(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
2016 年 10 月 27 日(27.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/170801 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/40 (2013.01) *H04B 10/69* (2013.01)
H01L 31/107 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050087

(22) 国際出願日: 2016 年 1 月 5 日(05.01.2016)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2015-085659 2015 年 4 月 20 日(20.04.2015) JP

(71) 出願人: 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 湯田 秀逸(YUDA, Shuitsu); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人サンクレスト国際特許事務所(SUNCREST PATENT AND TRADEMARK ATTORNEYS); 〒6500023 兵庫県神戸市中央区栄町通四丁目１番１１号 Hyogo (JP).

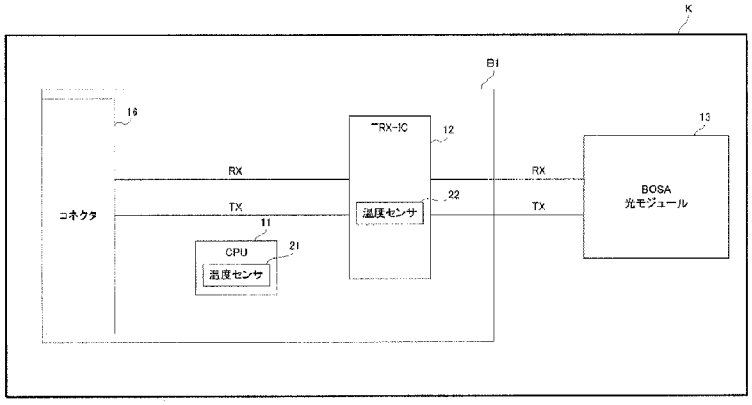
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: OPTICAL TRANSCEIVER, OPTICAL COMMUNICATION DEVICE, AND METHOD FOR CONTROLLING LIGHT-RECEIVING ELEMENT

(54) 発明の名称 : 光トランシーバ、光通信装置、および受光素子の制御方法



13 Optical module
16 Connector
21, 22 Temperature sensor

(57) **Abstract**: An optical communication device according to an embodiment of the present invention is provided with a light-emitting element, a transmission driver for driving the light-emitting element, a light-receiving element in which a multiplication factor can be changed by a bias voltage, a temperature sensor, an arithmetic unit for calculating the drive rate of the transmission driver, and an adjustment unit for adjusting the bias voltage applied to the light-receiving element. The adjustment unit adjusts, on the basis of the temperature detected by the temperature senor and the result of the drive rate calculation, the bias voltage through a linear arithmetic using a plurality of target values of the bias voltage in a combination of a plurality of temperatures and a plurality of drive rates.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/170801 A1

本発明の実施形態に係る光通信装置は、発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサと、前記送信ドライバの駆動率を算出する演算部と、前記受光素子への前記バイアス電圧を調整する調整部とを備え、前記調整部は、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する。

明　細　書

発明の名称 ：

光トランシーバ、光通信装置、および受光素子の制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、光トランシーバ、光通信装置、および受光素子の制御方法に関し、特に、発光素子および受光素子を備える光トランシーバ、光通信装置、および当該受光素子の制御方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、インターネットが広く普及しており、利用者は世界各地で運営されているサイトの様々な情報にアクセスし、その情報を入手することが可能である。これに伴って、ＡＤＳＬ（Ａｓｙｍｍｅｔｒｉｃ　Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｕｂｓｃｒｉｂｅｒ　Ｌｉｎｅ）およびＦＴＴＨ（Ｆｉｂｅｒ　Ｔｏ　Ｔｈｅ　Ｈｏｍｅ）等のブロードバンドアクセスが可能な装置も急速に普及してきている。

[0003] ＩＥＥＥ　Ｓｔｄ　８０２．３ａｈ（登録商標）－２００４（非特許文献１）には、複数の宅側装置（ＯＮＵ：Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｎｅｔｗｏｒｋ　Ｕｎｉｔ）が光通信回線を共有して局側装置（ＯＬＴ：Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｌｉｎｅ　Ｔｅｒｍｉｎａｌ）とのデータ伝送を行なう媒体共有形通信である受動的光ネットワーク（ＰＯＮ：Ｐａｓｓｉｖｅ　Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｎｅｔｗｏｒｋ）の１つの方式が開示されている。すなわち、ＰＯＮを通過するユーザ情報およびＰＯＮを管理運用するための制御情報を含め、すべての情報がイーサネット（登録商標）フレームの形式で通信されるＥＰＯＮ（Ｅｔｈｅｒｎｅｔ（登録商標）　ＰＯＮ）と、ＥＰＯＮのアクセス制御プロトコル（ＭＰＣＰ（Ｍｕｌｔｉ－Ｐｏｉｎｔ　Ｃｏｎｔｒｏｌ　Ｐｒｏｔｏｃｏｌ））およびＯＡＭ（Ｏｐｅｒａｔｉｏｎｓ　Ａｄｍｉｎｉｓｔｒａｔｉｏｎ　ａｎｄ　Ｍａｉｎｔｅｎａｎｃｅ）プロトコルとが規定されている。局側装置と宅側装置との間でＭＰＣＰフレームをやりとりすることによって、宅側

装置の加入、離脱、および上りアクセス多重制御などが行なわれる。また、非特許文献１では、ＭＰＣＰメッセージによる、新規宅側装置の登録方法、帯域割り当て要求を示すレポート、および送信指示を示すゲートについて記載されている。

[0004] なお、１ギガビット／秒の通信速度を実現するＥＰＯＮであるＧＥ－ＰＯＮ（Ｇｉｇａ Ｂｉｔ Ｅｔｈｅｒｎｅｔ（登録商標） Ｐａｓｓｉｖｅ Ｏｐｔｉｃａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋ）の次世代の技術として、ＩＥＥＥ８０２．３ａｖ（登録商標）－２００９として標準化が行なわれた１０Ｇ－ＥＰＯＮすなわち通信速度が１０ギガビット／秒相当のＥＰＯＮにおいても、アクセス制御プロトコルはＭＰＣＰが前提となっている。

[0005] ところで、ＰＯＮシステム等において長距離光伝送を実現するために、たとえば受光感度の高いアバランシェフォトダイオード（ＡＰＤ）が受光素子として使用される。ＡＰＤは、電流増幅作用を有する受光素子であり、ＡＰＤにおいて、高い温度依存性を有するキャリア増倍係数すなわち増倍率を精度良く維持するためには、ＡＰＤへの逆バイアス電圧を、ＡＰＤの温度に応じて調整する必要がある。

[0006] ＡＰＤへの逆バイアス電圧を調整する技術として、たとえば、特開２００９－１０５４８９号公報（特許文献１）には、以下のような構成が開示されている。すなわち、光信号を送信および受信する送受一体型の光トランシーバであって、レーザダイオードを含む光送信サブアッセンブリと、アバランシェフォトダイオードを含む光受信サブアッセンブリと、温度センサを搭載し、上記温度センサの出力信号に基づいて、上記レーザダイオードを駆動する第１の制御回路と、上記アバランシェフォトダイオードのバイアス電圧を制御する第２の制御回路とを備える。上記第２の制御回路は、上記温度センサの出力に所定のオフセット値を付加した温度補正値に基づいて上記バイアス電圧を制御する。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：ＩＥＥＥ　Ｓｔｄ　８０２．３ａｈ（登録商標）－２００４

特許文献

[0008] 特許文献1：特開２００９－１０５４８９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 特許文献１に記載の光トランシーバでは、温度センサ、および光トランシーバ内の温度に関するルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御が行なわれる。

[0010] しかしながら、たとえば光トランシーバが通信状態に応じて異なる動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合、上記温度センサの検出温度も変動してしまう。

[0011] このような場合、光トランシーバでは、上記のようなルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御を行なっても、ＡＰＤへの逆バイアス電圧を、ＡＰＤの温度に応じて良好に調整することが困難である。

[0012] この発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、その目的は、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することが可能な光トランシーバ、光通信装置、および受光素子の制御方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0013] 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる光トランシーバは、温度センサと、前記温度センサの検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能な集積回路と、発光素子および受光素子を含む光モジュールと、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、前記温度センサ、前記集積回路、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収容し、熱伝導性を有する筐体とを備え、前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記温度センサの検出温度と前記光信号の送信オフ状態における前記温度センサの検出温度との差が２℃より大きく、前記送信ドライバの消費電力は、前記集積回路の消費電力および前記光モジュールの消費電力より大きい。

[0014] 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる光トランシーバは、第１の温度センサと、第２の温度センサと、発光素子および受光素子を含む光モジュールと、前記第２の温度センサが熱的に結合され、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、前記第１の温度センサ、前記第２の温度センサ、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収納し、熱伝導性を有する筐体とを備え、前記送信ドライバの駆動率をａとし、前記第１の温度センサの検出温度をＴ１とし、前記第２の温度センサの検出温度をＴ２とし、前記光モジュールの受光部の温度をＴｒとし、前記光モジュールにおける受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとし、前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記筐体の周囲温度が所定温度である状態において、ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａｘとすると、ａが前記最小値および前記最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下である。

[0015] 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる光通信装置は、発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサと、前記送信ドライバの駆動率を算出する演算部と、前記受光素子への前記バイアス電圧を調整する調整部とを備え、前記調整部は、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する。

[0016] 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる受光素子の制御方法は、発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサとを備える光通信装置における受光素子の制御方法であって、前記送信ドライバの駆動率を算出するステップと、前記受光素子への前記バイアス電圧を調整するステップと

を含み、前記バイアス電圧を調整するステップにおいて、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する。

[0017] 本発明は、このような特徴的な処理部を備える光トランシーバまたは光通信装置として実現できるだけでなく、かかる特徴的な処理のステップをコンピュータに実行させるためのプログラムとして実現することができる。また、本発明は、光トランシーバまたは光通信装置の一部または全部を実現する半導体集積回路として実現したり、光トランシーバまたは光通信装置を含むシステムとして実現したりすることができる。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図１は、本発明の第１の実施の形態に係るＰＯＮシステムの構成を示す図である。

[図2]図２は、本発明の第１の実施の形態に係るＰＯＮシステムにおけるＯＮＵの構成を示す図である。

[図3]図３は、本発明の第１の実施の形態に係るＯＮＵにおける光トランシーバの構成を示す図である。

[図4]図４は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおけるバイアス制御部の構成を示す図である。

[図5]図５は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子の電流増倍特性の一例を示す図である。

[図6]図６は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子への逆バイアス電圧および通信品質の関係の一例を示す図である。

[図7]図７は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子への逆バイアス電圧の調整方法の一例を示す図である。

[図8]図８は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

[図9]図９は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける筐体の温度とＣＰＵにおける温度センサの検出温度との関係の測定結果を示す図である。

[図10]図１０は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける２つの温度センサの出力値の関係の測定結果を示す図である。

[図11]図１１は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＲＯＳＡの温度との関係の測定結果を示す図である。

[図12]図１２は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＴＯＳＡの温度との関係の測定結果を示す図である。

[図13]図１３は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＴＲＸ－ＩＣの表面温度との関係の測定結果を示す図である。

[図14]図１４は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＣＰＵの表面温度との関係の測定結果を示す図である。

[図15]図１５は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度と筐体の温度との関係の測定結果を示す図である。

[図16]図１６は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態における環境温度の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。

[図17]図１７は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オフ状態における環境温度の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。

[図18]図１８は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける逆バイアス電圧の制御に用いられるルックアップテーブルの一例を示す図である。

[図19]図１９は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける逆バイアス電圧の制御に用いられるルックアップテーブルの一例を示す図で

ある。

[図20]図２０は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子の制御方法の手順を示すフローチャートである。

[図21]図２１は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および送信オフ状態間の遷移に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。

[図22]図２２は、図２１の一部を拡大した図である。

[図23]図２３は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および送信オフ状態間の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。

[図24]図２４は、図２３の一部を拡大した図である。

[図25]図２５は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および送信オフ状態間の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。

[図26]図２６は、図２５の一部を拡大した図である。

[図27]図２７は、本発明の第２の実施の形態に係るＯＮＵにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

[図28]図２８は、本発明の第２の実施の形態に係る光トランシーバにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 最初に、本発明の実施形態の内容を列記して説明する。

[0021] （１）本発明の実施の形態に係る光トランシーバは、温度センサと、前記温度センサの検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能な集積回路と、発光素子および受光素子を含む光モジュールと、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、前記温度センサ、前記集積回路、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収容し、熱伝導性を有する筐体とを備え、前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記温度センサの検出温度と前記光信号の送信オフ状態における前記温度センサの検出温度との差が２℃より大きく

、前記送信ドライバの消費電力は、前記集積回路の消費電力および前記光モジュールの消費電力より大きい。

[0022] このように、光トランシーバは、熱伝導性を有する筐体内で送信ドライバの消費電力すなわち発熱が支配的であり、この発熱が集積回路および光モジュールの温度上昇を引き起こすような構成である。つまり、光トランシーバでは、大量の消費電力を送信ドライバに与えている状況であり、換言すれば、高い強度の光信号を出力したり、また、高速な光信号を出力したりすることができる。光トランシーバは、バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によってバイアス電圧を調整する下記（５）の光通信装置の使用に適した構成を有している。すなわち、光トランシーバおよび下記（５）の光通信装置は、組み合わせた使用に好適であり、同一のまたは対応する特別な技術的特徴を有している。したがって、本発明の実施の形態に係る光トランシーバでは、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0023] （２）好ましくは、前記送信ドライバは、前記温度センサと前記光モジュールとの間に配置されている。

[0024] このように、温度センサが送信ドライバの影響を受けやすく、かつ光モジュールの正確な温度を温度センサにおいて測定することが困難な配置の光トランシーバにおいて、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0025] （３）好ましくは、前記温度センサおよび前記光モジュール間の距離が前記送信ドライバおよび前記光モジュール間の距離以下である。

[0026] このように、温度センサと光モジュールとを近づけ、温度センサが光モジュールの温度をより正確に模擬できる構成において、送信ドライバによる光モジュールの影響を正確に把握するとともに、受光素子へのバイアス電圧を、受光素子の温度に応じて良好に調整することができる。

[0027] （４）本発明の実施の形態に係る光トランシーバは、第１の温度センサと、第２の温度センサと、発光素子および受光素子を含む光モジュールと、前記第２の温度センサが熱的に結合され、前記発光素子を駆動する送信ドライ

バと、前記第１の温度センサ、前記第２の温度センサ、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収納し、熱伝導性を有する筐体とを備え、前記送信ドライバの駆動率をａとし、前記第１の温度センサの検出温度をＴ１とし、前記第２の温度センサの検出温度をＴ２とし、前記光モジュールの受光部の温度をＴｒとし、前記光モジュールにおける受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとし、前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記筐体の周囲温度が所定温度である状態において、ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａｘとすると、ａが前記最小値および前記最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下である。

[0028] このように、光トランシーバでは、熱伝導性を有する筐体が設けられ、発熱部分すなわち送信ドライバと、第１の温度センサおよび第２の温度センサとの熱結合状態が的確に実現されていることにより、光モジュールにおける受光部の温度Ｔｒの誤差がＴｅｒｒ以下となるような良好な熱結合状態を実現することができる。そして、正確に推定した受光部の温度Ｔｒに対応するバイアス電圧を受光素子に印加することにより、受光素子の温度に応じて増倍率を調整し、最適値を維持することができる。すなわち、光トランシーバは、バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によってバイアス電圧を調整する下記（５）の光通信装置の使用に適した構成を有している。すなわち、光トランシーバおよび下記（５）の光通信装置は、組み合わせた使用に好適であり、同一のまたは対応する特別な技術的特徴を有している。したがって、本発明の実施の形態に係る光トランシーバでは、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0029] （５）本発明の実施の形態に係る光通信装置は、発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサと、前記送信ドライバの駆動率を算出する演算部と、

前記受光素子への前記バイアス電圧を調整する調整部とを備え、前記調整部は、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する。

[0030] このような構成により、光トランシーバが通信状態に応じて異なる動作、具体的には、たとえばバースト光信号のバーストのデューティ比が異なるような動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合であっても、温度センサの検出温度の変動に応じた制御を行なうことができる。具体的には、たとえば、温度センサの検出温度およびデューティ比に応じてルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御を行なうことにより、受光素子へのバイアス電圧を、受光素子の温度に応じて良好に調整することができる。したがって、本発明の実施の形態に係る光通信装置では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0031] （６）本発明の実施の形態に係る受光素子の制御方法は、発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサとを備える光通信装置における受光素子の制御方法であって、前記送信ドライバの駆動率を算出するステップと、前記受光素子への前記バイアス電圧を調整するステップとを含み、前記バイアス電圧を調整するステップにおいて、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する。

[0032] これにより、光トランシーバが通信状態に応じて異なる動作、具体的には、たとえばバースト光信号のバーストのデューティ比が異なるような動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合であっても、温度センサの検出温度の変動に応じた制御を行なうことができる。具体的には、たとえば、温度センサの検出温度およびデューティ比に応じてルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御を行なうことにより、受光素

子へのバイアス電圧を、受光素子の温度に応じて良好に調整することができる。したがって、本発明の実施の形態に係る受光素子の制御方法では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0033] 以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。また、以下に記載する実施の形態の少なくとも一部を任意に組み合わせてもよい。

[0034] ＜第１の実施の形態＞

図１は、本発明の第１の実施の形態に係るＰＯＮシステムの構成を示す図である。

[0035] 図１を参照して、ＰＯＮシステム３０１は、たとえば１０Ｇ－ＥＰＯＮであり、ＯＮＵ２０２Ａ，２０２Ｂ，２０２Ｃと、上位ネットワークに接続された局側装置２０１と、スプリッタＳＰとを備える。ＯＮＵ２０２Ａ，２０２Ｂ，２０２Ｃと局側装置２０１とは、スプリッタＳＰおよび光ファイバＯＰＴＦを介して接続され、互いに光信号を送受信する。

[0036] 図２は、本発明の第１の実施の形態に係るＰＯＮシステムにおけるＯＮＵの構成を示す図である。

[0037] 図２を参照して、ＯＮＵ２０２は、光トランシーバ１０１と、ＰＯＮ受信処理部９２と、バッファメモリ９３と、ＵＮ送信処理部９４と、ＵＮＩ（Ｕｓｅｒ　Ｎｅｔｗｏｒｋ　Ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）ポート９５と、ＵＮ受信処理部９６と、バッファメモリ９７と、ＰＯＮ送信処理部９８と、制御部９９とを備える。

[0038] 光トランシーバ１０１は、たとえばＯＮＵ２０２に対して脱着可能である。光トランシーバ１０１は、局側装置２０１から送信される下り光信号を受信し、電気信号に変換して出力する。

