

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 5 月 21 日(21.05.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/072006 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 1/42 (2006.01) *H04N 5/33* (2006.01)
G01J 1/44 (2006.01) *H04N 5/361* (2011.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/080869
- (22) 国際出願日: 2013 年 11 月 15 日(15.11.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 松倉 祐輔 (MATSUKURA, Yusuke); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 真田 有, 外 (SANADA, Tamotsu et al.); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1 丁目 1 〇 番 3 1 号 N O F 吉祥寺本町ビル 5 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

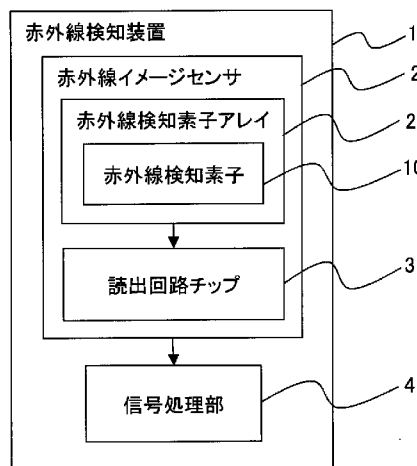
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: INFRARED RAY DETECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 赤外線検知装置



- 1 Infrared ray detection device
2 Infrared ray image sensor
3 Readout circuit chip
4 Signal processing unit
10 Infrared ray detection element
21 Infrared ray detection element array

(57) Abstract: An infrared ray detection device is provided with an infrared ray detection element (10) for outputting an electrical signal corresponding to incident infrared rays and a signal processing unit (4) for compensating for the variation in the electrical signal output by the infrared ray detection element that is caused by operating temperature variation using a value that indicates variation in a dark-current-equivalent component resulting from operating temperature variation when the operating temperature has changed to a second operating temperature after the operating temperature variation and includes a first dark-current-equivalent component determined using a first electrical signal and second electrical signal output from the infrared ray detection element at a first operating temperature when the infrared ray detection element is struck by infrared rays having intensities equivalent to those of a black body of a first known temperature and a second known temperature.

(57) 要約: 赤外線検知装置を、入射した赤外線に応じた電気信号を出力する赤外線検知素子(10)と、第1動作温度において第1既知温度及び第2既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子から出力される第1電気信号及び第2電気信号を用いて求められる第1暗電流相当成分を含む、動作温度変化後に第2動作温度になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化による赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を補償する信号処理部(4)とを備えるものとする。

明 細 書

発明の名称： 赤外線検知装置

技術分野

[0001] 本発明は、赤外線検知装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、入射した赤外線に応じた電気信号を出力する赤外線検知素子を備える赤外線検知装置がある。

このような赤外線検知装置としては、例えば、赤外線検知素子を2次元状に配列したFocal Plane Array (FPA) 型赤外線検知装置がある。

また、動作温度が変化し、暗電流相当成分が変化してしまう場合に、赤外線を遮断したダミー素子を用いて補償できるようにしたものもある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6-221914号公報

特許文献2：特開2002-43610号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、動作温度が変化してしまうと、主に赤外線検知素子の暗電流が変化してしまい、赤外線検知素子から出力される電気信号が変化してしまう。

また、上述のように、赤外線を遮断したダミー素子を用いて補償する場合、完全に赤外線を遮断するのは難しいため、精度良く補償を行なうのは困難である。

そこで、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子から出力される電気信号を精度良く補償できるようにしたい。

課題を解決するための手段

[0005] 本赤外線検知装置は、入射した赤外線に応じた電気信号を出力する赤外線

検知素子と、第 1 動作温度において第 1 既知温度及び第 2 既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子から出力される第 1 電気信号及び第 2 電気信号を用いて求められる第 1 暗電流相当成分を含む、動作温度変化後に第 2 動作温度になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化による赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を補償する信号処理部とを備えることを要件とする。

発明の効果

[0006] したがって、本赤外線検知装置によれば、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子から出力される電気信号を精度良く補償できるという利点がある。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本実施形態にかかる赤外線検知装置の構成を示す図である。

[図2]本発明の課題を説明するための図である。

[図3]暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ の一例を示す図である。

[図4]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例である F P A 型赤外線撮像装置の構成を示す図である。

[図5]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例である F P A 型赤外線撮像装置に備えられる赤外線イメージセンサの構成を示す図である。

[図6]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例である F P A 型赤外線撮像装置の赤外線イメージセンサに備えられる赤外線検知素子からの信号の読み出しを説明するための図である。

[図7]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例である F P A 型赤外線撮像装置における動作温度補償方法及び補正方法の第 1 の実施例を示すフローチャートである。

[図8]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例である F P A 型赤外線撮像装置における動作温度補償方法及び補正方法の第 1 の実施例の信号処理部に備えられるデータ保存部及び信号演算部の構成の一例を示す図である。

[図9]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例であるF P A型赤外線撮像装置における動作温度補償方法及び補正方法の第2の実施例を示すフローチャートである。

[図10]本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例であるF P A型赤外線撮像装置における動作温度補償方法及び補正方法の第2の実施例の信号処理部に備えられるデータ保存部及び信号演算部の構成の一例を示す図である。

[図11]図11(A)、図11(B)は、本実施形態にかかる赤外線検知装置の一例であるF P A型赤外線撮像装置における動作温度補償方法による効果を説明するための図である。

[図12]線形補間による補正を行なう場合の課題を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面により、本発明の実施の形態にかかる赤外線検知装置について、図1～図12を参照しながら説明する。

本実施形態では、図1に示すように、赤外線検知装置1は、入射した赤外線に応じた電気信号を出力する赤外線検知素子10と、赤外線検知素子10から出力される電気信号を処理する信号処理部4とを備える。なお、赤外線検知装置1を、赤外線検知器又は赤外線撮像装置ともいう。また、赤外線検知素子10を、赤外線受光素子ともいう。また、信号処理部4を、信号演算部又は制御演算部ともいう。

[0009] 特に、本赤外線検知装置1では、信号処理部4は、動作温度変化後に第2動作温度になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化による赤外線検知素子10から出力される電気信号（ここでは電圧；出力電圧）の変化を補償するようになっている。なお、暗電流相当成分は、暗電流に起因する成分である。

ここで、動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値は、第1動作温度において第1既知温度及び第2既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子10から出力される第1電気信号及び第2電気信号を用いて求められる第1暗電流相当成分を含む。

[0010] 以下、具体的に説明する。

まず、実際の赤外線検知素子 10 の入出力特性（入射光－出力信号特性）を正確に知ることができれば、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補償することができる。

例えば、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を補正する場合、例えば 2 つの赤外線源を用いて、既知強度の赤外線を赤外線検知素子 10 に入射し、そのときに赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を取得する。このため、これらに基づいて、実際の赤外線検知素子 10 の入出力特性が例えば図 2 中、実線 A で示すようになっていることがわかれば、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の暗電流相当成分を求めることができる。つまり、実際の赤外線検知素子 10 の入出力特性が図 2 中、実線 A で示すようになっていることがわかれば、温度 $T = 0$ （赤外線強度 0）まで外挿し、そのときに赤外線検知素子 10 から出力される電気信号 V を求めることで、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の暗電流相当成分を求めることができる。このようにして求めた赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の暗電流相当成分を用いて、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補償することが可能である。これに対し、赤外線検知素子 10 の入出力特性が図 2 中、点線 B で示すように線形であると仮定した場合には、これに基づいて、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の暗電流相当成分を正確に求めるのは難しい。このため、動作温度が変化してしまった場合、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を補償するのは困難である。

[0011] ここで、対象物体の温度 T に対して、その物体から放出される赤外線強度を $f(T)$ とし、そのときの赤外線検知素子 10 の赤外線強度相当の電気信号出力（光電流相当の電圧）を V_p とする。対象物体の温度が T から $T + dT$ に変化したとき、物体から放出される赤外線強度の変化は $f(T) dT$ であり、したがって、赤外線検知素子 10 の電気信号出力の変化 dV_p は、次式のよう

[0012] [数1]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T)V_p$$

[0013] この微分方程式の解は、Cを積分定数として、

[0014] [数2]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T)V_p \Leftrightarrow V_p = C \exp\left\{\int f(T)dT\right\}$$

[0015] となる。

したがって、f (T) の関数形を解析的に積分操作可能な形で決定することができれば、実際の赤外線検知素子 10 の入出力特性を正確に知ることができたことになり、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を補償できることになる。

[0016] 本発明者は、この関数f (T) を、後述の導出過程を経て、次式のように決定できることを見出した。なお、次式で表される関数 f (T) を、後述の近似関数 f (T) と区別するために、F (T) 又は $\langle \partial W / \partial T \rangle$ と表記する場合がある。

[0017] [数3]

$$f(T) = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_\lambda = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0018] また、この関数f (T) は、後述の近似式の導出過程を経て、実定数 x を用いて近似すると、次式のようになる。なお、次式で表される関数 f (T) を近似関数 f (T) という。

[0019] [数4]

$$f(T) = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2}$$

[0020] そして、関数f (T) をこのような形に近似した場合、V₀を積分定数として、

[0021] [数5]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T)V_p \Leftrightarrow V_p = V_0 \exp\left\{\int f(T)dT\right\}$$

[0022] という式から、

[0023] [数6]

$$V_p = V_0 \exp\left\{-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T}\right\}$$

[0024] となる。

そして、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号 V_{DC} は、これに暗電流相当成分（暗電流相当の出力成分） V_d を加えて、

[0025] [数7]

$$V_{DC} = V_p + V_d = V_0 \exp\left\{-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T}\right\} + V_d$$

[0026] となる。

この式は、普遍物理定数（ h 、 c 、 k_B ）及び別途決められる $x\lambda_p$ を除けば、未知係数は V_0 、 V_d の 2 つであるから、相異なる既知温度 T_1 、 T_2 （ $T_2 > T_1$ ）の黒体相当の強度の赤外線が入射したときに赤外線検知素子 10 から出力される電気信号 V_{DC} を、それぞれ、 V_1 、 V_2 とし、これらがわかれば、それぞれに対して上記の式を適用した連立方程式の解として、未知係数 V_0 、 V_d を一意に決定することができる。

[0027] 具体的には、未知係数 V_d は、以下のようにして決定することができる。

まず、上記の式に、既知温度 T_1 に対して出力される電気信号 V_1 を代入し、また、既知温度 T_2 に対して出力される電気信号 V_2 を代入すると、以下の 2 つの等式が得られる。

[0028]

[数8]

$$V_1 = V_0 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} + V_d$$

$$V_2 = V_0 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} + V_d$$

[0029] そして、これらの式のうち、上側の式に、

[0030] [数9]

$$\exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\}$$

[0031] を掛け、下側の式に、

[0032] [数10]

$$\exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\}$$

[0033] を掛けて、辺々引き算することで、以下のように、未知係数 V_d を決定することができる。

[0034] [数11]

$$\begin{aligned} V_1 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} &= V_0 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} + V_d \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} \\ V_2 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} &= V_0 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} + V_d \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} \\ \therefore V_1 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} - V_2 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} &= V_d \left[\exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} - \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\} \right] \\ \therefore V_d &= \frac{V_1 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} - V_2 \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\}}{\exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_2} \right\} - \exp \left\{ -\frac{hc}{x \lambda_p k_B T_1} \right\}} \end{aligned}$$

[0035] 同様にして、未知係数 V_0 も、以下のように、決定することができる。

[0036]

[数12]

$$V_0 = \frac{V_2 - V_1}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0037] ところで、 $x\lambda_p$ の値は、以下のようにして求めることができる。

まず、 λ_p は、赤外線検知素子の波長応答特性 $R_0(\lambda)$ におけるピーク波長である。つまり、赤外線検知素子の波長応答特性 $R_0(\lambda)$ は、適当な定数 s を用いて、

[0038] [数13]

$$R_0(\lambda) = \exp\left\{-\frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{s^2}\right\}$$

[0039] の形に近似することができ、このときのピーク波長である。

このため、例えば当該赤外線検知素子自体、又は、別途作製した同一仕様のパイロット素子などの実測結果から λ_p を求めれば良い。

次に、実定数 x は、以下のようにして決めれば良い。

まず、例えば、よく知られているように、 $\lambda = \lambda_p \pm 3s$ に対して、 $R_0(\lambda) = \exp(-9) \sim 1.234 \times 10^{-4}$ であり、その最大値1に対して十分小さいため、現実には、 $\lambda = \lambda_p \pm 3s$ の外側の積分範囲では $R_0(\lambda) = 0$ であると考えられる。

[0040] このため、以下の不等式が成り立つ。

[0041] [数14]

$$\frac{1}{\lambda_p - 3s} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda \leq \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda \leq \frac{1}{\lambda_p - 3s} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda$$

[0042] したがって、上記実定数 x は、

[0043] [数15]

$$\frac{1}{\lambda_p + 3s} \leq \frac{1}{x\lambda_p} \leq \frac{1}{\lambda_p - 3s} \Leftrightarrow 1 - \frac{3s}{\lambda_p} \leq x \leq 1 + \frac{3s}{\lambda_p}$$

[0044] を満たす範囲に見出されるはずである。

ここで、赤外線検知素子 10 の波長応答特性 $R_0(\lambda)$ の半値全幅 (Full Width at Half Maximum: FWHM) を考えると、 $R_0(\lambda) = 0.5$ において λ について解くことによって、

[0045] [数16]

$$FWHM = 2s \ln(2) \Leftrightarrow s = \frac{FWHM}{2 \ln(2)}$$

[0046] が得られるから、上記実定数 x の範囲は、

[0047] [数17]

$$1 - \frac{3FWHM}{2 \ln(2) \lambda_p} \leq x \leq 1 + \frac{3FWHM}{2 \ln(2) \lambda_p}$$

[0048] となる。

したがって、この条件を満たす範囲で実定数 x を決めれば良い。

なお、実定数 x の決め方は、これに限られるものではない。

例えば、当該赤外線検知素子自体、又は、別途作製した同一仕様のパイロット素子などの実測結果などから、その波長応答特性 $R_0(\lambda)$ を得て、数値計算 (数値積分) などの手法を用いて、赤外線の波長域を $\lambda_1 \sim \lambda_2$ とし、赤外線強度を W とし、温度を T とし、温度 T の黒体放射強度の波長分散特性を $W(\lambda, T)$ として、

[0049] [数18]

$$F(T) = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_\lambda = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0050] で表される関数 $F(T)$ によって実際に求めた値に、

[0051] [数19]

$$f(T) = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2}$$

[0052] で表される近似関数 $f(T)$ によって求めた値をフィッティングさせて実定数 x の値を決定することも可能である。

ところで、上述のようにして、未知係数 V_d を決定することができることができる。このため、信号処理部 4 は、第 1 動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の第 1 暗電流相当成分 V_{d1} を、第 1 動作温度において第 1 既知温度 T_1 及び第 2 既知温度 T_2 ($T_2 > T_1$) の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子 10 から出力される第 1 電気信号 V_1 及び第 2 電気信号 V_2 を用いて、

[0053] [数20]

$$V_{d1} = \frac{V_1 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0054] によって求める。

この場合、信号処理部 4 は、第 1 暗電流相当成分を、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に、定数ではなく、温度の関数（即ち、温度を変数とする関数）を含む関係式から求めていることになる。

ここで、関係式は、赤外線検知素子 10 から出力される赤外線強度相当の電気信号を V_p とし、温度変化を dT とした場合の赤外線検知素子 10 から出力される赤外線強度相当の電気信号の変化を dV_p とし、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分を温度 T の関数である $f(T)$ (T を変数とする関数) として、次式のように表される。なお、関数 $f(T)$ を、赤外線強度の温度に対する依存性を表す関数ともいう。

[0055] [数21]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T)V_p$$

[0056] ここでは、関係式の赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に含まれる温度 T の関数 $f(T)$ は、赤外線の波長域を $\lambda_1 \sim \lambda_2$ とし、赤外線強度を W とし、温度を T とし、赤外線検知素子 10 の波長応答特性を $R_0(\lambda)$ とし、温度 T の黒体放射強度の波長分散特性を $W(\lambda, T)$ として、次式のよ

