおり、人体２の深部から温度測定部３Ａ，３Ｂに向かう熱流束が生じるが、実際の温度測定に際して、熱流束の一部は、例えば、温度測定部３Ａ，３Ｂから環境（大気）７に逃げ、また、例えば、環境（大気）７から温度測定部３Ａ，３Ｂに熱が流入する。先に説明した、特許文献１に記載される技術では、熱収支が生じない、理想的な熱流束を前提としているため、この点で、わずかながら測定誤差が生じるのは否めない。

【００７２】

図２６の下側に示される式（Ｆ）では、従来例における深部温度Ｔｃｏｒｅを、真の深部温度Ｔｃと、熱収支による誤差成分ΔＴｃとに分けて記載してある。つまり、特許文献１に記載される測定方法では、測定された深部温度Ｔｃｏｒｅには、熱収支に伴う測定誤差が、わずかながら存在することになる。この熱収支に伴う誤差成分を、例えば、補正演算等によって除去することができれば、深部温度の測定精度を、さらに向上させることができる。

【００７３】
次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。
【００７４】
（第１の実施形態）
図１（Ａ）～図１（Ｄ）は、第１の実施形態における、深部温度の測定方法を説明するための図である。図１では、本実施形態における温度測定装置の要部（温度測定部）のみが記載されている。なお、温度測定装置の全体の構成例については、図１０を用いて後述する。
【００７５】
まず、図１（Ａ）を参照する。本実施形態における温度測定装置は、基材４０と、基材４０の第１測定点ｐ１における温度を、第１温度Ｔｂとして測定する第１温度センサー５０と、基材４０の、第１測定点ｐ１とは異なる第２測定点ｐ２における温度を第２温度Ｔｐとして測定する第２温度センサー５２と、基材４０の周囲の環境（ここでは大気）７の温度を第３温度として取得する環境温度取得部５３と、熱流制御部６１と、有する。
【００７６】
基材４０は、被測定体６に接触する接触面である第１面ＳＲ１と、第１面ＳＲ１に対向する面であって、環境側の面（つまり、基材４０の上面）である第２面ＳＲ２と、を有する。基材４０の第１面ＳＲ１は、被測定体６の表層部５の表面に接触した状態となっている。また、熱流制御部６１は、基材４０の第２面ＳＲ２上に設けられている。
【００７７】
基材４０の第２面ＳＲ２は、例えば、第１面ＳＲ１に対して平行な面である。また、基材４０は、熱を伝達する熱媒体である。基材４０としては、例えば、所定の熱伝導率（あるいは熱抵抗）をもつ材料（例えばシリコンゴム）を使用することができる。基材４０の材料としては、例えば、シリコンゴムを使用することができる。被測定体６は、人体であってもよく、また、炉や配管等の無機的な構造物であってもよい。
【００７８】
また、第１温度センサー５０、第２温度センサー５２ならびに第３温度センサー５４としては、例えば、温度値を抵抗値に変換するタイプの温度センサーを使用することができ、また、温度値を電圧値に変換するタイプの温度センサー等を使用することができる。なお、温度値を抵抗値に変換するタイプの温度センサーとしては、チップサーミスターや、サーミスターパターンがプリントされたフレキシブル基板、白金測温抵抗体等を採用することができる。また、温度値を電圧値に変換するタイプの温度センサーとしては、熱電対素子や、ＰＮ接合素子、ダイオード等を採用することができる。
【００７９】
被測定体６の深部４の深部温度はＴｃであり、この深部温度Ｔｃが測定対象となる温度である。図１（Ａ）の例では、破線の矢印で示されるように、被測定体６の深部４から環境７に向かう熱流（熱流束）Ｑａが生じている。
【００８０】
環境７は、例えば、大気等の熱媒体であり、周囲媒体あるいは環境媒体と言い換えることができる。基材４０の周囲の媒体に、大気の構成成分ではないガス成分が含まれるような場合であっても、その媒体は環境（周囲媒体、環境媒体）７ということができる。また、その媒体は、気体に限定されるものではない。
【００８１】
また、第１測定点ｐ１および第２測定点ｐ２は、基材４０の外表面上、または基材４０の内部に設けることができる。
【００８２】
また、熱流制御部６１は、基材４０の第２面ＳＲ２における温度を、熱流制御部６１が無い場合と比較して、より環境７の温度である第３温度Ｔｏｕｔに近づけるように、環境７との間で熱交換を行う。
【００８３】

また、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２は、第３温度Ｔｏｕｔの値が異なるという条件の下で、第１温度Ｔｐおよび第２温度Ｔｂを複数回（ここでは３回とする）、測定する。

【００８４】

第１測定点ｐ１の温度Ｔｐ（すなわち第１温度）ならびに第２測定点ｐ２の温度Ｔｂ（すなわち第２温度）は、共に、熱源としての深部温度Ｔｃの影響を受けて変動し、かつ、熱流の終端である環境７の温度Ｔｏｕｔ（すなわち第３温度）の影響を受けて変動する。

【００８５】

例えば、第１温度$Ｔｐ＝Ｔ_{ＰＡ}$としたとき、第２温度$Ｔｂ＝ａＴ_{ＰＡ}＋ｂ$と表すことができる。ａは一次関数の傾き（第１の傾き）であり、ｂは、切片（第１の切片）である。また、第１の切片ｂは、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔによって線形に変化する。すなわち、ｂ＝ｃＴｏｕｔ＋ｄと表すことができる。ｃは一次関数の傾き（第２の傾き）であり、ｄは、切片（第２の切片）である。

【００８６】

温度測定部に含まれる演算部（図１では不図示，図４～図６における参照符号７４）は、本実施形態においては、３回の測定によって得られた第１温度（Ｔｂ１～Ｔｂ３）および第２温度（Ｔｐ１～Ｔｐ３）、ならびに３回の測定に対応する異なる値の第３温度（Ｔｏｕｔ１～Ｔｏｕｔ３）に基づいて、第１面ＳＲ１から離れた、被測定体６の深部４における深部温度Ｔｃを、深部温度の演算式である第１算出式（式（１））による演算によって求める。つまり、Ｔｃ＝ｄ／（１－ａ－ｃ）となる。

【００８７】

第１算出式（式（１））は、深部温度（Ｔｃ）と環境温度（Ｔｏｕｔ）とが等しいときは、熱収支はゼロとなるという点に着目して導出される（詳しい導出過程については後述する）。３回の測定によって得られた温度データから、定数ａ，ｃ，ｄを決定し、式（１）に代入することによって、深部温度Ｔｃが求まる。これが本実施形態における深部温度Ｔｃの算出方法である。

【００８８】

従来例では、環境温度が一定であるという条件の下で、２つの温度測定部における断熱材の種類を異ならせて、２つの異なる熱流束を生成していたが、本態様では、環境温度が異なる、少なくとも２つの系において熱流束を生成する。なお、以下の説明で環境という用語を使用するが、環境は、例えば大気等の熱媒体であり、周囲媒体あるいは環境媒体と言い換えることができる。

【００８９】

従来例における熱流のモデルでは、２つの温度測定系における環境温度Ｔｏｕｔは同じ値（つまり一定）となっている。そして、各系における深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔ間に生じる熱流が一定であり、従来例は、このことを前提条件としている。被測定体から環境に向かう、例えば鉛直方向の熱流が一定であるということは、その鉛直方向の熱流の一部が、例えば基材の側面を経由して環境に逃げるといった熱収支が生じないことを前提として成立する。

【００９０】

しかし、温度測定装置の小型化が促進され、基材のサイズが小さくなると、被測定体と環境との間の熱収支（例えば、基材の側面からの熱の逃げ等）が顕在化する。この場合、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔ間に生じる熱流が一定であるという前提が満足されなくなる。

【００９１】

これに対して、本実施形態では、複数の熱流の系において、各熱流の一端は、温度変動が許容されている環境であり、例えば、第１の系では、環境温度はＴｏｕｔ１（任意の温度）であり、第２の系では環境温度はＴｏｕｔ２（Ｔｏｕｔ１とは異なる任意の温度）である。よって、複数の熱流の系の間で、環境温度（Ｔｏｕｔ）と深部温度（Ｔｃ）との間で生じる熱流が一定でなければならない、という、従来例のような制約が生じない。つま

り、各系の熱流束には、熱収支による熱の移動が本来的に含まれており、環境温度Ｔｏｕｔ（任意の温度）と被測定体の深部温度Ｔｃとの間で、その熱収支の成分も含むような熱流が生じるだけである。

【００９２】

そして、このような熱流の系では、基材における任意の２点（第１測定点と第２測定点）の温度は、環境温度（Ｔｏｕｔ）を変数（パラメーター）として含む式によって表すことができる。

【００９３】

また、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔとが等しいときは、熱収支はゼロとなる。よって、例えば、深部温度Ｔｃの演算を行う際に、深部温度Ｔｃと環境温度Ｔｏｕｔとが等しいという条件を与えることによって、熱収支による測定誤差をゼロとすることができ、上述した第１算出式（式（１））が得られる。

【００９４】

また、第１測定点ｐ１（第１温度センサー５０が設けられる位置）、ならびに、第２測定点ｐ２（第２温度センサー５２が設けられる位置）に関しては、種々のバリエーションが考えられる。ここで、図１（Ｂ）を参照する。

【００９５】

第１測定点ｐ１および第２測定点ｐ２は、基材４０の表面上や側面上、すなわち基材４０の外表面上に設定することができ、また、基材４０の内部に設定することもできる。また、いずれか一方を、基材４０の表面上や側面上に設定し、いずれか他方を、基材４０の内部に設定することもできる。なお、第１測定点ｐ１と第２測定点ｐ２を種々、変化させて、深部温度を測定した結果については、図１３～図１８を用いて後述する。

【００９６】

本実施形態では、第１測定点ｐ１は、被測定体６側の測定点とし、第２測定点ｐ２は、環境（大気）７側の測定点とする。

【００９７】

図１（Ｂ）に示すように、基材４０の接触面ＳＲ１に垂直な垂線の方向における、第１面（接触面）ＳＲ１からの距離を考え、第１測定点ｐ１の距離をＬＡとし、第２測定点ｐ２の距離をＬＢとする。基材４０の高さ（第１面ＳＲ１から第２面ＳＲ２までの距離）をＬＣとする。

【００９８】

距離ＬＡおよび距離ＬＢについては、０≦ＬＡ，ＬＢ≦ＬＣが成立し、かつ、ＬＡ≦ＬＢが成立する。つまり、第１測定点ｐ１および第２測定点ｐ２の、基材４０の第１面ＳＲ１からの距離ＬＡ，ＬＢは、０以上であり、基材４０の高さ（頂部における高さ）はＬＣ以内である。また、第１測定点ｐ１の、基材４０の第１面ＳＲ１からの距離ＬＡと、第２測定点ｐ２の、基材４０の第１面からの距離ＬＢとを比較した場合、ＬＡ＜ＬＢであってもよく、また、ＬＡ＝ＬＢであってもよい。

【００９９】

また、ＬＡ＜ＬＢのときは、第１測定点ｐ１の方が、第２測定点ｐ２よりも被測定体６の近くに位置している。ＬＡ＝ＬＢのときは、第１測定点ｐ１と第２測定点ｐ２とは、横一線の位置にあり、距離に関しては優劣がない。但し、第１測定点ｐ１と第２測定点ｐ２とは、空間において同じ位置ではなく、必ず異なる位置にある。なお、ＬＡ＝ＬＢの場合でも、深部温度Ｔｃを正確に測定可能である点に関しては、図１６を用いて後述する。

【０１００】

次に、図１（Ｃ）を参照する。図１（Ｃ）の例では、点ｘ１と点ｘ２は、横一線の位置にある。しかし、点ｘ１から、基材４０の側面までの最小距離はＬ１であり、一方、点ｘ２から、基材４０の側面までの最小距離はＬ２であり、Ｌ１＜Ｌ２である。点ｘ１の方が、環境（大気）との熱交換が容易である。よって、例えば、点ｘ１を、環境側の測定点である第２測定点ｐ２とし、点ｘ２を、被測定体側の測定点である第１測定点ｐ１とすることができる。

【０１０１】
次に、図１（Ｄ）を参照して、熱流制御部６１を設けることによって得られる効果について説明する。図１（Ｄ）の左側の図は、熱流制御部６１が無い構造を示し、右側の図は、基材４０上に熱流制御部６１が設けられている構造を示している。また、図１（Ｄ）の中央に、各部の温度の高低関係が破線で囲んで示されている。なお、図１（Ｄ）の例では、深部温度Ｔｃならびに環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔが一定であるとする。
【０１０２】
熱流制御部６１は、基材４０の第２面ＳＲ２における温度を、熱流制御部６１が無い場合と比較して、より環境７の温度である第３温度（Ｔｏｕｔ）に近づけるように、環境７との間で熱交換を行う。
【０１０３】
基材４０の第２面ＳＲ２の温度が変化すると、第１測定点ｐ１の温度である第１温度Ｔｂ、ならびに第２測定点ｐ２の温度である第２温度Ｔｐは、共に、その影響を受けて変化する。但し、第２測定点ｐ２を環境７側の測定点としたとき、第２測定点ｐ２は、原則的に、基材４０の第２面ＳＲ２により近い位置にあると考えられる。よって、第２温度Ｔｐは、基材４０の第２面ＳＲ２の温度変化の影響をより多く受け、ゆえに、第２温度Ｔｐの温度の変化量ΔＴｐは、第１温度Ｔｂの変化ΔＴｂよりも大きくなる。よって、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間の温度差ΔＴｂｐは、（ΔＴｐ－ΔＴｂ）の分、拡大されることになる。このような作用によって、第１測定点ｐ１の温度である第１温度Ｔｂと、第２測定点ｐ２の温度である第２温度Ｔｂとの温度差が、熱流制御部６１がない場合よりも拡大される。
【０１０４】
図１（Ｄ）の左側の図において、第１測定点ｐ１の温度である第１温度をＴｂ１とし、第２測定点Ｔｐ１の温度である第２温度をＴｐ１とする。（Ｔｂ１－Ｔｐ１）をＴｘとする。また、図１（Ｄ）の右側の図において、第１測定点ｐ１の温度である第１温度をＴｂ２とし、第２測定点Ｔｐ１の温度である第２温度をＴｐ２とする。（Ｔｂ２－Ｔｐ２）をＴｙとする。このとき、Ｔｘ＞Ｔｙとなる。
【０１０５】
第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差が大きいほど、測定温度に本来、含まれる誤差の影響が小さくなり、よって、より高精度な深部温度Ｔｃの測定が可能となる。逆に、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差が小さくなるほど、測定精度を保証できなくなる。
【０１０６】
しかし、温度測定部の小型化が促進されると、基材４０の厚みが薄くなり、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐをはっきりと区別することがむずかしくなる、つまり、基材４０の内部における温度の分解能を確保できなくなる傾向がある。
【０１０７】
本実施形態によれば、熱流制御部６１による環境７との熱交換によって、基材４０の第２面ＳＲ２の温度が、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔにより近づくように変化し、これによって、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差を拡大できることから、基材４０における温度の分解能を確保することができる。よって、温度測定部をさらに小型化した場合でも、深部温度Ｔｃの測定精度の低下を抑制することができる。
【０１０８】
次に、図２を参照して、熱流制御部６１の具体例について説明する。図２（Ａ）～図２（Ｄ）は、熱流制御部６１の具体例を示す図である。熱流制御部６１のタイプは、パッシブタイプとアクティブタイプとに大別される。
【０１０９】
パッシブタイプの例が、図２（Ａ）に示されている。図２（Ａ）の例では、熱流制御部６１は、基材４０とは異なる熱伝導率を有する材料により構成される材料層６３である。つまり、基材４０の第２面（環境側の面）ＳＲ２上に、基材４０とは異なる熱伝導率を有する材料（好ましくは、基材４０よりも熱伝導率が小さい材料）により構成される材料層