[0039] ＰＯＮ受信処理部９２は、光トランシーバ１０１から受けた電気信号からフレームを再構成するとともに、フレームの種別に応じて制御部９９またはＵＮ送信処理部９４にフレームを振り分ける。具体的には、ＰＯＮ受信処理部９２は、データフレームをバッファメモリ９３経由でＵＮ送信処理部９４

へ出力し、制御フレームを制御部９９へ出力する。

[0040] 制御部９９は、各種制御情報を含む制御フレームを生成し、ＵＮ送信処理部９４へ出力する。

[0041] ＵＮ送信処理部９４は、ＰＯＮ受信処理部９２から受けたデータフレームおよび制御部９９から受けた制御フレームをＵＮＩポート９５経由で図示しないパーソナルコンピュータ等のユーザ端末へ送信する。

[0042] ＵＮ受信処理部９６は、ＵＮＩポート９５経由でユーザ端末から受信したデータフレームをバッファメモリ９７経由でＰＯＮ送信処理部９８へ出力し、ＵＮＩポート９５経由でユーザ端末から受信した制御フレームを制御部９９へ出力する。

[0043] 制御部９９は、ＭＰＣＰおよびＯＡＭ等、局側装置２０１およびＯＮＵ２０２間のＰＯＮ回線の制御および管理に関する宅側処理を行なう。すなわち、ＰＯＮ回線に接続されている局側装置２０１とＭＰＣＰメッセージおよびＯＡＭメッセージをやりとりすることによって、アクセス制御等の各種制御を行なう。制御部９９は、各種制御情報を含む制御フレームを生成し、ＰＯＮ送信処理部９８へ出力する。また、制御部９９は、ＯＮＵ２０２における各ユニットの各種設定処理を行なう。

[0044] ＰＯＮ送信処理部９８は、ＵＮ受信処理部９６から受けたデータフレームおよび制御部９９から受けた制御フレームを光トランシーバ１０１へ出力する。

[0045] 光トランシーバ１０１は、ＰＯＮ送信処理部９８から受けた電気信号であるデータフレームおよび制御フレームを光信号に変換し、局側装置２０１へ送信する。

[0046] 図３は、本発明の第１の実施の形態に係るＯＮＵにおける光トランシーバの構成を示す図である。

[0047] 図３を参照して、光トランシーバ１０１は、バースト送信部１５１と、受信部１５２と、積分回路（演算部）８４とを含む。バースト送信部１５１は、プリアンプ８６と、出力バッファ回路（変調電流供給回路）８７と、バイ

アス電流供給回路８８と、発光回路８９とを含む。発光回路８９は、発光素子ＬＤと、インダクタＬ１，Ｌ２とを含む。受信部１５２は、受光素子ＰＤと、ＴＩＡ（トランスインピーダンスアンプ）８１と、ＬＩＡ（制限アンプ）８２と、バイアス制御部（調整部）８３と、出力バッファ８５とを含む。

[0048] バースト送信部１５１において、プリアンプ８６は、ＵＮ受信処理部９６からのデータフレームおよび制御部９９からの制御フレームである送信データを受けて、当該送信データを増幅して出力する。たとえば、プリアンプ８６は、当該送信データを、信号線ＩＮＰ，ＩＮＮから差動信号として受ける。

[0049] 出力バッファ回路８７は、プリアンプ８６から受けた送信データに基づいて、発光回路８９に変調電流を供給する。この変調電流は、局側装置２０１へ送信すべきデータの論理値に応じた大きさの電流である。

[0050] 発光回路８９は、上り光信号を局側装置２０１へ送信する。発光回路８９において、発光素子ＬＤは、固定電圧たとえば電源電圧Ｖｃｃの供給される電源ノードにインダクタＬ１を介して接続され、また、バイアス電流供給回路８８にインダクタＬ２を介して接続されている。発光素子ＬＤは、バイアス電流供給回路８８から供給されたバイアス電流、および出力バッファ回路８７から供給された変調電流に基づいて発光し、かつ発光強度を変更する。

[0051] バースト送信部１５１では、制御部９９から受けたバースト制御信号に基づいて、プリアンプ８６および出力バッファ回路８７に電力を供給するか否かが切り替えられる。具体的には、バースト制御信号が活性化されている場合にプリアンプ８６および出力バッファ回路８７への電力供給がそれぞれ行なわれ、バースト制御信号が非活性化されている場合に当該電力供給が停止される。

[0052] バイアス電流供給回路８８は、バースト光信号を送信するためのバースト制御信号が活性化されるとバイアス電流の供給を開始する。すなわち、バイアス電流供給回路８８は、制御部９９から受けたバースト制御信号に基づいて、発光回路８９にバイアス電流を供給するか否かを切り替える。ここで、

光トランシーバ１０１では、たとえば、発光素子ＬＤへの変調電流の大きさがゼロの状態において、バイアス電流が発光素子ＬＤに供給されると発光素子ＬＤが発光するように、バイアス電流の値が設定される。

[0053] 積分回路８４は、バースト光信号のバーストのデューティ比を算出する。具体的には、積分回路８４は、たとえば、制御部９９から受けたバースト制御信号を積分し、積分値に応じたレベルを有する電圧Ｖｉをバイアス制御部８３へ出力する。

[0054] 受信部１５２において、受光素子ＰＤは、たとえばアバランシェフォトダイオードである。受光素子ＰＤは、局側装置２０１から受信した光信号を電気信号たとえば電流に変換して出力する。

[0055] ＴＩＡ８１は、受光素子ＰＤから受けた電流を電圧に変換してＬＩＡ８２へ出力する。

[0056] ＬＩＡ８２は、ＴＩＡ８１から受けた電圧のレベルを２値化し、受信データとして出力する。

[0057] 出力バッファ８５は、ＬＩＡ８２から受けた受信データを増幅してＰＯＮ受信処理部９２へ出力する。たとえば、出力バッファ８５は、当該受信データを、差動信号として信号線ＯＵＴＰ，ＯＵＴＮから出力する。

[0058] バイアス制御部８３は、たとえば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＭＰＵ（Micro-Processing Unit）又はＦＰＧＡ（Field-Programmable Gate Array）などの、論理演算処理を行うプロセッサを含む。

バイアス制御部８３は、固定電圧たとえば電源電圧Ｖｃｃの供給される電源ノードに接続され、受光素子ＰＤにバイアス電圧を供給する。バイアス制御部８３は、バイアス電圧の調整機能を有する。

[0059] また、たとえば、発光素子ＬＤは、アセンブリされた発光モジュール（以下、ＴＯＳＡ：Ｔｒａｎｓｍｉｔｔｅｒ　Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｓｕｂ－Ａｓｓｅｍｂｌｙとも称する。）に内蔵されている。また、たとえば、受光素子ＰＤおよびＴＩＡ８１は、アセンブリされた受光モジュール（以下、ＲＯＳＡ：Ｒｅｃｅｉｖｅｒ　Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｓｕｂ－Ａｓｓｅｍｂｌｙとも称す

る。）に内蔵されている。

[0060] 図４は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおけるバイアス制御部の構成を示す図である。

[0061] 図４を参照して、バイアス制御部８３は、ＣＰＵ１１と、抵抗１４と、ＤＣ／ＤＣコンバータ１５とを含む。ＣＰＵ１１は、温度センサ２１と、記憶部２３とを含む。抵抗１４の抵抗値はＲａである。

[0062] 受光素子ＰＤは、ＤＣ／ＤＣコンバータ１５に接続されたカソードと、ＴＩＡ８１の入力端に接続されたアノードとを有する。抵抗１４は、ＣＰＵ１１の出力端およびＤＣ／ＤＣコンバータ１５の入力端に接続された第１端と、接地ノードに接続された第２端とを有する。ＤＣ／ＤＣコンバータ１５およびＴＩＡ８１に電源電圧Ｖｃｃが供給されている。

[0063] 受光素子ＰＤは、局側装置２０１から光ファイバＯＰＴＦ経由で受信した光信号Ｐｉｎ１の強度に応じた電流ＩａｐｄをＴＩＡ８１へ出力する。また、受光素子ＰＤは、逆バイアス電圧Ｖａｐｄによる増倍率Ｍの変更が可能である。

[0064] ＣＰＵ１１は、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。ＣＰＵ１１は、後述するように温度センサ２１の検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能である。

[0065] ＤＣ／ＤＣコンバータ１５は、ＣＰＵ１１による逆バイアス電圧Ｖａｐｄの調整に従って、受光素子ＰＤに逆バイアス電圧Ｖａｐｄを供給する。

[0066] より詳細には、ＣＰＵ１１は、電流Ｉｃｔｒｌを生成して出力する。電流Ｉｃｔｒｌは、抵抗１４によって電圧Ｖｃｔｒｌに変換され、ＤＣ／ＤＣコンバータ１５に供給される。

[0067] ＤＣ／ＤＣコンバータ１５は、ＣＰＵ１１から受けた電圧Ｖｃｔｒｌに基づいて、受光素子ＰＤに逆バイアス電圧Ｖａｐｄを供給する。

[0068] 具体的には、逆バイアス電圧Ｖａｐｄは、ＤＣ／ＤＣコンバータ１５の回路構成で定まる係数Ｋ１，Ｋ２、および電圧Ｖｃｔｒｌを用いて、以下の式（Ｂ１）で表される。

Ｖａｐｄ＝Ｋ１×Ｖｃｔｒｌ＋Ｋ２　・・・（Ｂ１）

[0069] また、抵抗１４の抵抗値をＲａとすると、電圧Ｖｃｔｒｌは、ＣＰＵ１１の出力電流Ｉｃｔｒｌを用いて、以下の式（Ｂ２）で表される。

Ｖｃｔｒｌ＝Ｉｃｔｒｌ×Ｒａ　・・・（Ｂ２）

[0070] 式（Ｂ１）および式（Ｂ２）より、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄは、ＣＰＵ１１の出力電流Ｉｃｔｒｌによって変更されることが分かる。

[0071] たとえば、ＣＰＵ１１は、内蔵するＤ／Ａコンバータによって制御デジタル値から電流Ｉｃｔｒｌへの変換を行なう。このように、ＣＰＵ１１の内蔵部品を利用することにより、光トランシーバ１０１における部品点数を削減することができる。この場合、Ｄ／Ａコンバータに与える制御デジタル値と逆バイアス電圧Ｖａｐｄとの関係は線形関係となる。

[0072] また、受光素子ＰＤの増倍率をＭとし、受光素子ＰＤの受光感度をＲＳ１［Ａ／Ｗ］とし、受光素子ＰＤの受光強度をＰｉｎ１［Ｗ］とすると、受光素子ＰＤの出力電流Ｉａｐｄ［Ａ］は、以下の式（Ｃ１）で表される。

Ｉａｐｄ＝Ｍ×ＲＳ１×Ｐｉｎ１　・・・（Ｃ１）

[0073] 図５は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子の電流増倍特性の一例を示す図である。図５において、横軸は逆バイアス電圧Ｖａｐｄであり、縦軸は出力電流Ｉａｐｄである。

[0074] 図５を参照して、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを大きくするほど、出力電流Ｉａｐｄは大きくなる。すなわち、増倍率Ｍは大きくなる。

[0075] より詳細には、受光素子ＰＤの増倍率Ｍは、逆バイアス電圧Ｖａｐｄが小さいとき、逆バイアス電圧Ｖａｐｄをある一定の範囲で変化させてもアバランシェ増倍が発生せず、一定となる。このときの増倍率Ｍを１とする。

[0076] そして、逆バイアス電圧Ｖａｐｄが、上記範囲に含まれるＶ１から上昇してＶ２になると、逆バイアス電圧ＶａｐｄがＶ１のときと比べて出力電流Ｉａｐｄは１０倍となる。すなわち、逆バイアス電圧ＶａｐｄがＶ２のとき、増倍率Ｍは１０である。

[0077] また、受光素子ＰＤの増倍率Ｍは強い温度特性を有し、図５に示すように、受光素子ＰＤの温度が上昇すると出力電流Ｉａｐｄが小さくなり、受光素子ＰＤの温度が下降すると出力電流Ｉａｐｄが大きくなる。すなわち、受光素子ＰＤの温度が上昇すると、逆バイアス電圧Ｖａｐｄに対する増倍率Ｍが小さくなり、受光素子ＰＤの温度が下降すると、逆バイアス電圧Ｖａｐｄに対する増倍率Ｍが大きくなる。

[0078] 図６は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子への逆バイアス電圧および通信品質の関係の一例を示す図である。図６において、横軸は逆バイアス電圧Ｖａｐｄであり、縦軸はビットエラーレートである。

[0079] 図６を参照して、増倍率Ｍが１０となるような逆バイアス電圧Ｖａｐｄを設定した状態から、逆バイアス電圧Ｖａｐｄを大きくして増倍率Ｍを大きくすると、受光素子ＰＤの周波数帯域が低下し、また、ノイズが増大することにより、Ｓ／Ｎ（Signal to Noise Ratio）比が劣化し、ビットエラーレートが上昇する。

[0080] 一方、増倍率Ｍが１０となるような逆バイアス電圧Ｖａｐｄを設定した状態から、逆バイアス電圧Ｖａｐｄを小さくして増倍率Ｍを小さくすると、受光素子ＰＤの受光感度が小さくなり、より強度の小さい光信号を受信することが困難となるため、Ｓ／Ｎ（Signal to Noise Ratio）比が劣化し、ビットエラーレートが上昇する。

[0081] このように、増倍率Ｍには最適値が存在し、たとえば、１０前後が最適値である。また、図５で説明したように増倍率Ｍは温度特性を有することから、受光素子ＰＤの温度に応じて増倍率Ｍを調整し、最適値を維持する必要がある。

[0082] 再び図４を参照して、そこで、光トランシーバ１０１では、バイアス制御部８３におけるＣＰＵ１１は、増倍率Ｍが目標値となるように出力電流Ｉｃｔｒｌを調整する。

[0083] 図７は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素

子への逆バイアス電圧の調整方法の一例を示す図である。図７において、横軸は温度センサ２１の検出温度であり、縦軸は逆バイアス電圧Ｖａｐｄである。

[0084] たとえば、低温、常温および高温の３つの温度、具体的には０℃、２８℃および７４℃において、増倍率Ｍが最適値となるような逆バイアス電圧Ｖａｐｄを実測する。ここでは、たとえば、発光素子ＬＤによる光信号の送信オン状態、具体的にはバースト制御信号が活性化されて発光素子ＬＤがバイアス電流および変調電流に基づいて発光している状態において測定を行なう。なお、光トランシーバ１０１は、バイアス電流が発光素子ＬＤに供給されている状態において発光素子ＬＤが発光しない構成であってもよい。この場合、光信号の送信オン状態および送信オフ状態は、それぞれ発光素子ＬＤのオン状態およびオフ状態に相当する。

[0085] ここで、たとえばアバランシェフォトダイオードでは、一定の増倍率Ｍに対して、受光素子ＰＤの温度と逆バイアス電圧Ｖａｐｄとの関係が直線近似可能であることが、実験則から得られている。

[0086] これを利用して、測定温度の間を直線で補間することにより、図７に示すような直線の関係を示すルックアップテーブルを作成し、これを用いて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを制御する。

[0087] 具体的には、温度センサ２１の検出温度とＣＰＵ１１に内蔵されたＤ／Ａコンバータの制御デジタル値との対応関係をたとえば２℃ステップで示すルックアップテーブルを作成し、光トランシーバ１０１における記憶部２３に保存する。

[0088] そして、ＣＰＵ１１は、温度センサ２１による検出温度に対応する制御デジタル値をルックアップテーブルから取得してＤ／Ａコンバータに与える。

[0089] これにより、受光素子ＰＤの増倍率Ｍのフィードフォワード制御を行なうことが可能となる。

[0090] 図８は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

[0091] 図８を参照して、光トランシーバ１０１は、筐体Ｋと、子基板Ｂ１と、ＢＯＳＡ（Ｂｉｄｉｒｅｃｔｉｏｎａｌ Ｏｐｔｉｃａｌ Ｓｕｂ－Ａｓｓｅｍｂｌｉｅｓ）光モジュール１３とを備える。

[0092] 光トランシーバ１０１では、たとえば、図示しない親基板に、図２に示す各ユニットが実装されている。また、子基板Ｂ１は、コネクタ１６を介して親基板に接続されている。

[0093] 子基板Ｂ１には、集積回路であるＣＰＵ１１と、集積回路であるＴＲＸ－ＩＣ（Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ）１２と、コネクタ１６とが実装されている。

[0094] 親基板および子基板Ｂ１間で送受信される主信号および制御信号等は、コネクタ１６を介して伝送される。また、図８では、送信側の主信号ライン（ＴＸ）および受信側の主信号ライン（ＲＸ）が代表的に示されている。

[0095] ＴＲＸ－ＩＣ１２は、たとえば、プリアンプ８６と、出力バッファ回路８７と、バイアス電流供給回路８８と、ＬＩＡ８２と、出力バッファ８５とを含む。また、ＴＲＸ－ＩＣ１２は、たとえば温度センサ２２を含む。

[0096] ＢＯＳＡ光モジュール１３は、発光部であるＴＯＳＡおよび受光部であるＲＯＳＡが一体化された光モジュールである。以下、ＢＯＳＡ光モジュール１３におけるＴＯＳＡ部分を単にＴＯＳＡとも称し、ＢＯＳＡ光モジュール１３におけるＲＯＳＡ部分を単にＲＯＳＡとも称する。

[0097] 筐体Ｋは、親基板に実装されており、子基板Ｂ１およびＢＯＳＡ光モジュール１３を収容している。筐体Ｋは、細長形状を有する。ＴＲＸ－ＩＣ１２は、温度センサ２１とＢＯＳＡ光モジュール１３との間に配置されている。より詳細には、筐体Ｋにおいて、コネクタ１６、ＣＰＵ１１、ＴＲＸ－ＩＣ１２およびＢＯＳＡ光モジュール１３がこの順番に並んで配置されており、この配列方向が筐体Ｋの長手方向に沿っている。また、たとえば、ＣＰＵ１１およびＴＲＸ－ＩＣ１２間の距離が、ＢＯＳＡ光モジュール１３およびＴＲＸ－ＩＣ１２間の距離より小さい。

[0098] 筐体Ｋは、熱伝導性を有し、たとえば金属により形成されている。すなわ

ち、筐体Ｋの周囲温度が、筐体Ｋに収容された各部材に均等に影響するように、各部材が熱伝導部材で覆われている。

[0099] ここで、ＴＲＸ－ＩＣ１２の消費電力は、ＣＰＵ１１およびＢＯＳＡ光モジュール１３の消費電力より大きい。より詳細には、筐体Ｋに収容された送信側の回路において、ＴＲＸ－ＩＣ１２における、発光素子ＬＤを駆動する送信ドライバＤＶの消費電力が最も大きい。