うに表される。なお、波長応答特性を、波長分散、分光特性、又は、規格化分光応答特性ともいう。また、次式で表される関数 $f(T)$ を、後述の近似関数 $f(T)$ と区別するために $F(T)$ 又は $\langle \partial W / \partial T \rangle$ と表記する場合がある。

[0057] [数22]

$$f(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0058] これを近似すると、赤外線検知素子 10 の波長応答特性におけるピーク波長を λ_p とし、実係数を x とし、ボルツマン定数を k_B とし、プランク定数を h とし、真空中での光速を c とし、次式のように表される。なお、次式で表される関数 $f(T)$ を近似関数 $f(T)$ という。

[0059] [数23]

$$f(T) = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2}$$

[0060] この場合、実係数 x は、赤外線検知素子 10 の波長応答特性における半値全幅を FWHM とし、

[0061] [数24]

$$\frac{hc}{\lambda_p k_B T} > 1$$

[0062] を満たす温度（任意の温度） T に対して、

[0063] [数25]

$$1 - \frac{3FWHM}{2Ln(2)\lambda_p} \leq x \leq 1 + \frac{3FWHM}{2Ln(2)\lambda_p}$$

[0064] の範囲にあるのが好ましい。

ところで、第 1 動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の第 1 暗電流相当成分 V_{d1} と、動作温度変化後の第 2 動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の第 2 暗電流相当成分 V_{d2} との

関係、即ち、 $\Delta V_d = V_{d2} / V_{d1}$ は、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ を用いて、

[0065] [数26]

$$\frac{V_{d2}}{V_{d1}} = \frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})}$$

[0066] 又は、これを第1動作温度 T_{D1} の近傍で線形化して、

[0067] [数27]

$$\frac{V_{d2}}{V_{d1}} = \frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})} \approx \frac{h(T_{D1}) + h'(T_{D1})(T_{D2} - T_{D1})}{h(T_{D1})} = 1 + \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})}(T_{D2} - T_{D1})$$

[0068] というように表すことができる。ここで、 $h'(T)$ は関数 $h(T)$ の T に対する導関数である。

このため、信号処理部4は、第1動作温度 T_{D1} から第2動作温度 T_{D2} へ動作温度が変化した場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値（ここでは変化量） $V_{d2} - V_{d1}$ を、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ を用いて、

[0069] [数28]

$$V_{d2} - V_{d1} = V_{d1} \left(\frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})} - 1 \right)$$

[0070] 又は、第1動作温度 T_{D1} の近傍で線形化した、

[0071] [数29]

$$V_{d2} - V_{d1} = V_{d1} \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})} (T_{D2} - T_{D1})$$

[0072] によって求める。

ここで、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、暗電流の活性化エネルギーを E_a として、

[0073] [数30]

$$h(T_D) = \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

[0074] で表されるものであれば良い。

これは、熱放出起因の電流変化の理論式、

[0075] [数31]

$$h(T_D) \propto \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

[0076] に基づくものである。

また、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、暗電流の活性化エネルギーを E_a として、

[0077] [数32]

$$h(T_D) = T_D \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

[0078] で表されるものであっても良い。

これは、量子井戸型赤外線検知素子についての暗電流の理論式、

[0079] [数33]

$$h(T_D) \propto T_D \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

[0080] に基づくものである。

また、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、一の動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の一の暗電流相当成分、及び、他の動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の他の暗電流相当成分を用いて決定された関数であっても良い。

[0081] ここで、一の動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の一の暗電流相当成分は、一の動作温度において第 1 既知温度及び第 2 既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子 10 から出力される第 1 電気信号及び第 2 電気信号を用いて求めれば良い。また、他の動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の他の暗電流相当成分は、他の動作温度において第 1 既知温度及び第 2 既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子 10 から出力される第

1 電気信号及び第2電気信号を用いて求めれば良い。

[0082] 例えば、一の動作温度において赤外線検知素子10から出力される電気信号の一の暗電流相当成分、及び、他の動作温度において赤外線検知素子10から出力される電気信号の他の暗電流相当成分は、次式によって求めれば良い。ここで、第1既知温度を T_1 とし、第2既知温度を T_2 ($T_2 > T_1$) とし、第1電気信号を V_1 とし、第2電気信号を V_2 とする。

[0083] [数34]

$$V_d = \frac{V_1 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0084] 具体的には、動作温度を意図的に変化させて、それぞれの動作温度における実際の赤外線検知素子10から出力される電気信号の暗電流相当成分を求め、例えば図3に示すように、動作温度 T_D と暗電流相当成分 V_d とを対応づけることで、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ を決定すれば良い。

なお、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、全ての赤外線検知素子10に共通に用いても良いし、赤外線検知素子毎に、又は、適当な数の赤外線検知素子を含む赤外線検知素子群毎に、異なるものを用いても良い。

[0085] そして、信号処理部4は、上述のようにして求められた第1暗電流相当成分 V_{d1} を含む動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化（動作温度変動）による赤外線検知素子10から出力される電気信号の変化（変動）を補償するようになっている。

ここで、第1動作温度 T_{D1} 及び第2動作温度 T_{D2} において同一強度の赤外線が入射したときに赤外線検知素子10から出力される電気信号を V_{D1} 及び V_{D2} とする。また、同一強度の赤外線が入射したときに赤外線検知素子10から出力される電気信号の光電流相当成分（光電流に起因する成分；ここで

は同一強度の赤外線が入射したと仮定しているため、一定である)を V_p とする。また、 V_{d2}/V_{d1} を ΔV_d とする。なお、これらの動作温度、即ち、動作温度範囲において、赤外線検知素子10の感度は変化しない又は無視できると仮定する。そうすると、以下のように表すことができる。

[0086] [数35]

$$V_{D1} = V_p + V_{d1}, \quad V_{D2} = V_p + V_{d2}$$

$$\Rightarrow V_{D2} = V_{D1} + (V_{d2} - V_{d1}) = V_{D1} + V_{d1} \left(\frac{V_{d2}}{V_{d1}} - 1 \right) = V_{D1} + V_{d1} (\Delta V_d - 1)$$

[0087] ここでは、信号処理部4は、上述のようにして求められた第1暗電流相当成分 V_{d1} を含む動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値[例えば変化量 $V_{d2} - V_{d1}$ 、又は、 $V_{d1} (V_{d2}/V_{d1} - 1)$ 、又は、 $V_{d1} (\Delta V_d - 1)$]を、第2動作温度 T_{D2} における赤外線検知素子10からの出力電気信号 V_{D2} から減算して、第1動作温度 T_{D1} における赤外線検知素子10からの出力電気信号 V_{D1} に換算することで、動作温度変化による赤外線検知素子10から出力される電気信号の変化を補償するようになっている。

[0088] このようにして、実際の赤外線検知素子10の入出力特性に応じて、動作温度変化による赤外線検知素子10から出力される電気信号の変化を補償することが可能となり、動作温度が変化してしまった場合であっても、未知温度(未知強度)の赤外線の温度(強度)に相当する電気信号を精度良く得ることが可能となる。また、暗電流相当成分を求めるのに用いる、第1動作温度において第1既知温度及び第2既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子10から出力される第1電気信号及び第2電気信号は、例えば線形補間等の補正を行なう際に取得されるものであるため、これを利用することが可能である。この場合、補正実施時の動作温度における暗電流相当成分を求めることで第1動作温度 T_{D1} における第1暗電流相当成分 V_{d1} を求め、さらに、理論的見積もり又は実測から、この第1暗電流相当成分 V_{d1} を含む動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値[例えば変化量 $V_{d2} - V_{d1}$ 、又は、 $V_{d1} (V_{d2}/V_{d1} - 1)$ 、又は、 $V_{d1} (\Delta V_d -$

1)] を求める。そして、これを、動作温度変化後の第2動作温度 T_{D2} に赤外線検知素子 10 から出力される電気信号 V_{D2} から減算して、第1動作温度 T_{D1} における赤外線検知素子 10 からの出力電気信号 V_{D1} に換算する。このようにして、第1動作温度 T_{D1} における赤外線検知素子 10 からの出力電気信号 V_{D1} を見積もる、即ち、動作温度変化による赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の変化を補償することができる。さらに、例えば赤外線を遮断したダミー素子を用いることもない。このため、装置の複雑化を招くこともない。

[0089] 次に、上述の関数 $f(T)$ の導出について説明する。

赤外線検知器の感度 R を「単位入射光強度（パワー）に対して出力として得られる電流値 I の比」と定義する。ここで、波長 λ と $\lambda + d\lambda$ の間での入射光強度 $W(\lambda) d\lambda$ の入射光に対する出力電流 dI は、感度の波長分散（分光特性）を $R(\lambda)$ として、感度の定義から、

[0090] [数36]

$$dI = R(\lambda)W(\lambda)d\lambda$$

[0091] と書ける。したがって、 W の全分光特性に対する出力電流 I は、この式を、光学系の透過波長域よりも十分広い波長域 $[\lambda_1, \lambda_2]$ で積分して、

[0092] [数37]

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda)W(\lambda)d\lambda$$

[0093] となる。ここで、 $R(\lambda)$ が、素子駆動バイアス電圧 (V_{lg}) によって変動するピーク値 $R_p(V_{lg})$ と、 V_{lg} によっては変動しない（と仮定した場合の）規格化分光応答特性 $R_0(\lambda)$ によって、

[0094] [数38]

$$R(\lambda) = R_p(V_{lg})R_0(\lambda)$$

[0095] の形に書ける。

また、 $W(\lambda)$ を、温度 T の黒体放射強度の波長分散特性 $W(\lambda, T)$ 、

即ち、

[0096] [数39]

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1 \right)}$$

[0097] (k_B : ボルツマン定数、 h : プランク定数、 c : 真空中での光速) とすると、光路中での減衰・散乱や、開口径によって決まる比例定数を A (波長に依存しないと仮定) として、上記出力電流 I は、

[0098] [数40]

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) W(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_p(V_{lg}) R_0(\lambda) \cdot A \cdot W(\lambda, T) d\lambda = A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda$$

[0099] となる。

したがって、暗電流、即ち、すべての入射光強度に対して流れる一定値の電流を $I_d(V_{lg})$ とすると、温度 T_1 の黒体からの放射によって赤外線検知素子に流れる全電流 $I_{DC}(V_{lg})$ は、

[0100] [数41]

$$I_{DC}(V_{lg}) = A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T_1) d\lambda + I_d(V_{lg})$$

[0101] と表されることになる。

一方、温度 T_1 の黒体からの放射によって赤外線検知素子に流れる全電流と、温度 $T_2 = T_1 + \Delta T$ の黒体からの放射によって赤外線検知素子に流れる全電流との差分を $\Delta I_p(V_{lg})$ とすると、

[0102] [数42]

$$\begin{aligned} \Delta I_p(V_{lg}) &= A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T_2) d\lambda + I_d(V_{lg}) - A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda - I_d(V_{lg}) \\ &= A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T_2) d\lambda - A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda = A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \{W(\lambda, T_2) - W(\lambda, T)\} d\lambda \end{aligned}$$

[0103] となる。

ここで、 ΔT が十分微小であるとする、括弧 $\{\cdot\}$ の中は、

[0104] [数43]

$$W(\lambda, T_2) - W(\lambda, T) \approx \left\{ W(\lambda, T) + \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T \right\} - W(\lambda, T) = \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T$$

[0105] と近似できるから、

[0106] [数44]

$$\Delta I_p(V_{lg}) = A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \{W(\lambda, T_2) - W(\lambda, T)\} d\lambda \approx A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T d\lambda$$

[0107] と表すことができる。

ここで、 $\Delta I_p(V_{lg})$ と $I_{DC}(V_{lg})$ の比、

[0108] [数45]

$$\frac{\Delta I_p(V_{lg})}{I_{DC}(V_{lg})} = \frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \{W(\lambda, T_2) - W(\lambda, T)\} \Delta T d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})}$$

[0109] を考える。ここまでの結果から、この比は、

[0110] [数46]

$$\frac{\Delta I_p(V_{lg})}{I_{DC}(V_{lg})} = \frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \{W(\lambda, T_2) - W(\lambda, T)\} d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})} \approx \frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})}$$

[0111] となる。ここで、

[0112] [数47]

$$\frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} \Delta T d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda} \cdot \frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})}$$

[0113] である。

また、上式のうち、

[0114] [数48]

$$\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0115] は、定義ないしは仮定から、バイアス条件に依存しない温度 T の関数であり、これを、

[0116] [数49]

$$\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda} = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda}$$

[0117] と置くと、

[0118] [数50]

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_p(V_{lg})}{I_{DC}(V_{lg})} &\approx \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} \cdot \frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) \Delta T d\lambda}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})} \\ &= \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} \left[\frac{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg}) - I_d(V_{lg})}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})} \right] \Delta T = \end{aligned}$$

$$\left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} \left[1 - \frac{I_d(V_{lg})}{A R_p(V_{lg}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda + I_d(V_{lg})} \right] \Delta T = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} \left[1 - \frac{I_d(V_{lg})}{I_{DC}(V_{lg})} \right] \Delta T$$

[0119] となる。

したがって、

[0120] [数51]

$$\Delta I_p(V_{lg}) \approx \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} \left[1 - \frac{I_d(V_{lg})}{I_{DC}(V_{lg})} \right] \Delta T I_{DC}(V_{lg}) = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} [I_{DC}(V_{lg}) - I_d(V_{lg})] \Delta T$$

[0121] という関係が得られる。

ところで、赤外線検知装置 1（例えば F P A）の読出回路（Read Out Integrated Circuit: R O I C）が、一般的な、いわゆるダイレクト・インジェクション型であるとする。この場合、赤外線検知素子 10 に流れる電流（素子電流）I によって R O I C に備えられる容量素子 11 の両端の電位差 V が変化する（図 8 参照）。容量素子 11 の容量値 C、蓄積電荷 Q 及びその端子間電圧 V の間には $Q = C V$ という良く知られた関係式があり、

[0122] [数52]

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

[0123] となる。

ここで、出力信号 S を、蓄積時間 Δt での単位温度差あたりの出力電位差、と定義すると、

[0124] [数53]

$$\Delta I_p(V_{lg}) \approx \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} [I_{DC}(V_{lg}) - I_d(V_{lg})] \Delta T = C \frac{S \Delta T}{\Delta t} = C \Delta T \frac{S}{\Delta t} \rightarrow S = \frac{\Delta I_p(V_{lg}) \Delta t}{\Delta T C}$$

[0125] となるから、先ほどの結果を用いて、

[0126] [数54]

$$\begin{aligned} S &= \frac{\Delta I_p(V_{lg}) \Delta t}{\Delta T C} = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} [I_{DC}(V_{lg}) - I_d(V_{lg})] \frac{\Delta t}{C} \\ &= \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} [V_{DC}(V_{lg}) - V_d(V_{lg})] = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} V_{DC}(V_{lg}) \left[1 - \frac{V_d(V_{lg})}{V_{DC}(V_{lg})} \right] \end{aligned}$$

[0127] という関係が得られる。

ところで、出力信号 S は、その定義「蓄積時間 Δt での単位温度差あたり

の出力電位差」から、

[0128] [数55]

$$S = \frac{dV_{DC}(T, V_{lg})}{dT}$$

[0129] であるから、結局、 $V_{DC}(T, V_{lg})$ に関する微分方程式、

[0130] [数56]

$$\frac{dV_{DC}(T, V_{lg})}{dT} = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} V_{DC}(T, V_{lg}) \left[1 - \frac{V_d(V_{lg})}{V_{DC}(T, V_{lg})} \right]$$

[0131] が得られる。

ここで考えている赤外線検知素子 10 の動作状態では、そのバイアス電圧 V_{lg} は一定であるから、 V_{lg} の表記を省略し、 $V_{DC} = V_p + V_d$ であるから、この式は、結局、

[0132] [数57]

$$\frac{dV_p(T)}{dT} = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} V_p(T)$$

[0133] の形となる。

したがって、

[0134] [数58]

$$f(T) = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0135] となる。

このようにして、形を決定すべき関数 $f(T)$ を導出することができる。

次に、上述の関数 $f(T)$ の近似式の導出について説明する。

対象物体を黒体と仮定した場合、温度 T の黒体放射強度の波長分散特性 $W(\lambda, T)$ (いわゆるプランクの輻射式) は、

[0136]

[数59]