６３を設け、この材料層６３を熱流制御部６１とする。例えば、基材４０の材料としてシリコンゴムを使用し、熱流制御部６１としての材料層として、シリコンゴムよりも熱伝導率が大きい材料、例えば、アルミニュウム等の金属層を使用することができる。金属層６３の厚みＴｚは薄く形成するのが好ましい。金属層６３の厚みＴｚは、例えば、０．１ｍｍ～２ｍｍ程度とすることができる。

【０１１０】

また、アクティブタイプの例が、図２（Ｂ）に示されている。図２（Ｂ）の例では、熱流制御部６１の構成要素として、温度制御部としてのペルチエ素子５１０が追加されている。すなわち、金属等からなる材料層６３と、温度制御部としてのペルチエ素子５１０とによって、熱流制御部６１が構成されている。

【０１１１】

パッシブタイプでは、熱流制御部と環境との間の熱交換は自然の摂理に従っていたが、アクティブタイプでは、基材４０の第２面ＳＲ２の温度を、積極的に、所望の温度に決めることができることから、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間に、より確実に温度差を設けることができる。

【０１１２】

アクティブタイプでは、温度制御部によって、基材４０の第２面ＳＲ２の温度を、所望の温度に制御することができることから、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間に、確実に温度差を設けることができる。温度制御部は、ペルチエ素子５１０に限定されるものではない。例えば、空冷式あるいは水冷式の加熱器や放熱器等を使用することもできる。以下、温度制御部として、ペルチエ素子５１０を使用した例について説明する。

【０１１３】

ペルチエ素子５１０は、ペルチエ効果を利用した電子部品であり、吸熱面および放熱面を有している（図２（Ｃ）を参照）。

【０１１４】

ペルチエ効果は、Ｐ型半導体とＮ型半導体とを接合してなる接合面、または異なる２種類の金属の接合面に電流を流すと、熱の移動が生じて、吸熱または放熱が生じる効果である。例えば、半導体のＮＰＮ構造に直流電流を流したとき、例えば、Ｎ型半導体からＰ型半導体に電流が流れるときは吸熱現象が生じ、また、Ｐ型半導体からＮ型半導体に電流が流れるときは放熱現象が生じる。電流の向きを逆転させると、吸熱と発熱が反転する。ペルチエ素子の性能は、最大吸熱量と、最大電流と、最大電圧とで表わすことができる。

【０１１５】

ペルチエ素子は小型の電子部品であり、高精度な温度制御が可能であり、かつ、騒音や振動を発生しないという利点を有している。よって、ペルチエ素子を利用して積極的に温度制御を行うことによって、熱流制御部の構成要素である材料層６３の温度を高精度に管理することができる。

【０１１６】

図２（Ｂ）の例では、ペルチエ素子５１０の吸熱面または放熱面が、材料層６３における環境７側の面に接触している。ペルチエ素子５１０によって、材料層６３の温度を積極的に制御することができる。材料層６３として、例えば金属層が用いられているとき、ペルチエ素子５１０の吸熱面／放熱面を、例えば金属層６３の表面の一部の領域（例えば、温度測定に影響が少ない、第２面ＳＲ２の周辺近傍の領域）のみに接触させれば、金属層６３の熱伝導率は高いことから、金属層６３の全面の温度をほぼ均一に変化させることができる。

【０１１７】

図２（Ｂ）の例では、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上になるように、負帰還制御系によって、ペルチエ素子５１０の吸熱や放熱を制御することができる。

【０１１８】

上述のとおり、第１温度Ｔｂおよび第２温度Ｔｐは、共に環境温度（第３温度Ｔｏｕｔ

）の影響を受けて変動し、そして、その変動に追従して、負帰還制御系による温度調整がなされることになる。つまり、第１温度Ｔｂおよび第２温度Ｔｐが、共に環境温度（第３温度Ｔｏｕｔ）の影響を受けて変化するという前提を満足させつつ、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差分を所望の値以上に維持することができる。

【０１１９】

例えば、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上になるように、負帰還制御系によってペルチエ素子の吸熱や放熱を制御することができる。このような温度制御を行えば、第１温度および第２温度が、共に環境温度（第３温度）の影響を受けて変化するという前提を満足させつつ、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差分を所望の値以上に維持することができる。

【０１２０】

負帰還制御系を構成する負帰還制御回路５６０は、差分演算部５２０と、比較部５３０と、誤差積分部５４０と、駆動電流生成部５５０と、を有している。差分演算部５２０は、基材４０の第１温度Ｔｂと、第２温度Ｔｐとの差分（Ｔｂ－Ｔｐ）を算出する。比較部５３０は、差分（Ｔｂ－Ｔｐ）と、目標値（ΔＴＱ）とを比較する。誤差積分部５４０は、差分（Ｔｂ－Ｔｐ）と目標値（ΔＴＱ）との誤差を時間軸上で積分する。駆動電流生成部５５０は、差分（Ｔｂ－Ｔｐ）と目標値（ΔＴＱ）とが等しくなるように、ペルチエ素子５１０の駆動電流を生成する。生成された駆動電流は、ペルチエ素子５１０に供給され、これによって、ペルチエ素子５１０における吸熱および放熱が制御される。

【０１２１】

負帰還制御回路５６０は、常時、動作させてもよく、また、必要なときにのみ動作させることもできる。例えば、負帰還制御回路５６０を常時、動作させて、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）になるように制御することもできる。

【０１２２】

また、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値ΔＴＱ以上であるときは、負帰還制御回路５６０を非動作状態とし、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値ΔＴＱ未満となると、負帰還制御回路５６０を動作させて、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）になるように制御することもできる。このような、負帰還制御回路５６０を必要なときにのみ動作させる構成を採用する場合には、例えば、動作可否判定部５６１（図２（Ｂ）において、破線で示される機能ブロック）を設けて、この動作可否判定部５６１に、負帰還制御回路５６０の動作の可否を判定させることができる。

【０１２３】

動作可否判定部５６１は、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）未満であるか否か（つまり、（Ｔｂ－Ｔｐ）＜ΔＴＱであるか否か）を判定する。（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）未満であるときは、動作可否判定部５６１は、オン／オフ制御信号ＳＳを、非アクティブレベルからアクティブレベルに変化させる。これによって、負帰還制御回路５６０は動作状態となる。負帰還制御回路５６０は、上述のとおり、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）になるように、ペルチエ素子５１０の吸熱および放熱を制御する。また、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上であるときは、動作可否判定部５６１は、オン／オフ制御信号ＳＳを、非アクティブレベルとする。これによって、負帰還制御回路５６０は、非動作状態となる。熱流制御部６１の構成要素である材料層（金属層）６３は、自然放置状態となり、その材料層（金属層）６３の温度は、自然の摂理に従って自然に変化する。

【０１２４】

このように、動作可否判定部５６１と負帰還制御回路５６０との連携によって、（Ｔｂ－ｔｐ）を一定値（ΔＴＱ）以上に保つ制御を実現することができる。この例では、負帰還制御回路５６０を常時、動作させる例と比較して、消費電力を削減することができるという効果が得られる。

【０１２５】

図２（Ｂ）に示される例では、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔが変動すると、基材４０の第１温度Ｔｂならびに第２温度Ｔｐも、Ｔｏｕｔに対応して変化し、また、負帰還制御

回路５６０による負帰還制御によって、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差が所定の値ΔＴＱになるように、基材４０の第２面ＳＲ２の温度が制御される。

【０１２６】

よって、基材４０における第１測定点ｐ１と第２測定点ｐ２との間の温度分解能が小さい場合（つまり、自然な状態では温度にあまり差がない場合）でも、第２温度Ｔｐを、第１温度Ｔｂから強制的に引き離すことができる。よって、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間の温度差が極端に小さくなることを抑制することができる。

【０１２７】

ペルチエ素子５１０の構成の一例が、図２（Ｃ）に示される。図２（Ｃ）の上側の図は平面図であり、下側の図は側面図である。

【０１２８】

ペルチエ素子５１０は、第１金属板５１１と、第２金属板５１２と、第１金属板５１１と第２金属板５１２との間に設けられた、Ｐ型半導体層５１４ａ，５１４ｃならびにＮ型半導体層５１４ｂ，５１４ｄと、端子５１３ａ，５１３ｂと、を有する。上述のとおり、Ｎ型半導体からＰ型半導体に電流が流れると、その接合部分で吸熱現象が発生し、また、Ｐ型半導体からＮ型半導体に電流が流れると、その接合部分で放熱現象が発生する。吸熱量／放熱量は、駆動電流量を調整することによって変化させることができる。また、駆動電流の方向（極性）を変化させることによって、吸熱と放熱とを逆にすることもできる。

【０１２９】

図２（Ｃ）は、温度制御部の他の構成例を示している。図２（Ｃ）に示される例では、図２（Ｂ）の例に示される負帰還制御回路５６０を使用しない。すなわち、動作可否判定部５６１から出力されるオン／オフ制御信号ＳＳによって、駆動電流生成部５５０のオン／オフ（動作／非動作）を直接的に制御する。

【０１３０】

図２（Ｃ）の例では、駆動電流生成部５５０は、例えば定電流源（但し、これに限定されるものではない）であり、オン状態のときに、例えば電流値が一定の駆動電流を生成する。動作可否判定部５６１は、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）未満であるときは、オン／オフ制御信号ＳＳを、非アクティブレベルからアクティブレベルに変化させる。これによって、駆動電流生成部５５０が動作状態となり、駆動電流（例えば定電流）がペルチエ素子５４０に供給される。また、動作可否判定部５６１は、（Ｔｂ－Ｔｐ）が一定値（ΔＴＱ）以上であるときは、オン／オフ制御信号ＳＳを、アクティブレベルから非アクティブレベルに変化させる。これによって、駆動電流生成部５５０は非動作状態となる。このような回路動作によって、（Ｔｂ－ｔｐ）を一定値（ΔＴＱ）以上に保つ制御を実現することができる。

【０１３１】

図２（Ｃ）に示される例では、図２（Ｂ）に示される例に比べて、回路構成が簡単であることから、制御回路の専有面積ならびに消費電力を、さらに削減することができる。

【０１３２】

図２（Ｄ）に示されるペルチエ素子５１０の外形寸法は、Ｌｃ，Ｗｃ，Ｌｈ，Ｗｈ，Ｈの各パラメーターによって定まる。Ｌｃは例えば２．８ｍｍであり、Ｗｃは例えば２．５ｍｍであり、Ｌｈは例えば３．６ｍｍであり、Ｈは例えば０．８ｍｍである。

【０１３３】

次に、図３に示される実測された温度データ例を用いて、熱流制御部の効果について考察する。図３（Ａ）～図３（Ｃ）は、熱流制御部の効果について考察するための、実測された温度データ例を示す図である。図３（Ａ）は、基材４０単独の例（熱流制御部無しの場合）における温度データ例を示す。図３（Ｂ）は、基材４０上に熱流制御部としての断熱材６１ａを設けた例における温度データ例を示す。図３（Ｃ）は、基材４０上に熱流制御部としての金属層（アルミニュウム層）６１ｂを設けた例における温度データ例を示す。なお、図３に示される各例では、被測定体６として人体を想定しており、深部４の温度Ｔｃを３７℃に設定している。この実験では、表層部５に相当する構造体の材料として、

ポリ塩化ビニール（ＰＶＣ）を使用している。ポリ塩化ビニールの熱伝導率は、０．１４４２８３（Ｗ／ｍ・Ｋ）である。

【０１３４】

この表層部５に相当するＰＶＣ構造体（直方体）の厚みは２０ｍｍに設定している。また、このＰＶＣ構造体の上面の中央に、シリコンゴムで構成され、かつ、円柱形状を有する基材４０を設けている。シリコンゴムの熱伝導率は、０．０５（Ｗ／ｍ・Ｋ）である。

【０１３５】

また、基材４０の断面は円形状であり、その円の直径は２０ｍｍである。また、基材４０の高さは２ｍｍである。第１温度センサー５０と第２温度センサー５２は、基材４０の底面（つまり接触面）ＳＲ１に垂直な垂線Ｌ１上にある２点（第１測定点と第２測定点）の位置に設けられている。第１温度センサー５０と第２温度センサー５２との距離は２ｍｍである。つまり、第１測定点は、基材４０の底面（接触面）ＳＲ１上に設定されており、第２測定点は、基材４０の上面ＳＲ２上に設定されている。

【０１３６】

図３（Ｂ）の例では、熱流制御部としての断熱材（基材４０と同じ材料：シリコンゴム）６１ａが設けられている。この熱流制御部としての断熱材６１ａは、厚みが２ｍｍである。また、図３（Ｃ）の例では、熱流制御部としてのアルミ層６１ｂが設けられている。この熱流制御部としてのアルミ層６１ｂは、厚みが２ｍｍである。また、アルミ層６１ｂの熱伝導率は、１９２．１６３（Ｗ／ｍ・Ｋ）である。

【０１３７】

また、第１温度Ｔｂならびに第２温度Ｔｐは、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔが異なるという条件下で、ｎ回測定される。ここでは、３回の温度測定が実行される。第１回目の測定データを、Ｔｏｕｔ１，Ｔｂ１，Ｔｐ１とし、第２回目の測定データを、Ｔｏｕｔ２，Ｔｂ２，Ｔｐ２とし、第３回目の測定データを、Ｔｏｕｔ３，Ｔｂ３，Ｔｐ３とする。

【０１３８】

図３（Ａ）の例では、Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２９．２８８４℃であり、Ｔｂ２は、３３．１４４２℃であり、Ｔｂ３は、３５．８９８３℃である。Ｔｐ１は、２７．４６０５℃であり、Ｔｐ２は、３２．２３０３℃であり、Ｔｂ３は、３５．６３２７℃である。

【０１３９】

Ｔｂ１とＴｐ１との差（ΔＴｂｐ１）は、１．８２７９であり、Ｔｂ２とＴｐ２との差（ΔＴｂｐ２）は、０．９１３９であり、Ｔｂ３とＴｐ３との差（ΔＴｂｐ３）は、０．２６１１である。

【０１４０】

図３（Ｂ）の例では、Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２９．２８８４℃であり、Ｔｂ２は、３３．１４４２℃であり、Ｔｂ３は、３５．８９８３℃である。Ｔｐ１は、２７．８９４７℃であり、Ｔｐ２は、３２．４４７３℃であり、Ｔｂ３は、３５．６９９２℃である。

【０１４１】

Ｔｂ１とＴｐ１との差（ΔＴｂｐ１）は、１．５７５であり、Ｔｂ２とＴｐ２との差（ΔＴｂｐ２）は、０．７８７５であり、Ｔｂ３とＴｐ３との差（ΔＴｂｐ３）は、０．２２５である。

【０１４２】

図３（Ａ）および図３（Ｂ）の例におけるΔＴｂｐを比較すると、図３（Ｂ）の例（熱流制御部としての断熱材６１ａを設けた例）では、第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの差（ΔＴｂｐ）は、図３（Ａ）の例におけるΔＴｂｐよりも小さくなっている。つまり、望む結果とは逆の結果となっている。

【０１４３】

図３（Ｃ）の例では、Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２８．７７４２℃であり、Ｔｂ２は、３２．８８７１