[0100] このため、光信号の送信オン状態および送信オフ状態で筐体Ｋの内部温度が大きく変化する。

[0101] たとえば、筐体Ｋでは、ＣＰＵ１１の方がＢＯＳＡ光モジュール１３よりもＴＲＸ－ＩＣ１２に近いため、ＣＰＵ１１における温度センサ２１の検出温度の変化が、ＢＯＳＡ光モジュール１３における受光素子ＰＤの周囲温度の変化よりも大きくなる。

[0102] ここで、送信ドライバＤＶは、プリアンプ８６、出力バッファ回路８７およびバイアス電流供給回路８８のうちの少なくともいずれか１つに相当する。温度センサ２２は、送信ドライバＤＶに熱的に結合されている。

[0103] 前述のような、光信号の送信オン状態における温度センサ２１の検出温度と逆バイアス電圧Ｖａｐｄとの対応関係を示すルックアップテーブルを用いる構成では、光信号の送信オフ状態すなわちバースト制御信号が非活性化された状態において送信ドライバＤＶの消費電力が小さくなり、筐体Ｋの内部温度も小さくなることから、当該ルックアップテーブルの前提とする温度関係が崩れてしまう。すなわち、温度に応じて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを良好に調整することが困難となる。

[0104] 特に、バースト状の光信号を送信するＯＮＵ２０２では、バーストのデューティ比すなわちバーストオンの比率によって当該ルックアップテーブルの関係が崩れることになる。

[0105] なお、ＢＯＳＡ光モジュール１３に温度センサを搭載する方法も考えられるが、温度センサと子基板Ｂ１との接続用の端子をＢＯＳＡ光モジュール１３に新たに設ける必要があり、また、このような温度センサおよび端子を実

装するとＢＯＳＡ光モジュール１３の小型化が困難となることから、通常は、子基板Ｂ１におけるＣＰＵ１１等に内蔵された温度センサを使用する方が容易であり、望ましい。

[0106] 本願発明者は、このような課題を発見し、当該課題の検証を行なった。以下、本願発明者による当該課題の検証内容を詳細に説明する。

[0107] 本検証では、一例として、ＴＯＳＡに放熱シートが設けられており、ＲＯＳＡ、ＣＰＵ１１およびＴＲＸ－ＩＣ１２には放熱シートが設けられていない光トランシーバ１０１を使用した。

[0108] 図９は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける筐体の温度とＣＰＵにおける温度センサの検出温度との関係の測定結果を示す図である。図９において、横軸は筐体の温度であり、縦軸はＣＰＵ１１における温度センサ２１の検出温度である。グラフＧ１は、送信オン状態を示し、グラフＧ２は、送信オフ状態を示す。ここでは、筐体Ｋの温度は、ＴＯＳＡ付近の位置の温度である。

[0109] 図９を参照して、温度センサ２１は、筐体Ｋの温度を示すものとして使用される。より詳細には、温度センサ２１の出力信号をＡ／Ｄコンバータによって変換したデジタル値を所定の変換式に代入し、温度センサ２１の検出温度を算出する。この変換式における係数は、光信号の送信オン状態における低温時および高温時のＡ／Ｄコンバータのデジタル値を用いて算出される。

[0110] グラフＧ１およびＧ２より、送信オフ状態では、送信オン状態で調整された変換式が成立しなくなり、送信オン状態と比べて検出温度が低い方向に約１０℃ずれていることが分かる。

[0111] 図１０は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける２つの温度センサの出力値の関係の測定結果を示す図である。図１０において、横軸はＣＰＵ１１における温度センサ２１の出力デジタル値であり、縦軸はＴＲＸ－ＩＣ１２における温度センサ２２の出力デジタル値である。グラフＧ３は、送信オン状態を示し、グラフＧ４は、送信オフ状態を示す。

[0112] 図１０を参照して、送信オン状態および送信オフ状態のいずれにおいても

、温度センサ２１の出力値および温度センサ２２の出力値には相関があることが分かる。また、図９と同様に、送信オン状態および送信オフ状態でずれがあることが分かる。

[0113] 図１１は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＲＯＳＡの温度との関係の測定結果を示す図である。図１１において、横軸は環境温度であり、縦軸はＲＯＳＡの温度である。グラフＧ５は、送信オン状態を示し、グラフＧ６は、送信オフ状態を示す。

[0114] 図１１を参照して、グラフＧ５およびＧ６より、送信オフ状態では、送信オン状態と比べて測定温度が低い方向に約３℃～４℃ずれていることが分かる。また、低温時と比べて高温時の方がずれが大きいことが分かる。

[0115] 図１２は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＴＯＳＡの温度との関係の測定結果を示す図である。図１２において、横軸は環境温度であり、縦軸はＴＯＳＡの温度である。グラフＧ７は、送信オン状態を示し、グラフＧ８は、送信オフ状態を示す。

[0116] 図１２を参照して、グラフＧ７およびＧ８より、送信オフ状態では、送信オン状態と比べて測定温度が低い方向に約４℃～６℃ずれていることが分かる。また、低温時と比べて高温時の方がずれが大きいことが分かる。

[0117] 図１３は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＴＲＸ－ＩＣの表面温度との関係の測定結果を示す図である。図１３において、横軸は環境温度であり、縦軸はＴＲＸ－ＩＣ１２の表面温度である。グラフＧ９は、送信オン状態を示し、グラフＧ１０は、送信オフ状態を示す。

[0118] 図１３を参照して、グラフＧ９およびＧ１０より、送信オフ状態では、送信オン状態と比べて測定温度が低い方向に約１４℃ずれていることが分かる。また、低温時から高温時にわたって、ずれがほぼ一定であることが分かる。

[0119] 図１４は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度とＣＰＵの表面温度との関係の測定結果を示す図である。図１４におい

て、横軸は環境温度であり、縦軸はＣＰＵ１１の表面温度である。グラフＧ１１は、送信オン状態を示し、グラフＧ１２は、送信オフ状態を示す。

[0120] 図１４を参照して、グラフＧ１１およびＧ１２より、送信オフ状態では、送信オン状態と比べて測定温度が低い方向に約１０℃～１２℃ずれていることが分かる。また、低温時と比べて高温時の方がずれが大きいことが分かる。

[0121] 図１５は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける環境温度と筐体の温度との関係の測定結果を示す図である。図１５において、横軸は環境温度であり、縦軸は筐体の温度である。グラフＧ１３は、送信オン状態を示し、グラフＧ１４は、送信オフ状態を示す。ここでは、筐体Ｋの温度は、ＴＯＳＡ付近の位置の温度である。

[0122] 図１５を参照して、グラフＧ１１およびＧ１２より、送信オフ状態では、送信オン状態と比べて測定温度が低い方向に約３℃～４℃ずれていることが分かる。

[0123] 図１３～図１５より、送信オン状態および送信オフ状態間の温度のずれは、筐体Ｋの方がＣＰＵ１１およびＴＲＸ－ＩＣ１２と比べて小さいことが分かる。すなわち、ＴＯＳＡ自体の消費電力は比較的小さいことが分かる。

[0124] 図１３～図１５より、送信オン状態および送信オフ状態間の温度のずれは、ＴＲＸ－ＩＣ１２の表面が最も大きくなっている。これは、ＴＲＸ－ＩＣ１２の消費電力が、他の回路と比べて大きいことを示している。

[0125] 図１１および図１４より、送信オン状態および送信オフ状態間の温度のずれは、ＲＯＳＡでは小さいのに対して、ＣＰＵ１１の表面では大きくなっている。ＣＰＵ１１は、本来、送信オン状態および送信オフ状態で処理量は大きく変わらないので消費電力の差は小さいはずであり、また、ＴＲＸ－ＩＣ１２と比べて消費電力が小さい。

[0126] 図９および図１５でも同様の現象が見られる。すなわち、送信オン状態および送信オフ状態間の温度のずれが筐体Ｋでは小さいのに対して、筐体Ｋの温度を示すはずの温度センサ２１の検出温度が大きくずれている。

[0127] すなわち、光トランシーバ１０１において、前述のようなルックアップテーブルを用いる構成では、当該ルックアップテーブルの前提とする温度関係が崩れてしまうことから、温度に応じて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを良好に調整することが困難であることが確認された。

[0128] また、図１２～図１４より、送信オン状態および送信オフ状態間の温度のずれは、ＴＯＳＡでは小さいのに対して、ＣＰＵ１１およびＴＲＸ－ＩＣ１２の表面では大きくなっている。

[0129] これは、消費電力の差、および筐体Ｋ内における熱伝導の差等の影響と考えられる。より詳細には、ＣＰＵ１１における温度センサ２１に直接的に伝わる熱は、送信ドライバＤＶからの熱がほとんどであり、筐体Ｋにおいて、送信ドライバＤＶ以外の熱発生および熱伝導は全体として拡散し、また、環境温度が各部材に均等に影響すると考えられる。

[0130] 図１６は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態における環境温度の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。図１６において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ８１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度を示し、グラフＧ８２は、ＣＰＵ１１の表面温度を示し、グラフＧ８３は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ８４は、ＴＯＳＡの温度を示し、グラフＧ８５は、筐体Ｋの温度を示し、グラフＧ８６は、温度センサ２１の検出温度を示す。

[0131] 図１６を参照して、グラフＧ８１～Ｇ８６より、環境温度の変化によって筐体Ｋの温度が変化しており、筐体Ｋにおける各部位の温度は、筐体Ｋの温度に追随して同様に変化していることが分かる。

[0132] 図１７は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オフ状態における環境温度の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。図１７において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ９１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度を示し、グラフＧ９２は、ＣＰＵ１１の表面温度を示し、グラフＧ９３は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ９４は、ＴＯＳＡの温度を示し、グラフＧ９５は、筐体Ｋの温度を示し、グラフＧ９６は、温度

センサ２１の検出温度を示す。

[0133] 図１７を参照して、図１６と同様に、グラフＧ９１～Ｇ９６より、環境温度の変化によって筐体Ｋの温度が変化しており、筐体Ｋにおける各部位の温度は、筐体Ｋの温度に追随して同様に変化していることが分かる。

[0134] また、図９に示す測定結果と同様に、送信オフ状態における温度センサ２１の検出温度は、筐体Ｋの温度に対して大きくずれていることが分かる。

[0135] 図１６および図１７より、図９～図１５から得られた検証結果は、温度の過渡特性においても同様に成り立つことが分かる。

[0136] 以上のような結果から、本願発明者は、以下のような光トランシーバ１０１における逆バイアス電圧Ｖａｐｄの最適な制御方法を考案した。

[0137] 具体的には、光トランシーバ１０１では、図９～図１５に示すいずれの関係も、送信オン状態および送信オフ状態の両方において、低温から高温にわたって線形性が保たれていることに着目し、以下の（１）～（４）に示す方法で逆バイアス電圧Ｖａｐｄを制御する。

[0138] （１）まず、送信オン状態において、増倍率Ｍが最適値となる逆バイアス電圧Ｖａｐｄを生成するためにＣＰＵ１１におけるＤ／Ａコンバータに与える制御デジタル値を複数の温度で記録し、温度と制御デジタル値との関係を直線近似する。

（２）次に、送信オフ状態において、増倍率Ｍが最適値となる逆バイアス電圧Ｖａｐｄを生成するためにＣＰＵ１１におけるＤ／Ａコンバータに与える制御デジタル値を複数の温度で記録し、温度と制御デジタル値との関係を直線近似する。

（３）次に、バースト光信号のバーストのデューティ比を計算する。具体的には、積分回路８４を用いてバースト制御信号を積分する。

（４）次に、デューティ比を変数とする線形演算によって制御デジタル値を決定する。

[0139] 図１８は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける逆バイアス電圧の制御に用いられるルックアップテーブルの一例を示す図である

。

[0140] 図１８を参照して、ルックアップテーブルｔａ１は、上記（１）において作成され、たとえば、温度センサ２１の検出温度が０℃、２８℃および７４℃の状態における測定結果を用いて直線近似を行なった結果を示している。

[0141] 具体的には、ルックアップテーブルｔａ１では、測定温度の間を直線で補間することにより、－３０℃～９４℃にわたって、２℃ステップで制御デジタル値ｘ１～ｘ６３が登録されている。

[0142] 図１９は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける逆バイアス電圧の制御に用いられるルックアップテーブルの一例を示す図である。

[0143] 図１９を参照して、ルックアップテーブルｔａ２は、上記（２）において作成され、たとえば、温度センサ２１の検出温度が０℃、２８℃および７４℃の状態における測定結果を用いて直線近似を行なった結果を示している。

[0144] 具体的には、ルックアップテーブルｔａ２では、測定温度の間を直線で補間することにより、－３０℃～９４℃にわたって、２℃ステップで制御デジタル値ｙ１～ｙ６３が登録されている。

[0145] 上記（４）において、たとえば、温度が３０℃の環境下において、バースト光信号のバーストのデューティ比が１０％である場合、制御デジタル値は、以下の式で表わされる。

制御デジタル値＝ｙ３１＋（ｘ３１－ｙ３１）×０．１

[0146] また、たとえば、温度が－２℃の環境下において、バースト光信号のバーストのデューティ比が８０％である場合、制御デジタル値は、以下の式で表わされる。

制御デジタル値＝ｙ１５＋（ｘ１５－ｙ１５）×０．８

[0147] 光トランシーバ１０１において、送信オン状態における温度センサ２１の検出温度と送信オフ状態における温度センサ２１の検出温度との差が２℃より大きい場合、すなわちルックアップテーブルｔａ１およびｔａ２の制御ステップ幅より大きい場合、上記のような逆バイアス電圧Ｖａｐｄの制御方法

が有用となる。また、たとえば図９に示す測定結果より、送信オン状態および送信オフ状態における温度センサ２１の検出温度の差が８℃以上の場合、上記のような逆バイアス電圧Ｖａｐｄの制御方法がより有用となり、好ましい。

[0148] 再び図４を参照して、バイアス制御部８３は、温度センサ２１の検出温度および積分回路８４によるデューティ比の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数のデューティ比の組み合わせにおける、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。

[0149] ＣＰＵ１１における記憶部２３は、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの目標値と温度とのデューティ比ごとの対応関係を記憶する。バイアス制御部８３は、当該対応関係において温度センサ２１の検出温度に対応する複数の目標値、およびデューティ比の算出結果に基づいて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。

[0150] 具体的には、たとえば、記憶部２３は、上記のようなルックアップテーブルｔａ１およびｔａ２を記憶する。

[0151] ＣＰＵ１１は、ルックアップテーブルｔａ１およびｔａ２を参照し、積分回路８４から受けた電圧Ｖｉ、および温度センサ２１による検出温度に基づいて制御デジタル値を取得し、取得した制御デジタル値に対応する大きさの電流Ｉｃｔｒｌを生成して出力する。

[0152] 図２０は、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバにおける受光素子の制御方法の手順を示すフローチャートである。

[0153] 光トランシーバ１０１における受光素子ＰＤの制御方法では、まず、光信号のバーストのデューティ比ａを算出する。

[0154] 次に、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。この際、温度センサ２１の検出温度およびデューティ比ａの算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数のデューティ比ａの組み合わせにおける、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを

調整する。

[0155] 具体的には、図２０を参照して、まず、ＣＰＵ１１は、温度センサ２１の検出温度Ｔ１を取得する（ステップＳ１）。

[0156] 次に、ＣＰＵ１１は、積分回路８４から受けた電圧Ｖｉに基づいて、バースト光信号のバーストのデューティ比ａを取得する（ステップＳ２）。

[0157] 次に、ＣＰＵ１１は、記憶部２３におけるルックアップテーブルｔａ１を読み出し、送信オン状態の検出温度Ｔ１における逆バイアス電圧Ｖａｐｄの目標値に相当する制御デジタル値Ａをルックアップテーブルｔａ１から取得する（ステップＳ３）。

[0158] 次に、ＣＰＵ１１は、記憶部２３におけるルックアップテーブルｔａ２を読み出し、送信オフ状態の検出温度Ｔ１における逆バイアス電圧Ｖａｐｄの目標値に相当する制御デジタル値Ｂをルックアップテーブルｔａ２から取得する（ステップＳ４）。

[0159] 次に、ＣＰＵ１１は、デューティ比ａ、制御デジタル値Ａおよび制御デジタル値Ｂを用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。具体的には、ＣＰＵ１１は、たとえば以下の式に従い、内蔵するＤ／Ａコンバータの制御デジタル値を算出する（ステップＳ５）。

制御デジタル値＝Ｂ＋（Ａ－Ｂ）×ａ

[0160] なお、図２０に示す手順において、ステップＳ１およびＳ２の順番を入れ替えてもよい。また、ステップＳ２～Ｓ４の一部または全部の順番を入れ替えてもよい。

[0161] 以下、光トランシーバ１０１における温度の近似モデルについて詳細に説明する。まず、環境温度をＴａとし、また、送信オン状態における、ＲＯＳＡの温度をＴｒとし、ＣＰＵ１１の温度をＴｃとし、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度をＴＩとする。

[0162] 図９～図１５に示す送信オン状態の測定結果を直線近似すると、Ｔｒ、ＴＩおよびＴｃは、それぞれ以下の式で表される。

Ｔｒ＝１．０１５７×Ｔａ＋９．５０１３

ＴＩ＝０．９９０６×Ｔａ＋２２．４１３

Ｔｃ＝１．０２８９×Ｔａ＋１７．７０１

[0163] ここで、Ｔｒ＝Ａ×Ｔｃ＋Ｂ×ＴＩと置き、Ｔａ＝－５，７５をそれぞれ代入すると、以下の式（１）が導出できる。

Ｔｒ＝２．４１６３×Ｔｃ－１．４８４４×ＴＩ　・・・（１）

[0164] 次に、送信オフ状態における、ＲＯＳＡの温度をＴｒｄとし、ＣＰＵ１１の温度をＴｃｄとし、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度をＴＩｄとする。