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1 \right)}$$

[0137] であり、

[0138] [数60]

$$\frac{hc}{\lambda k_B T} \gg 1$$

[0139] の場合、

[0140] [数61]

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)$$

[0141] と近似できる。

なお、この近似条件は、一般的に赤外線検知装置 1 で用いられる波長である $\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$ あるいは $\lambda = 8 \sim 12 \mu\text{m}$ では、それぞれ、およそ 600°C あるいは 100°C 前後以下である（誤差 2% を仮定）。一般的に赤外線検知装置 1 の応用分野としては、室温前後の物体、特に医療分野やセキュリティ分野では生物を対象としていることが多い。生物はその構成物質の大部分が水であるから、赤外線検知装置 1 の応用分野での対象物体の温度はおおむね 0°C （水の凝固点）以上 100°C （水の沸点）以下であると考えられる。したがって、上記近似条件は、一般的な赤外線検知装置 1 における条件として十分であると考えられる。

[0142] このような近似が成立する範囲においては、

[0143] [数62]

$$\frac{\partial W}{\partial T} = \frac{d}{dT} \left\{ \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) \right\} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{hc}{\lambda k_B T^2} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) = \frac{hc}{\lambda k_B T^2} W(\lambda, T)$$

[0144] であるから、

[0145]

[数63]

$$\left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda} = \frac{hc}{k_B T^2} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0146] となる。

ここで、定積分、即ち、

[0147] [数64]

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda$$

[0148] を、適当な実定数 $\times$ を用いて、

[0149] [数65]

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda = \frac{1}{x \lambda_p} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda$$

[0150] と近似する。

この場合、

[0151] [数66]

$$\left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_{\lambda} = \frac{hc}{k_B T^2} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda} = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda} = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2}$$

[0152] となる。

このようにして、上述の関数 $f(T)$ の近似式を導出することができる。

つまり、「撮像対象の物体の温度が、室温近傍」、及び、「 $1/\lambda$ という因子が、実効的に $1/x\lambda_p$ という定数因子として、積分の外に出せる」という2つの近似を用いて、解析的な形の具体的な関数形として、このような近似式を導出することができる。

[0153] ところで、ここでは、上述のように、

[0154]

[数67]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T)V_p \Leftrightarrow V_p = V_0 \exp\left\{\int f(T)dT\right\}$$

[0155] という式の中の関数 $f(T)$ として、実定数 x を用いて近似したもの、即ち、

[0156] [数68]

$$f(T) = \frac{hc}{x \lambda_p k_B T^2}$$

[0157] を用いているが、これに限られるものではない。

例えば、次式の中の $R_0(\lambda)$ として、実測結果として得られる $R_0(\lambda)$

(具体的にはこれを表現する関数) を代入し、解析的に積分を実行して、具体的な $f(T)$ の解析的な関数形を決定し、これを上記式の中の関数 $f(T)$ として用いるようにしても良い。

[0158] [数69]

$$f(T) = \left\langle \frac{\partial W}{\partial T} \right\rangle_\lambda = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0159] つまり、 $R_0(\lambda)$ にガウシアンを想定し、上述のように近似して、具体的な $f(T)$ の解析的な関数形を決定するのに代えて、 $R_0(\lambda)$ にガウシアン以外、例えばローレンシアン、即ち、

[0160] [数70]

$$R_0(\lambda) = \frac{1}{1 + w(\lambda - \lambda_p)^2}$$

[0161] などを仮定して近似なしで、

[0162] [数71]

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda, \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda$$

[0163] の積分を実行して、具体的な $f(T)$ の関数形を決定できれば、これを上記式の中の関数 $f(T)$ として用いることもできる。

ただし、

[0164] [数72]

$$\int f(T) dT$$

[0165] の積分が解析的に実行できることが望ましい。

このように、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に、定数ではなく、温度の関数を含む関係式は、

[0166] [数73]

$$f(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0167] で表されるものを用いることができる。

つまり、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に、定数ではなく、温度の関数を含む関係式が、

[0168] [数74]

$$\frac{dV_p}{dT} = f(T) V_p$$

[0169] で表される場合、この式の中の関数 f (T) は、

[0170] [数75]

$$f(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0171] で表されるものであっても良い。

以下、複数の赤外線検知素子 10 を備える赤外線検知装置 1 である、複数の赤外線検知素子 10 を 2 次元状に配列した F P A 型赤外線撮像装置 1 における各赤外線検知素子 10 (画素) からの出力電気信号 (画素信号) の動作温度変化に起因する変化を補償するのに本発明を適用した場合を例に挙げて

説明する。

[0172] ここで、赤外線撮像装置 1 は、物体の熱輻射によって放出される赤外線に対して、その赤外線撮像装置 1 に備えられる赤外線検知素子 10 に投影される赤外線の強度分布を電気信号分布に変換して、赤外線画像を得る。例えば、FPA 型赤外線撮像装置 1 では、画素に相当する赤外線検知素子 10 を平面上に 2 次元状に配置し、その面に投影される赤外線の強度分布を電気信号分布に変換して、赤外線画像を得る。

[0173] このような赤外線撮像装置 1 は、可視光領域での撮像装置などとは異なり、暗闇の中においてもその対象物体を撮像可能であるため、いわゆるセキュリティ分野などといった応用分野で利用されている。また、対象物体から放出される赤外線の強度は、その対象物体の温度の関数であるため、撮像物体中での赤外線放射強度分布から、その物体中での温度分布を反映した画像が得られる。これを利用して、医療分野などでの応用も期待されている。

[0174] しかしながら、同一の入出力特性を有する複数の赤外線検知素子を作製するのは難しい。つまり、同一強度の赤外線が入射した場合に同一の電気信号が出力される、複数の赤外線検知素子を作製するのは難しい。例えば、FPA 型赤外線検知装置に備えられる複数の赤外線検知素子の入出力特性を同一にするのは難しい。このため、赤外線検知素子が異なると、同一強度の赤外線が入射しているにもかかわらず、異なる電気信号が出力されてしまうことになる。例えば、FPA 型赤外線検知装置では、強度が面内で均一な赤外線が入射しているにもかかわらず、複数の赤外線検知素子から出力される電気信号には分布が生じてしまうことになる。このように、各赤外線検知素子の間でその特性を均一に作製することは困難であり、したがって、そのままで、たとえ投影される赤外線強度の面内分布が均一であっても、その出力信号には分布が生じてしまう。

[0175] このため、赤外線検知素子から出力される電気信号を、赤外線検知装置に備えられる信号処理部で補正することで、赤外線検知素子が異なっても、同一強度の赤外線が入射した場合に同一の電気信号が得られるようにしている

。例えば、FPA型赤外線検知装置1では、各赤外線検知素子から出力される電気信号を信号処理部で補正することで、強度が面内で均一な赤外線が入射した場合に、各赤外線検知素子から出力される電気信号が均一になるようにしている。

[0176] この場合、いくつかの既知強度の赤外線を、面内に均一に入射させ、その出力を測定して、その結果から既知強度以外での入射光強度に対する画素出力を補間により補正する。このような補正を行なう場合、既知強度の赤外線源を、補正点の数だけ装置内などに備える必要があるため、装置の複雑化を招くから、通常は原理的に最も補正点が少ない、2点での補間が行なわれる。この場合、通常は2点間での赤外線検知素子10（画素素子）の線形性を仮定して、線形補間法が用いられる。つまり、例えば、2つの赤外線源を用いて、既知強度の赤外線を赤外線検知素子に入射し、そのときに赤外線検知素子から出力される電気信号を取得し、これらの2点間で赤外線検知素子の入出力特性は線形であると仮定して、線形補間によって、対象物体からの赤外線が赤外線検知素子に入射したときに赤外線検知素子から出力される電気信号を補正する。

[0177] しかしながら、例えばなんらかの擾乱によって、動作温度が変化してしまうと、主に赤外線検知素子の暗電流が変化してしまい、赤外線検知素子から出力される電気信号が変化してしまう。

例えば、上述のような補正を行なう場合であっても、動作温度変化後に赤外線検知素子から出力された電気信号に対して、動作温度変化前に赤外線検知素子から出力された電気信号に基づいて求められた赤外線検知素子の入出力特性（補正情報）を用いて補正が行なわれてしまうことになる。このため、精度良く補正を行なうのが難しい。また、上述のような補正を行なっているにもかかわらず、同一強度の赤外線が入射した場合に同一の電気信号が得られず、各赤外線検知素子の特性のバラつきが反映される形で各赤外線検知素子から出力される電気信号のバラつきが再出現してしまう。この結果、得られる画像の画質が損なわれることになる。また、動作温度変化による出力

電気信号の変化（主に暗電流相当成分の変化）は、各赤外線検知素子から出力される電気信号の平均値を変化させることになる。このため、例えば、各赤外線検知素子から出力される電気信号の大小を、画像の白黒のコントラストに対応させているような場合、撮像画像の全体的な色調を変化させてしまうことになる。例えば、画像全体が白く又は黒く変化してしまうことになる。

[0178] また、赤外線を遮断したダミー素子を用いて補償する場合、完全に赤外線を遮断するのは難しいため、精度良く補償を行なうのは困難である。例えば、赤外線検知装置では、撮像対象とする赤外線が、その温度に対応した形で周囲の物体のすべてから放射されており、少なくとも実際に装置として組み込まれた状態において赤外線を完全に遮光することは困難である。また、例えば、複数の赤外線検知素子のそれぞれの暗電流相当成分を見積もるのは難しく、複数の赤外線検知素子の特性バラつきに応じて精度良く補償を行なうのは困難である。また、例えば、複数の赤外線検知素子のそれぞれにダミー素子を組み込むことも考えられるが、素子構造の複雑化を招いてしまう。

[0179] そこで、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補償できるようにすべく、上述の手法を適用して、FPA型赤外線撮像装置 1 における各赤外線検知素子 10 からの出力電気信号の動作温度変化に起因する変化を補償するようにしている。この場合、各赤外線検知素子 10 からの出力電気信号の暗電流相当成分を直接かつ個別に求めることができ、動作温度変化に起因する出力電気信号の変化を補償することが可能となる。

[0180] ここで、図 1 に示すように、赤外線検知装置 1 としての FPA 型赤外線撮像装置は、赤外線イメージセンサ 2 と、赤外線イメージセンサ 2 に備えられる各赤外線検知素子 10（画素）から出力される電気信号を処理する信号処理部 4 とを備える。

このうち、赤外線イメージセンサ 2 は、図 5 に示すように、複数の赤外線検知素子 10 を 2 次元状に配列した 2 次元アレイ（赤外線検知素子アレイ）

21と、赤外線が入射して各赤外線検知素子10（画素）に流れた電流量に応じた出力電圧を順次読み出す読出回路を備える読出回路チップ3とを備える。なお、読出回路をROIC（readout integrated circuit）ともいう。そして、2次元アレイ21と読出回路チップ3とは、導電性の金属バンプ（導電バンプ；ここではInバンプ）5を介して接続（ハイブリッド接続）され、一体化されている。ここでは、赤外線検知素子は、例えば量子井戸型赤外線検知素子又は量子ドット型赤外線検知素子などであって、動作温度変化によって、抵抗値が変化し、暗電流が変化するものである。

[0181] ここで、読出回路チップ3は、図4に示すように、行選択スイッチ部22と、信号取り出し&シフトレジスタ部23とを備える。なお、信号取り出し&シフトレジスタ部23に含まれる信号取り出し部は、赤外線検知素子10毎に設けられている。そして、行選択スイッチ部22及び信号取り出し&シフトレジスタ部23を用いて、各赤外線検知素子10から出力される電気信号を個別に取り出すことができるようになっている。つまり、行選択スイッチ部22により、指定した行位置にある画素を選択し、さらに信号取り出し&シフトレジスタ部23により、指定した列位置にある画素を選択して、指定した行位置及び列位置にある画素10から、当該画素10の撮影データを出力電圧として読み出すことができるようになっている。

[0182] また、2次元アレイ21は、2次元アレイ21又は赤外線検知素子10の動作温度を検出するための温度センサ70を備える。この温度センサ70は、2次元アレイ21又は赤外線検知素子10の近傍に設けられており、2次元アレイ21又は赤外線検知素子10の動作温度を検出（測定）するようになっている。このため、温度センサ70によって、2次元アレイ21の全体の動作温度、即ち、複数の赤外線検知素子10の平均的な動作温度が検出されるようになっている。そして、温度センサ70からの出力信号は、信号処理部4へ送られるようになっている。なお、温度センサ70をアレイ温度センサともいう。

[0183] なお、温度センサ70は、赤外線検知素子毎に、又は、適当な数の赤外線

検知素子群毎に設け、赤外線検知素子毎に、又は、適当な数の赤外線検知素子群毎に動作温度を検出するようにしても良い。また、温度センサ 70 は、温度を検出することができるものであれば良く、例えば、赤外線検知素子 10 に抵抗体を設け、その電流電圧特性から温度を推定するようなものであっても良い。このため、温度センサ 70 を温度検出手段ともいう。

[0184] また、信号処理部 4 は、データ保存部 24 と、信号演算部 25 と、信号出力部 26 と、スイッチ 27 とを含む。

このように、FPA 型赤外線撮像装置 1 は、2 次元アレイ 21、行選択スイッチ部 22、信号取り出し&シフトレジスタ部 23、データ保存部 24、信号演算部 25、信号出力部 26、及び、スイッチ 27 を含む。

[0185] なお、図 4 において、各ボックスで示される各機能ブロックと他の機能ブロックとの境界は、基本的には機能的な境界を示すものであり、物理的な位置の分離、電気的な信号の分離、制御論理的な分離等に対応するとは限らない。各機能ブロックは、他のブロックと物理的にある程度分離された 1 つのハードウェアモジュールであってもよいし、或いは他のブロックと物理的に一体となったハードウェアモジュール中の 1 つの機能を示したものであってもよい。

[0186] ところで、ここでは、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 に含まれる信号取り出し部は、それぞれ、図 6 に示すように、容量素子 11（キャパシタ）と、スイッチ 12 として動作するトランジスタとを備え、赤外線検知素子 10 に接続されている。赤外線検知素子 10 は、入射赤外線の量に応じて電気抵抗値が変化する特性を有し、入射赤外線に応じた出力電気量を生成する（例えば電流を流す）。赤外線検知素子 10 の抵抗値に応じた量の電流が、容量素子 11 からスイッチ 12 及び赤外線検知素子 10 を介してグランド GND 側に流れ、容量素子 11 の電荷が減少する。この電荷の減少により変化する容量素子 11 の両端電位差に応じた電圧が、撮像データとして信号取り出し部に取り出される。そして、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 に含まれるシフトレジスタ部は、選択された行での一定バイアス電圧下での列出

力信号を時系列のシリアル信号として取り出す。このときのシリアル信号では、各赤外線検知素子 10 の入出力特性のばらつきによって、たとえ同じ強度の入射光量であっても、出力電圧強度がばらついている。

[0187] 信号取り出し&シフトレジスタ部 23 により取り出された各赤外線検知素子 10 の出力電圧は、図 4 に示すように、スイッチ 27 を介して、データ保存部 24 又は信号演算部 25 に供給される。

装置の立ち上げ時（又は補正実施時）には、データ保存部 24 には、既知温度の黒体からの面内で均一な放射赤外線を 2 次元アレイ 21 に入射した状態で、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 からの出力電圧を供給する。これにより、データ保存部 24 に、補正用及び動作温度補償用のデータを保存する。

[0188] 対象物体の撮像時には、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 からのばらついたシリアル信号を、信号演算部 25 に供給する。信号演算部 25 は、データ保存部 24 に保存された動作温度補償用のデータに基づいて、動作温度変化に起因する出力電気信号の変化を補償する演算を、各赤外線検知素子 10 毎に実行する。この動作温度補償演算により、動作温度変化に起因する出力電圧強度の変化を補償した動作温度補償後出力電圧が得られる。また、信号演算部 25 は、データ保存部 24 に保存された補正用のデータに基づいて、所定のバイアス条件における各赤外線検知素子 10 の入出力特性のばらつきによって生じる出力電圧強度のばらつきを補正する演算を、各赤外線検知素子 10 毎に実行する。この補正演算により、各赤外線検知素子 10 の入出力特性のばらつきによって生じる出力電圧強度のばらつきを補正した補正後出力電圧が得られる。この際、信号演算部 25 は、赤外線検知素子 10 の出力電気量に基づいて入射赤外線に応じた温度を求める。補正後出力電圧は各赤外線検知素子 10 毎に撮像対象の温度を示す電圧であり、信号演算部 25 から信号出力部 26 に供給される。