℃であり、Ｔｂ３は、３５．８２４９℃である。Ｔｐ１は、２６．４５８３℃であり、Ｔｐ２は、３１．７２９２℃であり、Ｔｂ３は、３５．４９４℃である。

【０１４４】

Ｔｂ１とＴｐ１との差（ΔＴｂｐ１）は、２．３１５９であり、Ｔｂ２とＴｐ２との差（ΔＴｂｐ２）は、１．１５７９であり、Ｔｂ３とＴｐ３との差（ΔＴｂｐ３）は、０．３３０９である。

【０１４５】

図３（Ｃ）の下側に示される表の右側に、図３（Ａ）の例ならびに図３（Ｂ）の例に対する、温度差Ｔｂｐの拡大の割合（％）が示されている。図３（Ａ）の例と比較すると、ΔＴｂｐ１は２６．７０％拡大されており、ΔＴｂｐ２は２６．７０％拡大されており、ΔＴｂｐ３は２６．７３％拡大されている。

【０１４６】

また、図３（Ｂ）の例と比較すると、ΔＴｂｐ１は４７．０４％拡大されており、ΔＴｂｐ２は４７．０３％拡大されており、ΔＴｂｐ３は４７．０７％拡大されている。

【０１４７】

図３（Ｃ）に示される実測データから、熱流制御部として金属層を使用したとき、基材４０における第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐとの間の温度差が、顕著に拡大されることがわかる。

【０１４８】

次に、図４～図６を用いて、「第３温度（環境温度Ｔｏｕｔ）の値が異なるという条件の下で、第１温度Ｔｂおよび第２温度Ｔｐを複数回、測定する」ことを担保するための測定方法の例について説明する。

【０１４９】

図４（Ａ）および図４（Ｂ）は、温度測定方法の一例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の一例を示す図である。

【０１５０】

図４（Ａ）に示される温度測定装置は、温度測定部４３と、環境温度取得部５３と、演算部７４と、温度測定部４３および演算部７４の動作を制御する制御部７３と、を含む。図４（Ａ）の例では、環境温度取得部５３は、無線通信部ＣＢを有している。よって、外部の空調器５７から、無線通信によって環境温度（第３温度）の情報を取得することができる。また、環境温度取得部５３は、環境温度センサー（第３温度センサー）５４によって、自ら環境温度（第３温度）を測定することができる。

【０１５１】

なお、空調器５７は、大気温度センサー５５と、無線通信部ＣＡと、を有している。また、制御部７３は、演算部７４と、測定タイミング制御部７５と、を有している。測定タイミング制御部７５は、タイミング制御信号ＳＴ１を出力し、このタイミング制御信号ＳＴ１によって、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２による、第１温度Ｔｂならびに第２温度Ｔｐの測定タイミングと、環境温度取得部５３による、第３温度Ｔｏｕｔの取得タイミングとを制御する。

【０１５２】

図４（Ｂ）に示されるように、第１温度および第２温度の測定ならびに環境温度の情報の取得のために、第１測定期間（第１時間帯）～第３測定期間（第３時間帯）が設けられる。制御部７３は、各測定期間毎に、複数回の温度測定あるいは温度情報の取得を実行し、得られたデータに基づいて、第１算出式（式（１））による演算を実行して、深部温度Ｔｃを求める。

【０１５３】

「第３温度（環境温度Ｔｏｕｔ）の値を異ならせる」ための方法としては、空調器等を利用する積極方法と、時間軸上での環境温度のゆらぎ（微小な変動）に着目して、測定タイミングを調整するという消極的な方法とがあるが、図４の例では、後者の消極的な方法が採用されている。

【０１５４】
例えば、基材４０の第１測定点ｐ１における第１温度Ｔｂ、ならびに基材４０の第２測定点ｐ２における第２温度Ｔｐを３回測定するとき、各測定間の時間間隔があまりに短いと、「異なる環境温度（第３温度）の下で３回測定する」という条件を満たすことができない場合がある。よって、本例では、第１回目の測定用の第１時間帯（つまり第１測定期間）と、第２回目の測定用の第２時間帯（つまり、第２測定期間）と、第３回目の測定用の第３時間帯（つまり、第３測定期間）とを設ける。
【０１５５】
各時間帯（測定期間）は、例えば１分（３つの時間帯の合計が３分）とすることができる。第１時間帯（第１測定期間）は、時刻ｔ１～時刻ｔ４の期間であり、例えば、２０毎に温度測定が実行される。つまり、時刻ｔ１，時刻ｔ２，時刻ｔ３において、３回の温度測定が実行され、図示されるような９個のデータが得られる。そして、これらのデータの平均演算（単純な加算平均でもよく、重み付け平均でもよい）によって、第１回目の温度測定値（Ｔｂ１，Ｔｐ１，Ｔｏｕｔ１）が決定される。
【０１５６】
また、第２時間帯（第２測定期間）は、時刻ｔ４～時刻ｔ７の時間帯である。第２時間帯においても、３回の温度測定が実行され、各測定結果の平均演算（単純な加算平均でもよく、重み付け平均でもよい）によって、第２回目の温度測定値（Ｔｂ２，Ｔｐ２，Ｔｏｕｔ２）が決定される。
【０１５７】
第３時間帯（第３測定期間）は、時刻ｔ７～ｔ１０の時間帯である。第３時間帯においても、３回の温度測定が実行され、各測定結果の平均演算（単純な加算平均でもよく、重み付け平均でもよい）によって、第２回目の温度測定値（Ｔｂ３，Ｔｐ３，Ｔｏｕｔ３）が決定される。以上の処理を、第１ステップＳＴ１の処理とする。平均演算という用語は、最も広義に解釈するものとする。
【０１５８】
次に、ステップＳ２において、得られたデータに基づいて、先に図１（Ａ）に示した、定数ａ，ｃ，ｄを算出する。次に、ステップＳ３において、第１算出式（式（１））に基づいて、深部温度Ｔｃを測定する。
【０１５９】
図４に示される例では、空調器等を用いて積極的に環境の温度を変化させることなく、第１温度および第２温度（ならびに第３温度）に関して、異なる環境温度下で測定された複数の温度データを、比較的容易に得ることができる。
【０１６０】
図５（Ａ）および図５（Ｂ）は、温度測定方法の他の例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の他の例を示す図である。図５（Ａ）に示される温度測定装置には、複数回の温度測定を実行するタイミングを決めるための、タイミング制御情報を入力するタイミング制御情報入力部８３が設けられている。制御部７３は、タイミング制御情報入力部８３から、タイミング制御情報（ここでは、測定指示トリガーＴＧとする）が入力される毎に、例えば、第１温度センサー５０、第２温度センサー５２ならびに第３温度センサー５４に、１回の温度測定を実行させる。
【０１６１】
図５の例では、「第３温度（環境温度Ｔｏｕｔ）の値が異なるという条件の下で、第１温度Ｔｂおよび第２温度Ｔｐを複数回、測定する」ことは、ユーザー自身の行為によって担保される。
【０１６２】
例えば、ユーザーは、第１回目の測定を行うとき、温度測定装置の外に設けられる外部の空調器５７の温度を第１の温度に設定し、設定から所定の時間が経過すると、タイミング制御情報入力部を経由して、タイミング制御情報としての測定指示トリガーＴＧ）を入力する。上述したように、制御部７３は、タイミング制御情報入力部８３からタイミング

制御情報が入力される毎に、例えば、第１温度センサー５０、第２温度センサー５２ならびに第３温度センサー５４に温度測定を実行させる。測定タイミングは、測定タイミング制御部７５によって制御される。

【０１６３】

温度測定は、例えば、タイミング制御情報（測定指示トリガーＴＧ）の入力毎に１回行うことができ、また、タイミング制御情報の入力毎に複数回の温度測定を実行して、得られた測定値を平均する等して、測定値を求めてもよい。以降、ユーザーは、空調器５７の温度を第２の温度に設定した後、タイミング制御情報を入力し、次に、空調器５７の温度を第３の温度に設定した後、タイミング制御情報を入力する。例えば、ユーザーは、３回のタイミング制御情報を入力する。

【０１６４】

３回分の温度情報が取得されると、演算部７４は、取得された温度情報に基づく、深部温度Ｔｃを求めるための演算（算出式に基づく演算）を自動的に実行し、この結果、深部温度Ｔｃが求められる。求められた深部温度Ｔｃは、例えば、ユーザーに報知（表示、音声による通知等を含む）される。図５の例では、ユーザー自身が、各測定毎の環境温度を異ならせることから、温度測定装置自体が、環境温度を管理する負担が生じない。

【０１６５】

測定手順は、図５（Ｂ）のステップＳ４～ステップＳ６のとおりである。なお、以上の例は一例である。

【０１６６】

図６（Ａ）および図６（Ｂ）は、温度測定方法の他の例、ならびに、その温度測定方法を実施するための温度測定装置の構成の他の例を示す図である。図６の例では、温度測定部が、環境の温度（第３温度）を変化させることができる環境温度調整部ＣＤを有している。制御部７３は、そして、１回の温度測定が終了する毎に、環境温度調整部ＣＤによって環境の温度（第３温度）を変化させる。

【０１６７】

環境温度調整部ＣＤは、環境温度（第３温度Ｔｏｕｔ）を変化させる機能をもつ。図６（Ａ）の例では、環境温度調整部ＣＤとして、例えば、温度測定装置の外に設けられる外部の空調器５７の設定温度を、遠隔制御によって調整する機能をもつ調整器ＣＣ１を使用することができる。調整器ＣＣ１の動作は、測定タイミング制御部７５からの制御信号ＳＴ２によって制御される。

【０１６８】

また、図６（Ｂ）の例では、環境温度調整部ＣＤとして、例えば、温度測定装置の内部に設けられた、気流生成部（例えば、気流の温度を変化させる機能を有する）ＣＣ２を使用する。気流生成部ＣＣ２は、ファン（扇風機）や、気流を噴射する微小ノズル等によって構成することができる。気流生成部ＣＣ２の動作は、測定タイミング制御部７５からの制御信号ＳＴ３によって制御される。

【０１６９】

環境温度調整部ＣＤを利用することによって、測定毎に、環境温度Ｔｏｕｔを確実に異ならせることができる。また、環境温度Ｔｏｕｔを正確な温度に設定することができる。また、例えば、第１測定時の環境温度Ｔｏｕｔ１と第２測定時の環境温度Ｔｏｕｔ２との差を、大きく設定することもできる。なお、以上の例は一例である。

【０１７０】

次に、第１算出式（図１（Ａ）の式（１）を用いた深部温度Ｔｃの演算）について、図７～図９を用いて、具体的に説明する。

【０１７１】

図７（Ａ）～図７（Ｃ）は、環境温度が一定であるという条件下における、第１温度と第２温度との間の関係、ならびに、その関係を深部温度の算出式に適用した場合の結果を示す図である。

【０１７２】

図７（Ａ）において、基材４０、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２は、温度測定部４３を構成する。基材４０は、第１面（接触面）ＳＲ１と第２面（基材４０の上面）ＳＲ２とを有している。この温度測定部４３は、被測定体６（例えば人体）６に、例えば、貼り付けられている。第１温度センサー５０によって測定される第１温度はＴｂと表記されている。また、第２温度センサー５２によって測定される第２温度はＴｐと表記されている。

【０１７３】

図７（Ｂ）は、第２温度Ｔｐと第１温度Ｔｂとの関係を示す図である。図７（Ｂ）において、横軸はＴｐであり、縦軸は、第２温度Ｔｐおよび第１温度Ｔｂの温度Ｔである。環境温度（第３温度Ｔｏｕｔ）が一定である状態で、第１温度Ｔｐが線形に変化すると、第２温度Ｔｂも線形に変化する。つまり、第１温度Ｔｂは、第２温度Ｔｐに対して線形性を有する。

【０１７４】

図７（Ｂ）に示されるように、第１温度Ｔｂは、第２温度Ｔｐを変数とする１次関数によって表される。つまり、下記の式（２）が成立する。

【数７】

$$\left.\begin{aligned} Tp &= Tp \\ Tb &= aTp + b \end{aligned}\right\} \quad \cdots（２）$$

ここで、ａは第１の傾きであり、ｂは第１の切片（または第１のオフセット値）であり、いずれも定数である。ＴｐがＴ$_{PA}$であるとき、Ｔｂ＝ａＴ$_{PA}$＋ｂとなり、また、ＴｐがＴ$_{PB}$であるとき、Ｔｂ＝ａＴ$_{PB}$＋ｂとなる。

【０１７５】

図７（Ｃ）は、２回の温度測定によって得られた温度データＴ１～Ｔ４を、先に説明した深部温度の算出式に適用した場合の結果を示す図である。時刻ｔ１における温度測定によって、第１温度Ｔ１と第２温度Ｔ２が得られたとする。また、時刻ｔ２における温度測定によって、第１温度Ｔ３と第２温度Ｔ４が得られたとする。Ｔ１～Ｔ４は、下記式（３）によって表される。

【数８】

$$\left.\begin{aligned} T_1 &= aT_{PA} + b \\ T_2 &= T_{PA} \\ T_3 &= aT_{PB} + b \\ T_4 &= T_{PB} \end{aligned}\right\} \quad \cdots（３）$$

ここで、式（３）の各値を、式（４）に代入する。式（４）は、深部温度Ｔｃｏｒｅを求めるための算出式であるが、先に説明したように、熱収支による誤差ΔＴｃが含まれている。

【数９】

$$Tc + \Delta Tc = \frac{T3(T1 - T2) - T1(T3 - T4)}{(T1 - T2) - (T3 - T4)} \quad \cdots（４）$$

この結果、式（５）が得られる。

【数１０】

$$T_c + \Delta T_c = \frac{(aT_{PB}+b)\left[(aT_{PA}+b)-T_{PA}\right]-(aT_{PA}+b)\left[(aT_{PB}+b)-T_{PB}\right]}{\left[(aT_{PA}+b)-T_{PA}\right]-\left[(aT_{PB}+b)-T_{PB}\right]}$$
$$= \frac{b}{1-a} \bullet \frac{T_{PA}-T_{PB}}{T_{PA}-T_{PB}}$$
$$= \frac{b}{1-a} \quad \cdots(5)$$

次に、図８を参照して、環境温度Ｔｏｕｔを変化させた場合における、第１温度Ｔｂと、第２温度Ｔｐとの関係について考察する。図８（Ａ）～図８（Ｄ）は、環境温度を変化させた場合における、第１温度と第２温度との間の関係、ならびに、その関係を深部温度の算出式に適用した場合の結果を示す図である。

【０１７６】

図８（Ａ）に示すように、変動する環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔは、環境温度取得部５３に含まれる第３温度センサー５４によって測定される。先に説明したように、第２温度ＴｐをＴ$_{PA}$としたとき、Ｔｂ＝ａＴ$_{PA}$＋ｂと表すことができる。定数ｂは、第１切片（第１オフセット値）であり、この第１切片ｂは、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔに対する線形性を有する。

【０１７７】

つまり、図８（Ｂ）に示すように、Ｔｏｕｔが変動すると、第１切片ｂの値は、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔにしたがって、線形に変化する。したがって、下記の式（６）の関係が成立する。

【数１１】

$$b = cTout + d \quad \cdots（６）$$

ここで、ｃ，ｄは共に定数である。ｃは、第２の傾きであり、ｄは、第２の切片である。環境温度（第３温度）ＴｏｕｔがＴｏｕｔ１であるとき、第１の切片ｂは、ｂ１（＝ｃＴｏｕｔ１＋ｄ）となり、環境温度（第３温度）ＴｏｕｔがＴｏｕｔ２であるとき、第１の切片ｂは、ｂ２（＝ｃＴｏｕｔ２＋ｄ）となる。