[0165] 図９～図１５に示す送信オフ状態の測定結果を直線近似すると、Ｔｒｄ、ＴＩｄおよびＴｃｄは、それぞれ以下の式で表される。

Ｔｒｄ＝０．９９１１×Ｔａ＋６．６２７

ＴＩｄ＝１．００２７×Ｔａ＋８．３８４１

Ｔｃｄ＝０．９８７７×Ｔａ＋８．１２６１

[0166] ここで、Ｔｒｄ＝Ａｄ×Ｔｃｄ＋Ｂｄ×ＴＩｄと置き、Ｔａ＝－５，７５をそれぞれ代入すると、以下の式（２）～（４）が導出できる。

Ｔｒｄ＝１２．５２１８１×Ｔｃｄ－１１．３４６１×ＴＩｄ　・・・（２）

Ｔｃｄ＝０．９５９９５７×Ｔｃ－８．８６６１０３　・・・（３）

ＴＩｄ＝１．０１２２１５×ＴＩ－１４．３０２６８　・・・（４）

[0167] 式（２）に式（３）および式（４）を代入すると、以下の式（５）が導出できる。

Ｔｒｄ＝１２．０２０４×Ｔｃ－１１．４８４６９×ＴＩ＋５１．２５９９８　・・・（５）

[0168] 式（１）および式（５）より、以下の式（６）が導出できる。

Ｔｒ－Ｔｒｄ＝－９．６０４１×Ｔｃ＋１０．００００２９×ＴＩ＋５１．２５９９８　・・・（６）

[0169] ここで、バースト光信号のバーストのデューティ比を（１００×ａ）％とし、当該デューティ比のときのＲＯＳＡの温度をＴｒ＿ａとすると、Ｔｒ＿ａは以下の式（７）で表される。

Ｔｒ＿ａ＝Ｔｒｄ＋ａ×（Ｔｒ－Ｔｒｄ）　・・・（７）

[0170] 式（５）～（７）より、以下の式が導出できる。

Ｔｒ＿ａ＝（１２．０２０４－９．６０４１×ａ）×Ｔｃ＋（－１１．４８４６９＋１０．０００２９×ａ）×ＴＩ＋（１－ａ）×５１．２５９９８

[0171] 以上より、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの印加先である受光素子ＰＤの温度に相当するＲＯＳＡの温度Ｔｒ＿ａを、ａ、ＴｃおよびＴＩを用いた近似モデルの式により表わすことができた。

[0172] なお、この近似モデルの導出では、測定の都合上、ＣＰＵ１１の表面温度をＴｃとして使用し、ＴＲＸ－ＩＣ１２の表面温度をＴＩとして使用しており、これらは、実際の逆バイアス電圧Ｖａｐｄの制御に用いる温度センサ２１および２２の検出温度とそれぞれ対応するものである。

[0173] 本願発明者は、さらに、温度遷移も含めた上記近似モデルの成立性について検討を行なった。

[0174] 図２１は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および送信オフ状態間の遷移に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。図２１において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ２１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度を示し、グラフＧ２２は、ＣＰＵ１１の表面温度を示し、グラフＧ２３は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ２４は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ２５は、ＴＯＳＡの温度を示し、グラフＧ２６は、筐体Ｋの温度を示し、グラフＧ２７は、環境温度を示し、グラフＧ２８は、温度センサ２１の検出温度を示す。図２１は、－５℃の環境下における測定結果を示している。

[0175] 図２１を参照して、グラフＧ２１～Ｇ２３，Ｇ２５，Ｇ２６より、送信オフ状態から送信オン状態へ切り替えられる時刻ｔ１付近から各部位の温度が上昇していき、約６分で収束している。そして、送信オン状態から送信オフ状態へ切り替えられる時刻ｔ２付近から各部位の温度が下降していき、約６分で収束している。

[0176] 図２２は、図２１の一部を拡大した図である。図２２において、横軸は時

間であり、縦軸は温度である。グラフＧ３１は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ３２は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ３３は、推定誤差を示す温度ペナルティ、すなわちグラフＧ３１およびＧ３２の差分を示す。

[0177] 図２２を参照して、グラフＧ３１～Ｇ３３より、ＲＯＳＡの温度の実測値と計算値との差分は、おおよそ、０℃～＋０．４℃である。

[0178] 図２３は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および送信オフ状態間の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。図２３において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ４１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度を示し、グラフＧ４２は、ＣＰＵ１１の表面温度を示し、グラフＧ４３は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ４４は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ４５は、ＴＯＳＡの温度を示し、グラフＧ４６は、筐体Ｋの温度を示し、グラフＧ４７は、環境温度を示し、グラフＧ４８は、温度センサ２１の検出温度を示す。図２３は、＋２５℃の環境下における測定結果を示している。

[0179] 図２３を参照して、グラフＧ４１～Ｇ４３，Ｇ４５，Ｇ４６より、送信オフ状態から送信オン状態へ切り替えられる時刻ｔ１１付近から各部位の温度が上昇していき、約６分で収束している。そして、送信オン状態から送信オフ状態へ切り替えられる時刻ｔ１２付近から各部位の温度が下降していき、約６分で収束している。

[0180] 図２４は、図２３の一部を拡大した図である。図２４において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ５１は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ５２は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ５３は、推定誤差を示す温度ペナルティ、すなわちグラフＧ５１およびＧ５２の差分を示す。

[0181] 図２４を参照して、グラフＧ５１～Ｇ５３より、ＲＯＳＡの温度の実測値と計算値との差分は、おおよそ、－０．６℃～＋０℃である。

[0182] 図２５は、本発明の第１の実施の形態に係る光信号の送信オン状態および

送信オフ状態間の変化に対する各部位の温度推移の測定結果を示す図である。図２５において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ６１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２の温度を示し、グラフＧ６２は、ＣＰＵ１１の表面温度を示し、グラフＧ６３は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ６４は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ６５は、ＴＯＳＡの温度を示し、グラフＧ６６は、筐体Ｋの温度を示し、グラフＧ６７は、環境温度を示し、グラフＧ６８は、温度センサ２１の検出温度を示す。図２５は、＋７０℃の環境下における測定結果を示している。

[0183] 図２５を参照して、グラフＧ６１～Ｇ６３，Ｇ６５，Ｇ６６より、送信オフ状態から送信オン状態へ切り替えられる時刻ｔ３１付近から各部位の温度が上昇していき、約６分で収束している。そして、送信オン状態から送信オフ状態へ切り替えられる時刻ｔ３２付近から各部位の温度が下降していき、約６分で収束している。

[0184] 図２６は、図２５の一部を拡大した図である。図２６において、横軸は時間であり、縦軸は温度である。グラフＧ７１は、ＲＯＳＡの温度を示し、グラフＧ７２は、ＲＯＳＡの温度の近似式による計算値を示し、グラフＧ７３は、推定誤差を示す温度ペナルティ、すなわちグラフＧ７１およびＧ７２の差分を示す。

[0185] 図２６を参照して、グラフＧ７１～Ｇ７３より、ＲＯＳＡの温度の実測値と計算値との差分は、おおよそ、－０．２℃～＋０．６℃である。

[0186] なお、図２１～図２６では、ＲＯＳＡの温度Ｔｒ＿ａを表す近似モデルとして、以下の式を用いている。この式は、前述した方法と同様の方法により導出可能である。また、状態の切り替えタイミングから温度の収束タイミングまでの時間的な到達率をデューティ比ａとして、近似式による計算を行なっている。

Ｔｒ＿ａ＝（２．１３２４３６＋０．６１８７５１×ａ）×Ｔｃ－（１．１５５５＋０．６０１８×ａ）×ＴＩ＋（ａ－１）×６．７９３５４２

[0187] 図２１～図２６より、低温、常温および高温、具体的には、たとえば－５

℃、２５℃および７０℃において、温度ペナルティは、プラス方向およびマイナス方向ともに０．７℃も無く、温度過渡時、特に高温において若干の変動が見られる程度である。

[0188] 本願発明者は、以上のような検証結果から、ＲＯＳＡの温度Ｔｒ＿ａは、温度遷移の途中を含めて、ａ、Ｔｃおよびｔｉを用いた近似モデルの式により推定可能であり、当該式において時定数を含む項は不要であるとの知見を得た。

[0189] すなわち、光トランシーバ１０１において、光信号のバーストのデューティ比をａとし、温度センサ２１の検出温度をＴ１とし、温度センサ２２の検出温度をＴ２とし、ＢＯＳＡ光モジュール１３の受光部の温度をＴｒとし、ＢＯＳＡ光モジュール１３における受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとする。

[0190] そして、送信オン状態における筐体Ｋの周囲温度が所定温度である状態において、ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａｘとすると、ａが最小値および最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下である。

[0191] たとえば、温度誤差Ｔｅｒｒは、ルックアップテーブルｔａ１およびｔａ２のステップ幅の２℃である。光トランシーバ１０１では、図２１～図２６より、ＲＯＳＡの温度Ｔｒの誤差、すなわち温度ペナルティの絶対値が０．７℃未満である。

[0192] 光トランシーバ１０１では、このようにして推定したＲＯＳＡの温度Ｔｒ＿ａに対応する逆バイアス電圧Ｖａｐｄを受光素子ＰＤに印加することにより、受光素子ＰＤの温度に応じて増倍率Ｍを調整し、最適値を維持することができる。

[0193] すなわち、光トランシーバ１０１では、熱伝導性を有する筐体Ｋが設けられ、発熱部分すなわち送信ドライバＤＶと、温度センサ２１，２２との熱結

合状態が的確に実現されていることにより、ＲＯＳＡの温度Ｔｒの誤差がＴｅｒｒ以下となるような良好な熱結合状態を実現することができる。

[0194] なお、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、ＣＰＵ１１は、温度センサ２１の検出温度に基づいて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する構成であるとしたが、これに限定するものではない。ＣＰＵ１１は、ＴＲＸ－ＩＣ１２における温度センサ２２の検出温度に基づいて逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する構成であってもよい。この場合、たとえば、ルックアップテーブルｔａ１およびｔａ２を、温度センサ２２の検出温度を用いて作成すればよい。

[0195] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、温度センサ２１は、ＣＰＵ１１に内蔵されている構成であるとしたが、これに限定するものではない。温度センサ２１がＣＰＵ１１の外部に設けられる構成であってもよい。

[0196] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、温度センサ２２は、ＴＲＸ－ＩＣ１２に内蔵されている構成であるとしたが、これに限定するものではない。温度センサ２２は、ＴＲＸ－ＩＣ１２に熱的に結合されていればよく、ＴＲＸ－ＩＣ１２の外部に設けられる構成であってもよい。

[0197] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの制御においてバースト光信号のバーストのデューティ比を用いる構成であるとしたが、これに限定するものではない。当該デューティ比に限らず、送信ドライバＤＶの駆動率を示すものであれば他の種類の値を用いてもよい。

[0198] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバは、バイアス制御部８３および積分回路８４を備える構成であるとしたが、これに限定するものではない。バイアス制御部８３および積分回路８４が、ＯＮＵ２０２において、光トランシーバ１０１の外部に設けられる構成であってもよい。

[0199] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバは、温度センサ２

２を備える構成であるとしたが、これに限定するものではなく、温度センサ２２を備えない構成であってもよい。

[0200] また、本発明の第１の実施の形態では、光トランシーバを備えるＯＮＵを例示したが、本発明は、光通信装置に広く適用可能である。また、本発明は、バースト状の光信号を送信する光通信装置に用いると好適である。特に、製造の際は同じ仕様に従って多数製造され、実使用の際は設置場所の環境に応じて個々に受光素子の増倍率が異なることとなる、ＰＯＮシステムにおける宅側装置に用いるとより効果的である。

[0201] ところで、特許文献１に記載の光トランシーバでは、温度センサ、および光トランシーバ内の温度に関するルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御が行なわれる。

[0202] しかしながら、たとえば光トランシーバが通信状態に応じて異なる動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合、上記温度センサの検出温度も変動してしまう。

[0203] このような場合、光トランシーバでは、上記のようなルックアップテーブルを用いたフィードフォワード制御を行なっても、ＡＰＤへの逆バイアス電圧を、ＡＰＤの温度に応じて良好に調整することが困難である。

[0204] これに対して、本発明の第１の実施の形態に係る光通信装置では、送信ドライバＤＶは、発光素子ＬＤを駆動する。受光素子ＰＤは、逆バイアス電圧Ｖａｐｄによる増倍率の変更が可能である。積分回路８４は、送信ドライバＤＶの駆動率ａ、たとえばバースト光信号のバーストのデューティ比ａを算出する。バイアス制御部８３は、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。バイアス制御部８３は、温度センサ２１の検出温度および駆動率ａの算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の駆動率ａの組み合わせにおける、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。

[0205] このような構成により、光通信装置が通信状態に応じて異なる動作、具体的には、たとえばバースト光信号のバーストのデューティ比が異なるような

動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合であっても、温度センサの検出温度の変動に応じた制御を行なうことができる。具体的には、たとえば、温度センサ２１の検出温度およびデューティ比ａに応じてルックアップテーブルｔａ１，ｔａ２を用いたフィードフォワード制御を行なうことにより、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを、受光素子ＰＤの温度に応じて良好に調整することができる。

[0206] したがって、本発明の第１の実施の形態に係る光通信装置では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0207] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、ＣＰＵ１１は、温度センサ２１の検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能である。ＢＯＳＡ光モジュール１３は、発光素子ＬＤおよび受光素子ＰＤを含む。送信ドライバＤＶは、発光素子ＬＤを駆動する。筐体Ｋは、温度センサ２１、ＣＰＵ１１、ＢＯＳＡ光モジュール１３および送信ドライバＤＶを収容し、熱伝導性を有する。送信オン状態における温度センサ２１の検出温度と送信オフ状態における温度センサ２１の検出温度との差が２℃より大きい。送信ドライバＤＶの消費電力は、ＣＰＵ１１の消費電力およびＢＯＳＡ光モジュール１３の消費電力より大きい。

[0208] このように、光トランシーバ１０１は、熱伝導性を有する筐体Ｋ内で送信ドライバＤＶの消費電力すなわち発熱が支配的であり、この発熱が集積回路すなわちＣＰＵ１１、およびＢＯＳＡ光モジュール１３の温度上昇を引き起こすような構成である。つまり、光トランシーバ１０１では、大量の消費電力を送信ドライバＤＶに与えている状況であり、換言すれば、高い強度の光信号を出力したり、また、高速な光信号を出力したりすることができる。

[0209] 光トランシーバ１０１は、上述の逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する光通信装置の使用に適した構成を有している。すなわち、光トランシーバ１０１および光通信装置は、組み合わせた使用に好適であり、同一のまたは対応する特別な技術的特徴を有している。

[0210] したがって、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバ１０１では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0211] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバ１０１では、送信ドライバＤＶは、温度センサ２１とＢＯＳＡ光モジュール１３との間に配置されている。

[0212] このように、温度センサ２１が送信ドライバＤＶの影響を受けやすく、かつＢＯＳＡ光モジュール１３の正確な温度を温度センサ２１において測定することが困難な配置の光トランシーバ１０１において、受光素子ＰＤへのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0213] また、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバでは、ＢＯＳＡ光モジュール１３は、発光素子ＬＤおよび受光素子ＰＤを含む。送信ドライバＤＶは、温度センサ２２が熱的に結合され、発光素子ＬＤを駆動する。筐体Ｋは、温度センサ２１、温度センサ２２、ＢＯＳＡ光モジュール１３および送信ドライバＤＶを収納し、熱伝導性を有する。送信ドライバＤＶの駆動率をａとし、温度センサ２１の検出温度をＴ１とし、温度センサ２２の検出温度をＴ２とし、ＢＯＳＡ光モジュール１３の受光部の温度をＴｒとし、ＢＯＳＡ光モジュール１３における受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとする。そして、送信オン状態における筐体Ｋの周囲温度が所定温度である状態において、ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａｘとすると、ａが最小値および最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下である。

[0214] このように、光トランシーバ１０１では、熱伝導性を有する筐体Ｋが設けられ、発熱部分すなわち送信ドライバＤＶと、温度センサ２１，２２との熱結合状態が的確に実現されていることにより、ＢＯＳＡ光モジュール１３におけるＲＯＳＡの温度Ｔｒの誤差がＴｅｒｒ以下となるような良好な熱結合状態を実現することができる。

[0215] そして、正確に推定したＲＯＳＡの温度Ｔｒに対応する逆バイアス電圧Ｖａｐｄを受光素子ＰＤに印加することにより、受光素子ＰＤの温度に応じて増倍率Ｍを調整し、最適値を維持することができる。

[0216] すなわち、光トランシーバ１０１は、上述の逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する光通信装置の使用に適した構成を有している。すなわち、光通信装置および光トランシーバ１０１は、組み合わせた使用に好適であり、同一のまたは対応する特別な技術的特徴を有している。

[0217] したがって、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバ１０１では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0218] また、本発明の第１の実施の形態に係る受光素子ＰＤの制御方法では、まず、送信ドライバＤＶの駆動率ａを算出する。次に、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する際、温度センサ２１の検出温度および駆動率ａの算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の駆動率ａの組み合わせにおける、逆バイアス電圧Ｖａｐｄの複数の目標値を用いた線形演算によって逆バイアス電圧Ｖａｐｄを調整する。

[0219] これにより、光トランシーバ１０１が通信状態に応じて異なる動作、具体的には、たとえばバースト光信号のバーストのデューティ比が異なるような動作を行い、これに伴って消費電力が変動し、発熱量が変動する場合であっても、温度センサの検出温度の変動に応じた制御を行なうことができる。具体的には、たとえば、温度センサ２１の検出温度およびデューティ比ａに応じてルックアップテーブルｔａ１，ｔａ２を用いたフィードフォワード制御を行なうことにより、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを、受光素子ＰＤの温度に応じて良好に調整することができる。

[0220] したがって、本発明の第１の実施の形態に係る受光素子ＰＤの制御方法では、受光素子へのバイアス電圧を良好に調整することができる。

[0221] 次に、本発明の他の実施の形態について図面を用いて説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0222] ＜第２の実施の形態＞

本実施の形態は、第１の実施の形態に係るＯＮＵと比べて配置を変更したＯＮＵに関する。以下で説明する内容以外は第１の実施の形態に係るＯＮＵと同様である。

[0223] 図２７は、本発明の第２の実施の形態に係るＯＮＵにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

[0224] 図２７を参照して、ＯＮＵ２１２は、親基板Ｂ１１を備える。親基板Ｂ１１には、光トランシーバ１１１と、ＭＡＣ－ＩＣ３１と、ＰＨＹ－ＩＣ３２と、ＬＡＮコネクタ３３と、電源回路３４とが実装されている。

[0225] すなわち、ＯＮＵ２１２は、子基板を備えない構成であり、光トランシーバ１１１が親基板Ｂ１１に直接実装されている。

[0226] たとえば、ＭＡＣ－ＩＣ３１、ＰＨＹ－ＩＣ３２およびＬＡＮコネクタ３３は、図２に示すＯＮＵ２０２の各ユニットのうち、光トランシーバ１０１以外に相当する。電源回路３４は、ＯＮＵ２１２における各ユニットに電力を供給する。

[0227] 図２８は、本発明の第２の実施の形態に係る光トランシーバにおける各部品の配置の一例を概略的に示す図である。

[0228] 図２８を参照して、光トランシーバ１１１では、ＣＰＵ１１と、ＴＲＸ－ＩＣ１２と、ＢＯＳＡ光モジュール１３とが、金属シールドＳＤ１によって覆われている。