[0189] 以下に、図 4 に示す赤外線撮像装置 1 における各赤外線検知素子 10 からの出力電気信号の動作温度補償方法及び補正方法について説明する。

図 7 は、赤外線撮像装置 1 における各赤外線検知素子 10 からの出力電気信号の動作温度補償方法及び補正方法の第 1 の実施例を示すフローチャートである。図 4 及び図 7 を参照して、図 7 に示される動作温度補償方法及び補正方法について説明する。なお、フローチャートにおいて、各ステップの実行順はフローチャートに示される順番に限定されるものではなく、動作に支障が生じない限りにおいてステップの実行順を前後させてもよい。なお、2 次元アレイ 21 は、例えば $n \times n$ 画素からなる 2 次元アレイとする。

[0190] まずステップ S1 で、2 次元アレイ 21 を所望のバイアス電圧を印加した動作状態に設定する。つまり、2 次元アレイ 21 の各画素を構成する赤外線検知素子 10 に一定バイアス電圧 V_1 を印加した状態にする。

ステップ S2 で、スイッチ 27 をデータ保存部 24 側に接続する。

ステップ S3 で、温度 T_1 の黒体相当の物体（赤外線源）から放射された赤外線（温度 T_1 の黒体相当の強度の赤外線）を面内で均一に 2 次元アレイ 21 に入射（照射）する。

[0191] ステップ S4 で、上記赤外線を入射した状態で、行選択スイッチ部 22 及び信号取り出し&シフトレジスタ部 23 を稼働させて、2 次元アレイ 21 の各画素 10 から画素出力電圧値 $V_1(i, j)$ を取得する。出力電圧値 $V_1(i, j)$ は、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 からデータ保存部 24 に供給され、データ保存部 24 に保存される。

図 8 は、データ保存部 24 及び信号演算部 25 の構成の一例を示す図である。

[0192] データ保存部 24 は、A/D 変換部 31、記憶制御部 32、読出制御部 33、 $V_1(i, j)$ 記憶部 34、 $V_2(i, j)$ 記憶部 35、及び温度記憶部 36 を含む。また、信号演算部 25 は、演算部 41、及び A/D 変換部 42 を含む。

A/D 変換部 31 は、信号取り出し&シフトレジスタ部 23 から供給されたアナログの出力電圧をデジタル電圧値に変換する。

[0193] データ保存部 24 には、現在供給されている出力電圧の画素位置 (i, j)

）を示すデータと、現在入射している赤外線源の温度 T_1 又は T_2 を示すデータとが供給される。

記憶制御部 32 は、AD 変換部 31 による AD 変換後のデジタル電圧値を、 $V_1(i, j)$ 記憶部 34 に格納する。この際、記憶制御部 32 は、画素位置 (i, j) に応じたメモリ位置にデジタル電圧値を格納する。また更に、記憶制御部 32 は、現在の赤外線源の温度 T_1 を温度記憶部 36 に格納する。

[0194] 図 7 に戻り、ステップ S5 で、温度 T_2 の黒体相当の物体（赤外線源）から放射された赤外線（温度 T_2 の黒体相当の強度の赤外線）を面内で均一に 2 次元アレイ 21 に入射（照射）する。

ステップ S6 で、上記赤外線を入射した状態で、行選択スイッチ部 22 及び信号取り出し & シフトレジスタ部 23 を稼働させて、2 次元アレイ 21 の各画素 10 から画素出力電圧値 $V_2(i, j)$ を取得する。出力電圧値 $V_2(i, j)$ は、信号取り出し & シフトレジスタ部 23 からデータ保存部 24 に供給され、データ保存部 24 に保存される。

[0195] 図 8 に示すデータ保存部 24 では、出力電圧値 $V_2(i, j)$ を AD 変換部 31 により AD 変換して得られるデジタル電圧値が、記憶制御部 32 により、 $V_2(i, j)$ 記憶部 35 に格納される。この際、記憶制御部 32 は、画素位置 (i, j) に応じたメモリ位置にデジタル電圧値を格納する。また更に、記憶制御部 32 は、現在の赤外線源の温度 T_2 を温度記憶部 36 に格納する。

[0196] また、記憶制御部 32 は、温度センサ 70 から 2 次元アレイ 21 のこの時点の動作温度（第 1 動作温度） T_{D1} を取得し、これを温度記憶部 36 に格納する。

以上により、動作温度補償及び補正に用いられるデータの取得が完了する。

なお、このほか、データ保存部 24 には、別途取得した x 、 λ_p 又は $x \lambda_p$ の値が保存されている。

[0197] また、上述のデータ取得処理は、装置の立ち上げ時又は補正実施時に行な

うようにすれば良い。特に、補正を実施する場合には、補正実施時に上述のデータ取得処理を行なうことになるため、これと別に上述のデータ取得処理を行なう必要はなく、補正実施時に行なった上述のデータ取得処理によって取得したデータを、動作温度補償のために用いれば良い。但し、補正実施時に行なわれる上述のデータ取得処理とは別に上述のデータ取得処理を行なうようにしても良い。

[0198] 次に、赤外線撮像装置 1 の通常の使用状態において、動作温度補償及び補正を実施して赤外線画像を得る動作が実行される。

図 7 のステップ S 7 で、スイッチ 2 7 を信号演算部 2 5 側に接続する。

これにより、各画素を構成する赤外線検知素子 1 0 に一定バイアス電圧 V_1 を印加した状態で、行選択スイッチ部 2 2 及び信号取り出し & シフトレジスタ部 2 3 を稼働させて、2 次元アレイ 2 1 の各画素 (i , j) からの画素出力 $V(i, j)$ を信号演算部 2 5 に順次読みだす。ここでは、この時点の動作温度 (第 2 動作温度; 動作温度変化後の動作温度) を T_{D2} とし、この動作温度 T_{D2} における各画素 (i , j) からの画素出力を $V_{D2}(i, j)$ とする。

[0199] 各画素 (i , j) からの画素出力電圧 $V_{D2}(i, j)$ が信号演算部 2 5 に入力されると、画素位置 (i , j) を示すデータに応じて、画素 (i , j) に対応したデータ $V_1(i, j)$ 、 $V_2(i, j)$ 及び T_1 、 T_2 、 T_{D1} 、 α 、 λ_p 又は $\alpha \lambda_p$ などの値がデータ保存部 2 4 から読み出され (図 7 のステップ S 8)、また、温度センサ 7 0 からこの時点の動作温度 (第 2 動作温度) T_{D2} が取得される。

[0200] 信号演算部 2 5 の A/D 変換部 4 2 は、各画素 (i , j) からの画素出力電圧 $V_{D2}(i, j)$ をアナログ電圧からデジタル電圧値に変換する。信号演算部 2 5 の演算部 4 1 は、変換後のデジタル電圧値に対して動作温度補償処理を実施して、動作温度 T_{D1} における各画素 (i , j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に換算する。なお、動作温度 T_{D2} が動作温度 T_{D1} と同じ場合、即ち、動作温度が変化していない場合は、動作温度補償処理を実施しなくても良

い。

[0201] ここでは、信号演算部25の演算部41は、画素(i, j)に対応したデータ $V_1(i, j)$ 、 $V_2(i, j)$ 及び T_1 、 T_2 、 x 、 λ_p 又は $x\lambda_p$ などの値を用いて、次式によって、第1動作温度 T_{D1} における各画素(i, j)の第1暗電流相当成分(第1暗電流相当出力電圧成分) $V_{d1}(i, j)$ を求める。

[0202] [数76]

$$V_{d1}(i, j) = \frac{V_1(i, j) \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2(i, j) \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0203] また、信号演算部25の演算部41は、 $V_{d1}(i, j)$ 、 T_{D1} 、 T_{D2} 、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ を用いて、第2動作温度 T_{D2} における各画素(i, j)の第2暗電流相当成分(第2暗電流相当出力電圧成分)を $V_{d2}(i, j)$ として、動作温度変化後に第2動作温度になった場合の動作温度変化による各画素(i, j)の暗電流相当成分の変化を示す値である変化量 $V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j)$ を、

[0204] [数77]

$$V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j) = V_{d1}(i, j) \left(\frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})} - 1 \right)$$

[0205] 又は、第1動作温度 T_{D1} の近傍で線形化した、

[0206] [数78]

$$V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j) = V_{d1}(i, j) \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})} (T_{D2} - T_{D1})$$

[0207] によって求める。なお、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ としては、上述したものを用いれば良い。

そして、信号演算部25の演算部41は、次式によって、このようにして求められた動作温度変化による各画素(i, j)の暗電流相当成分の変化量

、即ち、第2動作温度 T_{D2} における各画素 (i, j) の第2暗電流相当成分 $V_{d2}(i, j)$ と第1動作温度 T_{D1} における各画素 (i, j) の第1暗電流相当成分 $V_{d1}(i, j)$ との差分 $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ を、第2動作温度 T_{D2} における各画素 (i, j) からの画素出力電圧 $V_{D2}(i, j)$ から減算して、第1動作温度 T_{D1} における各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に換算する(図7のステップS9)。これにより、動作温度変化前の補正情報、即ち、第1動作温度 T_{D1} において取得した、第1既知温度 T_1 及び第2既知温度 T_2 の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子10から出力される第1電気信号 $V_1(i, j)$ 及び第2電気信号 $V_2(i, j)$ を用いて補正を行なうのに適した画素出力電圧を得ることができる。なお、動作温度範囲において赤外線検知素子10の感度は変化しない又は無視できると仮定した場合、動作温度変化による暗電流相当成分の変化量は、動作温度変化による画素出力電圧の変化量に等しい。

$$V_{D1}(i, j) = V_{D2}(i, j) - (V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$$

このようにして、第1暗電流相当成分 $V_{d1}(i, j)$ を含む、動作温度変化後に第2動作温度 T_{D2} になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化量 $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ によって、動作温度変化による赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を補償することができる。

[0208] その後、信号演算部25の演算部41は、動作温度補償後(換算後)の各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に対して補正処理を実施して、動作温度補償後の各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に対応する撮像対象の当該部分の温度 $T(i, j)$ を求め、信号出力部26へ出力する(図7のステップS9)。ここで、動作温度補償後(換算後)の各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に対して補正処理を実施しているのは、補正処理において、第1動作温度 T_{D1} において取得した、第1既知温度 T_1 及び第2既知温度 T_2 の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子10から出力される第1電気信号 $V_1(i, j)$ 及び第2電気信号 $V_2(i, j)$ を用いるからである。

[0209] ステップS 8の動作とステップS 9の動作とが、全画素に対して繰り返し替えられる（図7のステップS 10）。

信号出力部26は、赤外線撮像装置1の構成に応じて、上記 $T(i, j)$ に応じた強度の信号を例えばテレビ画像出力のコントラスト信号として生成し、ディスプレイ装置に出力する（図7のステップS 11）。

[0210] なお、ここでは、第1動作温度 T_{D1} における各画素 (i, j) の第1暗電流相当成分（第1暗電流相当出力電圧成分） $V_{d1}(i, j)$ をステップS 9で逐次算出しているが、これに限られるものではなく、例えば、予めステップS 6の段階で計算してデータ保存部24に格納しておいても良い。

また、ここでは、動作温度補償処理（動作温度補償操作）を実施した後に補正処理（補正操作）を実施するようにしているが、これに限られるものではない。例えば、補正処理において、動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値（例えば変化量）を加味して補正を行なうようにしても良い。つまり、補正処理において、各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V(i, j)$ に対応する撮像対象の当該部分の温度 $T(i, j)$ を算出するのに必要な係数を、動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値（例えば変化量）に応じて変更し、変更した係数を用いて補正処理を行なうようにしても良い。このような場合も、第1動作温度において第1既知温度及び第2既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子から出力される第1電気信号及び第2電気信号を用いて求められる第1暗電流相当成分を含む、動作温度変化後に第2動作温度になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化による赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を補償していることになる。

[0211] また、ここでは、各画素に対して動作温度補償処理及び補正処理を順番に行なっていくようにしているが、これに限られるものではなく、例えば、各画素に対して動作温度補償処理を順番に行ない、全画素に対して動作温度補償処理が終わった後、各画素に対して補正処理を順番に行なうことで、全画素に対して補正処理を行なうようにしても良い。

ところで、上記の実施形態では、信号演算部 25 にて、各 $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ を算出するために動作温度補償演算を逐次実行している。

[0212] これに対し、例えば信号処理部 4 の演算速度などを考慮して、 $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ を逐次算出するのではなく、各動作温度 T_{D2} に対応する $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ を予め計算しておき、計算したデータを、各 T_{D2} と $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ との対応を示すテーブルとしてデータ保存部 24 に保存しておいてもよい。

[0213] このような実施形態を以下に説明する。

図 9 は、赤外線撮像装置 1 における各赤外線検知素子 10 からの出力電気信号の動作温度補償方法の第 2 の実施例を示すフローチャートである。図 9 及び図 10 を参照して、図 9 に示される動作温度補償方法について説明する。なお、フローチャートにおいて、各ステップの実行順はフローチャートに示される順番に限定されるものではなく、動作に支障が生じない限りにおいてステップの実行順を前後させてもよい。

[0214] まずステップ S 21 で、2 次元アレイ 21 を所望のバイアス電圧を印加した動作状態に設定する。つまり、2 次元アレイ 21 の各画素を構成する赤外線検知素子 10 に一定バイアス電圧 V_{1g} を印加した状態にする。

ステップ S 22 で、スイッチ 27 をデータ保存部 24 側に接続する。

ステップ S 23 で、温度 T_1 の黒体相当の物体（赤外線源）から放射された赤外線（温度 T_1 の黒体相当の強度の赤外線）を面内で均一に 2 次元アレイ 21 に入射（照射）する。

[0215] ステップ S 24 で、上記赤外線を入射した状態で、行選択スイッチ部 22 及び信号取り出し & シフトレジスタ部 23 を稼働させて、2 次元アレイ 21 の各画素 10 から画素出力電圧値 $V_1(i, j)$ を取得する。出力電圧値 $V_1(i, j)$ は、信号取り出し & シフトレジスタ部 23 からデータ保存部 24 に供給され、データ保存部 24 に保存される。

図 10 は、データ保存部 24 及び信号演算部 25 の構成の一例を示す図で

ある。

[0216] データ保存部24は、AD変換部31、記憶制御部32、テーブル演算部51、電圧・温度記憶部52、テーブル記憶部53、及び読出制御・比較部54を含む。また、信号演算部25は、演算部61、及びAD変換部42を含む。

AD変換部31は、信号取り出し&シフトレジスタ部23から供給されたアナログの出力電圧をデジタル電圧値に変換する。

[0217] データ保存部24には、現在供給されている出力電圧の画素位置(i, j)を示すデータと、現在入射している赤外線源の温度 T_1 又は T_2 を示すデータと、温度センサ70から2次元アレイ21のこの時点の動作温度(第1動作温度) T_{D1} とが供給される。

記憶制御部32は、AD変換部31によるAD変換後のデジタル電圧値を、電圧・温度記憶部52に格納する。この際、記憶制御部32は、画素位置(i, j)に応じたメモリ位置にデジタル電圧値を格納する。また更に、記憶制御部32は、現在の赤外線源の温度 T_1 を電圧・温度記憶部52に格納する。

[0218] 図9に戻り、ステップS25で、温度 T_2 の黒体相当の物体(赤外線源)から放射された赤外線(温度 T_2 の黒体相当の強度の赤外線)を面内で均一に2次元アレイ21に入射(照射)する。

ステップS26で、上記赤外線を入射した状態で、行選択スイッチ部22及び信号取り出し&シフトレジスタ部23を稼働させて、2次元アレイ21の各画素10から画素出力電圧値 $V_2(i, j)$ を取得する。出力電圧値 $V_2(i, j)$ は、信号取り出し&シフトレジスタ部23からデータ保存部24に供給され、データ保存部24に保存される。