【０１７８】

図８（Ｃ）は、Ｔｏｕｔ１における、第２温度Ｔｐと第１温度Ｔｂ（＝Ｔｂ１）との関係、ならびに、Ｔｏｕｔ２における、第２温度Ｔｐと第１温度Ｔｂ（＝Ｔｂ２）との関係を示している。Ｔｏｕｔが、Ｔｏｕｔ１からＴｏｕｔ２に変化したとき、１次関数の傾き（第１の傾きａ）には変化がないが、第１の切片ｂの値が、ｂ１からｂ２に変化することから、ＴｐとＴｂとの関係を示す１次関数は、ｂ１とｂ２の差分の分だけ、平行にシフトされる。

【０１７９】

このように、第１温度Ｔｂは第２温度Ｔｐだけでなく、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔに対しても線形の関係を示す。上記式（６）を、上記式（３）に示されるＴｂ＝ａＴｐ＋ｂという式に代入すると、下記の式（７）が得られる。

【数１２】

$$Tb = aTp + cTout + d \quad \cdots（７）$$

この式（７）が、第２温度Ｔｐと、第３温度Ｔｏｕｔを変数として含み、かつ、複数の定数ａ，ｂ，ｃを含む関数である。この関数によって、第１温度Ｔｂと、第２温度Ｔｐおよび第３温度Ｔｏｕｔとが関係付けされる。

【０１８０】

また、上記の式（６）を、式（５）に代入すると、式（８）が得られる。

【数１３】

$$Tc+\Delta Tc=\frac{c}{1-a}Tout+\frac{d}{1-a} \quad \cdots（８）$$

ここで、熱の移動が温度差によって起こることから、熱収支による誤差ΔＴｃは、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔと深部体温Ｔｃの値が等しくなる場合には生じない。よって、式（８）において、Ｔｏｕｔ＝ΔＴｃとし、ΔＴｃ＝０とする。すると、式（８）は、式（１）のように変形される。

【数１４】

$$Tc=\frac{c}{1-a}Tc+\frac{d}{1-a} \quad \cdots（１）$$

$$Tc=\frac{d}{1-a-c}$$

この式（１）が、熱収支による誤差を含まない深部温度Ｔｃを示している。但し、式（１）を解くためには、複数の定数ａ，ｃ，ｄの各値を定める必要がある。複数の定数ａ，ｃ，ｄは、上記の式（７）で表される関数によって、相互に関連付けられている。３つの定数の値を求めるためには、３元の連立方程式を解けばよい。よって、時間を異にして、少なくとも３回の温度測定を実行する。

【０１８１】

ここで、第１回目の測定時に、第１温度としてのＴｂ１、第２温度としてのＴｐ１、第３温度としてのＴｏｕｔ１が得られ、第２回目の測定時に、第１温度としてのＴｂ２、第２温度としてのＴｐ２、第３温度としてのＴｏｕｔ２が得られ、第３回目の測定時に、第１温度としてのＴｂ３、第２温度としてのＴｐ３、第３温度としてのＴｏｕｔ３が得られたとする。

【０１８２】

これらの９個の測定データは、式（９）の行列式によって表現することができる

【数１５】

$$\begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots（９）$$

よって、逆行列を含む式（１０）によって、複数の定数ａ，ｃ，ｄを求めることができる。

【数１６】

$$\begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots（１０）$$

複数の定数ａ，ｃ，ｄの各値が決定されると、各値を、式（１）に代入する。これによって、深部温度Ｔｃが得られる。

【０１８３】

図９（Ａ）～図９（Ｄ）は、第１実施形態における、深部温度の測定方法を示す図である。図９（Ａ）に示すように、３点の温度、すなわち、第１温度Ｔｂ，第２温度Ｔｐ，第３温度Ｔｏｕｔを、少なくとも３回測定する。得られた９個の測定データ（Ｔｂ１，Ｔｐ１、Ｔｏｕｔ１、Ｔｂ２，Ｔｐ２，Ｔｏｕｔ２、Ｔｂ３，Ｔｐ３，Ｔｏｕｔ３）は、図９（Ｂ）に示される行列式（９）によって、関係付けることができる。よって、複数の定数ａ，ｃ，ｄは、図９（Ｃ）に示される、行列式（１０）によって求めることができる。そして、図９（Ｄ）に示される式（１）によって、深部温度Ｔｃを算出することができる。

【０１８４】
次に、温度測定装置の全体構成について説明する。図１０（Ａ）～図１０（Ｃ）は、温度測定装置の全体構成の例を示す図である。
【０１８５】
図１０（Ａ）の例では、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２は、基材４０の内部に埋め込まれている。また、断熱材２０ａ上に、環境温度取得部５３としての第３温度センサー５４が設けられている。第１温度センサー５０、第２温度センサー５２、基材４０、環境温度取得部５３としての第３温度センサー５４は、第１ユニット１００を構成する。
【０１８６】
また、断熱材２０ｂ上には、第２ユニット２００が設けられる。第２ユニット２００は、制御部７３および演算部７４を含む。なお、演算部７４は、機能ブロックとして、定数算出部や深部温度算出部を含むことができる。また、第２ユニット２００には、図示はしないが、演算結果を報知する報知部（例えば表示部）を設けることもできる。
【０１８７】
また、図１０（Ａ）の温度測定装置は、基材４０における第１面（接触面）ＳＲ１を、被測定体６の表面に貼付するための貼付構造１０を有している。貼付構造１０は、例えば、粘着テープにより構成することができる。粘着テープは、剥離紙８と、支持層（粘着層）９とを有することができる。
【０１８８】
貼付構造１０によって、第１ユニット１００を、被測定体６の表面に貼付することができる。したがって、温度測定装置の操作性ならびに携帯性が向上する。また、例えば、温度測定装置を、幼児や乳幼児などの体温の計測のために使用する場合、幼児等は、頻繁に体を動かすことから、温度測定装置と体表面との接触を、所定時間、良好に保持することが困難である。しかし、このような場合でも、貼付構造１０を用いて、温度測定装置の全体を、被測定体６の表面に貼付可能であることから、幼児や乳幼児が体を動かしたとしても、体表面と温度測定装置との接触状況を良好に維持できる。よって、正確かつ安定した温度測定な可能である。
【０１８９】
図１０（Ｂ）の例では、環境温度取得部５３は、大気温度センサー５５から環境温度の情報を受け取る。大気温度センサー５５としては、例えば、環境の温度を制御する空調器に設けられている温度センサーを使用することができる（図４～図６を参照）。
【０１９０】
図１０（Ｃ）の例では、第１ユニット１００と、第２ユニット２００とを分離した、別体の構成が採用されている。第１ユニット１００は、第１無線通信部ＣＡを含み、第２ユニット２００は、第２無線通信部ＣＢを含む。
【０１９１】
第１温度（Ｔｂ）の情報と第２温度（Ｔｐ）の情報、または、第１温度（Ｔｂ）の情報、第２温度（Ｔｐ）の情報および第３温度（Ｔｏｕｔ）の情報は、第１無線通信部ＣＡから第２無線通信部ＣＢに送信される。第２ユニットに設けられている演算部７４は、第２無線通信部ＣＢによって受信された、第１温度（Ｔｂ）の情報と第２温度（Ｔｐ）の情報、または、第１温度（Ｔｂ）の情報、第２温度（Ｔｐ）の情報および第３温度（Ｔｏｕｔ）の情報に基づいて演算を実行して、被測定体６の深部温度Ｔｃを求める。
【０１９２】
図１０（Ｃ）の構成によれば、第１ユニット１００（例えば温度測定装置の本体）の構成部品の数を、最小限に抑制することができ、第１ユニット１００の軽量化が実現される。したがって、例えば、被測定体６としての被検者の体表面に、第１ユニット１００を長時間、接触させた場合であっても、被検者に大きな負担を与えることがない。よって、例えば、長時間にわたって、連続的に温度をモニタリングすることが可能となる。
【０１９３】

また、第１ユニット１００と第２ユニット２００との間で、無線通信による温度データの送受信を行うことができることから、第２ユニット２００を、第１ユニット１００からある程度、離して設置することが可能となる。また、無線通信を利用することから、通信用の配線が不要である。よって、第１ユニットの取扱い性が向上する。また、第１ユニット１００を、第２ユニット２００から完全に分離することができることから、第１ユニット１００の軽量化を、より促進することができる。

【０１９４】

図１１（Ａ）および図１１（Ｂ）は、無線通信を利用した温度測定装置の使用例を説明するための図である。図１１（Ａ）では、被測定体６としての幼児の胸部の体表面６Ａに、第１ユニット１００が装着（貼付）されている。また、第２ユニット２００は、被測定体６としての幼児を抱いた保護者（温度測定装置のユーザー）ＭＡの左手首に装着されている。ここでは、第２ユニット２００は、表示部としても機能するものとする。

【０１９５】

図１１（Ｂ）に示されるように、第１ユニット１００は、第１温度センサー５０と、第２温度センサー５２と、環境温度取得部５３としての第３温度センサー５４と、Ａ／Ｄ変換部５６と、無線通信部ＣＡと、アンテナＡＮ１とを有している。また、第２ユニット２００は、無線通信部ＣＢと、制御部７３と、演算部７４と、表示部７７と、操作部７９と、記憶部８１とを有している。操作部７９は、図５に示されるタイミング制御情報入力部８３を兼ねることができる。

【０１９６】

演算部７４には、上述した複数の定数ａ，ｃ，ｄを算出するための算出式や、深部体温Ｔｃを算出するための算出式が記憶されている。また、記憶部８１には、受信された第１温度Ｔｂ、第２温度Ｔｐ、環境温度Ｔｏｕｔが記憶され、また、算出された複数の定数ａ，ｃ，ｄの値も記憶され、また、求められた深部体温Ｔcも記憶される。

【０１９７】

記憶部８１は、複数の被測定体（ここでは被検者）に関する温度情報を記憶可能に構成されている。したがって、深部体温Ｔｃ等のデータを、被検体である幼児毎に記憶することができる。なお、記憶部８１には、温度情報以外にも、例えば、被測定体６（ここでは被検者である幼児）の氏名、年齢、測定日時などの測定情報を記憶させてもよい。この場合、これらの測定情報は、保護者（温度測定装置のユーザー）ＭＡが、操作部７９を操作して入力することができる。

【０１９８】

温度測定装置は、例えば、以下のように動作する。保護者ＭＡが、第２ユニット２００の操作部７９を操作することによって、第２ユニット２００の電源がオンされる。すると、無線通信部ＣＢから電波を送信する。この電波による電磁誘導によって、アンテナＡＮ１に起電力を発生させ、この起電力によって、第１ユニット１００内の電源（電池）をチャージする。すると、第１ユニット１００が起動し、第１温度センサー５０と、第２温度センサー５２と、環境温度センサー（第３温度センサー）５４が起動する。そして、第１ユニット１００は、第２ユニット２００に向けて、スタンバイ信号を送信する。

【０１９９】

次に、第１ユニット１００内の制御部７３は、スタンバイ信号を受信すると、温度測定開始信号の送信を無線通信部ＣＢに指示する。第１ユニット１００は、温度測定開始信号を受信すると、第１温度センサー５０、第２温度センサー５２ならびに環境温度センサー（第３温度センサー）５４による温度測定を開始する。なお、第１温度Ｔｂと、第２温度Ｔｐの測定は、被検者６の深部から体表面６Ａまでの伝熱が定常状態（平衡状態）となっている状態で行うのが好ましい。よって、温度測定開始信号の受信タイミングから、平衡状態が実現されるのに必要な時間が経過したタイミングで、温度測定を開始するのが好ましい。

【０２００】

測定された温度情報（第１温度Ｔｂ、第２温度Ｔｐ、第３温度Ｔｏｕｔ）は、Ａ／Ｄ変

換部５６でアナログ信号からデジタル信号に変換され、無線通信部ＣＡによって、第２ユニット２００に送信される。温度測定は、複数回実行され、測定毎に、測定データが送信される。各測定の実行間隔は、環境（大気等）の状況や傾向等を考慮して、適宜、調整することができる。

【０２０１】

第２ユニット２００内の演算部７４は、所定間隔で送られてくる、一組の第１温度Ｔｂ、第２温度Ｔｐ、第３温度Ｔｏｕｔのデータを記憶部８１に一旦、格納する。そして、必要な温度データがすべて得られると、上述した手順で、所定の演算を実行して、被検者（幼児）６の深部温度Ｔｃを測定する。測定された深部温度Ｔｃは、例えば、表示部７７に表示される。

【０２０２】

図１２は、第１実施形態における、深部温度の測定手順を示す図である。まず、温度データが取得される（ステップＳ１０）。温度データには、第１測定で得られた第１温度Ｔｂ１、第２温度Ｔｐ１、第３温度Ｔｏｕｔ１と、第２測定で得られた第１温度Ｔｂ２、第２温度Ｔｐ２、第３温度Ｔｏｕｔ２と、第３測定で得られた第１温度Ｔｂ３、第２温度Ｔｐ３、第３温度Ｔｏｕｔ３と、が含まれる。

【０２０３】

次に、複数の定数ａ，ｃ，ｄが、算出される（ステップＳ２０）。次に、先に説明した第１算出式を用いて、深部温度を演算する（ステップ３０）。

【０２０４】

（深部温度の測定結果の例）

次に、一例として、環境温度Ｔｏｕｔを３段階で変化させたときの、第１温度Ｔｂおよび第２温度Ｔｐのデータ例と、そのデータ例に基づいて算出された深部温度の例（算出結果例）について、図１３～図１８を用いて説明する。以下の説明では、熱流制御部６１を使用しない例について説明するが、熱流制御部６１を設けた場合でも、同様の結果が得られる。

【０２０５】

（図１３の例）

図１３は、深部温度の算出結果の一例を示す図である。図１３では、被測定体６として人体を想定しており、深部４の温度Ｔｃを３７℃に設定している。この実験では、表層部５に相当する構造体の材料として、ポリ塩化ビニール（ＰＶＣ）を使用している。ポリ塩化ビニールの熱伝導率は、０．１４４２８３である。

【０２０６】

この表層部５に相当するＰＶＣ構造体（直方体）の厚みは２０ｍｍに設定している。また、このＰＶＣ構造体の上面の中央に、シリコンゴムで構成され、かつ、円柱形状を有する基材４０を設けている。シリコンゴムの熱伝導率は、０．０５である。

【０２０７】

また、基材４０の断面は円形状であり、その円の直径は２０ｍｍである。また、基材４０の高さは２ｍｍである。第１温度センサー５０と第２温度センサー５２は、基材４０の底面（つまり接触面）ＳＲ１に垂直な垂線Ｌ１上にある２点（第１測定点と第２測定点）の位置に設けられている。第１温度センサー５０と第２温度センサー５２との距離は２ｍｍである。つまり、第１測定点は、基材４０の底面（接触面）ＳＲ１上に設定されており、第２測定点は、基材４０の上面ＳＲ２上に設定されている。

【０２０８】

また、図１３の例において、環境（大気）７における熱伝達係数（大気の熱の移動度に比例する定数）は、０．０１Ｗ／ｍ^2・Ｋに設定されている。環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ、第１温度Ｔｂならびに第２温度Ｔｐは、ｎ回測定される。本例では、３回の温度測定を実行する。よって、ｎは、１，２，３のいずれかである。

【０２０９】

Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である

。Ｔｂ１は、２９．２８８４℃であり、Ｔｂ２は、３３．１４４２℃であり、Ｔｂ３は、３５．８９８３℃である。Ｔｐ１は、２７．４６０５℃であり、Ｔｐ２は、３２．２３０３℃であり、Ｔｂ３は、３５．６３２７℃である。