[0229] 温度センサ２１およびＢＯＳＡ光モジュール１３間の距離は、ＴＲＸ－ＩＣ１２およびＢＯＳＡ光モジュール１３間の距離以下である。

[0230] より詳細には、たとえば、ＣＰＵ１１は、ＢＯＳＡ光モジュール１３の近傍に、かつＴＲＸ－ＩＣ１２から離れた位置に配置されている。

[0231] また、ＴＲＸ－ＩＣ１２およびＢＯＳＡ光モジュール１３の配列方向とＣＰＵ１１およびＢＯＳＡ光モジュール１３の配列方向とが交差している。

[0232] また、金属シールドＳＤ１の長手方向の両端部付近にそれぞれＴＲＸ－ＩＣ１２およびＢＯＳＡ光モジュール１３が配置されており、金属シールドＳ

Ｄ１の長手方向の中間部かつ短手方向の一方の端部付近にＣＰＵ１１が配置されている。

[0233] このような配置の光トランシーバ１１１についても、本発明の第１の実施の形態に係る光トランシーバ１０１と同様の逆バイアス電圧Ｖａｐｄの制御を適用することが可能である。

[0234] 以上のように、本発明の第２の実施の形態に係る光トランシーバでは、温度センサ２１およびＢＯＳＡ光モジュール１３間の距離が送信ドライバＤＶおよびＢＯＳＡ光モジュール１３間の距離以下である。

[0235] このように、温度センサ２１とＢＯＳＡ光モジュール１３とを近づけ、温度センサ２１がＢＯＳＡ光モジュール１３の温度をより正確に模擬できる構成において、送信ドライバＤＶによるＢＯＳＡ光モジュール１３の影響を正確に把握するとともに、受光素子ＰＤへの逆バイアス電圧Ｖａｐｄを、受光素子ＰＤの温度に応じて良好に調整することができる。

[0236] その他の構成および動作は第１の実施の形態に係るＯＮＵと同様であるため、ここでは詳細な説明を繰り返さない。

[0237] 上記実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記説明ではなく請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

[0238] 以上の説明は、以下に付記する特徴を含む。

[0239] ［付記１］

温度センサと、

前記温度センサの検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能な集積回路と、

発光素子および受光素子を含む光モジュールと、

前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

前記温度センサ、前記集積回路、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収容し、熱伝導性を有する筐体とを備え、

前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記温度センサの検出温度と前記光信号の送信オフ状態における前記温度センサの検出温度との差が２℃より大きく、

前記送信ドライバの消費電力は、前記集積回路の消費電力および前記光モジュールの消費電力より大きく、

前記集積回路は、前記温度センサを含み、

前記受光素子は、バイアス電圧による増倍率の変更が可能であり、

前記光信号は、バースト状の光信号であり、

ＰＯＮシステムにおける宅側装置に用いられる、光トランシーバ。

[0240] ［付記２］

第１の温度センサと、

第２の温度センサと、

発光素子および受光素子を含む光モジュールと、

前記第２の温度センサが熱的に結合され、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

前記第１の温度センサ、前記第２の温度センサ、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収納し、熱伝導性を有する筐体とを備え、

前記送信ドライバの駆動率をａとし、

前記第１の温度センサの検出温度をＴ１とし、

前記第２の温度センサの検出温度をＴ２とし、

前記光モジュールの受光部の温度をＴｒとし、

前記光モジュールにおける受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとし、

前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記筐体の周囲温度が所定温度である状態において、

ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、

ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａ

ｘとすると、

ａが前記最小値および前記最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下であり、

前記受光素子は、バイアス電圧による増倍率の変更が可能であり、

前記光信号は、バースト状の光信号であり、

ＰＯＮシステムにおける宅側装置に用いられる、光トランシーバ。

[0241] ［付記３］

発光素子と、

前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、

温度センサと、

前記送信ドライバの駆動率を算出する演算部と、

前記受光素子への前記バイアス電圧を調整する調整部とを備え、

前記調整部は、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧の調整を行い、

さらに、

前記バイアス電圧の目標値と温度との前記駆動率ごとの対応関係を記憶する記憶部を備え、

前記調整部による前記バイアス電圧の調整は、前記対応関係において前記温度センサの検出温度に対応する複数の前記目標値、および前記駆動率の算出結果に基づいて行われ、

前記発光素子によりバースト状の光信号が送信され、

前記駆動率は、前記光信号のバーストのデューティ比であり、

ＰＯＮシステムにおける宅側装置である、光通信装置。

符号の説明

[0242] １１　ＣＰＵ

１２　ＴＲＸ－ＩＣ

１３　ＢＯＳＡ光モジュール

１４　抵抗

１５　ＤＣ／ＤＣコンバータ

１６　コネクタ

２１，２２　温度センサ

２３　記憶部

３１　ＭＡＣ－ＩＣ

３２　ＰＨＹ－ＩＣ

３３　ＬＡＮコネクタ

３４　電源回路

３６　バイアス制限部

８１　ＴＩＡ

８２　ＬＩＡ

８３　バイアス制御部（調整部）

８４　積分回路（演算部）

８５　出力バッファ

８６　プリアンプ

８７　出力バッファ回路（変調電流供給回路）

８８　バイアス電流供給回路

８９　発光回路

９２　ＰＯＮ受信処理部

９３　バッファメモリ

９４　ＵＮ送信処理部

９５　ＵＮＩポート

９６　ＵＮ受信処理部

９７　バッファメモリ

９８　ＰＯＮ送信処理部

９９　制御部

１０１，１１１　光トランシーバ

１５１　バースト送信部

１５２　受信部

２０１　局側装置

２０２，２０２Ａ，２０２Ｂ，２０２Ｃ，２１２　ＯＮＵ

３０１　ＰＯＮシステム

Ｂ１　子基板

Ｂ１１　親基板

ＳＤ１　金属シールド

ＳＰ　スプリッタ

ＯＰＴＦ　光ファイバ

ＬＤ　発光素子

Ｌ１，Ｌ２　インダクタ

ＰＤ　受光素子

請求の範囲

[請求項1] 温度センサと、

前記温度センサの検出温度を用いた演算処理を行なうことが可能な集積回路と、

発光素子および受光素子を含む光モジュールと、

前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

前記温度センサ、前記集積回路、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収容し、熱伝導性を有する筐体とを備え、

前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記温度センサの検出温度と前記光信号の送信オフ状態における前記温度センサの検出温度との差が２℃より大きく、

前記送信ドライバの消費電力は、前記集積回路の消費電力および前記光モジュールの消費電力より大きい、光トランシーバ。

[請求項2] 前記送信ドライバは、前記温度センサと前記光モジュールとの間に配置されている、請求項１に記載の光トランシーバ。

[請求項3] 前記温度センサおよび前記光モジュール間の距離が前記送信ドライバおよび前記光モジュール間の距離以下である、請求項１に記載の光トランシーバ。

[請求項4] 第１の温度センサと、

第２の温度センサと、

発光素子および受光素子を含む光モジュールと、

前記第２の温度センサが熱的に結合され、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

前記第１の温度センサ、前記第２の温度センサ、前記光モジュールおよび前記送信ドライバを収納し、熱伝導性を有する筐体とを備え、

前記送信ドライバの駆動率をａとし、

前記第１の温度センサの検出温度をＴ１とし、

前記第２の温度センサの検出温度をＴ２とし、

前記光モジュールの受光部の温度をＴｒとし、

前記光モジュールにおける受光部の制御のために許容される温度誤差をＴｅｒｒとし、

前記発光素子による光信号の送信オン状態における前記筐体の周囲温度が所定温度である状態において、

ａが最小値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍｉｎとし、

ａが最大値であるときのＴ１およびＴ２から推定できるＴｒの値をＴｍａｘとすると、

ａが前記最小値および前記最大値の中間値であるときにＴｍｉｎおよびＴｍａｘをａで内分することによって求まるＴｒの推定値に対する、Ｔｒの実測値の誤差がＴｅｒｒ以下である、光トランシーバ。

[請求項5] 発光素子と、

前記発光素子を駆動する送信ドライバと、

バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、

温度センサと、

前記送信ドライバの駆動率を算出する演算部と、

前記受光素子への前記バイアス電圧を調整する調整部とを備え、

前記調整部は、前記温度センサの検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する、光通信装置。

[請求項6] 発光素子と、前記発光素子を駆動する送信ドライバと、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、温度センサとを備える光通信装置における受光素子の制御方法であって、

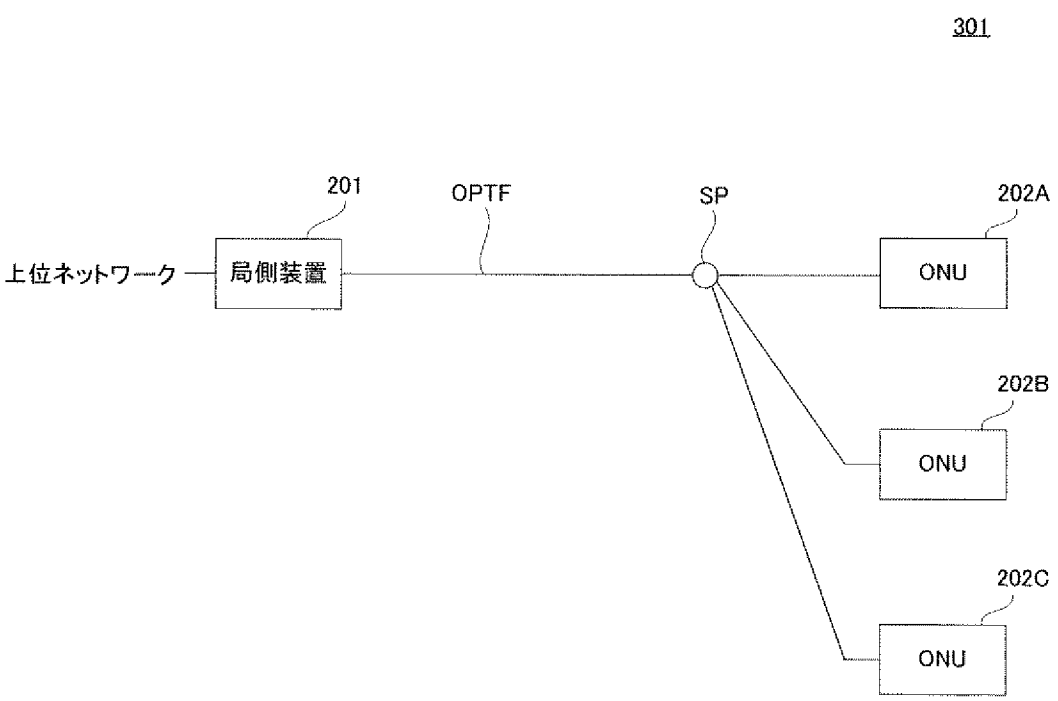
前記送信ドライバの駆動率を算出するステップと、

前記受光素子への前記バイアス電圧を調整するステップとを含み、

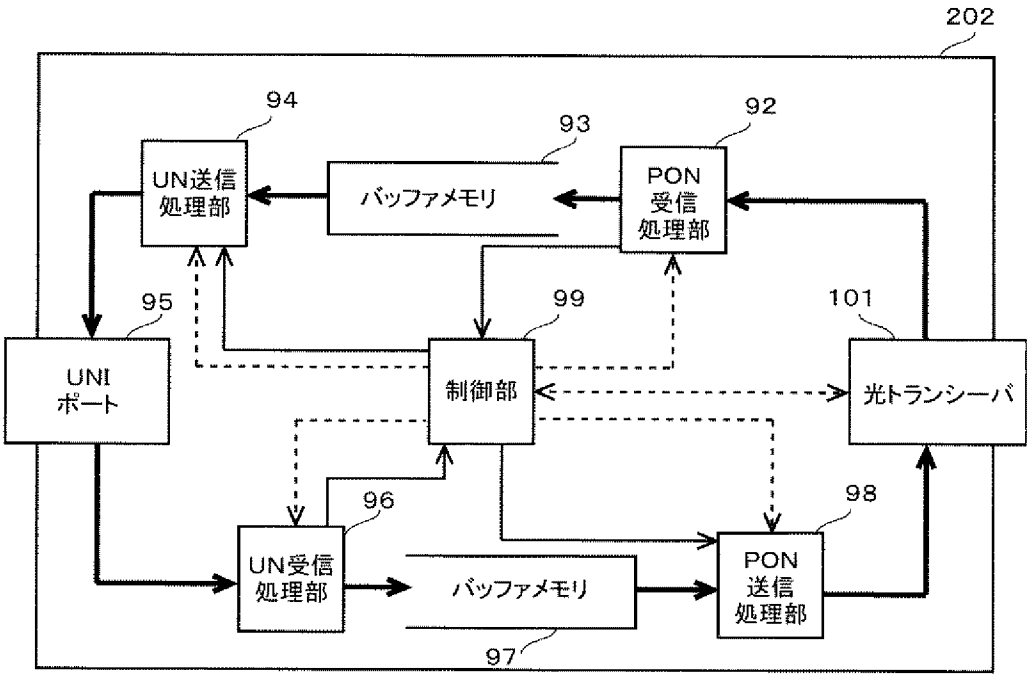
前記バイアス電圧を調整するステップにおいて、前記温度センサの

検出温度および前記駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の前記駆動率の組み合わせにおける、前記バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によって前記バイアス電圧を調整する、受光素子の制御方法。

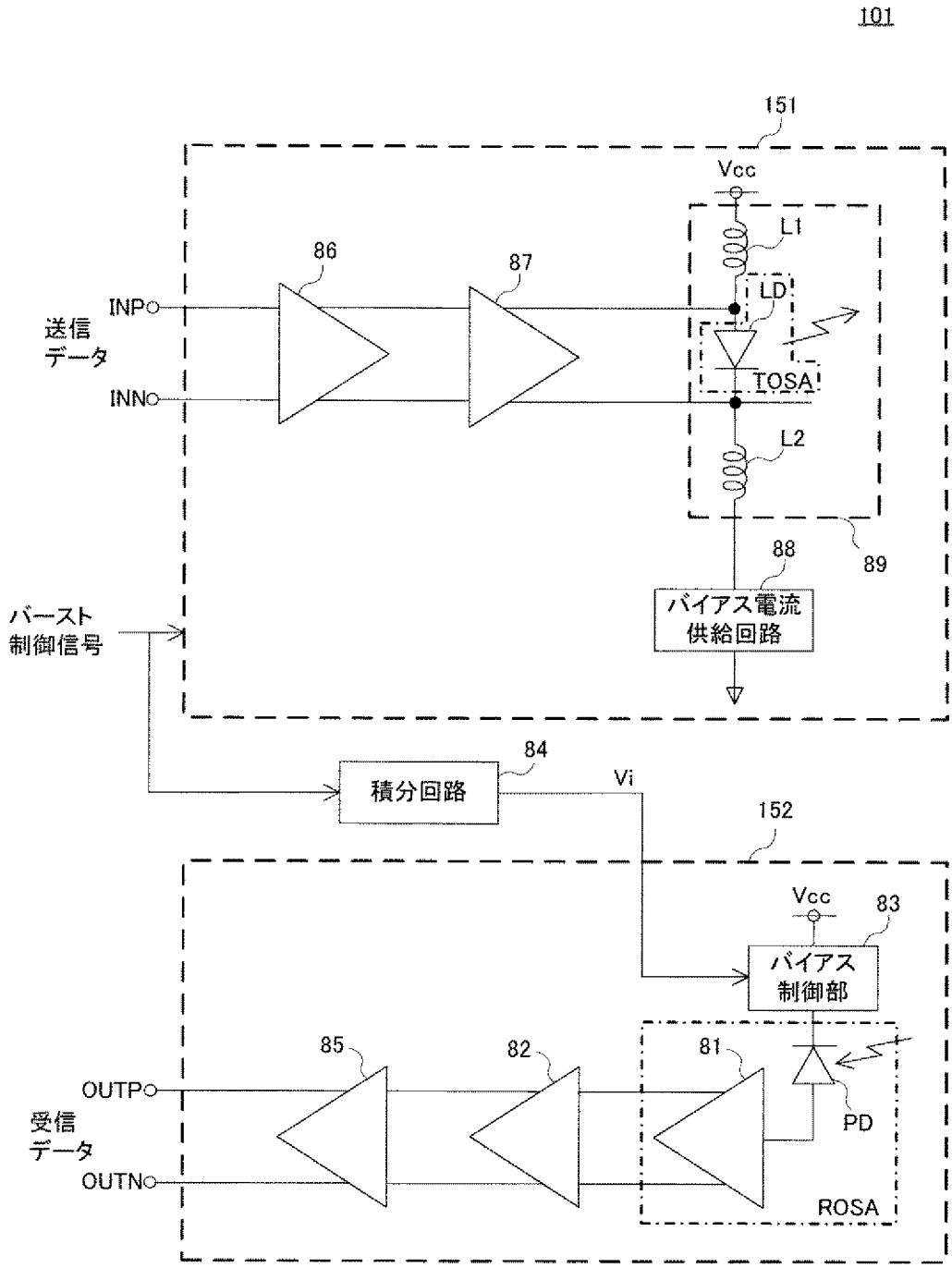
[図1]