[0219] 図10に示すデータ保存部24では、出力電圧値 $V_2(i, j)$ をAD変換部31によりAD変換して得られるデジタル電圧値が、記憶制御部32により、電圧・温度記憶部52に格納される。この際、記憶制御部32は、画素位置(i, j)に応じたメモリ位置にデジタル電圧値を格納する。また更に

、記憶制御部 32 は、現在の赤外線源の温度 T_2 を電圧・温度記憶部 52 に格納する。

[0220] なお、上述のデータ取得処理は、装置の立ち上げ時又は補正実施時に行なうようにすれば良い。特に、補正を実施する場合には、補正実施時に上述のデータ取得処理を行なうことになるため、これと別に上述のデータ取得処理を行なう必要はなく、補正実施時に行なった上述のデータ取得処理によって取得したデータを、動作温度補償のために用いれば良い。但し、補正実施時に行なわれる上述のデータ取得処理とは別に上述のデータ取得処理を行なうようにしても良い。

[0221] ステップ S26 では、更に、電圧・温度記憶部 52 に格納されている画素 (i, j) に対応したデータ $V_1(i, j)$ 、 $V_2(i, j)$ 、 T_1 、 T_2 、別途取得した x 、 λ_p 又は $x\lambda_p$ などの値を用いて、次式によって、第 1 動作温度 T_{D1} における各画素 (i, j) の第 1 暗電流相当成分 $V_{d1}(i, j)$ を求める。

[0222] [数79]

$$V_{d1}(i, j) = \frac{V_1(i, j) \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2(i, j) \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0223] また、第 1 暗電流相当成分 $V_{d1}(i, j)$ 、第 1 動作温度 T_{D1} 、複数の第 2 動作温度 T_{D2} 、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ を用いて、各第 2 動作温度 T_{D2} における各画素 (i, j) の第 2 暗電流相当成分（第 2 暗電流相当出力電圧成分）を $V_{d2}(i, j)$ として、動作温度変化後に第 2 動作温度になった場合の動作温度変化による各画素 (i, j) の暗電流相当成分の変化を示す値である変化量 $V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j)$ を、

[0224] [数80]

$$V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j) = V_{d1}(i, j) \left(\frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})} - 1 \right)$$

[0225] 又は、第 1 動作温度 T_{D1} の近傍で線形化した、

[0226] [数81]

$$V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j) = V_{d1}(i, j) \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})} (T_{D2} - T_{D1})$$

[0227] によって求める。

そして、各第 2 動作温度 T_{D2} と $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ との対応を示すテーブルを作成し、テーブル記憶部 53 に格納する。

ここでは、適当な区間 $[T_{D2}(k), T_{D2}(k) + \delta T]$ に対して、

[0228] [数82]

$$(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))(k) = V_{d1}(i, j) \left(\frac{h(T_{D2}(k))}{h(T_{D1})} - 1 \right)$$

[0229] 又は、第 1 動作温度 T_{D1} の近傍で線形化した、

[0230] [数83]

$$(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))(k) = V_{d1}(i, j) \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})} (T_{D2}(k) - T_{D1})$$

[0231] によって、画素 (i, j) 毎に各区間に対して $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))(k)$ を求める。そして、このようにして求めた $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))(k)$ と $T_{D2}(k)$ とを対応づけて、テーブルとして、テーブル記憶部 53 に格納する。

図 9 のステップ S 27 で、スイッチ 27 を信号演算部 25 側に接続する。

[0232] これにより、各画素を構成する赤外線検知素子 10 に一定バイアス電圧 V_1 を印加した状態で、行選択スイッチ部 22 及び信号取り出し & シフトレジスタ部 23 を稼働させて、2 次元アレイ 21 の各画素 (i, j) からの画素出力 $V(i, j)$ を信号演算部 25 に順次読みだす。ここでは、この時点の動作温度（第 2 動作温度；動作温度変化後の動作温度）を T_{D2} とし、この動作温度 T_{D2} における各画素 (i, j) からの画素出力を $V_{D2}(i, j)$ とする。

[0233] ステップ S 28 で、テーブル記憶部 53 に格納されているテーブルからデ

ータを読み出す。

具体的には、信号演算部 25 の A/D 変換部 42 が、各画素 (i, j) からの画素出力電圧 $V_{D2}(i, j)$ をアナログ電圧からデジタル電圧値に変換し、演算部 61 に供給する。読出制御・比較部 54 は、温度センサ 70 からこの時点の動作温度 (第 2 動作温度) T_{D2} を取得し、画素位置 (i, j) を示すデータと第 2 動作温度 T_{D2} とに基づいて、テーブル記憶部 53 に格納されているテーブルを読み出し、このテーブルから、画素位置 (i, j) と第 2 動作温度 T_{D2} とに対応する $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ を読み出して、演算部 61 に供給する。

[0234] ここでは、テーブル記憶部 53 に格納されているテーブルから、

$$T_{D2}(k) \leq T_{D2} < T_{D2}(k) + \delta T$$

を満たす k に対応する $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))(k)$ を読み出して、演算部 61 に供給する。

ステップ S29 で、この $(V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$ 、即ち、動作温度変化による各画素 (i, j) の暗電流相当成分の変化量を、第 2 動作温度 T_{D2} における各画素 (i, j) からの画素出力電圧 $V_{D2}(i, j)$ から減算して、第 1 動作温度 T_{D1} における各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に換算する。

$$V_{D1}(i, j) = V_{D2}(i, j) - (V_{d2}(i, j) - V_{d1}(i, j))$$

そして、この動作温度補償後 (換算後) の各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に対して補正処理を実施して、動作温度補償後の各画素 (i, j) の画素出力電圧 $V_{D1}(i, j)$ に対応する撮像対象の当該部分の温度 $T(i, j)$ を求め、信号出力部 26 へ出力する。

[0235] ステップ S28 の動作とステップ S29 の動作とが、全画素に対して繰り返し替えされる (ステップ S30)。

信号出力部 26 は、赤外線撮像装置 1 の構成に応じて、上記 $T(i, j)$ に応じた強度の信号を例えばテレビ画像出力のコントラスト信号として生成し、ディスプレイ装置に出力する (ステップ S31)。

[0236] したがって、本実施形態にかかる赤外線検知装置によれば、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補償できるという利点がある。

なお、例えば線形補間などの補正のためのデータの取得を、周期的又は温度変化時に再度行なうようにすることで対応することも可能である。この場合、周期的又は温度変化時に、再度、例えば 2 つの赤外線源を用いて、既知強度の赤外線を赤外線検知素子に入射し、そのときに赤外線検知素子から出力される電気信号を取得し、線形補間などによる補正を行なうことになる。このため、このような補正を行なっている時間は、赤外線を検知することができず、むだ時間となってしまう。これに対し、上述の実施形態のように動作温度補償を行なう場合、例えば線形補間などの補正は 1 度行なえば良い。このため、むだ時間の発生を抑えることができる。また、一般に動作温度はフィードバック制御されているが、このフィードバック制御の精度があまり好ましい場合であっても、上述の実施形態の動作温度補償を行なうことで、これを補うことが可能である。

[0237] ここで、図 11 (A)、図 11 (B) は、上述の本実施形態の動作温度補償を行なった場合（動作温度補償及び線形補間による補正を行なった場合）の効果を示す図である。なお、図 11 (A)、図 11 (B) では、上述の本実施形態の動作温度補償を行なった場合を実線 A で示しており、比較のために上述の本実施形態の動作温度補償を行なわなかった場合（線形補間による補正のみを行なった場合）を破線 B で示している。また、図 11 (A) は、動作温度と温度誤差（温度 30℃ の均一赤外線源に対する画素出力（熱源温度換算）の誤差の平均値）との関係を示している。また、図 11 (B) は、動作温度と図 11 (A) の場合の出力バラツキの標準偏差との関係を示している。なお、第 1 動作温度 T_{D1} は 70 K である。

[0238] 図 11 (A)、図 11 (B) から分かるように、上述の本実施形態の動作温度補償を行なった場合、上述の本実施形態の動作温度補償を行なわなかった場合と比較して、動作温度変動に伴う出力変動が抑制されているとともに

、赤外線検知素子 10 の特性のバラつきに起因する動作温度変動による出力変動のバラツキが抑制されていることがわかる。このように、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補償できることがわかる。

[0239] なお、本発明は、上述した実施形態に記載した構成に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形することが可能である。

例えば、上述の実施形態では、複数の赤外線検知素子 10 を備える赤外線検知装置 1 を例に挙げて説明しているが、これに限られるものではなく、単一の赤外線検知素子を備える赤外線検知装置に本発明を適用することもできる。この場合も、赤外線検知素子から出力される電気信号を、赤外線検知装置に備えられる信号処理部で動作温度補償を行なうことで、動作温度が変化してしまった場合であっても、赤外線検知素子から出力される電気信号を精度良く補償することができる。

[0240] また、例えば、上述の実施形態において、補正処理としては、種々のものを採用しうる。例えば、2つの赤外線源を用いて、既知強度の赤外線を赤外線検知素子に入射し、そのときに赤外線検知素子から出力される電気信号を取得し、これらの2点間で赤外線検知素子の入出力特性は線形であると仮定して、線形補間によって、対象物体からの赤外線が赤外線検知素子に入射したときに赤外線検知素子から出力される電気信号を補正するのが一般的である。

[0241] しかしながら、実際には、赤外線検知素子の入出力特性は線形ではないため、補正ずれが生じ、赤外線検知素子から出力される電気信号を補正して得られた赤外線強度（又は赤外線強度相当の黒体温度）と、実際の対象物体からの赤外線強度（又は赤外線強度相当の黒体温度）とが異なってしまうことになる。

例えば図 12 に示すように、赤外線検知素子に温度 T_1 の黒体相当の強度の赤外線を入射し、そのときに赤外線検知素子から出力される電気信号 V_1 を取得する。また、赤外線検知素子に温度 T_2 の黒体相当の強度の赤外線を入射し

、そのときに赤外線検知素子から出力される電気信号 V_2 を取得する。そして、対象物体からの赤外線が赤外線検知素子に入射したときに赤外線検知素子から出力された電気信号が V_3 であった場合、実際の赤外線検知素子の入出力特性（図12中、実線B参照）によれば、対象物体の温度は T_3 であるとされ、赤外線検知素子から出力される電気信号が正しく補正されるべきところ、2点間で赤外線検知素子の入出力特性は線形であると仮定すると（図12中、点線A参照）、対象物体の温度は T_3' であるとされ、赤外線検知素子から出力される電気信号が誤って補正されてしまうことになる。

[0242] ここで、赤外線検知素子の入出力特性は線形であると仮定して赤外線検知素子から出力される電気信号を補正する場合、温度変化を dT とした場合の赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を dV_p とし、 a を定数とし、 C を積分定数として、

[0243] [数84]

$$\frac{dV_p}{dT} = a \Leftrightarrow V_p = aT + C$$

[0244] という関係式に基づいて、赤外線検知素子から出力される電気信号を補正することになる。

そして、上述のように、補正ずれが生じ、誤って補正されてしまうのは、赤外線検知素子の入出力特性は線形であると仮定し、上記関係式において定数 a を用いていることに起因する。

[0245] そこで、実際の赤外線検知素子の入出力特性に応じて、赤外線検知素子から出力される電気信号を精度良く補正できるようにするのが好ましい。

例えば、信号処理部4は、既知温度 T_1 及び T_2 （ $T_2 > T_1$ ）の黒体相当の強度の赤外線が入射したときに赤外線検知素子10から出力される電気信号が V_1 及び V_2 である場合、

[0246]

[数85]

$$V_0 = \frac{V_2 - V_1}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

$$V_d = \frac{V_1 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

[0247] によって求められた V_0 、 V_d を用いて、

[0248] [数86]

$$T = -\frac{\frac{hc}{x\lambda_p k_B}}{\ln\left(\frac{V - V_d}{V_0}\right)}$$

[0249] によって、赤外線検知素子 10 から出力された電気信号 V から対象物体の温度（未知温度） T （ $T_2 \geq T \geq T_1$ ）を求めることで、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を補正するのが好ましい。つまり、 V_0 、 V_d を用いて、任意の未知温度 T の対象物体（被撮像物体）からの赤外線（赤外光）に応じて赤外線検知素子から出力される電気信号 V を、上記の式を用いて適切に補正して、その温度 T （黒体換算の温度； T は絶対温度）を算出するのが好ましい。

[0250] このようにして補正を行なうことで、既知強度（既知温度）の 2 つの赤外線源からの赤外線を入射させて測定した 2 つの測定点を用いた 2 点補正を行なう場合に、これらの 2 つの測定点間を補間するのに、赤外線検知素子 10 の入出力特性に応じた補正曲線が用いられて、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号が補正されることになる。このため、実際の赤外線検知素子 10 の入出力特性に応じて、対象物体からの赤外線が入射した場合に赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を精度良く補正することが可能となり、未知温度（未知強度）の赤外線の温度（強度）に相当する電気信号を精度

良く得ることが可能となる。

[0251] また、例えば、上述の実施形態では、赤外線検知素子 10 から出力された電気信号 V から対象物体の温度 T を求めることで、赤外線検知素子 10 から出力される電気信号を補正しているが、これに限られるものではない。つまり、信号演算部 25 で、赤外線検知素子 10 から出力された電気信号 V から対象物体の温度 T を求め、信号出力部 26 で、温度 T に応じた強度の信号を例えばテレビ画像出力のコントラスト信号として生成して、ディスプレイ装置へ出力するようにしているが、これに限られるものではない。例えば、信号演算部で、赤外線検知素子から出力された電気信号 V から対象物体の温度 T に応じた強度の信号を例えばテレビ画像出力のコントラスト信号として生成して、ディスプレイ装置へ出力するようにしても良い。つまり、対象物体の温度（入射赤外線光量相当の黒体温度）T を求めずに、赤外線検知素子 10 から出力された電気信号 V から、対象物体の温度 T と例えばテレビ画像出力のコントラスト信号の強度との対応関係に基づいて、例えばテレビ画像出力のコントラスト信号を生成して、ディスプレイ装置へ出力するようにしても良い。

[0252] ところで、上述の実施形態のように近似する手法とは別に、

[0253] [数87]

$$f(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) \frac{\partial W}{\partial T} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_0(\lambda) W(\lambda, T) d\lambda}$$

[0254] の形を、例えばプランクの輻射式から数値的に評価し、それを適当な関数 g (T) で近似するという手法も考えられる。

ここで、関数 g (T) は、温度 T の 1 次以上の整関数や指数関数など、数学的に取扱い可能な任意の関数が原理的には使用可能である。

この場合、対象物体の温度 T に対する赤外線検知素子の出力電気信号 V (T) の関係は、すでに述べたのと同様にして、

[0255] [数88]

$$V = V_p + V_d = V_0 \exp\{G(T)\} + V_d$$

[0256] となる。

ここで、関数 $G(T)$ は、関数 $g(T)$ の原始関数の一つ、即ち、

[0257] [数89]

$$G(T) = \int g(T) dT$$

[0258] である。

この場合、未知係数 V_d は、以下のようにして決定することができる。

まず、上記の式に、既知温度 T_1 に対して出力される電気信号 V_1 を代入し、また、既知温度 T_2 に対して出力される電気信号 V_2 を代入すると、以下の2つの等式が得られる。

[0259] [数90]

$$V_1 = V_0 \exp\{G(T_1)\} + V_d$$

$$V_2 = V_0 \exp\{G(T_2)\} + V_d$$

[0260] そして、これらの式のうち、上側の式に、

[0261] [数91]

$$\exp\{G(T_2)\}$$

[0262] を掛け、下側の式に、

[0263] [数92]

$$\exp\{G(T_1)\}$$

[0264] を掛けて、辺々引き算することで、以下のように、未知係数 V_d を決定することができる。

[0265]

[数93]

$$\begin{aligned}
 V_1 \exp\{G(T_2)\} &= V_0 \exp\{\exp\{G(T_1)\}\} \exp\{G(T_2)\} + V_d \exp\{G(T_2)\} \\
 V_2 \exp\{G(T_1)\} &= V_0 \exp\{G(T_1)\} \exp\{G(T_2)\} + V_d \exp\{G(T_1)\} \\
 \therefore V_1 \exp\{G(T_2)\} - V_2 \exp\{G(T_1)\} &= V_d [\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}] \\
 \therefore V_d &= \frac{V_1 \exp\{G(T_2)\} - V_2 \exp\{G(T_1)\}}{\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}}
 \end{aligned}$$