【０２１０】

測定（算出）された深部温度は、３６．９９９８６℃であり、実際の深部温度Ｔｃ（＝３７℃）と比較して、わずかの誤差しか含まない。つまり、小型化された基材４０を用いて、極めて高精度に深部温度を測定できることがわかった。

【０２１１】

（図１４の例）

図１４は、深部温度の算出結果の他の例を示す図である。図１４の例における測定環境や測定条件は、基本的には、図１３の例と同じである。但し、図１４の例では、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２が、基材４０の側面上、かつ、垂線Ｌ２上に設けられている。第１温度センサー５０および第２温度センサー５２との距離は、２ｍｍである。

【０２１２】

Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２８．７５１６℃であり、Ｔｂ２は、３２．８７５８℃であり、Ｔｂ３は、３５．８２１７℃である。Ｔｐ１は、２６．２４８２℃であり、Ｔｐ２は、３１．６２４１℃であり、Ｔｂ３は、３５．４６４℃である。

【０２１３】

測定（算出）された深部温度は、３７．０００００℃であり、実際の深部温度Ｔｃ（＝３７℃）と比較して、誤差は認められなかった。つまり、小型化された基材４０を用いて、極めて高精度に深部温度を測定できることがわかった。

【０２１４】

（図１５の例）

図１５は、深部温度の算出結果の他の例を示す図である。図１５の例における測定環境や測定条件は、基本的には、前掲の例と同じである。但し、図１５の例では、第１温度センサー５０は、基材４０の接触面ＳＲ１の中心付近に設けられ、また、第２温度センサー５２は、基材４０の側面上に設けられている。

【０２１５】

Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２９．２８８４℃であり、Ｔｂ２は、３３．１４４２℃であり、Ｔｂ３は、３５．８９８３℃である。Ｔｐ１は、２６．２４８２℃であり、Ｔｐ２は、３１．６２４１℃であり、Ｔｂ３は、３５．４６４℃である。

【０２１６】

測定（算出）された深部温度は、３７．０００００℃であり、実際の深部温度Ｔｃ（＝３７℃）と比較して、誤差は認められなかった。つまり、小型化された基材４０を用いて、極めて高精度に深部温度を測定できることがわかった。

【０２１７】

（図１６の例）

図１６は、深部温度の算出結果の他の例を示す図である。図１６の例における測定環境や測定条件は、基本的には、前掲の例と同じである。但し、図１６の例では、第１温度センサー５０は、基材４０の上面ＳＲ２上に設けられている。第２温度センサー５２は、基材４０の側面上に設けられている。第２温度センサー５２は、第１温度センサー５０を通り、かつ、接触面ＳＲ２に平行な直線Ｌ３上に設けられている。つまり、第１温度センサー５０と第２温度センサー５２は、横一線の位置にある。

【０２１８】

Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２８．７５１６℃であり、Ｔｂ２は、３２．８７５８℃であり、Ｔｂ３は、３５．８２１７℃である。Ｔｐ１は、２６．２４８２℃であり、Ｔｐ２は、３１．６２４

１℃であり、Ｔｂ３は、３５．４６４℃である。

【０２１９】

測定（算出）された深部温度は、３７．０００００℃であり、実際の深部温度Ｔｃ（＝３７℃）と比較して、誤差は認められなかった。つまり、小型化された基材４０を用いて、極めて高精度に深部温度を測定できることがわかった。

【０２２０】

以上の実験結果から、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２の相対位置関係は、特に問題とならないことがわかる。つまり、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２が、熱源（被測定体の深部）を通る鉛直線上にあってもよく、また、第１温度センサー５０および第２温度センサー５２が、横一線の位置にあってもよい。

【０２２１】

すなわち、第１温度センサー５０が設けられる第１測定点および第２温度センサー５２が設けられる第２測定点は、基材４０の外表面（上記の例でいえば、底面である瀬接触面ＳＲ１、上面ＳＲ２ならびに側面のいずれか）上、または、基材４０の内部に位置する２点であればよい。但し、行列式を使用した深部温度の算出を行うためには、少なくとも、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ１，Ｔｏｕｔ２，Ｔｏｕｔ３のいずれかに対応する一組のＴｂとＴｐが同じ値ではない（Ｔｂ≠Ｔｐ）という条件を満足する必要がある。すなわち、３組の第１温度Ｔｂと第２温度Ｔｐのうち、少なくとも１組のＴｂとＴｐに温度差が生じていることが必要である。よって、この条件を満足するように、第１ユニット１００を設計する。

【０２２２】

次に、基材４０の内部における温度分布と測定結果との関係について考察する。図１７（Ａ）および図１７（Ｂ）は、基材の内部における温度分布と測定結果との関係の一例を示す図である。図１７（Ａ）に示されるデータ例は、図１３に示したデータ例と同じである。図１７（Ｂ）は、Ｔｏｕｔ１（＝２３℃）における、基材４０の垂線方向の温度分布を示す図である。図１７（Ｂ）では、横軸が、接触面ＳＲ１を基準とした、垂線Ｌ１方向の距離であり、縦軸が、基材４０の温度である。図１７（Ｂ）に示されるように、基材４０の温度は、熱源（被測定体６の深部４）から離れるにつれて、直線状に低下する。

【０２２３】

図１７（Ａ）のデータ例は、図１７（Ｂ）に示すような、基材４０の熱分布の下で深部温度を算出した結果であり、先に説明したように、極めて高精度な測定結果が得られている。

【０２２４】

図１８（Ａ）および図１８（Ｂ）は、基材の内部における温度分布と測定結果との関係の他の例を示す図である。図１８（Ａ）の例における測定環境や測定条件は、基本的には、図１７（Ａ）の例と同じである。但し、図１８（Ａ）の例では、基材４０の高さを２０ｍｍとし、図１７（Ａ）の例における基材４０の高さ（２ｍｍ）の１０倍としている。このように、基材４０の高さを高くすると、円柱の側面の面積が増加することから、円柱状の基材４０の側面からの放熱が増加する。そして、その側面からの放熱の量は、熱源（被測定体６の深部４）からの距離に対応して変化する。

【０２２５】

図１８（Ｂ）は、Ｔｏｕｔ１（＝２３℃）における、基材４０の垂線方向の温度分布を示す図である。図１８（Ｂ）では、横軸が、接触面ＳＲ１を基準とした、垂線Ｌ１方向の距離であり、縦軸が、基材４０の温度である。図１８（Ｂ）に示されるように、基材４０の温度は、熱源（被測定体６の深部４）から離れるにつれて低下するが、温度分布を示す特性線は直線とはならず、曲線となる。先に説明したように、基材４０の高さを高くすると、円柱の側面の面積が増加し、円柱状の基材４０の側面からの放熱が増加し、そして、その側面からの放熱の量は、熱源（被測定体６の深部４）からの距離に対応して変化するからである。

【０２２６】

図１８（Ａ）のデータ例は、図１８（Ｂ）に示すような、基材４０の熱分布の下で深部温度を算出した結果である。Ｔｏｕｔ１は、２３℃であり、Ｔｏｕｔ２は３０℃であり、Ｔｏｕｔ３は３５℃である。Ｔｂ１は、２９．６２２７４℃であり、Ｔｂ２は、３３．３１１３７℃であり、Ｔｂ３は、３５．９４６１１℃である。Ｔｐ１は、２３．２９５２６℃であり、Ｔｐ２は、３０．１４７６３℃であり、Ｔｂ３は、３５．０４２１８℃である。測定（算出）された深部温度は、３７．０００００℃であり、実際の深部温度Ｔｃ（＝３７℃）と比較して、誤差は認められなかった。つまり、基材４０の内部の温度分布が、曲線で表される場合であっても、本実施形態の温度測定方法を使用すれば、極めて高精度に深部温度を測定できることがわかった。したがって、基材４０の高さに制約はなく、また、接触面の面積と基材４０の高さの比に関する制限もない。よって、かなり自由に、第１ユニット１００を構成することができる。

【０２２７】

（第２の実施形態）

本実施形態では、深部温度の算出式として、前掲の実施形態とは異なる第２の算出式を使用する。また、本実施形態では、温度の測定（温度情報の取得）を、少なくとも２回、実行する。

【０２２８】

図１９は、第２の実施形態における、深部温度の測定方法を説明するための図である。図１９に示すように、本実施形態では、第１測定と第２測定を実行し、第１測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ１と、第２測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ２とを異ならせる。

【０２２９】

第１測定で得られた第１温度をＴｂ１とし、第２温度をＴｐ１とし、第３温度をＴｏｕｔ１とし、第２測定で得られた第１温度をＴｂ２とし、第２温度をＴｐ２とし、第３温度をＴｏｕｔ２とする。

【０２３０】

演算部７４は、第１測定で得られた第１温度Ｔｂ１および第２温度Ｔｐ１と、第２測定で得られた第１温度Ｔｂ２および第２温度Ｔｐ２と、を用いて、第２算出式による演算を実行して、深部温度Ｔｃを算出する。前記第２算出式は、下記の式（１１）によって表される。

【数１７】

$$Tc=\frac{Tb2(Tb1-Tp1)-Tb1(Tb2-Tp2)}{(Tb1-Tp1)-(Tb2-Tp2)} \quad \cdots\cdots (11)$$

式（１１）による第２算出式を使用するときは、上述のとおり、第２測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ２の値が、第１測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ１とは異なる値である必要がある。

【０２３１】

式（１１）で示される第２算出式によると、熱収支に起因する誤差成分を生じさせずに、深部温度を測定できる理由について、図２０および図２１を用いて説明する。

【０２３２】

図２０（Ａ）および図２０（Ｂ）は、特許文献１に示される従来例において、熱収支に起因する誤差成分が生じる理由を説明するための図である。図２０（Ａ）は、従来例の温度測定部における、６点の温度（Ｔ１，Ｔ２，Ｔｔ１、Ｔ２，Ｔ４，Ｔｔ２）および熱抵抗の状態を示している。図２０（Ｂ）は、図２０（Ａ）に示される温度測定部における、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔと深部温度Ｔｃと間の、熱抵抗と熱流束の状態を示している。

【０２３３】

従来例では、並列に配置された２つの温度測定部を使用して、２つの熱流の系を形成している。また、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔは一定であり、また、基材３７の上面に設

けられた第１断熱材３８Ａおよび第２断熱材３８Ｂによって、温度測定部は、環境（大気）から、熱的に遮断されている。また、環境（大気）における熱伝達係数（気体中の熱の移動度に比例する定数）はｎである。また、被測定体の表層部の熱抵抗をＲｂとし、基材３７の熱抵抗をＲ１とし、第１断熱材３８Ａの熱抵抗をＲ２とし、第２断熱材３８Ｂの熱抵抗をＲ３としている。

【０２３４】

従来例では、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔが一定であるという前提の下で、断熱材３８Ａと断熱材３８Ｂとを異ならせることによって、異なる２つの熱流束を形成している。つまり、従来例では、熱流束Ｑｂ１と、熱流束Ｑ１１と、熱流束Ｑ１２との間に、Ｑｂ１＝Ｑ１１＝Ｑ１２という関係が成立し、また、熱流束Ｑｂ２と、熱流束Ｑ２１と、熱流束Ｑ２２との間に、Ｑｂ２＝Ｑ２１＝Ｑ２２という関係が成立することを前提としている。

【０２３５】

しかし、温度測定部の小型化が促進されると、第１の系の３点の温度（Ｔ１，Ｔ２，Ｔｔ１）ならびに第２の系における３点の温度（Ｔ２，Ｔ４，Ｔｔ２）は、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔの影響を受けるようになる。よって、Ｑｂ１＝Ｑ１１＝Ｑ１２、ならびに、Ｑｂ２＝Ｑ２１＝Ｑ２２であるという前提が成立しなくなる。この場合には、従来例の算出式である式（Ｆ）の左辺は、Ｔｃ＋ΔＴｃとなり、熱収支の差分に相当する測定誤差ΔＴｃが生じる。

【０２３６】

つまり、特許文献１に記載される温度計では、温度測定部を、表層部に設けられた断熱材によって環境（大気）から遮断した構成となっており、したがって、熱流束は温度測定部の頂部にて終端し、環境（大気）との間の熱収支はほとんどなく、無視できるという設計思想の下で設計されている。しかし、温度計の小型化を、さらに促進した場合には、例えば、温度測定部の側面と環境（大気）との間での熱収支が顕在化し、熱収支の差分に対応する測定誤差を無視できなくなる。

【０２３７】

図２１（Ａ）および図２１（Ｂ）は、本発明の第２実施形態において、熱収支に起因する誤差成分が生じない理由を説明するための図である。図２１（Ａ）は、第２実施形態にかかる温度測定部における温度と熱抵抗の状態を示している。図２１（Ｂ）は、図２１（Ａ）に示される温度測定部における、環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ１，Ｔｏｕｔ２と、深部温度Ｔｃと間の、熱抵抗と熱流束の状態を示している。

【０２３８】

本実施形態では、少なくとも２回の温度測定（温度情報の取得）を実行し、各温度測定では、第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔの値を異ならせている（Ｔｏｕｔ１≠Ｔｏｕｔ２）。環境温度（第３温度）を異にして、２回の温度測定を実行したとき、第１測定では、始端を被測定体の深部４とし、終端を環境（大気等）とする第１の熱流束の系が構成されることになる。また、第２測定では、始端を被測定体の深部とし、終端を環境（大気等）とする第２の熱流束の系が構成される。第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔは、各系で異なることから、各系の熱流束は互いに異なる熱流束である。

【０２３９】

また、環境（大気）７における熱伝達係数（気体中の熱の移動度に比例する定数）はｎである。第１温度はＴｂ１（あるいはＴ１），Ｔｂ２（あるいはＴ３）である。また、第２温度はＴｐ１（あるいはＴ２），Ｔｐ２（あるいはＴ４）である。被測定体６の表層部５における熱抵抗はＲｂであり、基材４０の熱抵抗はＲ１である。また、図２１（Ｂ）に示されるように、第１の系においては、熱流束Ｑｂ１と、熱流束Ｑ１１と、熱流束Ｑａ１が生じている。第２の系においては、熱流束Ｑｂ２と、熱流束Ｑ２１と、熱流束Ｑａ２が生じている。

【０２４０】

これらの２つの熱流束の系では、熱流束の終端が、温度の変動が許容されている環境７であることから、従来例において問題となる熱収支の差分という概念が生じない。つまり

、その熱収支も含めて、環境温度Ｔｏｕｔ（Ｔｏｕｔ１，Ｔｏｕｔ２）が一義的に定まる（適宜、変動する）というだけである。

【０２４１】

また、使用している基材４０の熱伝導率（つまり熱抵抗）は、第１の熱流束の系、第２の熱流束の系で同じである。つまり、熱抵抗の分布は、第１の系と第２の系との間で、何ら変化しない。よって、基材に第１測定点と第２測定を設定したとき、（第１測定点と第２測定点の温度の差）／（被測定体の深部温度Ｔｃと第１測定点の温度の差）は、第１の熱流束の系、第２の熱流束の系ともに同じである。よって、下記の式が成立する。

【数１８】

$$\frac{(Tb1-Tp1)}{(Tc-Tb1)}=\frac{(Tb2-Tp2)}{(Tc-Tb2)} \quad \cdots\cdots(12)$$

この式（１２）を、Ｔｃについて解くと、上述の第２算出式（上記の式（１１））が得られる。従来例における、ΔＴｃという誤差成分の概念自体が生じないことから、第２算出式によれば、ほぼ理想的な深部温度Ｔｃが得られる。