301
201
OPTF
SP
202A
上位ネットワーク
局側装置
ONU
202B
ONU
202C
ONU

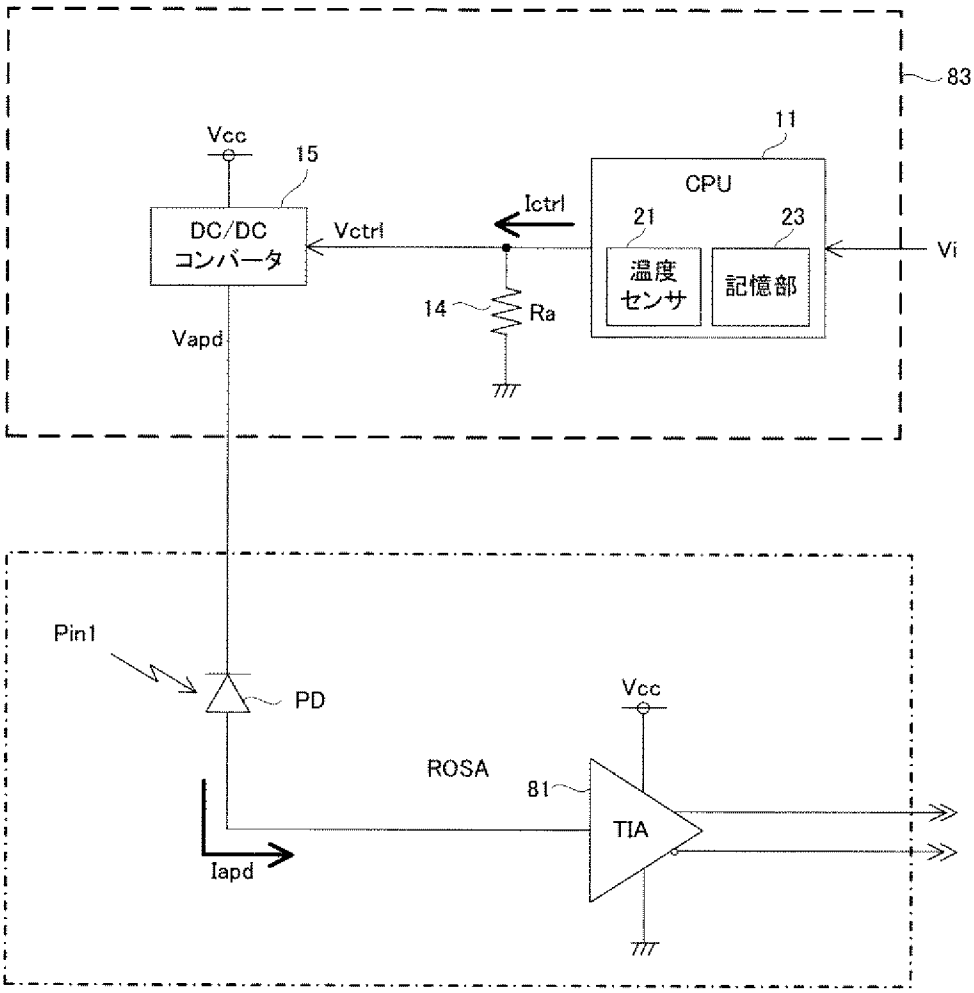
[図2]


202
94
93
92
UN送信
処理部
バッファメモリ
PON
受信
処理部
95
99
101
UNI
ポート
制御部
光トランシーバ
96
98
UN受信
処理部
バッファメモリ
PON
送信
処理部
97

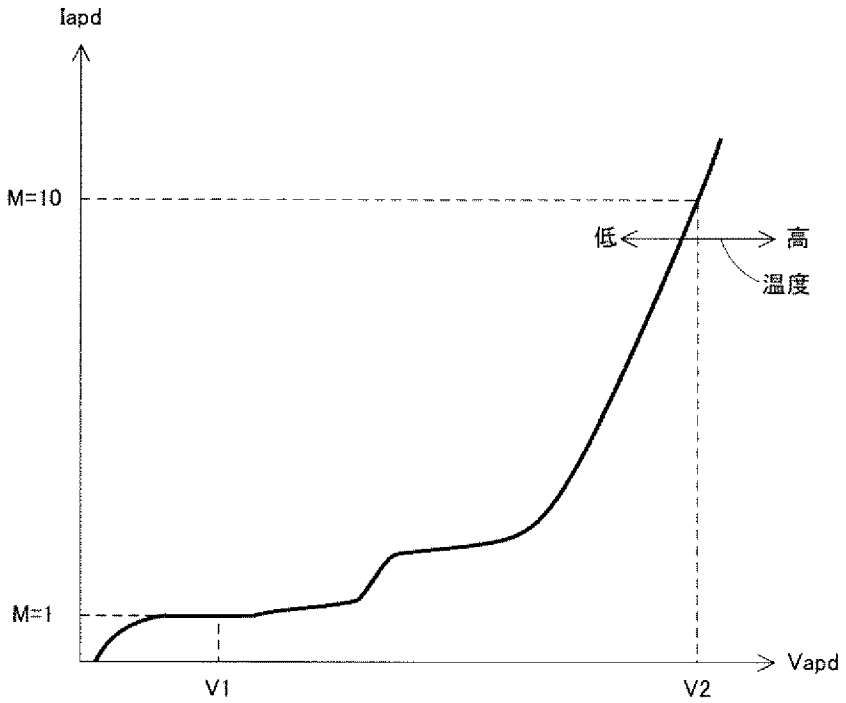
[図3]


101
151
Vcc
L1
86
87
LD
INP
送信
データ
TOSA
INN
L2
89
88
バイアス電流
供給回路
バースト
制御信号
84
積分回路
Vi
152
Vcc
83
バイアス
制御部
85
82
81
PD
OUTP
受信
データ
OUTN
ROSA

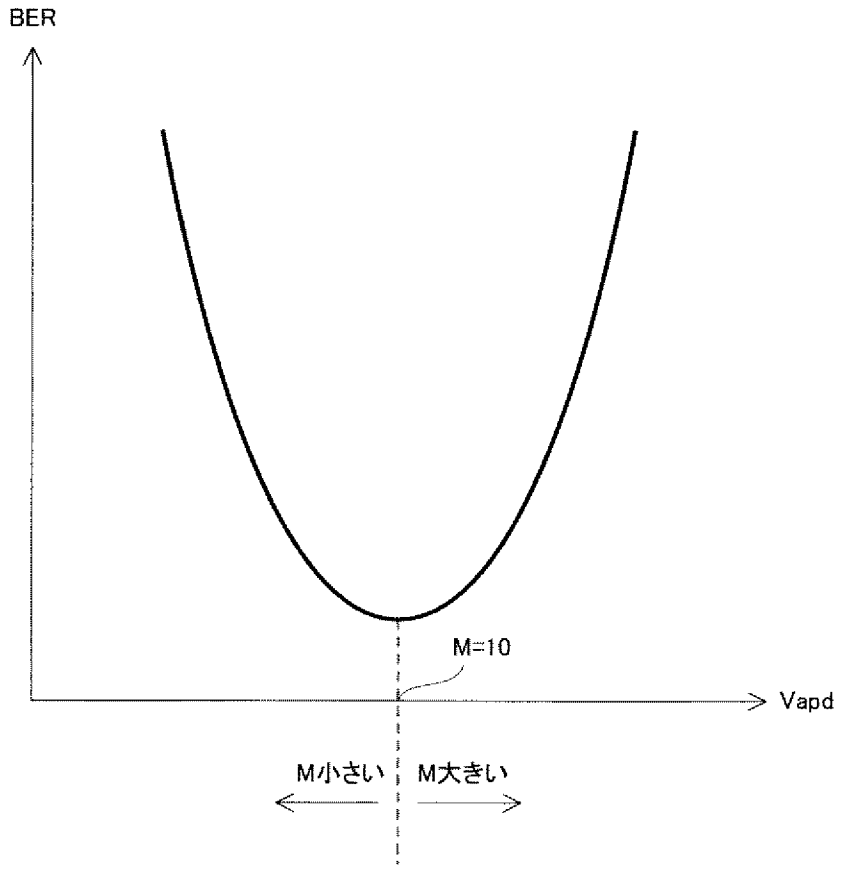
[図4]


83
11
Vcc
15
CPU
Ictrl
21
23
DC/DC
コンバータ
Vctrl
温度
センサ
記憶部
Vi
14
Ra
Vapd
Pin1
PD
Vcc
ROSA
81
TIA
Iapd

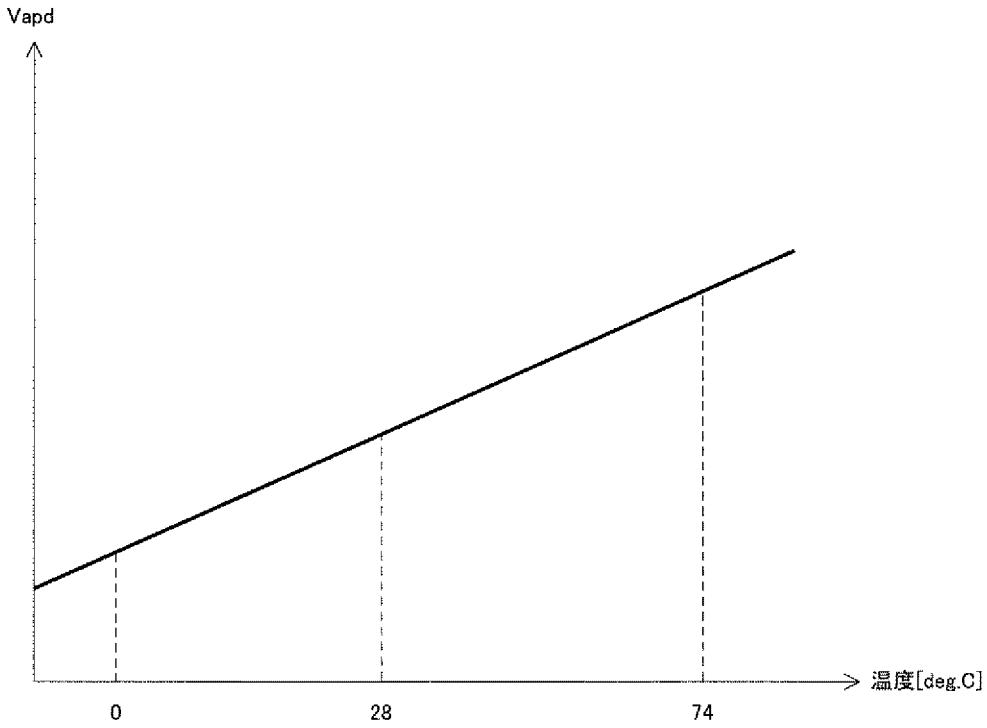
[図5]



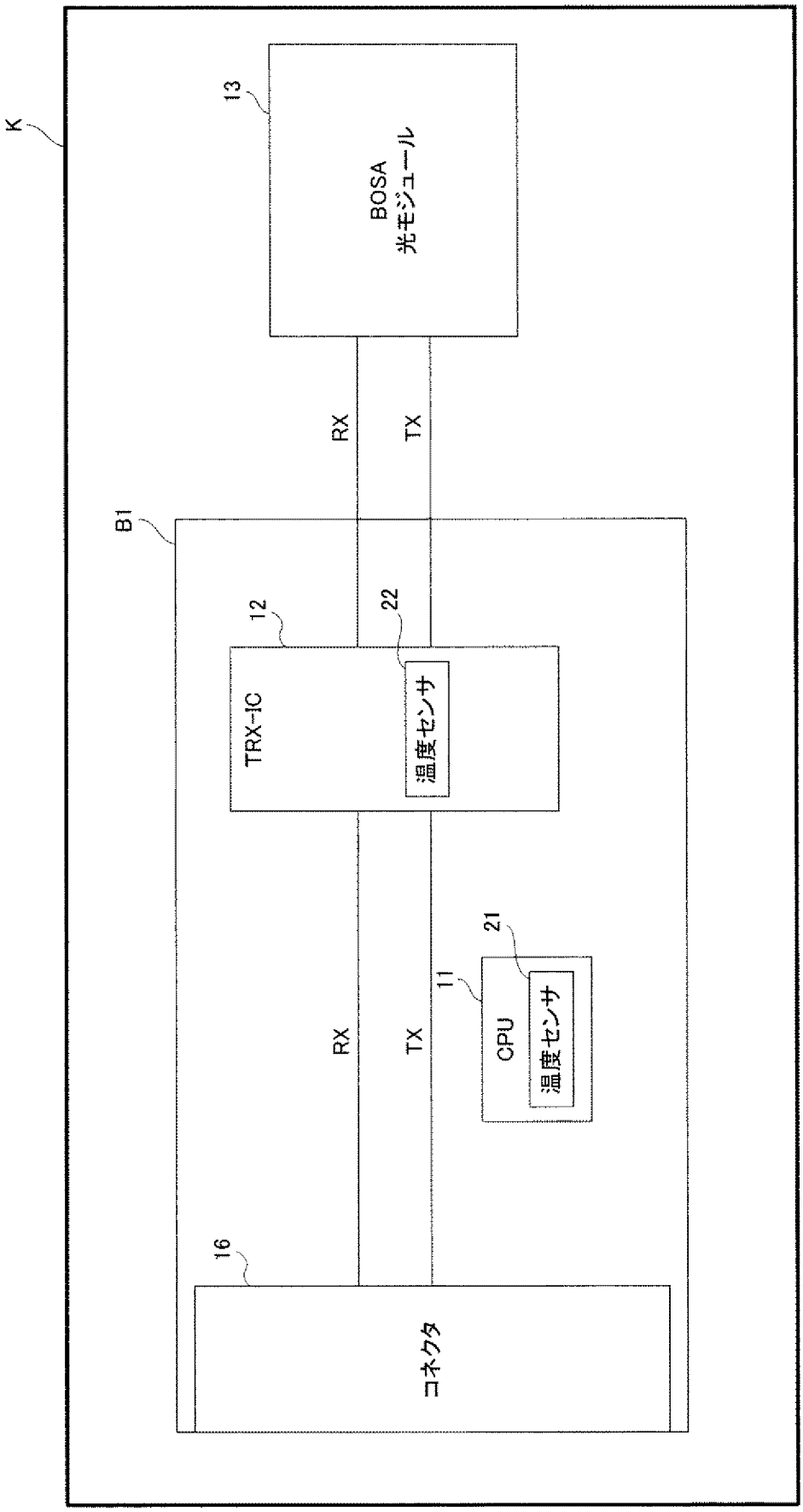
[図6]



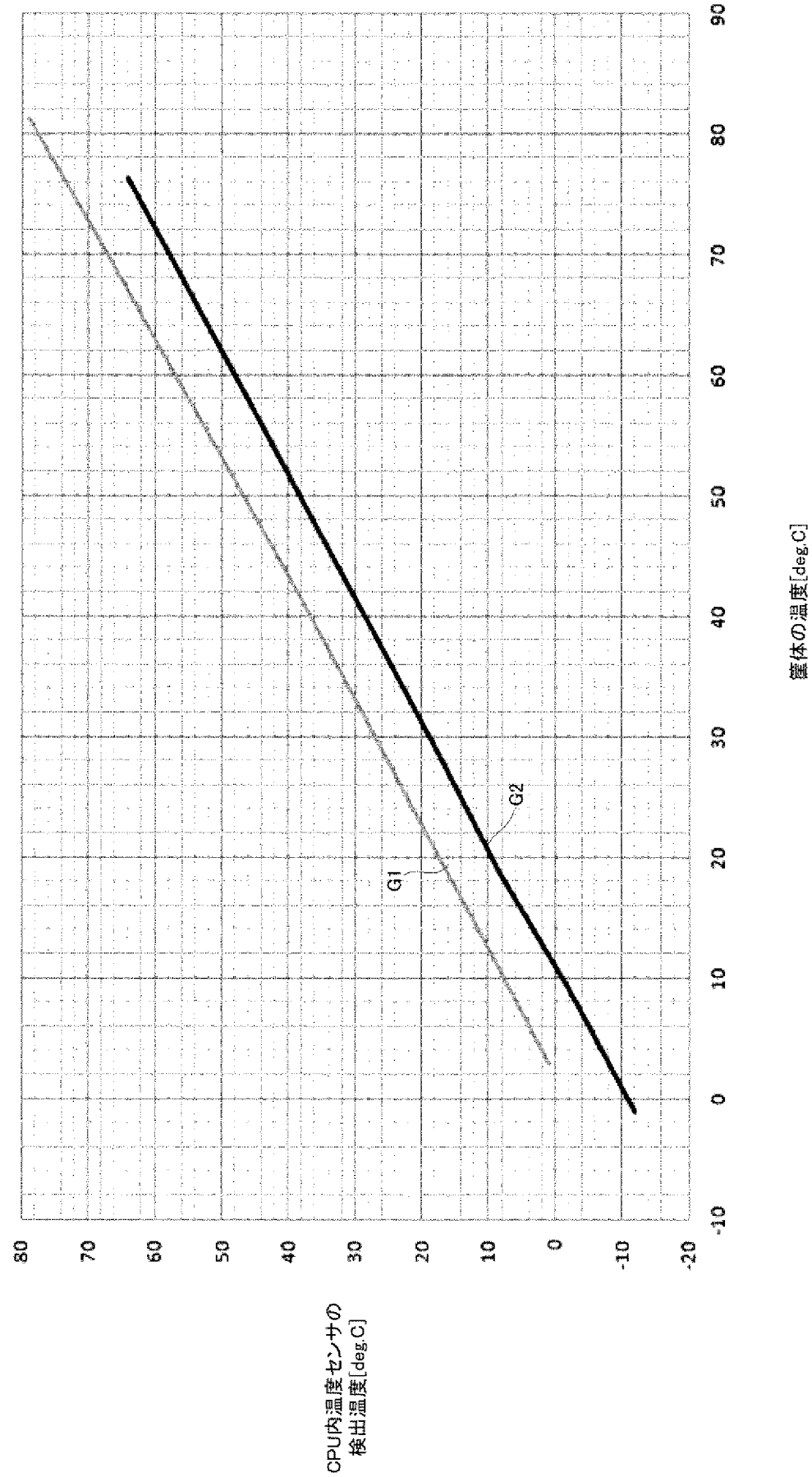
[図7]