[0266] 同様にして、未知係数 V_0 も、以下のように、決定することができる。

[0267] [数94]

$$V_0 = \frac{V_2 - V_1}{\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}}$$

[0268] ところで、上述のようにして、未知係数 V_d を決定することができることができる。このため、信号処理部 4 は、第 1 動作温度において赤外線検知素子 10 から出力される電気信号の第 1 暗電流相当成分 V_{d1} を、第 1 動作温度において第 1 既知温度 T_1 及び第 2 既知温度 T_2 ($T_2 > T_1$) の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に赤外線検知素子 10 から出力される第 1 電気信号 V_1 及び第 2 電気信号 V_2 を用いて、

[0269] [数95]

$$V_{d1} = \frac{V_1 \exp\{G(T_2)\} - V_2 \exp\{G(T_1)\}}{\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}}$$

[0270] によって求める。

この場合も、上述の実施形態の場合と同様に、信号処理部 4 は、第 1 暗電流相当成分を、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に、定数ではなく、温度の関数（即ち、温度を変数とする関数）を含む関係式から求めていることになる。

ここで、関係式は、赤外線検知素子 10 から出力される赤外線強度相当の電気信号を V_p とし、温度変化を dT とした場合の赤外線検知素子 10 から出力される赤外線強度相当の電気信号の変化を dV_p とし、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分を温度 T の関数である $g(T)$ (T を変数とする関数) として、次式のように表される。なお、関数 $g(T)$ を、赤外線強度

の温度に対する依存性を表す関数ともいう。

[0271] [数96]

$$\frac{dV_p}{dT} = g(T)V_p$$

[0272] つまり、信号処理部4は、関係式の赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に含まれる温度Tの関数をg(T)として、

[0273] [数97]

$$G(T) = \int g(T) dT$$

[0274] で規定される関数G(T)を用いて、第1既知温度をT₁とし、第2既知温度をT₂ (T₂ > T₁) とし、第1電気信号をV₁とし、第2電気信号をV₂として、第1暗電流相当成分V_{d1}を、

[0275] [数98]

$$V_{d1} = \frac{V_1 \exp\{G(T_2)\} - V_2 \exp\{G(T_1)\}}{\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}}$$

[0276] によって求めていることになる。

ところで、例えば、g(T)を1次関数、即ち、

[0277] [数99]

$$g(T) = aT + b, \quad a \neq 0$$

[0278] とした場合、

[0279] [数100]

$$G(T) = \frac{1}{2} aT^2 + bT$$

[0280] となる。

また、例えば、g(T)を指数関数、即ち、

[0281] [数101]

$$g(T) = a \exp(bT), \quad a \neq 0$$

[0282] とした場合、

[0283] [数102]

$$G(T) = \frac{a \exp(bT)}{b}$$

[0284] となる。

ところで、このような関数 $f(T)$ の近似関数 $g(T)$ を用いる場合、

[0285] [数103]

$$g(T) = -\frac{hc}{\lambda_p k_B} \frac{d}{dT} \left(\frac{1}{x(T)T} \right)$$

[0286] なる関係を満たす $x(T)$ を含む関数を考えると、

[0287] [数104]

$$G(T) = \int g(T) dT = -\frac{hc}{\lambda_p k_B} \int \frac{d}{dT} \left(\frac{1}{x(T)T} \right) dT = -\frac{hc}{x(T) \lambda_p k_B T}$$

[0288] であるから、

[0289] [数105]

$$V = V_p + V_d = V_0 \exp \left\{ -\frac{hc}{x(T) \lambda_p k_B T} \right\} + V_d$$

[0290] となる。

これを上述の実施形態の V_{DC} の式と比較すると、上述の関数 $g(T)$ を用いる手法は、数学的には上述の実施形態の V_{DC} の式の定数 x に対して実効的に対象物体の温度 T に対する依存性を加味した場合に相当することになる。

つまり、関数 $g(T)$ を上述のようにした場合、上述の実施形態では実定数 x を用いて近似した関数 $f(T)$ を用いるのに対し、温度 T の関数 $x(T)$ を用いて近似した関数 $g(T)$ を用いるのに相当することになる。これは、

[0291] [数106]

$$f(T) \approx g(T) = \frac{1}{xT^2} \frac{hc}{\lambda_p k_B}$$

[0292] の形に近似した結果であるとも言ってもできる。

符号の説明

- [0293]
- 1 赤外線検知装置
 - 2 赤外線イメージセンサ
 - 3 読出回路チップ
 - 4 信号処理部
 - 5 バンプ
 - 10 赤外線検知素子
 - 11 容量素子
 - 12 スイッチ
 - 21 2次元アレイ（赤外線検知素子アレイ）
 - 22 行選択スイッチ部
 - 23 信号取り出し&シフトレジスタ部
 - 24 データ保存部
 - 25 信号演算部
 - 26 信号出力部
 - 27 スイッチ
 - 31 AD変換部
 - 32 記憶制御部
 - 33 読出制御部
 - 34 $V_1(i, j)$ 記憶部
 - 35 $V_2(i, j)$ 記憶部
 - 36 温度記憶部
 - 41 演算部
 - 42 AD変換部
 - 51 テーブル演算部
 - 52 電圧・温度記憶部
 - 53 テーブル記憶部
 - 54 読出制御・比較部
 - 61 演算部

70 温度センサ

請求の範囲

[請求項1] 入射した赤外線に応じた電気信号を出力する赤外線検知素子と、
第1動作温度において第1既知温度及び第2既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に前記赤外線検知素子から出力される第1電気信号及び第2電気信号を用いて求められる第1暗電流相当成分を含む、動作温度変化後に第2動作温度になった場合の動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値によって、動作温度変化による前記赤外線検知素子から出力される電気信号の変化を補償する信号処理部とを備えることを特徴とする赤外線検知装置。

[請求項2] 前記信号処理部は、前記第1暗電流相当成分を、赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に、定数ではなく、温度の関数を含む関係式から求めることを特徴とする、請求項1に記載の赤外線検知装置。

[請求項3] 前記関係式の前記赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に含まれる温度Tの関数f(T)は、前記赤外線検知素子の波長応答特性におけるピーク波長を λ_p とし、実係数をxとし、ボルツマン定数を k_B とし、プランク定数をhとし、真空中での光速をcとして、

[数1]

$$f(T) = \frac{hc}{x\lambda_p k_B T^2}$$

で表されることを特徴とする、請求項2に記載の赤外線検知装置。

[請求項4] 前記実係数xは、前記赤外線検知素子の波長応答特性における半値全幅をFWHMとして、

[数2]

$$\frac{hc}{\lambda_p k_B T} > 1$$

を満たす温度Tに対して、

[数3]

$$1 - \frac{3FWHM}{2Ln(2)\lambda_p} \leq x \leq 1 + \frac{3FWHM}{2Ln(2)\lambda_p}$$

の範囲にあることを特徴とする、請求項3に記載の赤外線検知装置。

[請求項5]

前記信号処理部は、前記第1既知温度を T_1 とし、前記第2既知温度を T_2 ($T_2 > T_1$) とし、前記第1電気信号を V_1 とし、前記第2電気信号を V_2 として、前記第1暗電流相当成分 V_{d1} を、

[数4]

$$V_{d1} = \frac{V_1 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - V_2 \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}{\exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_2}\right) - \exp\left(-\frac{hc}{x\lambda_p k_B T_1}\right)}$$

によって求めることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の赤外線検知装置。

[請求項6]

前記信号処理部は、前記関係式の前記赤外線強度の温度に対する依存性に関する部分に含まれる温度 T の関数を $g(T)$ として、

[数5]

$$G(T) = \int g(T) dT$$

で規定される関数 $G(T)$ を用いて、前記第1既知温度を T_1 とし、前記第2既知温度を T_2 ($T_2 > T_1$) とし、前記第1電気信号を V_1 とし、前記第2電気信号を V_2 として、前記第1暗電流相当成分 V_{d1} を、

[数6]

$$V_{d1} = \frac{V_1 \exp\{G(T_2)\} - V_2 \exp\{G(T_1)\}}{\exp\{G(T_2)\} - \exp\{G(T_1)\}}$$

によって求めることを特徴とする、請求項2に記載の赤外線検知装置。

[請求項7]

前記信号処理部は、暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数を

$h(T_D)$ とし、前記第 1 動作温度を T_{D1} とし、前記第 2 動作温度を T_{D2} とし、前記動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値を $V_{d2} - V_{d1}$ として、前記動作温度変化による暗電流相当成分の変化を示す値 $V_{d2} - V_{d1}$ を、

[数7]

$$V_{d2} - V_{d1} = V_{d1} \left(\frac{h(T_{D2})}{h(T_{D1})} - 1 \right)$$

又は、前記第 1 動作温度 T_{D1} の近傍で線形化した、

[数8]

$$V_{d2} - V_{d1} = V_{d1} \frac{h'(T_{D1})}{h(T_{D1})} (T_{D2} - T_{D1})$$

によって求めることを特徴とする、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の赤外線検知装置。

[請求項8] 前記暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、暗電流の活性化エネルギーを E_a として、

[数9]

$$h(T_D) = \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

で表されることを特徴とする、請求項 7 に記載の赤外線検知装置。

[請求項9] 前記暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、暗電流の活性化エネルギーを E_a として、

[数10]

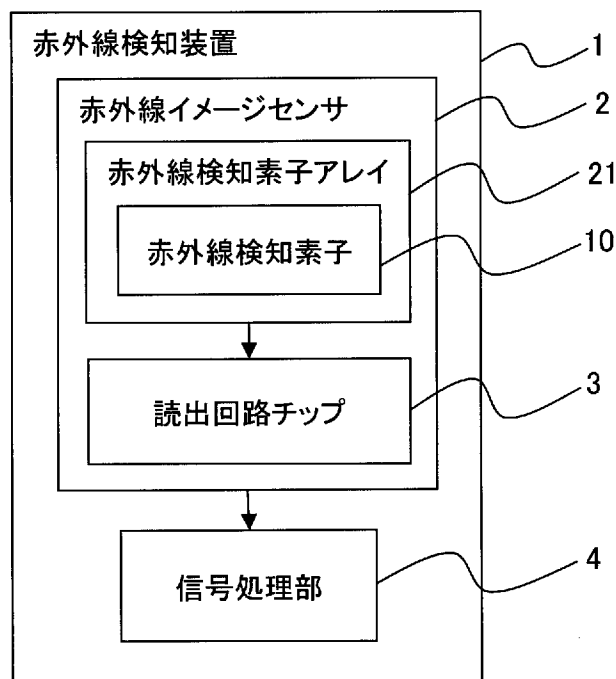
$$h(T_D) = T_D \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_D}\right)$$

で表されることを特徴とする、請求項 7 に記載の赤外線検知装置。

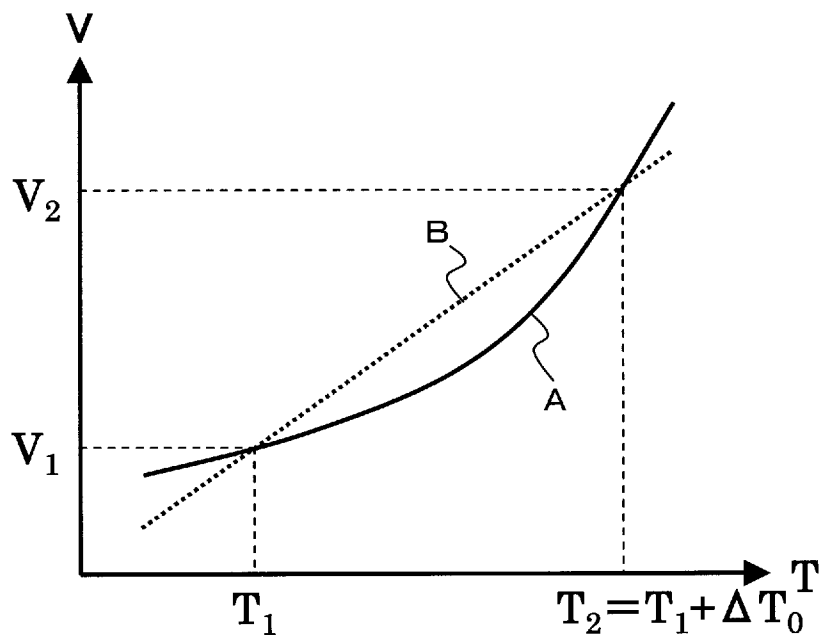
[請求項10] 前記暗電流相当成分の動作温度依存性を表す関数 $h(T_D)$ は、一の動作温度において第 1 既知温度及び第 2 既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に前記赤外線検知素子から出力される第 1 電

気信号及び第 2 電気信号を用いて求められる、一の暗電流相当成分、及び、他の動作温度において前記第 1 既知温度及び前記第 2 既知温度の黒体相当の強度の赤外線が入射した場合に前記赤外線検知素子から出力される前記第 1 電気信号及び前記第 2 電気信号を用いて求められる、他の暗電流相当成分を用いて決定された関数であることを特徴とする、請求項 7 に記載の赤外線検知装置。

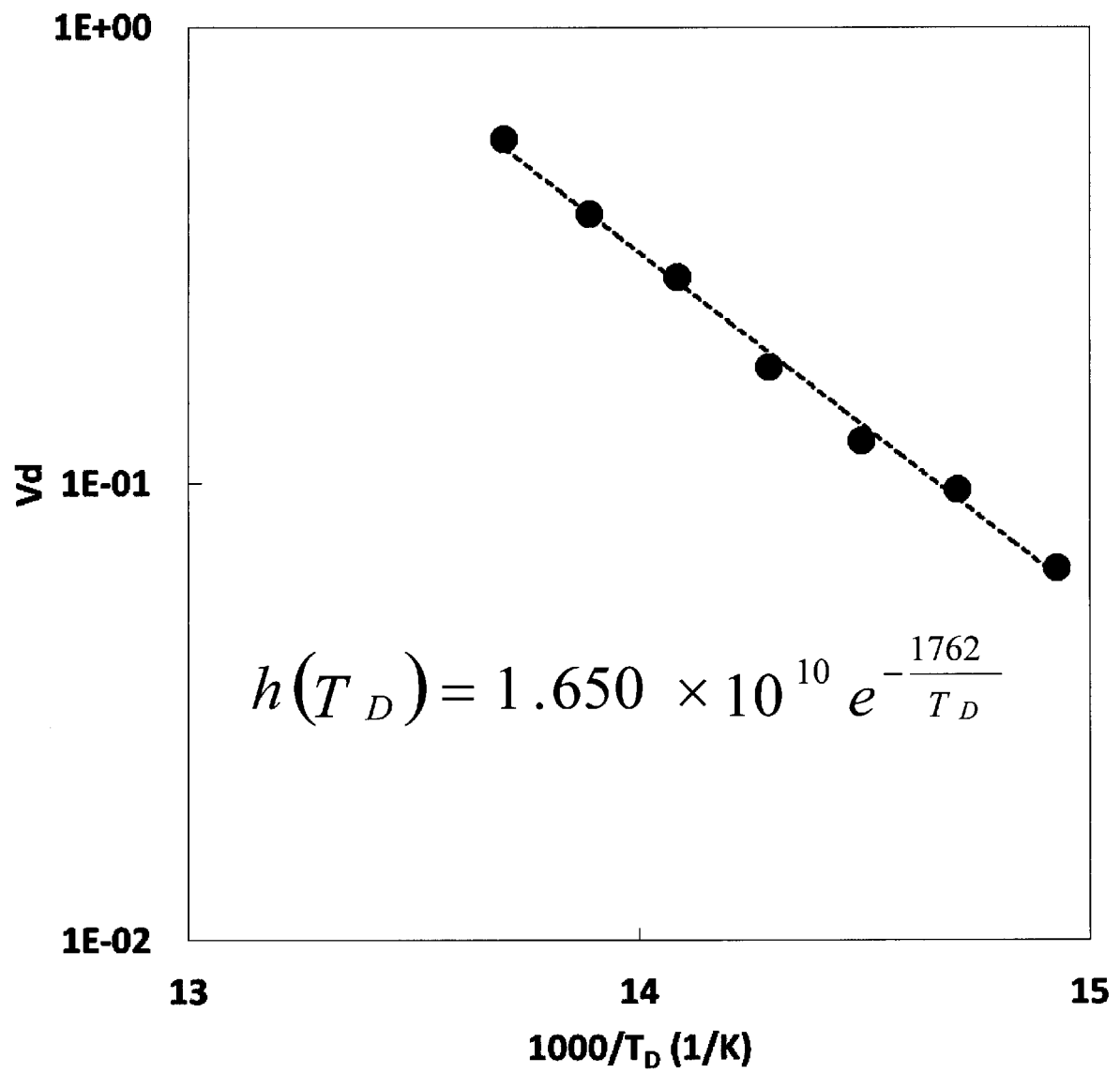
[図1]