【０２４２】

第２算出式（式（１１））は、形式的には従来例における算出式（式（Ｆ））と同じように見えるが、第２算出式（式（１１））は、従来例の算出式（式（Ｆ））とは、根本的に異なる算出式である。つまり、第２算出式（式（１１））は、環境を終端とする２つの熱流束の系から得られたデータに基づいて、基材における熱抵抗の比が同じであるという観点から導き出される算出式であり、根本的に異なるものである。

【０２４３】

なお、本実施形態では、第３温度（環境温度）Ｔｏｕｔは、深部温度Ｔｃの算出自体には直接的には関係しない。但し、上述のとおり、第１測定におけるＴｏｕｔ１と、第２測定におけるＴｏｕｔ２とは異なっている必要があり、Ｔｏｕｔ１＝Ｔｏｕｔ２であるときは、正確な深部温度の算出ができない。

【０２４４】

よって、第３温度センサー５４で測定された第３温度Ｔｏｕｔ３（あるいは、環境温度取得部５３によって取得された第３温度Ｔｏｕｔ３）は、算出可能条件（第１測定と第２測定における第３温度が異なるという条件）が満足されているかを確認するために、つまり、演算の可否の判断に使用することができる。

【０２４５】

図２２（Ａ）および図２２（Ｂ）は、第２実施形態における、深部温度の測定手順と、第２実施形態における深部温度の算出結果例を示す図である。まず、温度データが取得される（ステップＳ４０）。温度データには、第１測定で得られた第１温度Ｔｂ１、第２温度Ｔｐ１、第３温度Ｔｏｕｔ１と、第２測定で得られた第１温度Ｔｂ２、第２温度Ｔｐ２、第３温度Ｔｏｕｔ２（≠Ｔｏｕｔ１）と、が含まれる。次に、第２算出式を用いて、深部温度を演算する（ステップＳ５０）。

【０２４６】

図２２（Ｂ）は、第２実施形態における深部温度の算出結果例を示す図である。ここでは、図１３に示される測定環境を使用する。第１測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ１が２３℃のとき、第１温度Ｔｂ１は２８．３７１℃であり、第２温度Ｔｐ１は２６．２４８２℃となる。第２測定における環境温度（第３温度）Ｔｏｕｔ２が３０℃のとき、第１温度Ｔｂ２は３２．６８５５℃であり、第２温度Ｔｐ２は３１．６２４１℃となる。熱源となる深部温度Ｔｃは３７℃に設定されている。この深部温度に対する算出結果は３７．０００００であり、誤差は生じなかった。よって、本実施形態によれば、極めて高精度に、深部温度を測定できることがわかった。

【０２４７】

（第３の実施形態）

次に、温度センサーを基材４０に設ける方法の一例について説明する。図２３（Ａ）～

図２３（Ｅ）は、温度センサーを、基材に設ける方法の一例について説明するための図である。ここでは、第１温度センサー５０（例えば熱電対素子で構成される）を例にとって説明する。以下に説明する方法は、第２温度センサー５２ならびに第３温度センサー５５についても、同様に適用することができる。

【０２４８】

図２３（Ａ）は、基材４０（第１温度センサー５０を含む）の平面図および断面図を示している。平面図に示されるように、基材４０は、平面視で正方形の形状をしており、縦Ｙ１ならびに横Ｘ１は共に、例えば５０ｍｍである。また、断面図に示されるように、基材の高さＹ３は、例えば５ｍｍである。また、第１温度センサー５０は、基材４０に埋設されている。第１温度センサー５０の横Ｘ２は例えば０．５ｍｍであり、縦（高さ）Ｙ２は例えば０．５ｍｍである。基材４０としては、例えば、発砲ゴム（例えば天然のラテックスゴム）や発泡樹脂（例えば発砲ウレタン）を使用することができる。

【０２４９】

図２３（Ｂ）および図２３（Ｃ）は、第１温度センサー５０を基材４０に埋め込む方法の、一例を示している。図２３（Ｂ）では、基材４０の側面から中央に向う横穴４７ａを形成し、その横穴４７ａを経由して、第１温度センサー５０を基材４０の内部に搬送し、そして、第１温度センサー５０を、基材４０のほぼ中央に設置する。

【０２５０】

また、図２３（Ｃ）の例では、図２３（Ｂ）における横穴４７ａの代わりに、縦穴４７ｂを形成している。

【０２５１】

図２３（Ｄ）および図２３（Ｅ）は、第１温度センサー５０を基材４０に埋め込む方法の、他の例を示している。図２３（Ｄ）および図２３（Ｅ）の例では、基材４０が、下側部分４０ａと上側部分４０ｂとに分割されている。下側部分４０ａと上側部分４０ｂとを貼り合わせる際に、第１温度センサー５０を、両部分４０ａ，４０ｂによって挟み込むことによって、結果的に、第１温度センサー５０を、基材４０の内部に位置させることができる。

【０２５２】

図２３（Ｄ）の例の第１工程では、基材４０の上側部分４０ｂの一部に凹部３９を形成する。第２工程では、基材４０の上側部分４０ｂに形成されている凹部３９に、第１温度センサー５０を埋め込み、かつ、基材４０の下側部分４０ａの、上側部分４０ｂに対向する面上に、接着材４１を形成する。第３工程では、基材４０の下側部分４０ａと上側部分４０ｂとを貼り合わせる。但し、発砲ゴムや発泡樹脂は柔軟性があるため、凹部３９を設けずに、第１温度センサー５０を、基材４０の下側部分４０ａと上側部分４０ｂとで直接的に挟むこともできる。この例を図２３（Ｅ）に示す。

【０２５３】

図２３（Ｅ）の例の第１工程では、基材４０の下側部分４０ａには、凹部を形成しない。そして、第２工程では、基材４０の下側部分４０ａの、上側部分４０ｂに対向する面上に、接着材４１を形成し、その接着材４１上に、第１温度センサー５０を載置する。第３工程では、基材４０の下側部分４０ａと上側部分４０ｂとを貼り合わせる。基材４０は、柔らかい素材で構成される。よって、貼り合わせ時に、基材４０の上側部分４０ｂの中央部は、第１温度センサー５０を包み込むように変形する。なお、以上の例は一例であり、これらの方法に限定されるものではない。

【０２５４】

以上説明したように、本発明の少なくとも一つの実施形態によれば、より高精度な深部温度の測定が可能となる。また、温度測定部の小型化と、高精度な測定とを両立することができる。

【０２５５】

以上、いくつかの実施形態について説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるものである。

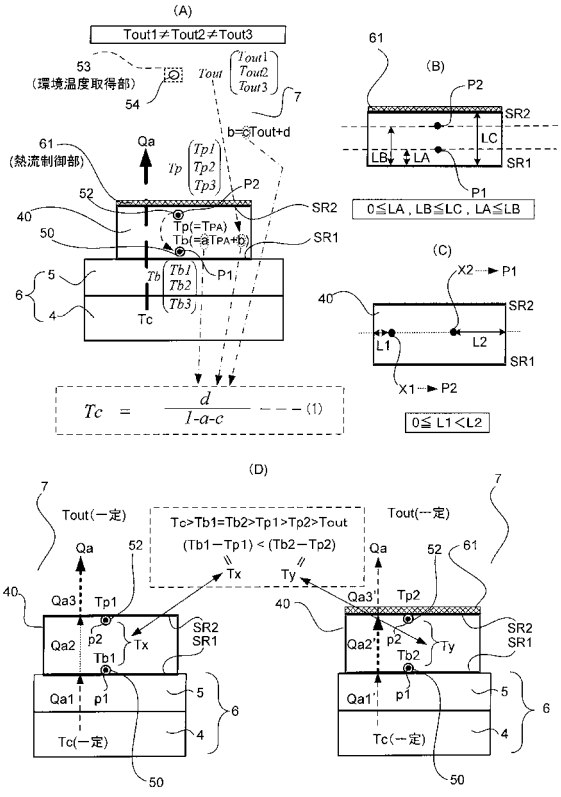
従って、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれるものとする。例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。

【符号の説明】

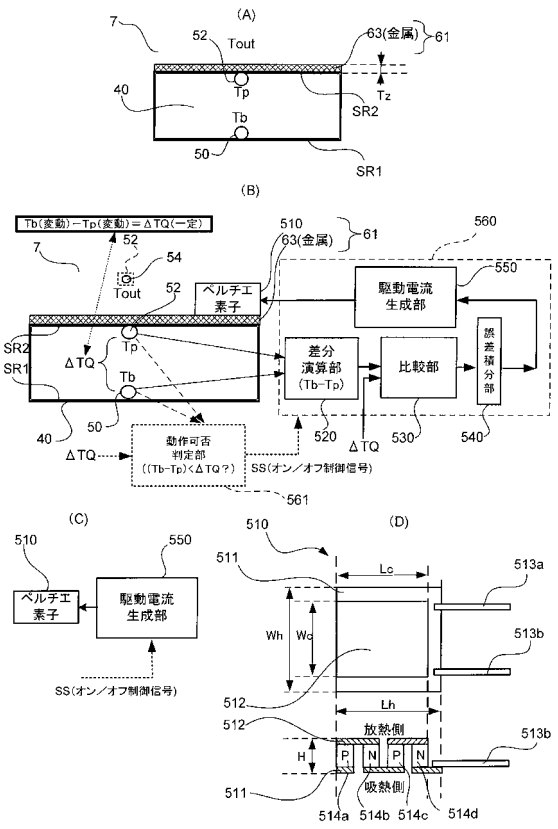
【０２５６】

４　深部、５　表層部、６　被測定体（人体等）、７　環境（周囲媒体、環境媒体）、８　剥離テープ、９　粘着層、　１０　貼付構造（粘着テープ）、２０ａ，２０ｂ　断熱材、４０　基材、４３　温度測定部、５０　第１温度センサー、５２　第２温度センサー、５３　環境温度取得部、５４　環境温度取得部の構成要素である第３温度センサー、５５　大気温度センサー、１００　第１ユニット、２００　第２ユニット

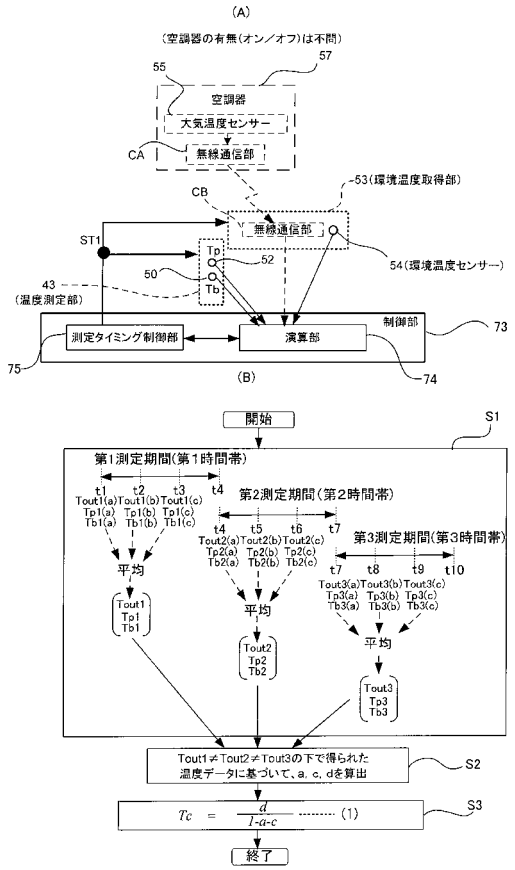
【図１】



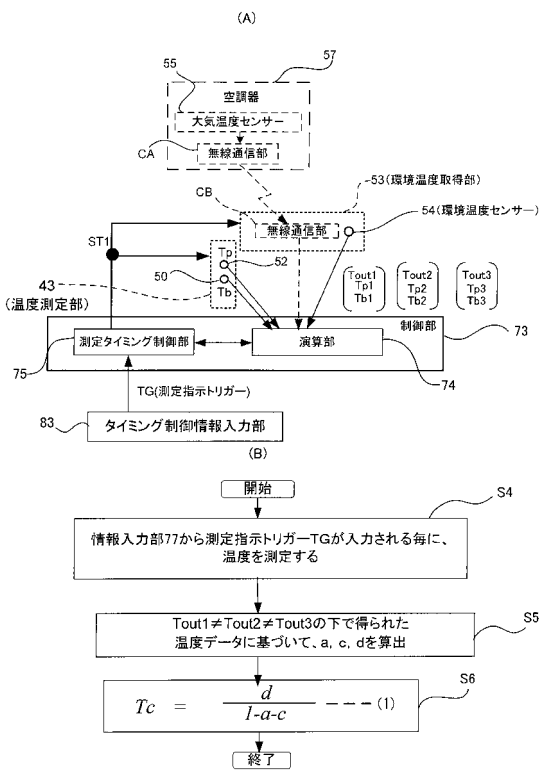
【図２】



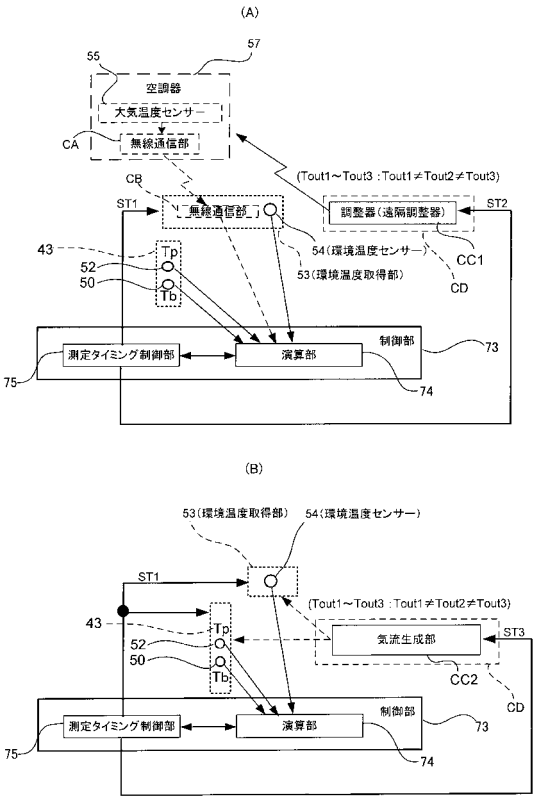
【図４】


(A)
(空調器の有無(オン/オフ)は不問)
空調器
大気温度センサー
無線通信部
CA
CB
ST1
Tp
Tb
50
52
43
(温度測定部)
53(環境温度取得部)
54(環境温度センサー)
制御部
73
測定タイミング制御部
演算部
74
75
(B)
開始
S1
第1測定期間(第1時間帯)
第2測定期間(第2時間帯)
第3測定期間(第3時間帯)
t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10
Tout1(a) Tout1(b) Tout1(c)
Tp1(a) Tp1(b) Tp1(c)
Tb1(a) Tb1(b) Tb1(c)
Tout2(a) Tout2(b) Tout2(c)
Tp2(a) Tp2(b) Tp2(c)
Tb2(a) Tb2(b) Tb2(c)
Tout3(a) Tout3(b) Tout3(c)
Tp3(a) Tp3(b) Tp3(c)
Tb3(a) Tb3(b) Tb3(c)
平均
Tout1 Tp1 Tb1
Tout2 Tp2 Tb2
Tout3 Tp3 Tb3
Tout1≠Tout2≠Tout3の下で得られた
温度データに基づいて、a, c, dを算出
S2
Tc = d/(1-a-c) ……(1)
S3
終了