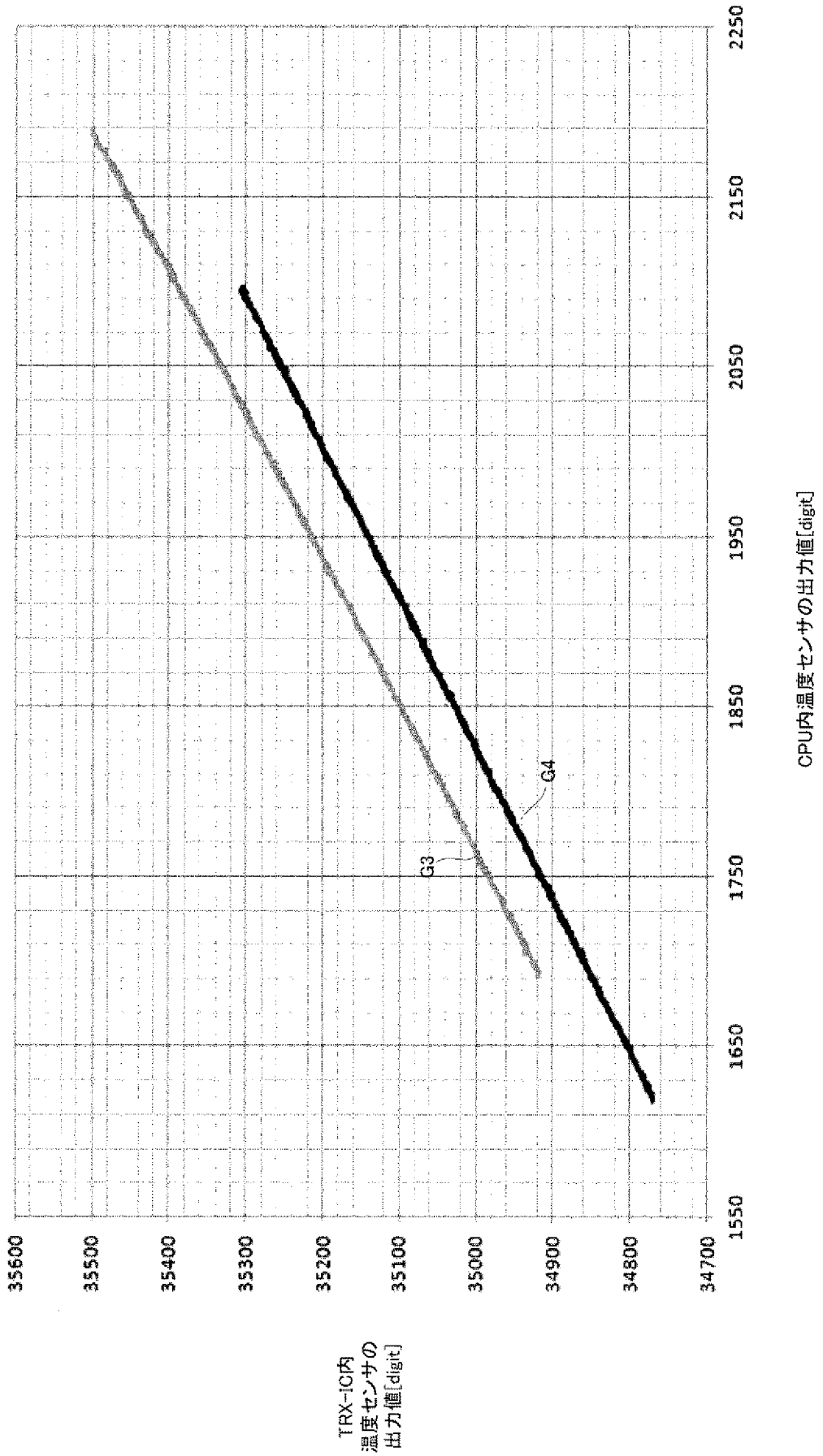
[図8]


K
13
BOSA
光モジュール
RX
TX
B1
12
22
TRX-IC
温度センサ
RX
TX
11
21
CPU
温度センサ
16
コネクタ

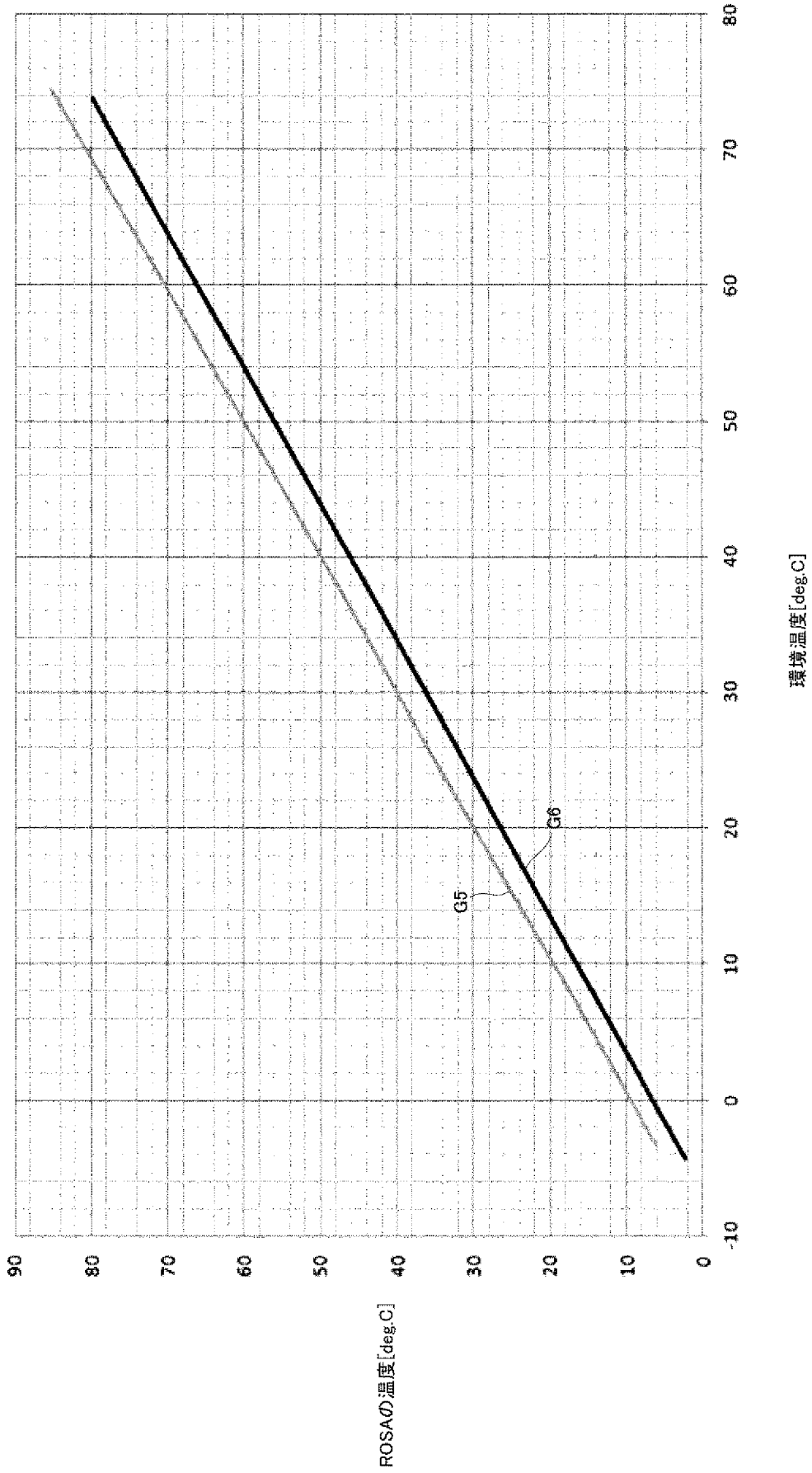
[図9]


CPU内温度センサの
検出温度[deg.C]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
G1
G2
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
筐体の温度[deg.C]

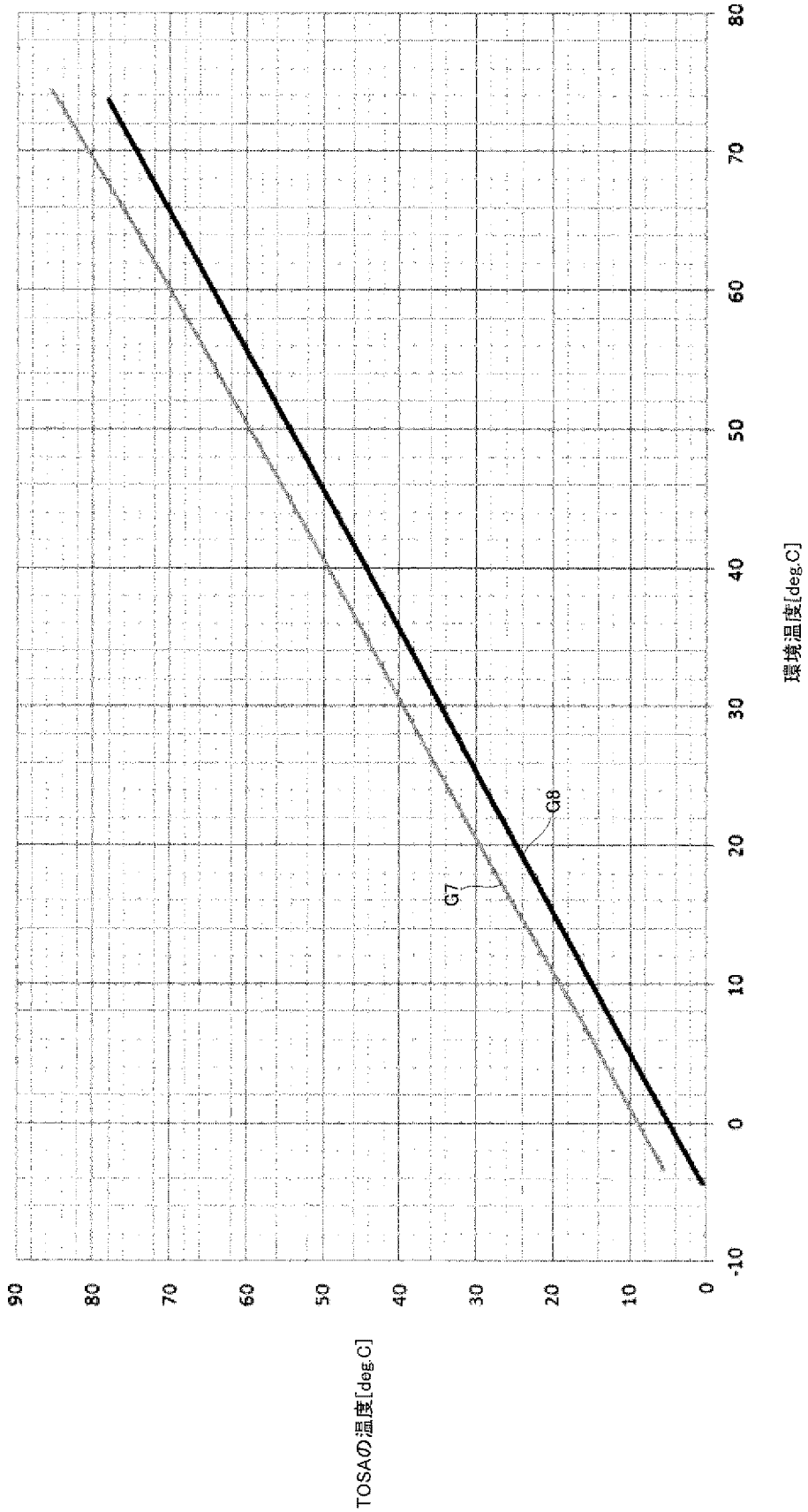
[図10]


TRX-IC内
温度センサの
出力値[digit]
35600
35500
35400
35300
35200
35100
35000
34900
34800
34700
1550
1650
1750
1850
1950
2050
2150
2250
CPU内温度センサの出力値[digit]
G3
G4

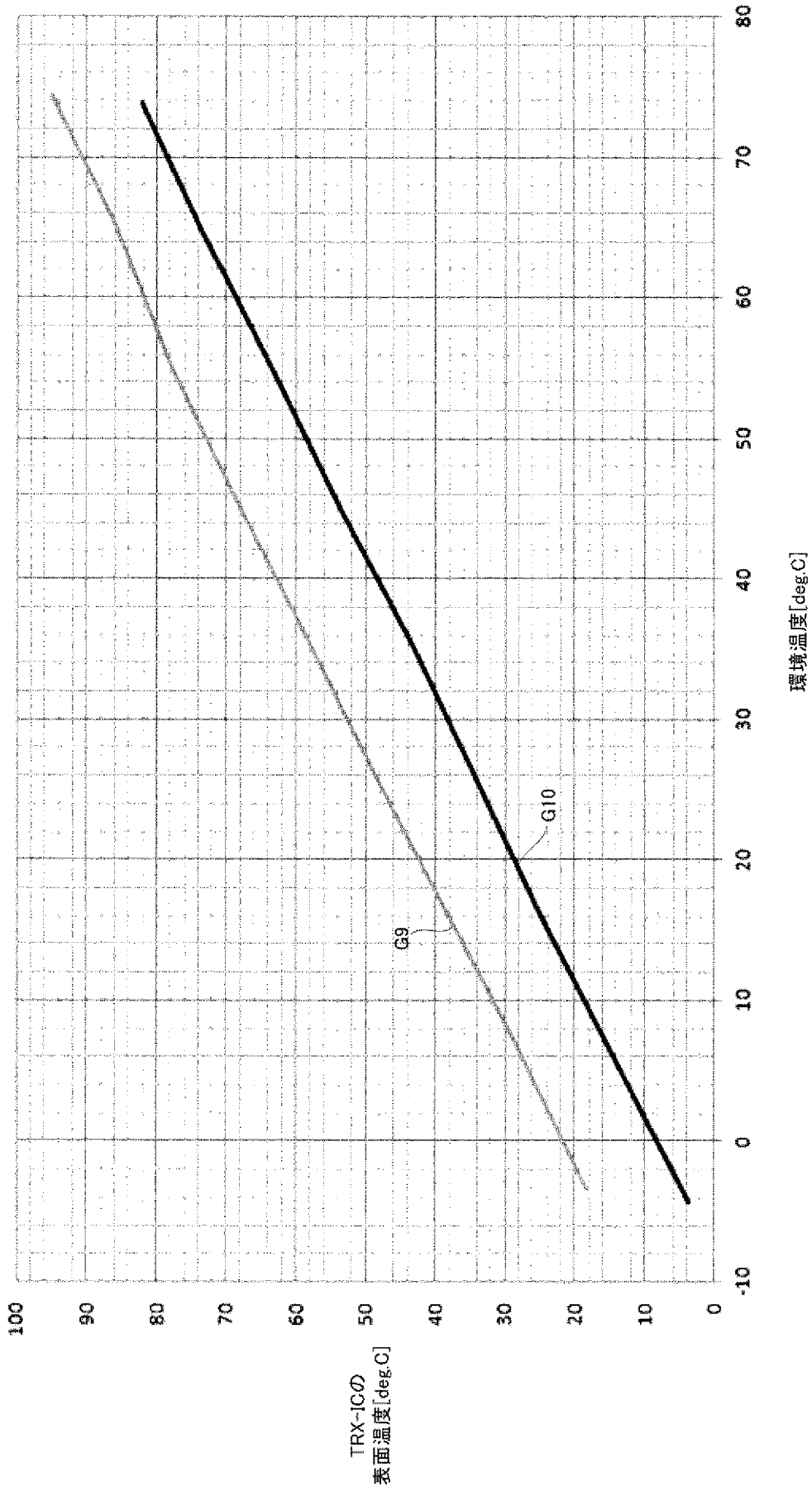
[図11]


ROSAの温度[deg.C]
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
環境温度[deg.C]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
G5
G6

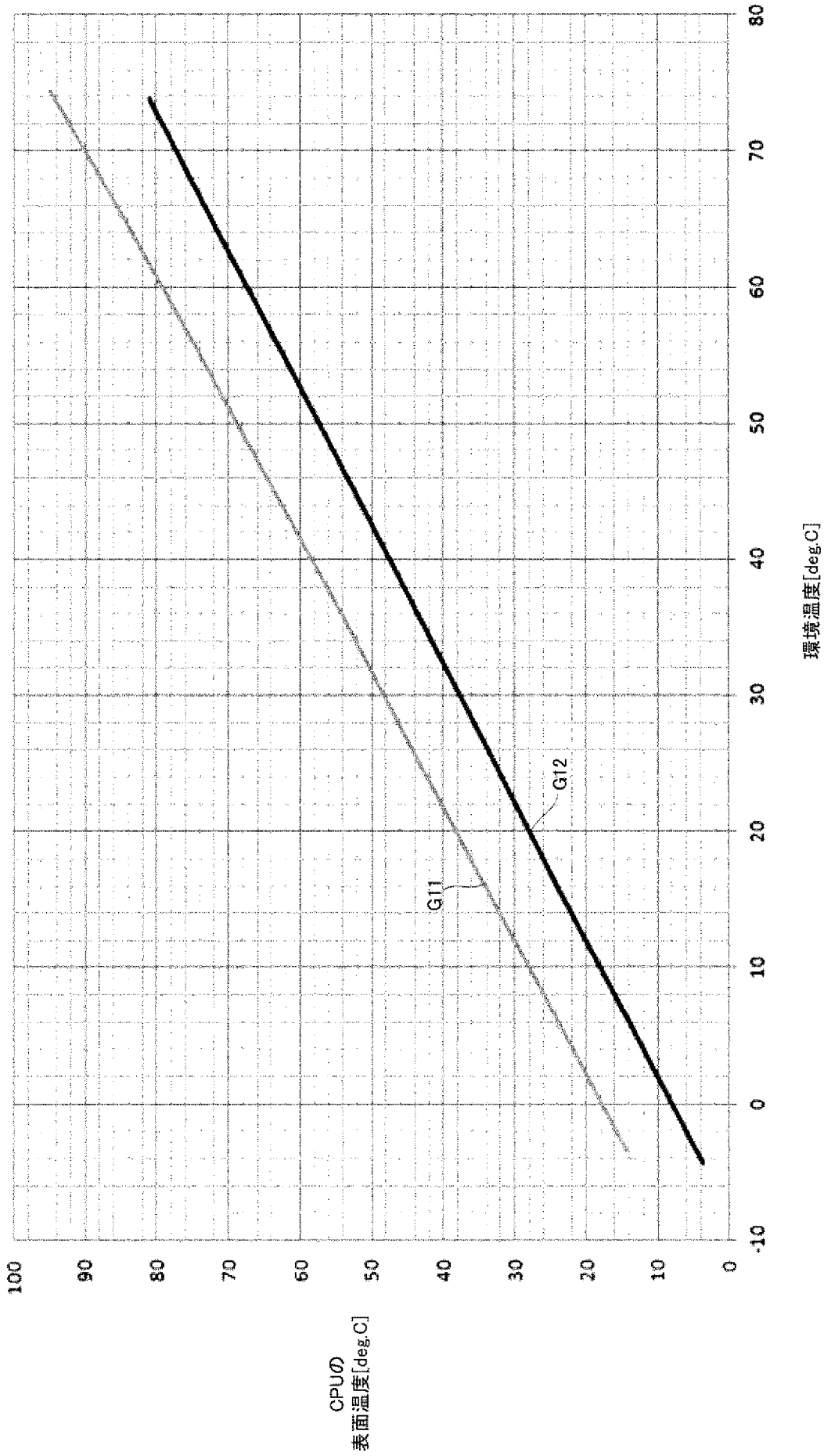
[図12]


TOSAの温度[deg.C]
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
環境温度[deg.C]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
G8
G7