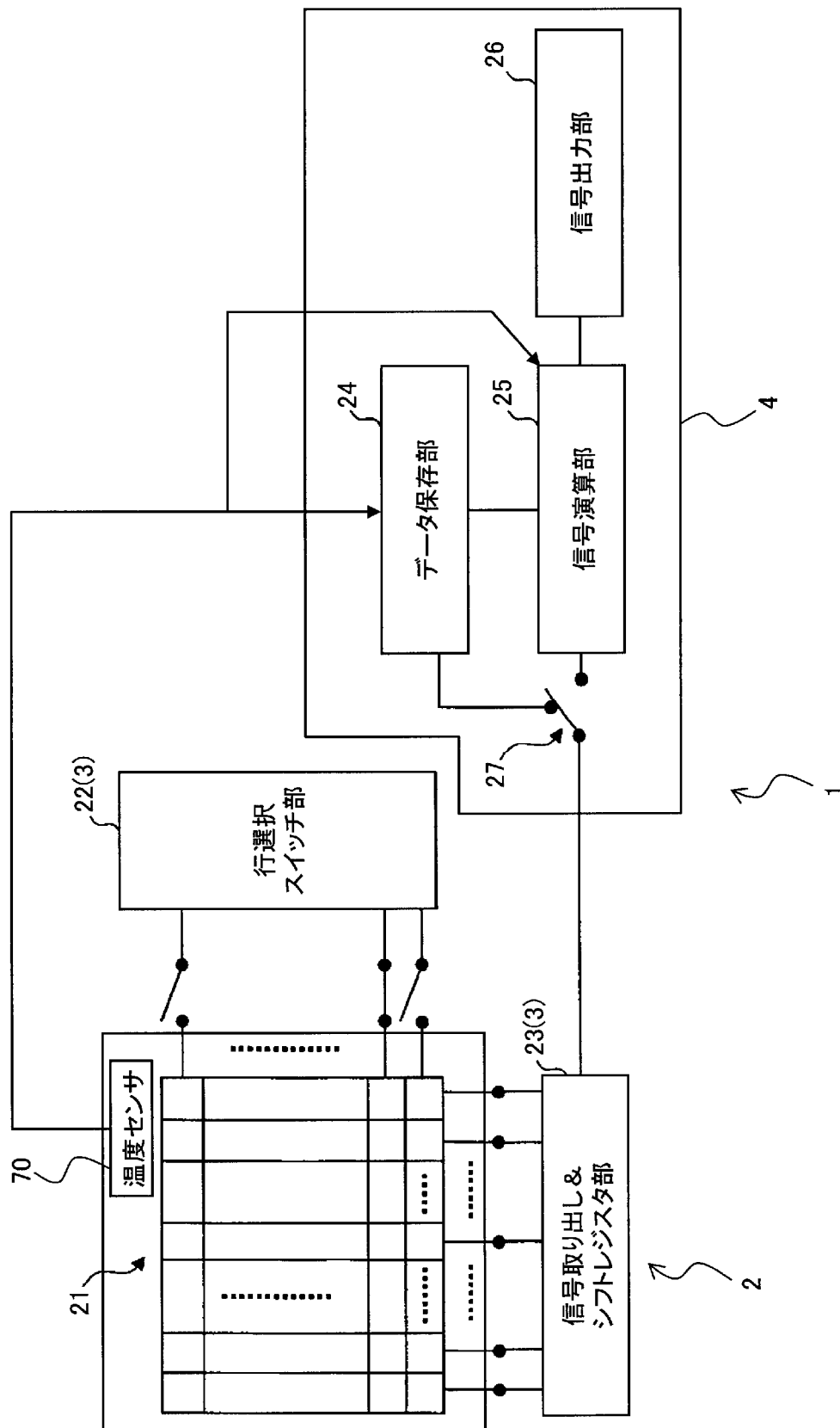
[図2]



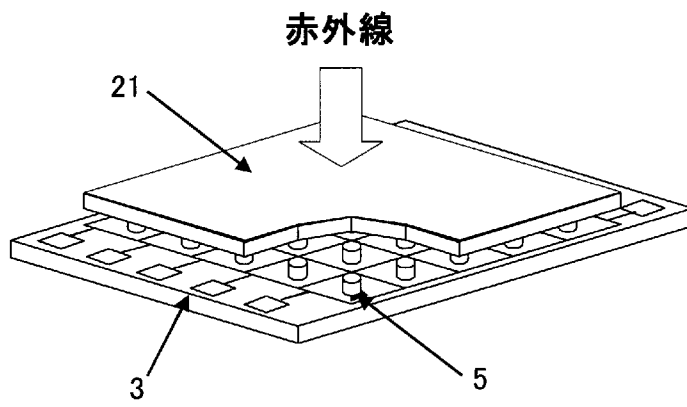
[図3]



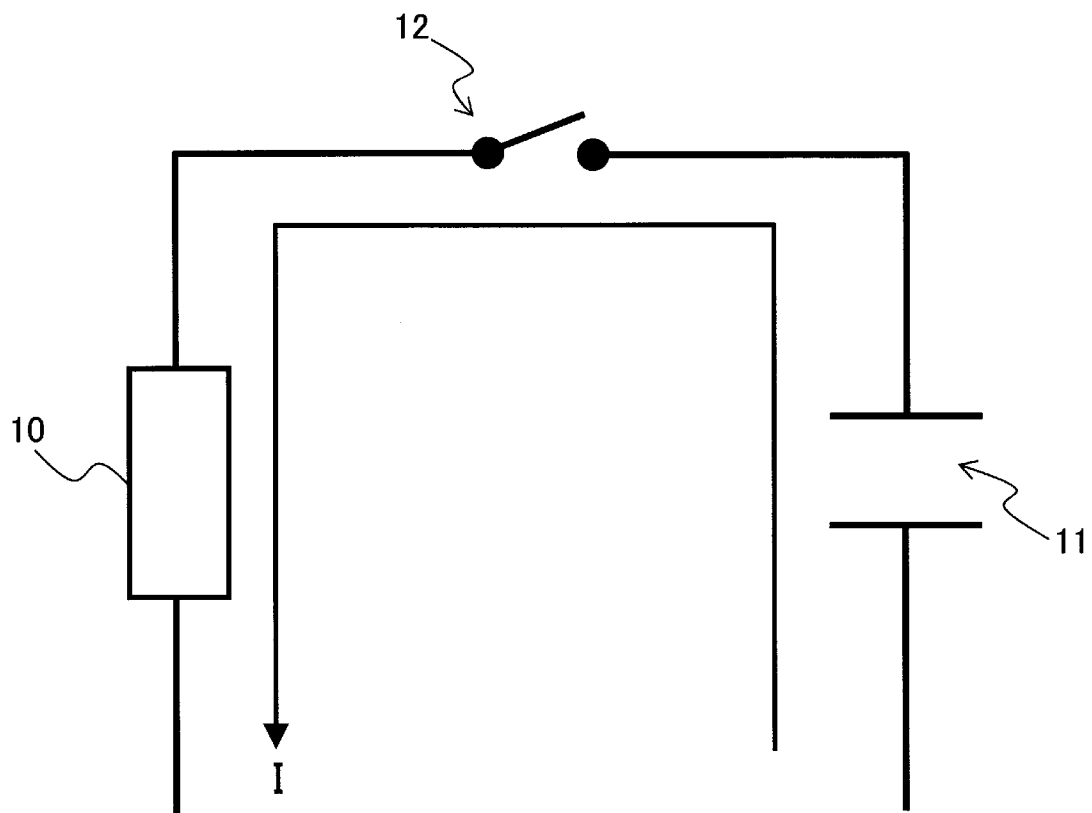
[図4]



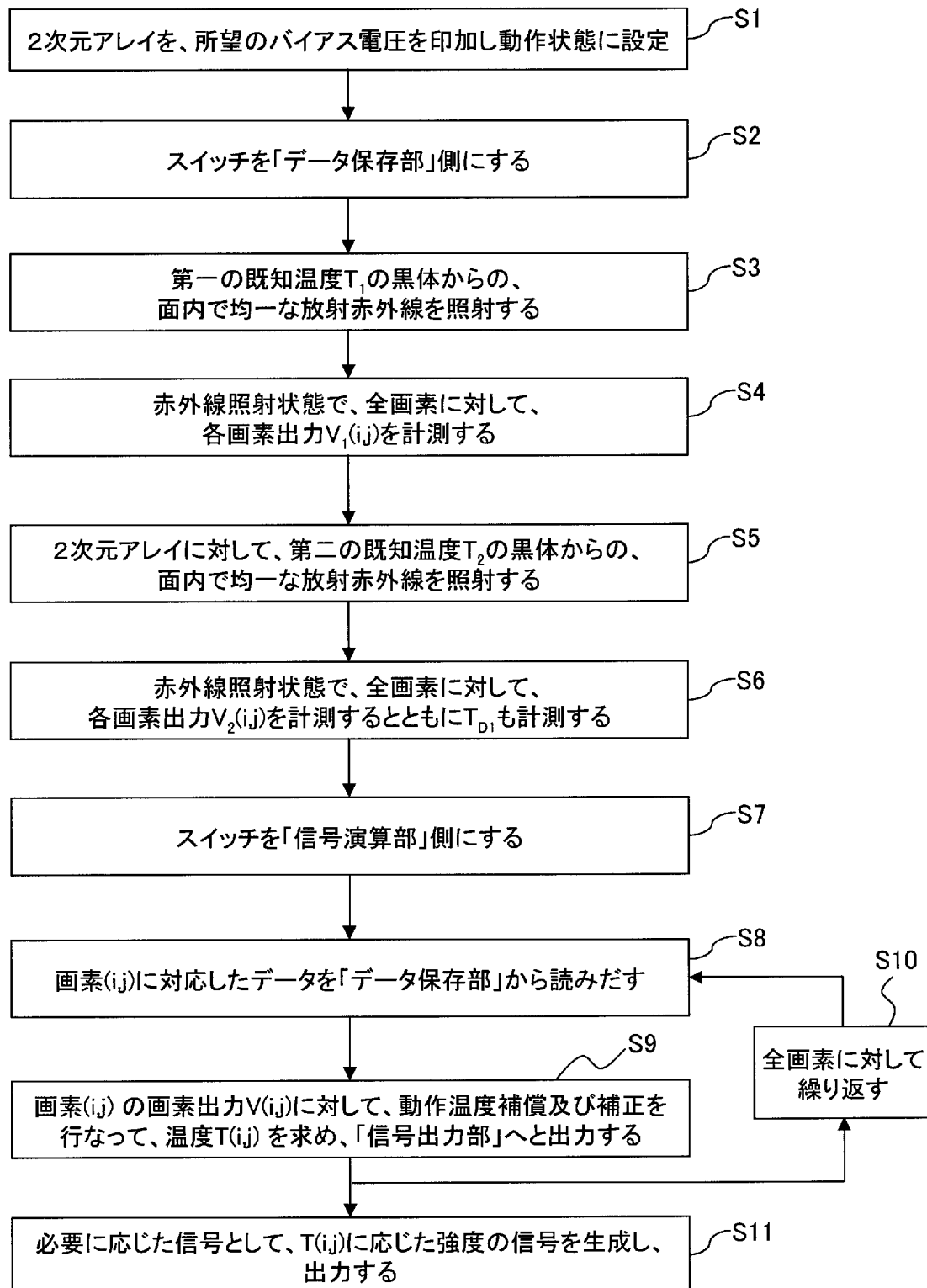
[図5]



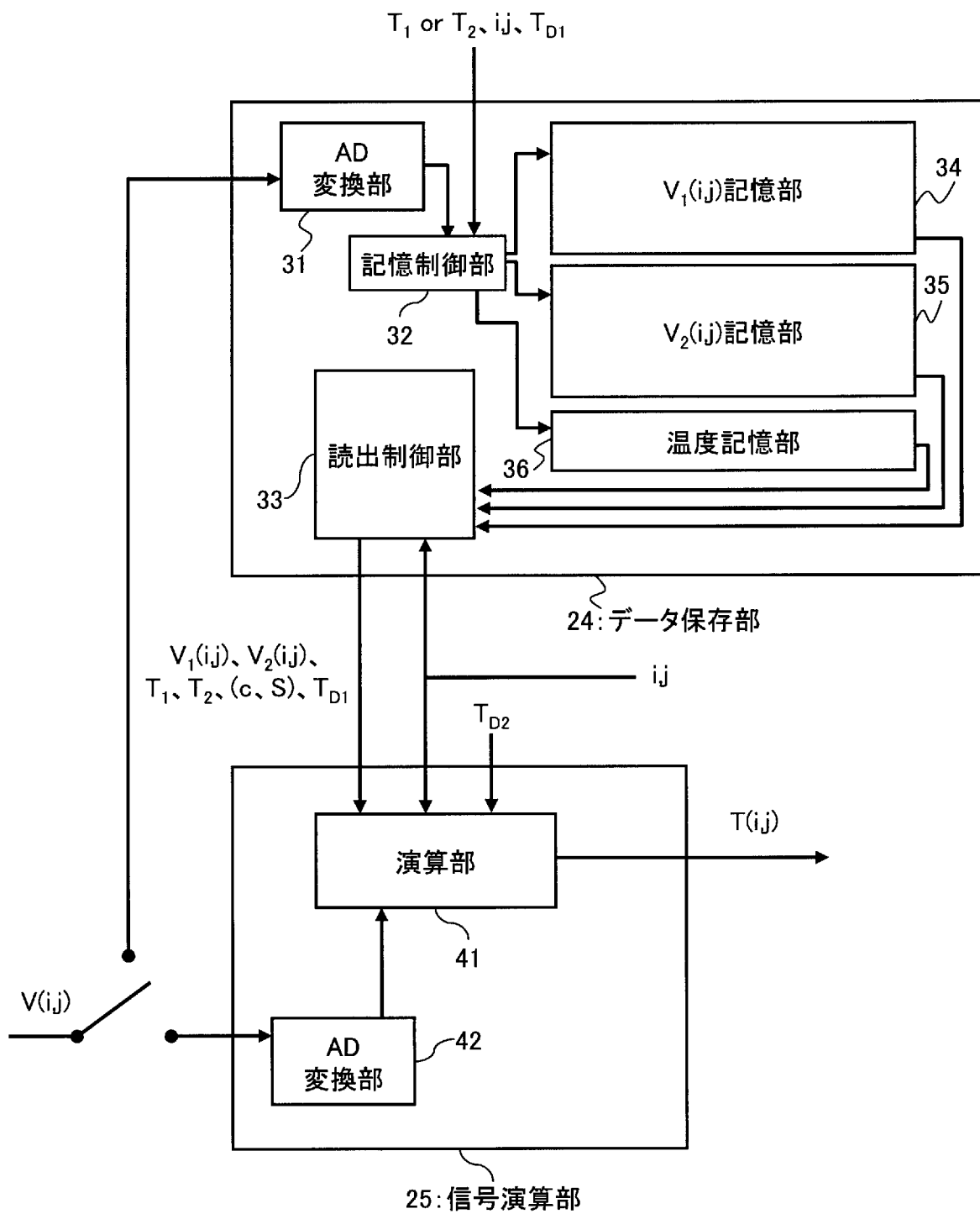
[図6]