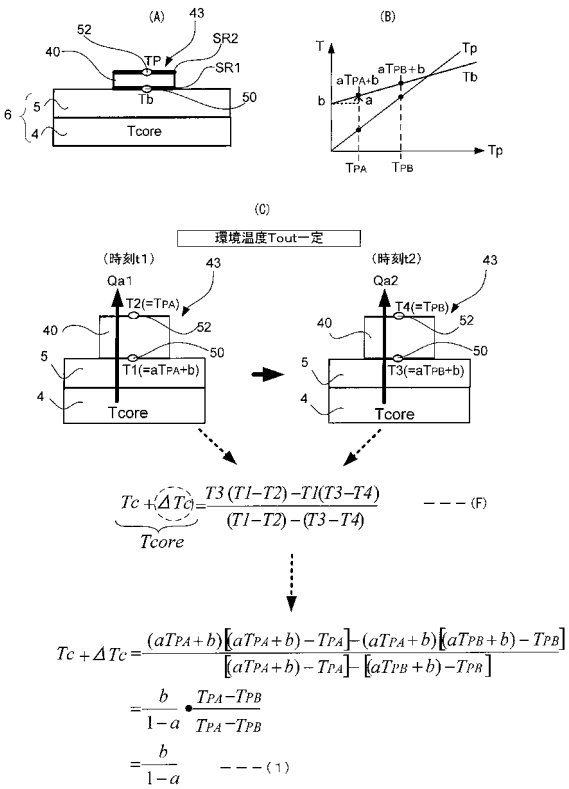
【図５】


(A)
空調器
大気温度センサー
無線通信部
CA
CB
ST1
Tp
Tb
50
52
43
(温度測定部)
53(環境温度取得部)
54(環境温度センサー)
Tout1 Tp1 Tb1
Tout2 Tp2 Tb2
Tout3 Tp3 Tb3
制御部
73
測定タイミング制御部
演算部
74
75
TG(測定指示トリガー)
83
タイミング制御情報入力部
(B)
開始
S4
情報入力部77から測定指示トリガーTGが入力される毎に、
温度を測定する
Tout1≠Tout2≠Tout3の下で得られた
温度データに基づいて、a, c, dを算出
S5
Tc = d/(1-a-c) ---(1)
S6
終了

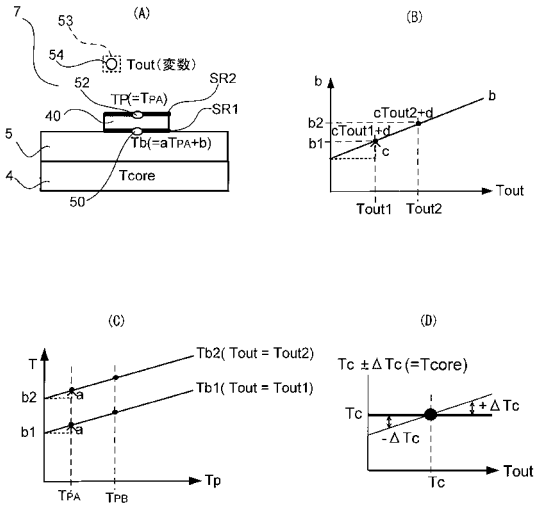
【図６】


(A)
空調器
大気温度センサー
無線通信部
CA
CB
ST1
ST2
(Tout1～Tout3 : Tout1≠Tout2≠Tout3)
調整器(遠隔調整器)
54(環境温度センサー)
53(環境温度取得部)
CC1
CD
Tp
Tb
43
52
50
制御部
73
測定タイミング制御部
演算部
74
75
(B)
53(環境温度取得部)
54(環境温度センサー)
ST1
(Tout1～Tout3 : Tout1≠Tout2≠Tout3)
気流生成部
ST3
CC2
CD
Tp
Tb
43
52
50
制御部
73
測定タイミング制御部
演算部
74
75

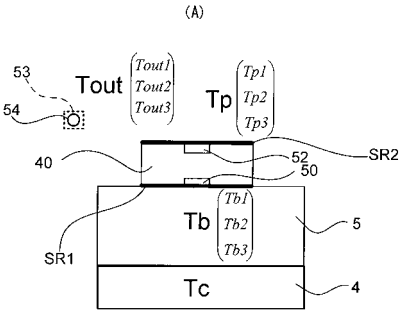
【図７】


(A)
43
52
40
TP
SR2
SR1
Tb
50
6
5
4
Tcore
(B)
T
Tp
Tb
aTPA+b
aTPB+b
b
a
TPA
TPB
(C)
環境温度Tout一定
(時刻t1)
(時刻t2)
Qa1
Qa2
T2(=TPA)
T4(=TPB)
T1(=aTPA+b)
T3(=aTPB+b)
Tcore
Tc + ΔTc = T3(T1-T2) - T1(T3-T4) / (T1-T2) - (T3-T4) ---(F)
Tc + ΔTc = (aTPA+b)[(aTPA+b) - TPA] - (aTPA+b)[(aTPB+b) - TPB] / [(aTPA+b) - TPA] - [(aTPB+b) - TPB]
= b/(1-a) • (TPA-TPB)/(TPA-TPB)
= b/(1-a) ---(1)

【図８】



【図９】



$$\begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix} \quad \text{---(9)}$$

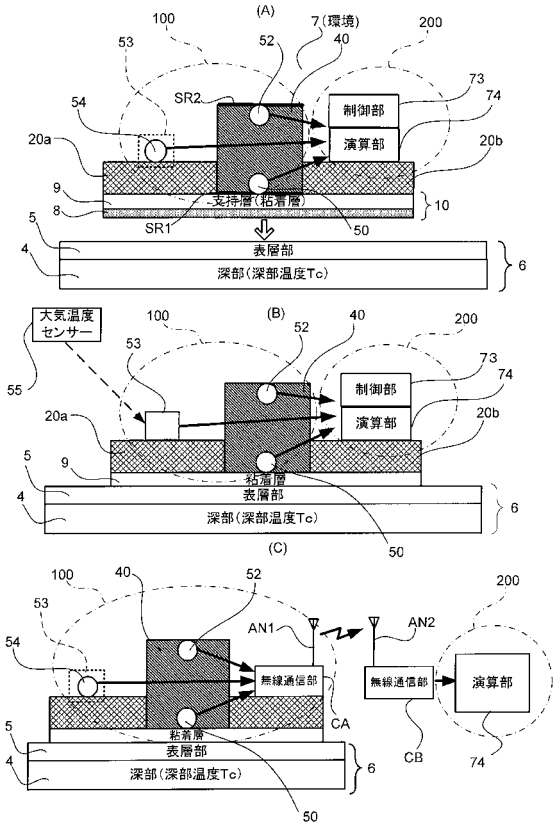
(C)

$$\begin{pmatrix} a \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tp1 & Tout1 & 1 \\ Tp2 & Tout2 & 1 \\ Tp3 & Tout3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Tb1 \\ Tb2 \\ Tb3 \end{pmatrix} \quad \text{---(10)}$$

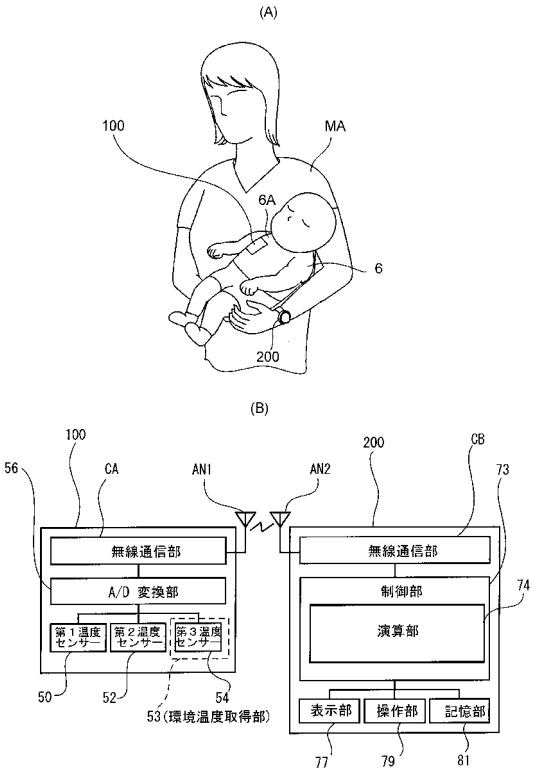
(D)