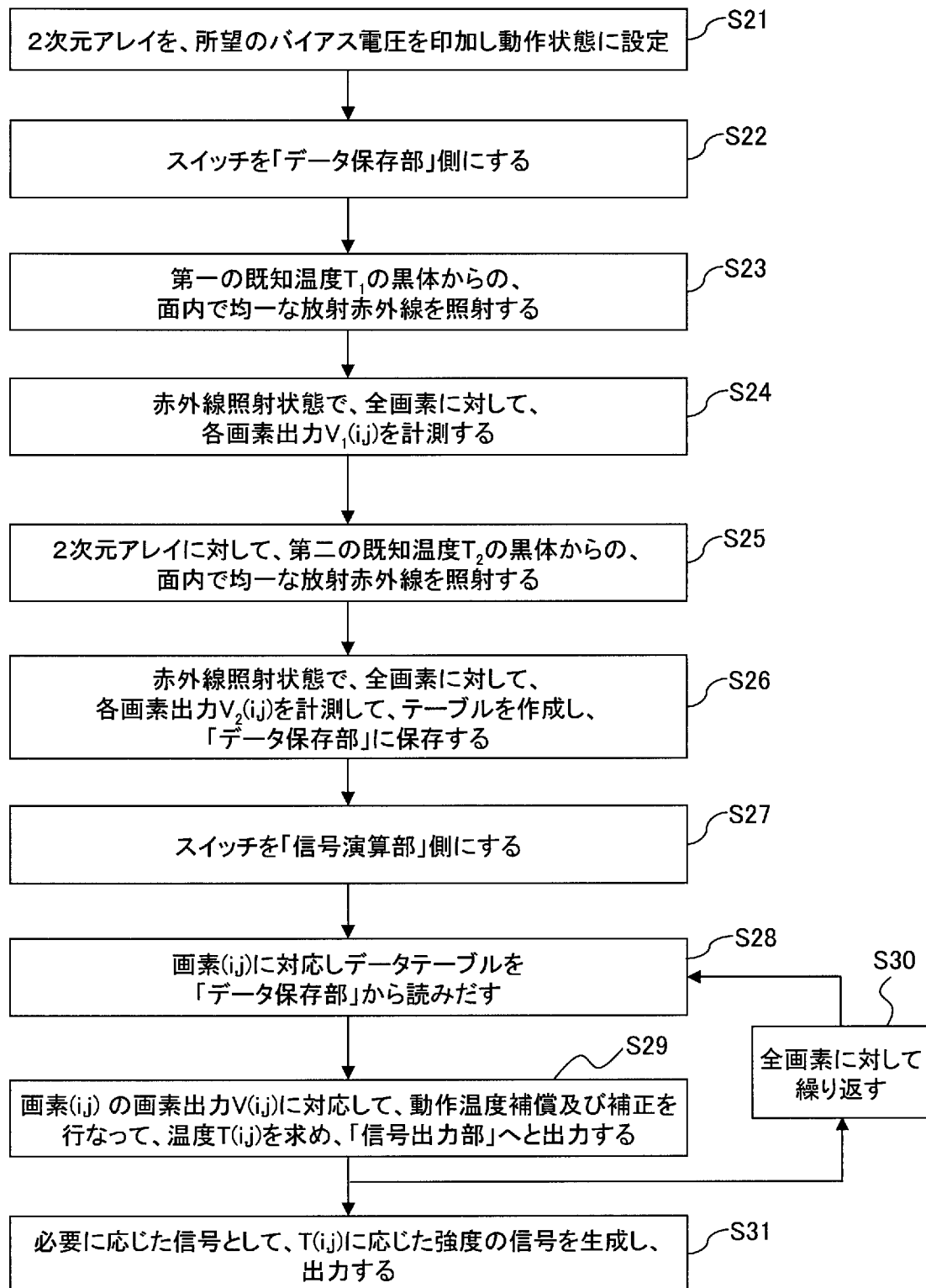
[図7]



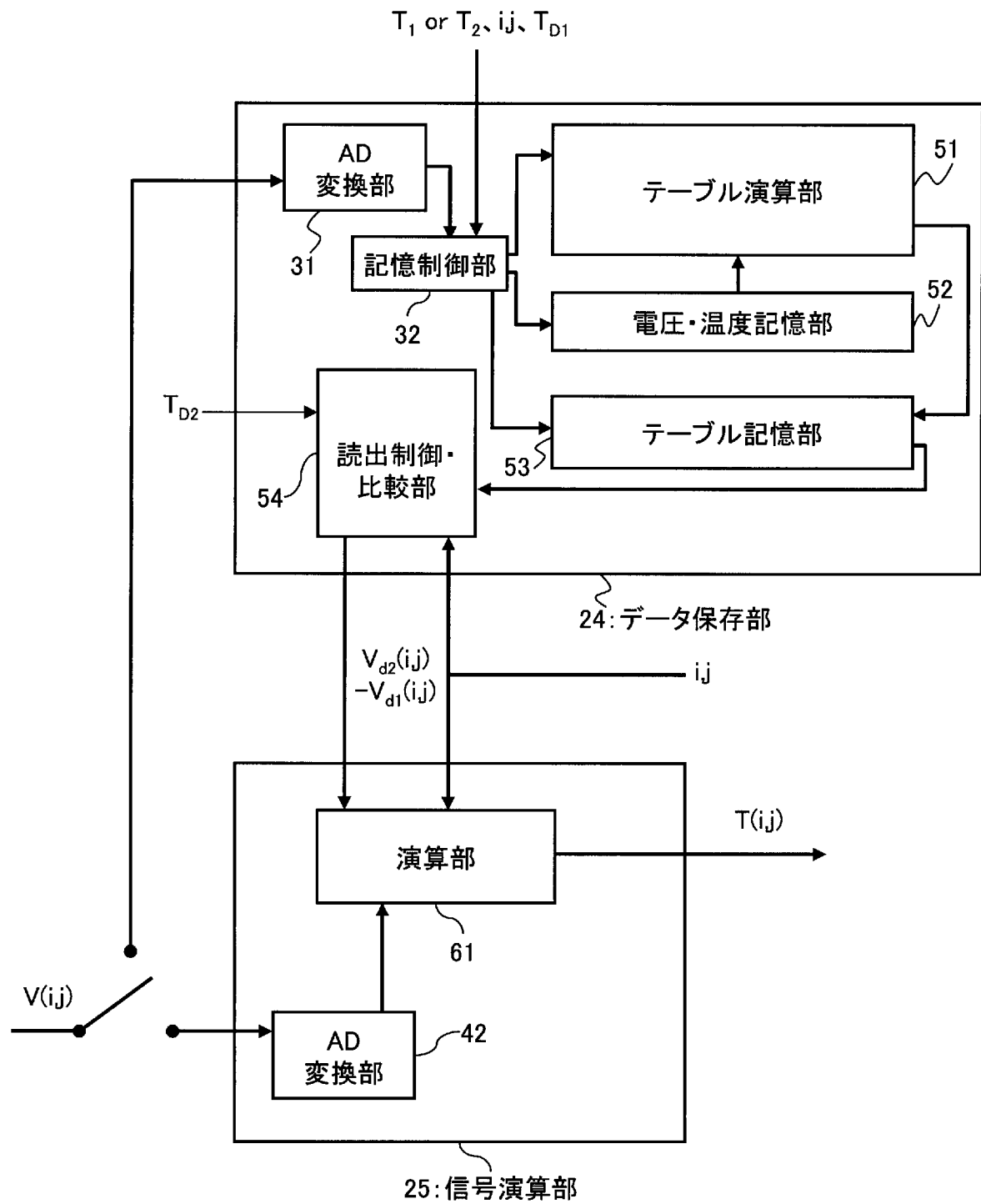
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

図11(A)

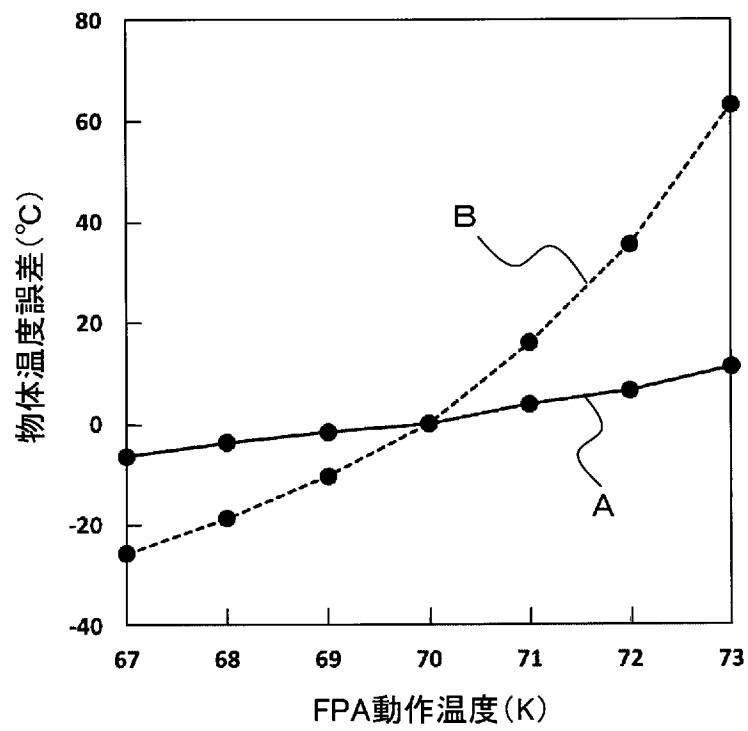
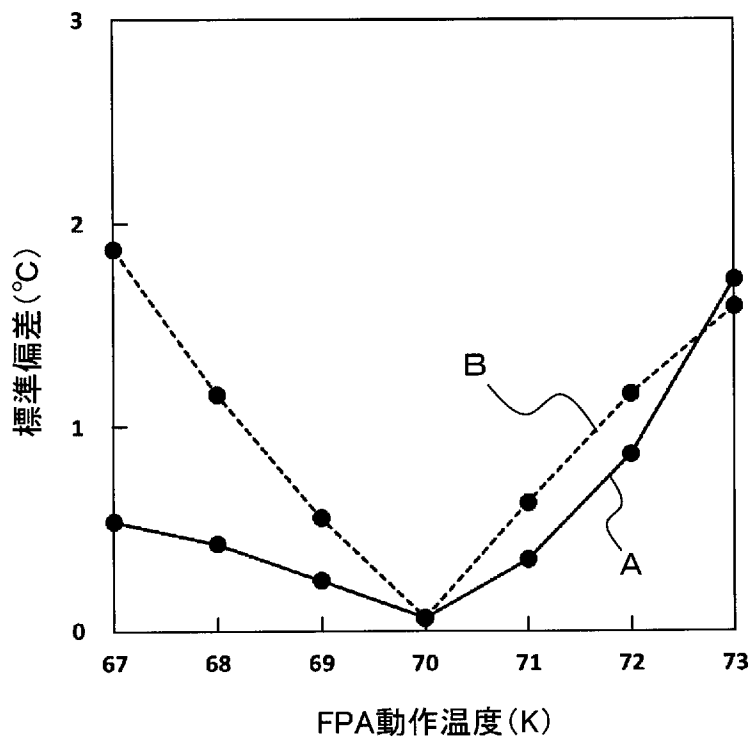
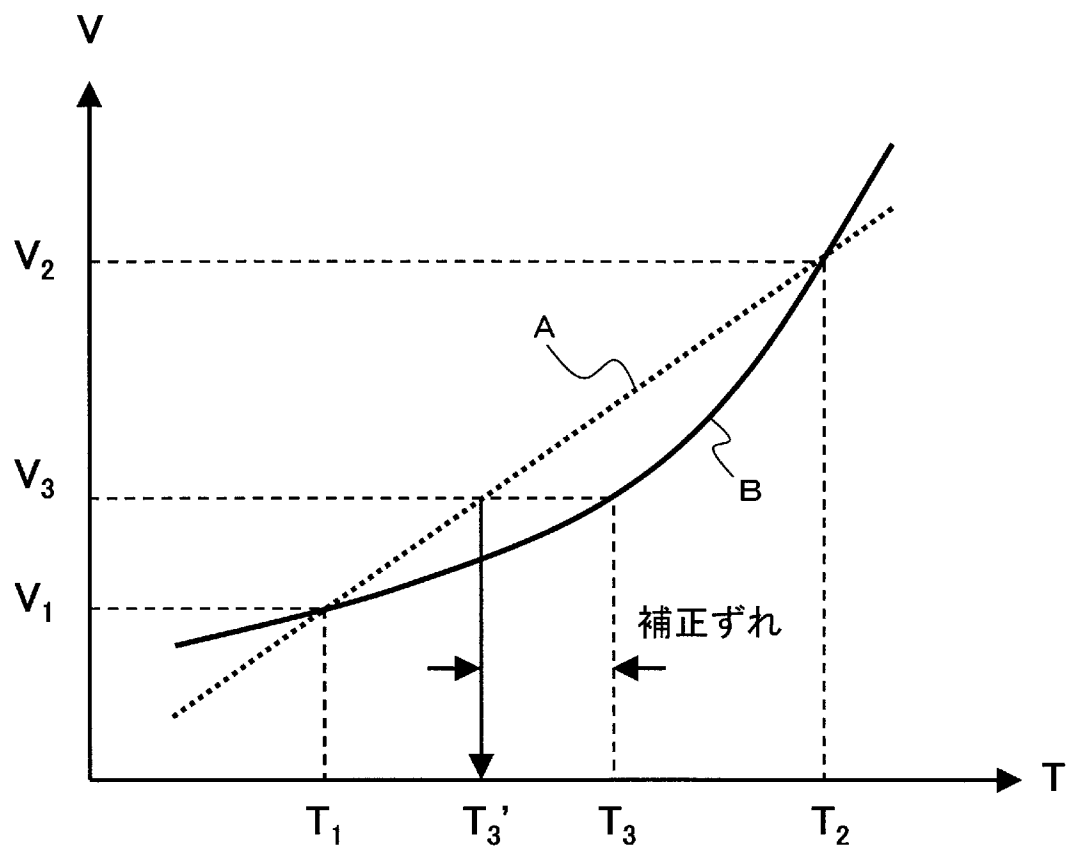


図11(B)



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080869

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J1/42(2006.01)i, G01J1/44(2006.01)i, H04N5/33(2006.01)i, H04N5/361(2011.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J1/42, G01J1/44, H04N5/33, H04N5/361

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 04-286477 A (Fujitsu Ltd.), 12 October 1992 (12.10.1992), paragraphs [0010] to [0016]; fig. 1 to 3, 6 (Family: none)	1, 2 7-10
Y	JP 10-013749 A (Nikon Corp.), 16 January 1998 (16.01.1998), paragraphs [0015], [0016] (Family: none)	7-10
A	JP 2004-095692 A (Fujitsu Ltd.), 25 March 2004 (25.03.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 January, 2014 (10.01.14)

Date of mailing of the international search report
21 January, 2014 (21.01.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080869

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-175408 A (Olympus Imaging Corp.), 10 September 2012 (10.09.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2001-268440 A (Toshiba Corp.), 28 September 2001 (28.09.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 63-157020 A (Fujitsu Ltd.), 30 June 1988 (30.06.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 03-179977 A (Mitsubishi Electric Corp.), 05 August 1991 (05.08.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	US 2007/0273775 A1 (Jutao Jiang), 29 November 2007 (29.11.2007), entire text; all drawings & WO 2007/139788 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01J1/42(2006.01)i, G01J1/44(2006.01)i, H04N5/33(2006.01)i, H04N5/361(2011.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01J1/42, G01J1/44, H04N5/33, H04N5/361

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 04-286477 A（富士通株式会社） 1992.10.12, 段落【0010】 - 【0016】, 図 1-3, 6（ファミリーなし）	1, 2
Y		7-10
Y	JP 10-013749 A（株式会社ニコン） 1998.01.16, 段落【0015】, 【0016】（ファミリーなし）	7-10

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 0 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

蔵田 真彦

2 W

3 6 0 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2004-095692 A (富士通株式会社) 2004.03.25, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2012-175408 A (オリンパスイメージング株式会社) 2012.09.10, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2001-268440 A (株式会社東芝) 2001.09.28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 63-157020 A (富士通株式会社) 1988.06.30, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 03-179977 A (三菱電機株式会社) 1991.08.05, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	US 2007/0273775 A1 (Jutao Jiang) 2007.11.29, 全文全図 & WO 2007/139788 A1	1-10