$$Tc = \frac{d}{1-a-c} \quad \text{---------(1)}$$

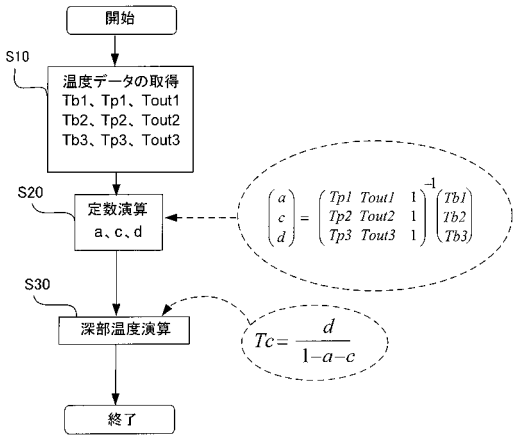
【図１０】



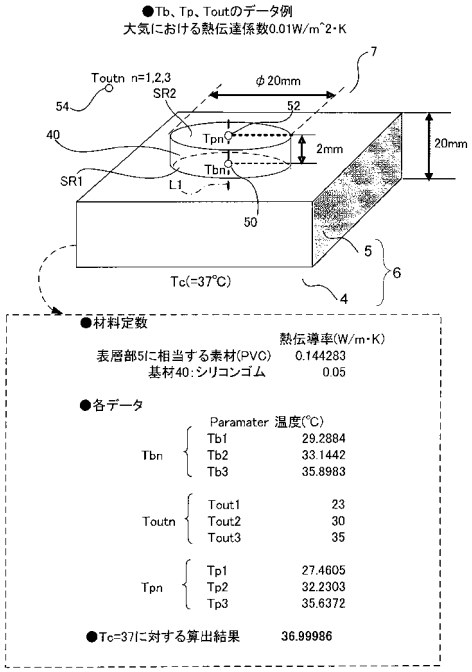
【図１１】



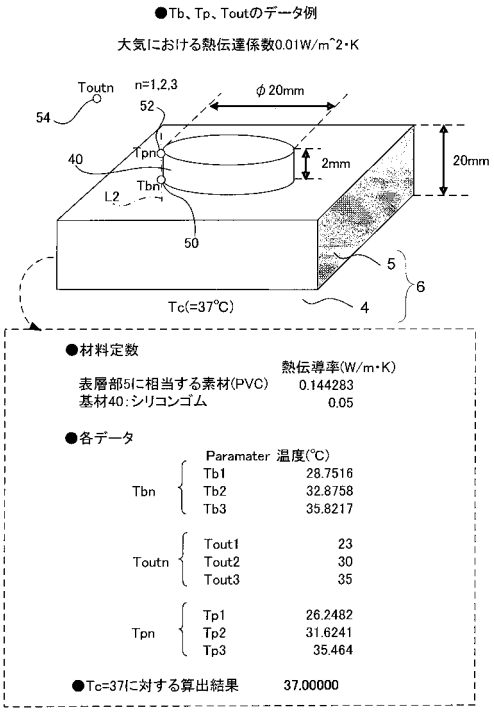
【図１２】



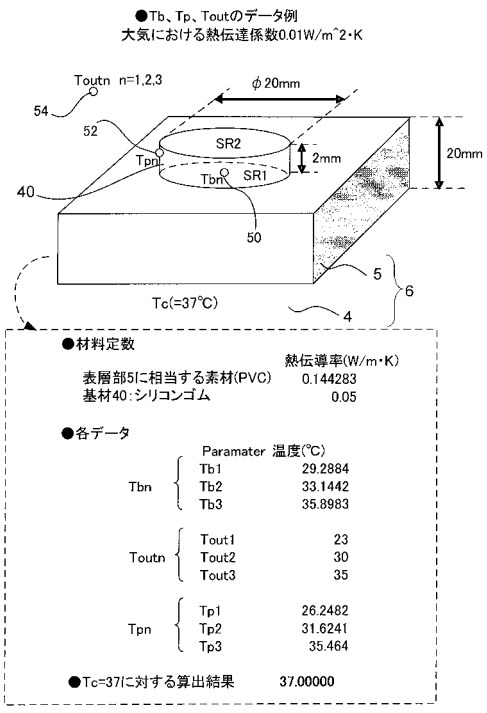
【図１３】



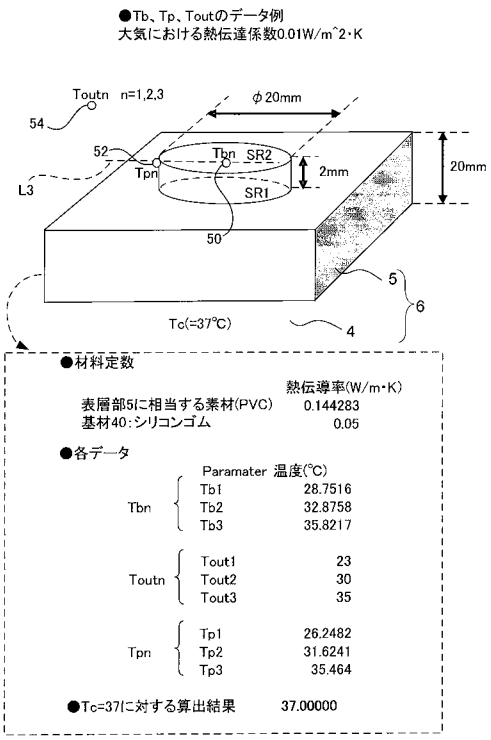
【図１４】



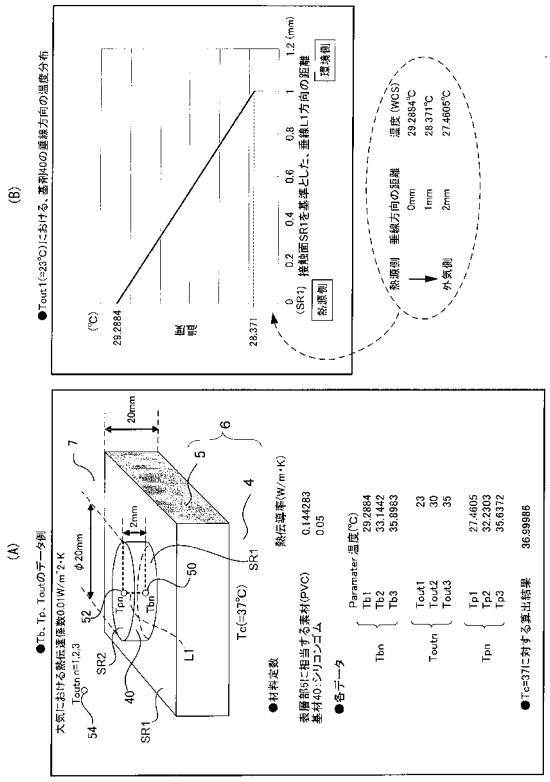
【図１５】



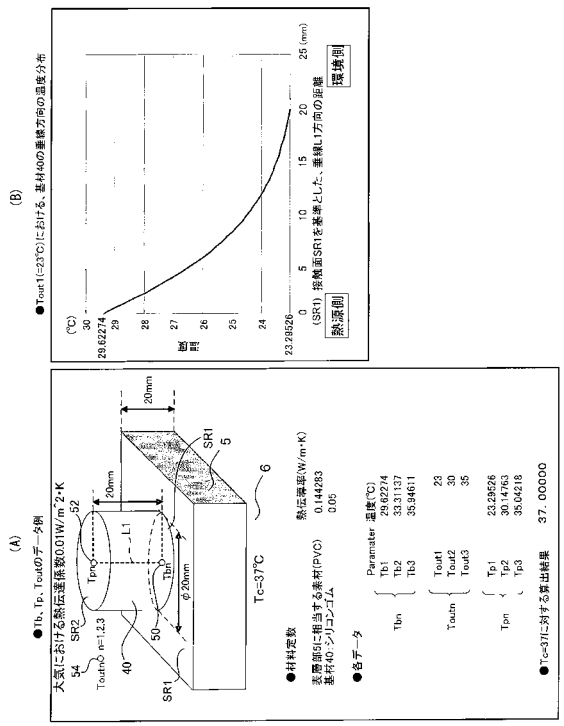
【図１６】



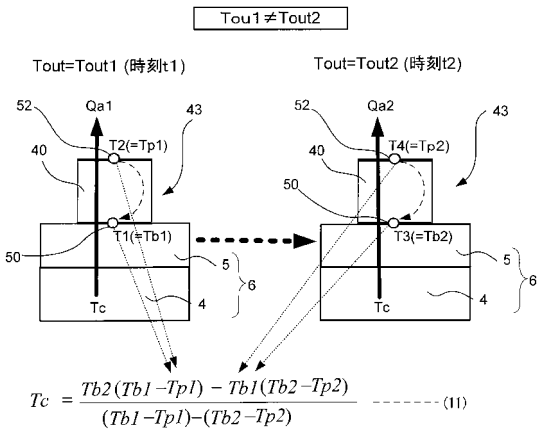
【図１７】



【図１８】

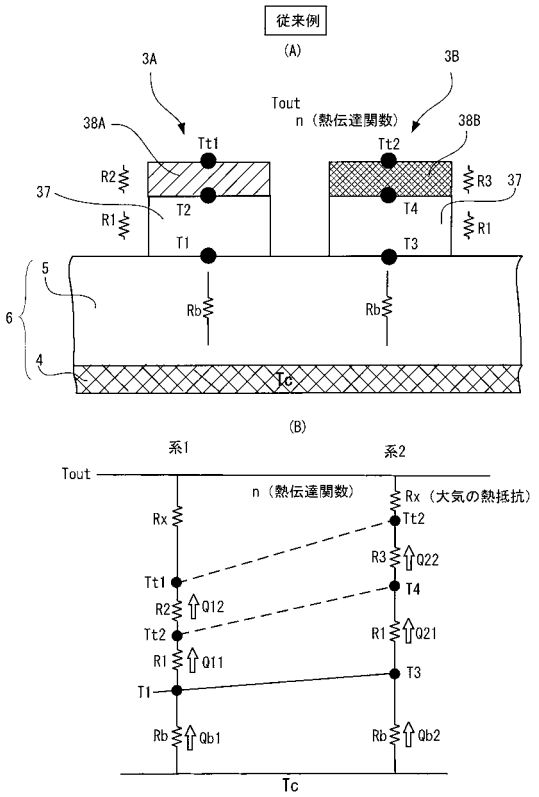


【図１９】

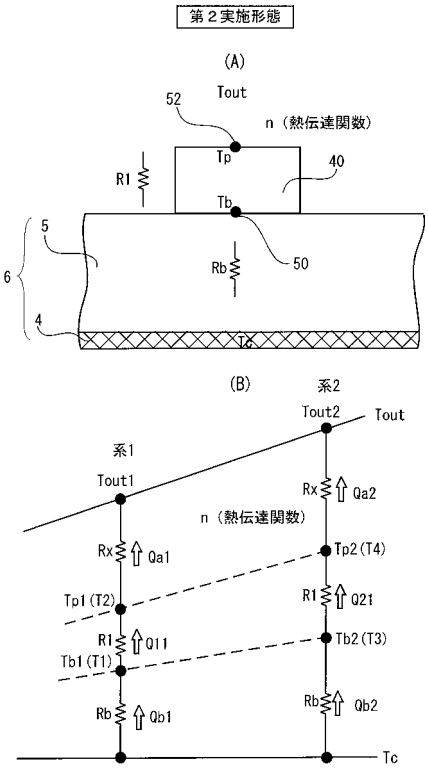


$$Tc = \frac{Tb2(Tb1-Tp1) - Tb1(Tb2-Tp2)}{(Tb1-Tp1)-(Tb2-Tp2)} \quad \text{-------(11)}$$

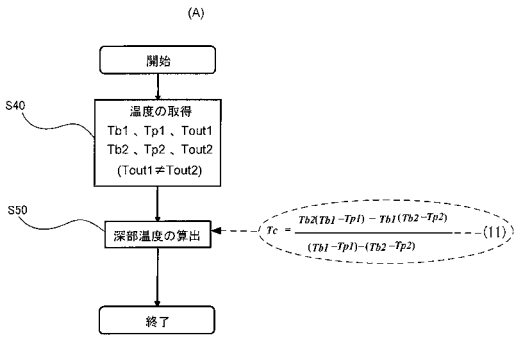
【図２０】



【図２１】



【図２２】

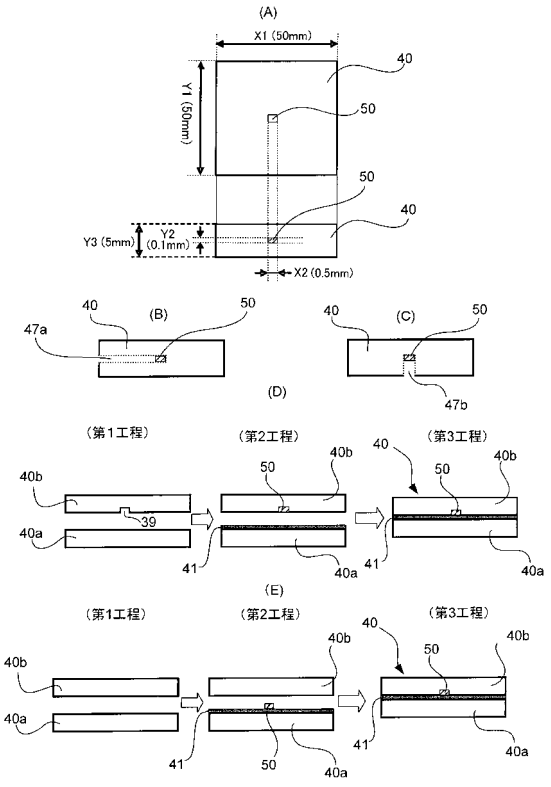


第2実施形態における深部温度の算出結果例

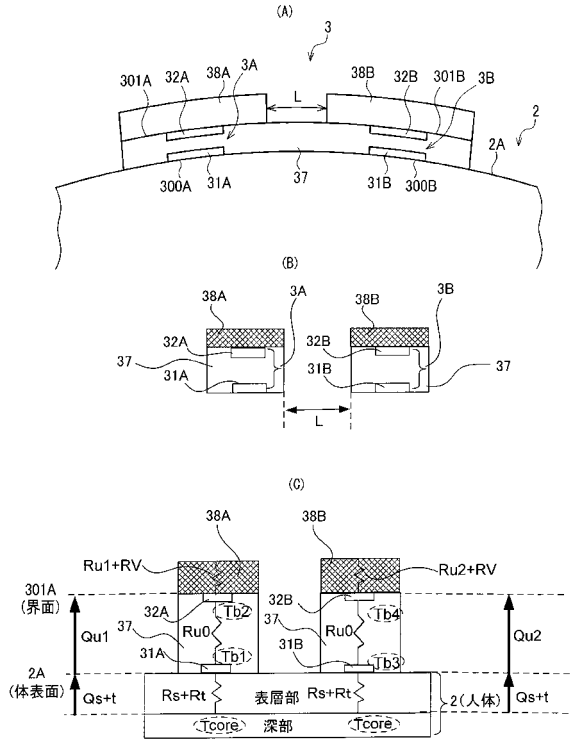
Tout1=23℃のとき		Tout2=30℃のとき	
Tb1	28.371	Tb2	32.6855
Tp1	26.2482	Tp2	31.6241

Tc＝37℃　算出値 37.00000　誤差 0

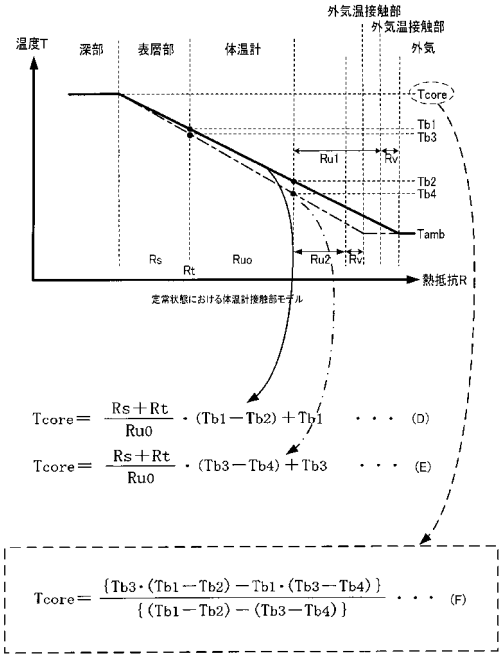
【図２３】



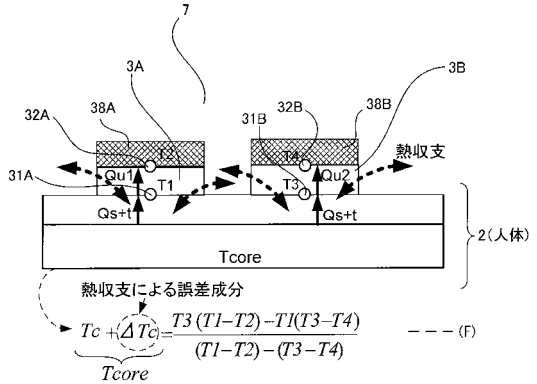
【図２４】


(A)
3
301A 32A 38A 3A
38B 32B 301B 3B
L
2
2A
300A 31A 37 31B 300B
(B)
38A 3A 38B 3B
32A 32B
37 31A 31B 37
L
(C)
38A 38B
Ru1+RV Ru2+RV
301A
(界面)
32A 32B
Tb2 Tb4
Qu1 37 Ru0 37 Ru0 Qu2
31A 31B
Tb1 Tb3
2A
(体表面)
Qs+t Rs+Rt 表層部 Rs+Rt Qs+t
2(人体)
Tcore 深部 Tcore

【図２５】


外気温接触部
外気温接触部
温度T
深部
表層部
体温計
外気
Tcore
Tb1
Tb3
Ru1
Rv
Tb2
Tb4
Tamb
Rs
Rt
Ruo
Ru2
Rv
熱抵抗R
定常状態における体温計接触部モデル
Tcore＝ (Rs＋Rt)/Ru0 ・(Tb1－Tb2)＋Tb1 ・・・ (D)
Tcore＝ (Rs＋Rt)/Ru0 ・(Tb3－Tb4)＋Tb3 ・・・ (E)
Tcore＝ {Tb3・(Tb1－Tb2)－Tb1・(Tb3－Tb4)} / {(Tb1－Tb2)－(Tb3－Tb4)} ・・・ (F)

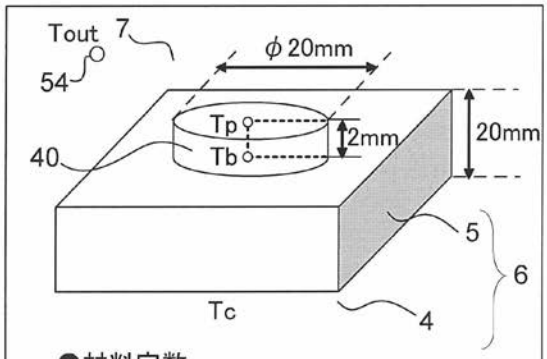
【図２６】


7
3A
3B
32A
38A
31B
32B
38B
熱収支
31A
Qu1
T1
T2
T3
T4
Qu2
Qs+t
Qs+t
2(人体)
Tcore
熱収支による誤差成分
Tc＋ΔTc＝ T3(T1−T2)−T1(T3−T4) / (T1−T2)−(T3−T4) ・・・(F)
Tcore

【図３】

(A)

基材40単体の場合



●材料定数

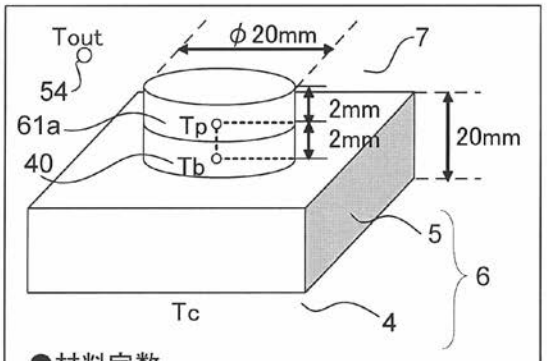
	熱伝導率(W/m・K)
表層部5に相当する素材(PVC)	0.144283
基材40:シリコンゴム	0.05

●各温度データ(℃)

Tout	Tb	Tp	ΔTbp
23	29.2884	27.4605	1.8279
30	33.1442	32.2303	0.9139
35	35.8983	35.6372	0.2611

(B)

熱流制御部として、
断熱材(基材と同じ材料)61aを使用した場合



●材料定数

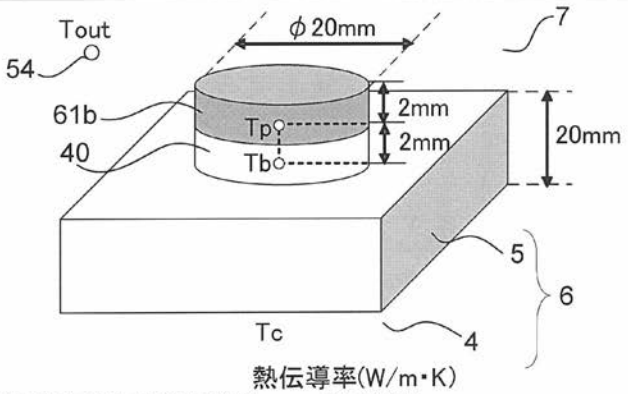
	熱伝導率(W/m・K)
表層部5に相当する素材(PVC)	0.144283
基材40,熱流制御部61a: シリコンゴム	0.05

●各温度データ(℃)

Tout	Tb	Tp	ΔTbp
23	29.4697	27.8947	1.575
30	33.2348	32.4473	0.7875
35	35.9242	35.6992	0.225

(C)

熱流制御部として、アルミ層61bを使用した場合



●材料定数

	熱伝導率(W/m・K)
表層部5に相当する素材(PVC)	0.144283
基材40,熱流制御部61b: シリコンゴム	0.05
金属(アルミ/AL2014)	192.163

●各データ

Tout(℃)	Tb(℃)	Tp(℃)	ΔTbp(℃)	(A)に対する温度差拡大率(%)	(B)に対する温度差拡大率(%)
23	28.7742	26.4583	2.3159	26.70	47.04
30	32.8871	31.7292	1.1579	26.70	47.03
35	35.8249	35.494	0.3309	26.73	47.07

フロントページの続き

(72)発明者　清水　興子
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

審査官　深田　高義

(56)参考文献　特開２００６－３０８５３８（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１９８５０３（ＪＰ，Ａ）
特表２００８－５３８９６５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－２３６８９７（ＪＰ，Ａ）
特開昭５０－１２７６７９（ＪＰ，Ａ）
特表２０１０－５１３９１１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｋ　　７／００