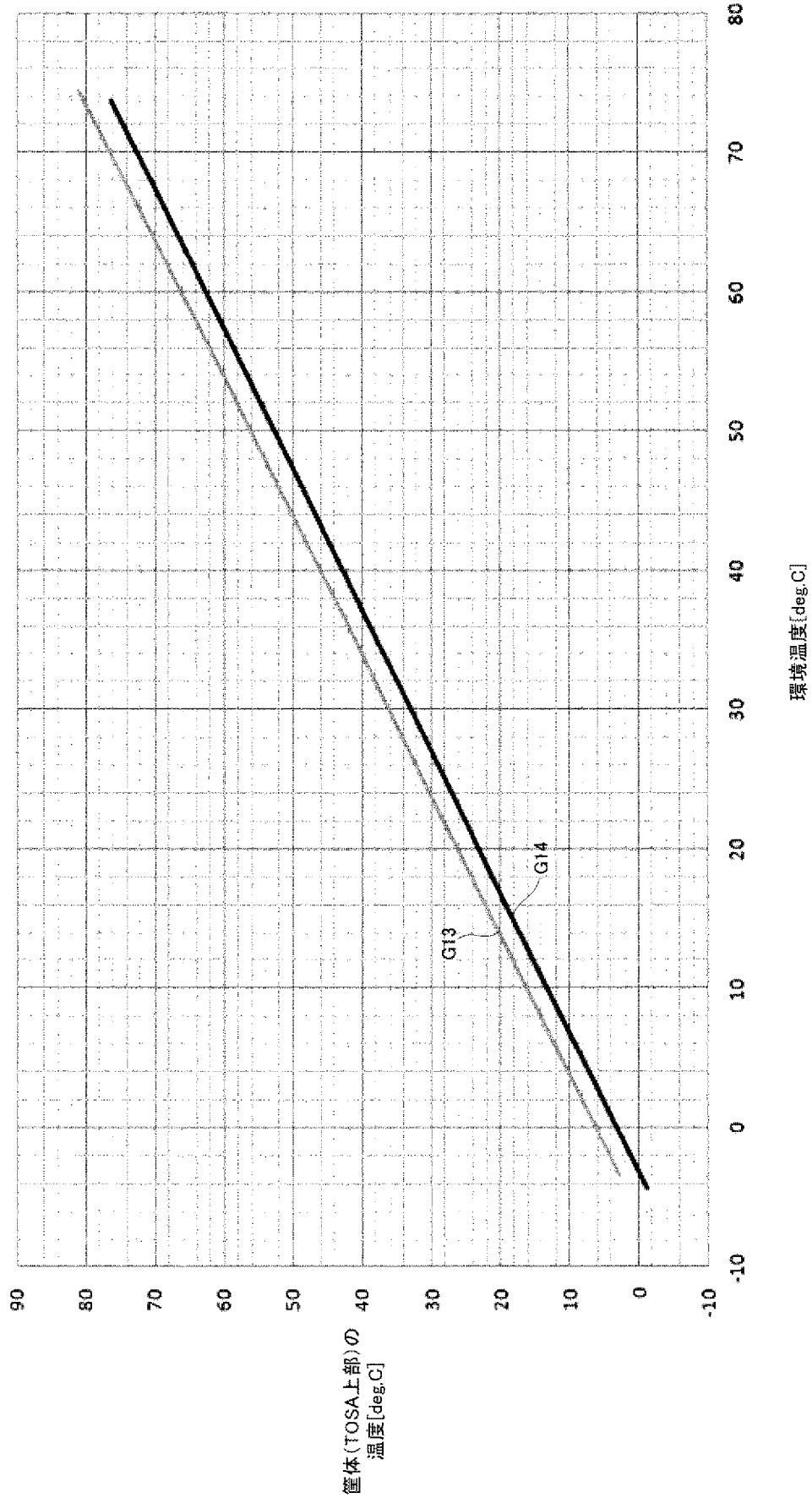
[図13]


TRX-ICの
表面温度[deg.C]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
環境温度[deg.C]
G9
G10

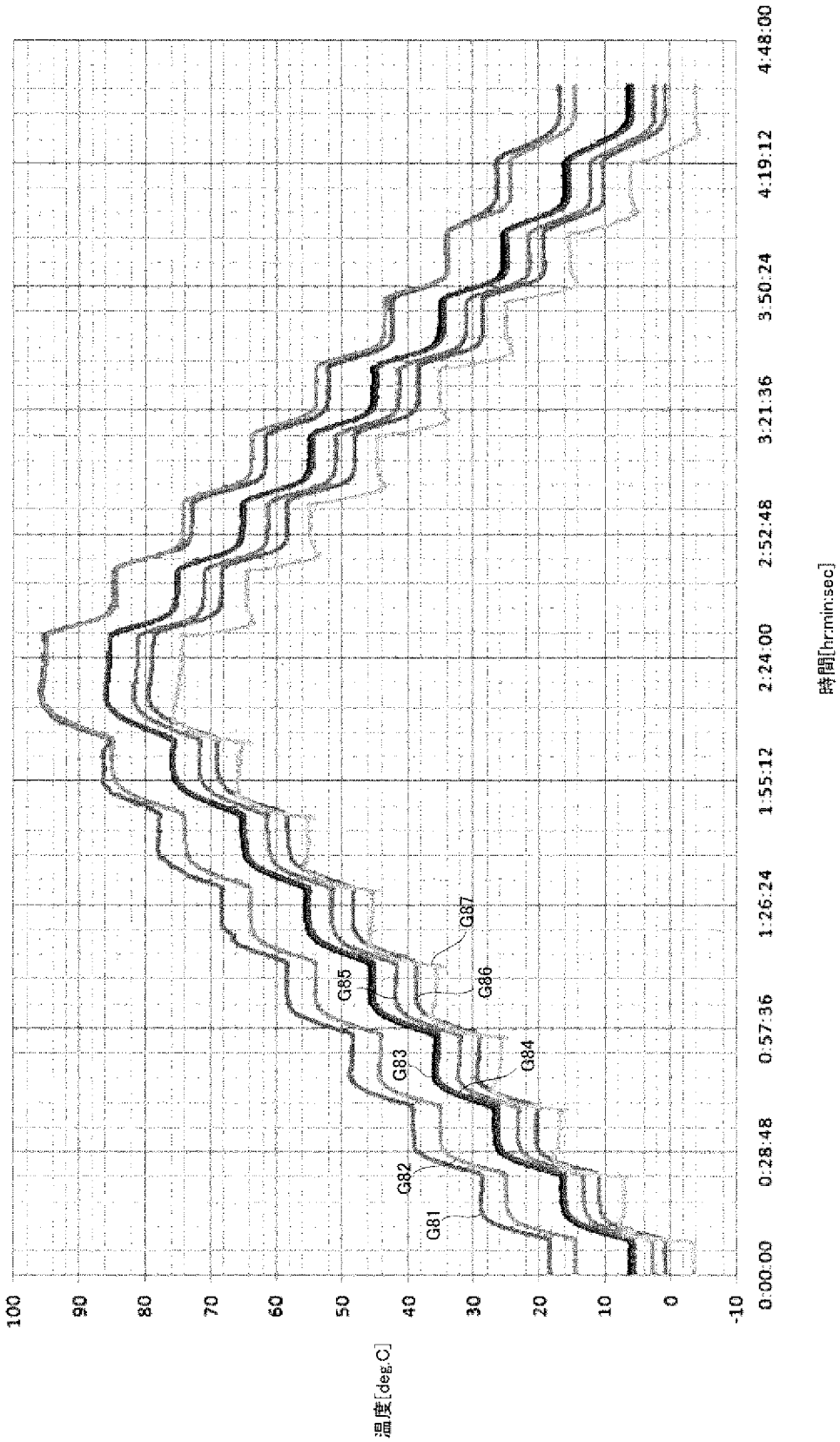
[図14]


CPUの
表面温度[deg.C]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
環境温度[deg.C]
G11
G12

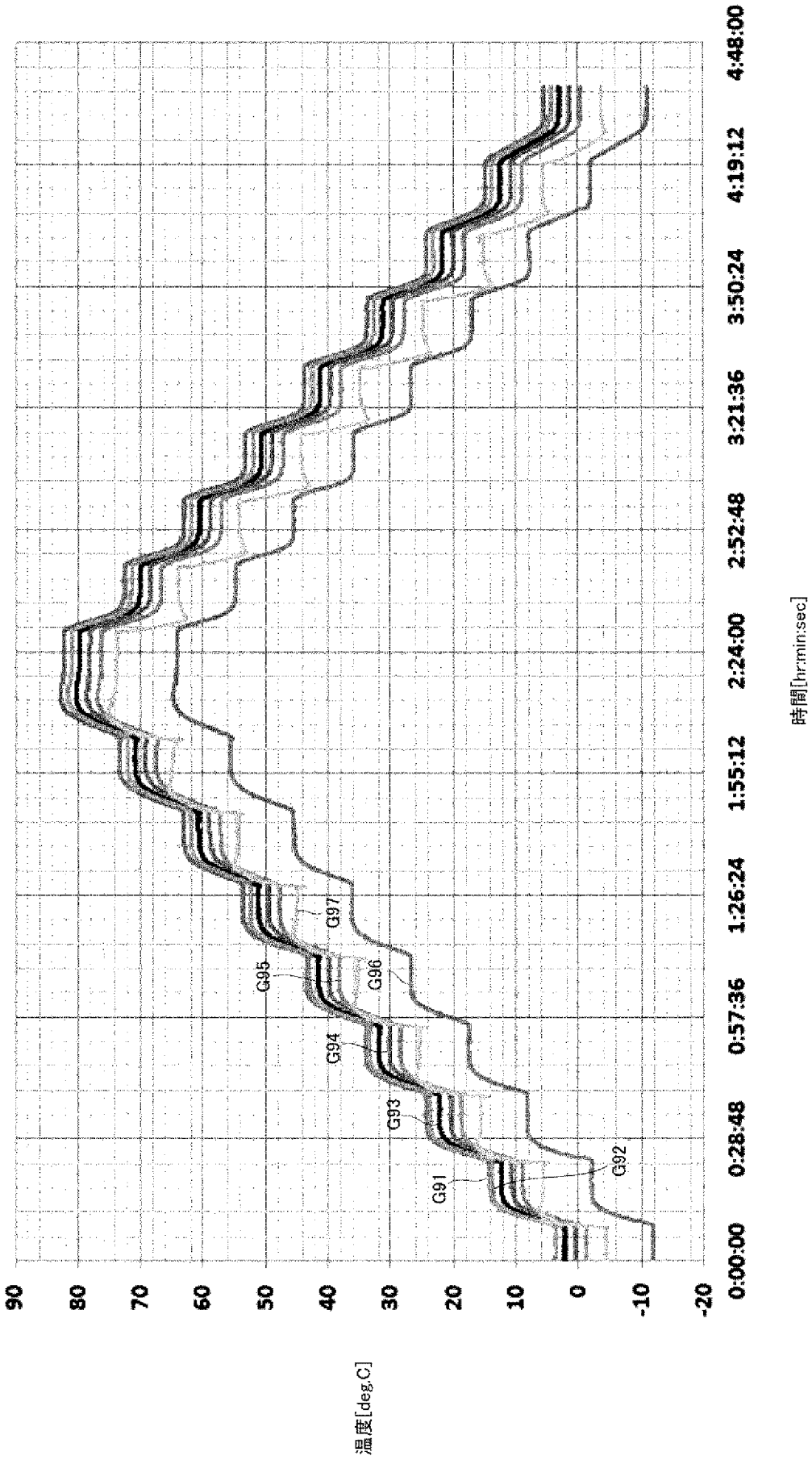
[図15]


90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
筐体(TOSA上部)の温度[deg.C]
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
環境温度[deg.C]
G13
G14

[図16]


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
温度[deg.C]
0:00:00
0:28:48
0:57:36
1:26:24
1:55:12
2:24:00
2:52:48
3:21:36
3:50:24
4:19:12
4:48:00
時間[hr:min:sec]
G81
G82
G83
G84
G85
G86
G87

[図17]


90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
温度[deg.C]
0:00:00
0:28:48
0:57:36
1:26:24
1:55:12
2:24:00
2:52:48
3:21:36
3:50:24
4:19:12
4:48:00
時間[hr:min:sec]
G91
G92
G93
G94
G95
G96
G97

[図18]

送信オン状態

ta1

温度[℃]	制御デジタル値
-30	x1
-28	x2
-26	x3
・ ・ ・	・ ・ ・
-2	x15
0	x16
2	x17
・ ・ ・	・ ・ ・
26	x29
28	x30
30	x31
・ ・ ・	・ ・ ・
72	x52
74	x53
76	x54
・ ・ ・	・ ・ ・
92	x62
94	x63

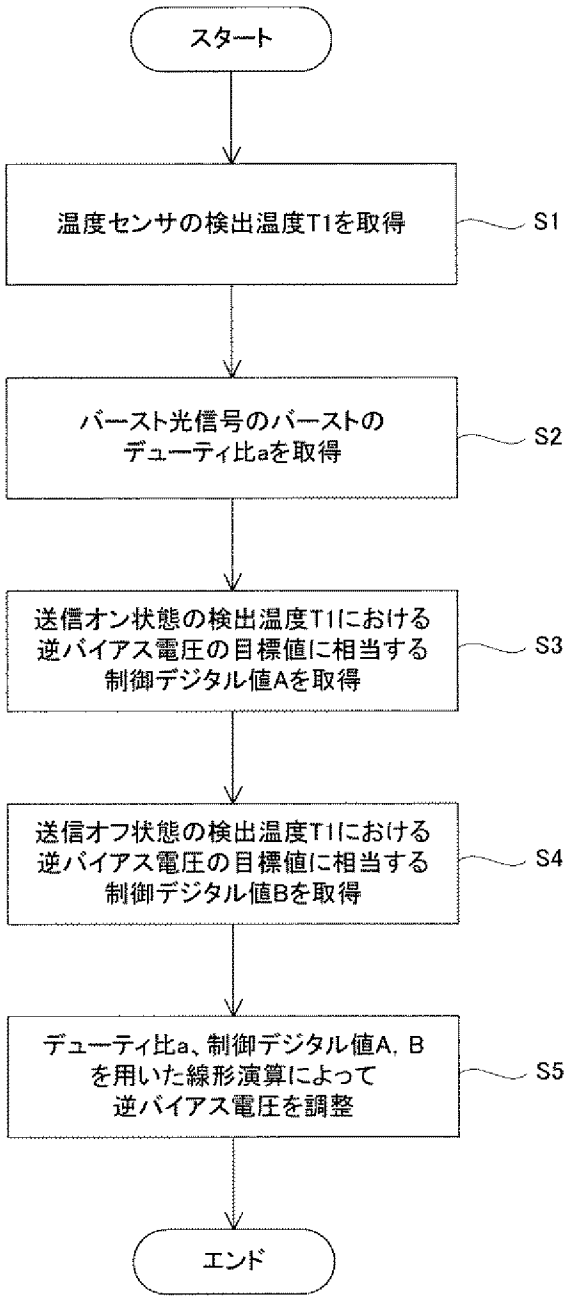
[図19]

送信オフ状態

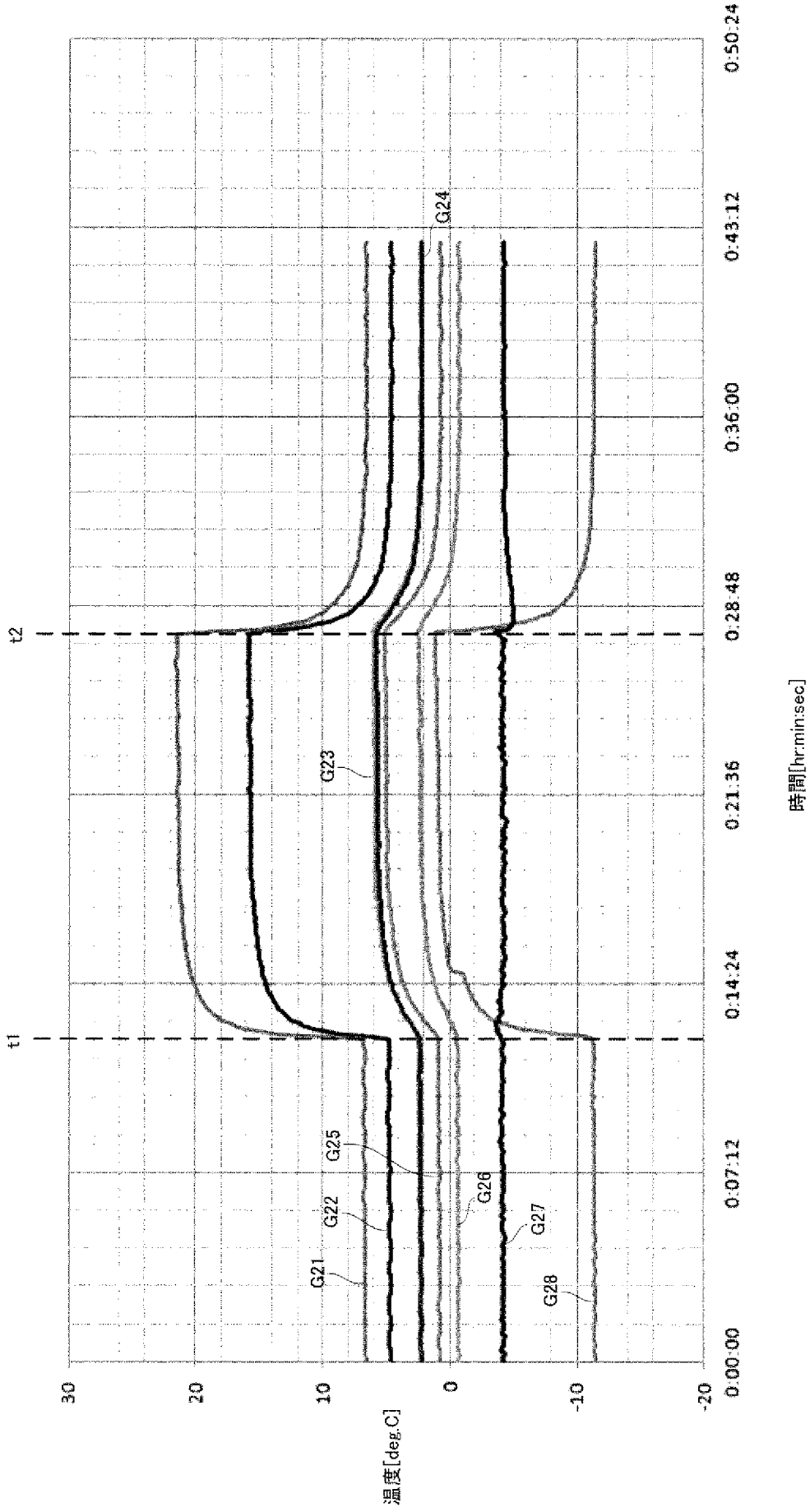
ta2

温度[℃]	制御デジタル値
-30	y1
-28	y2
-26	y3
⋮	⋮
-2	y15
0	y16
2	y17
⋮	⋮
26	y29
28	y30
30	y31
⋮	⋮
72	y52
74	y53
76	y54
⋮	⋮
92	y62
94	y63

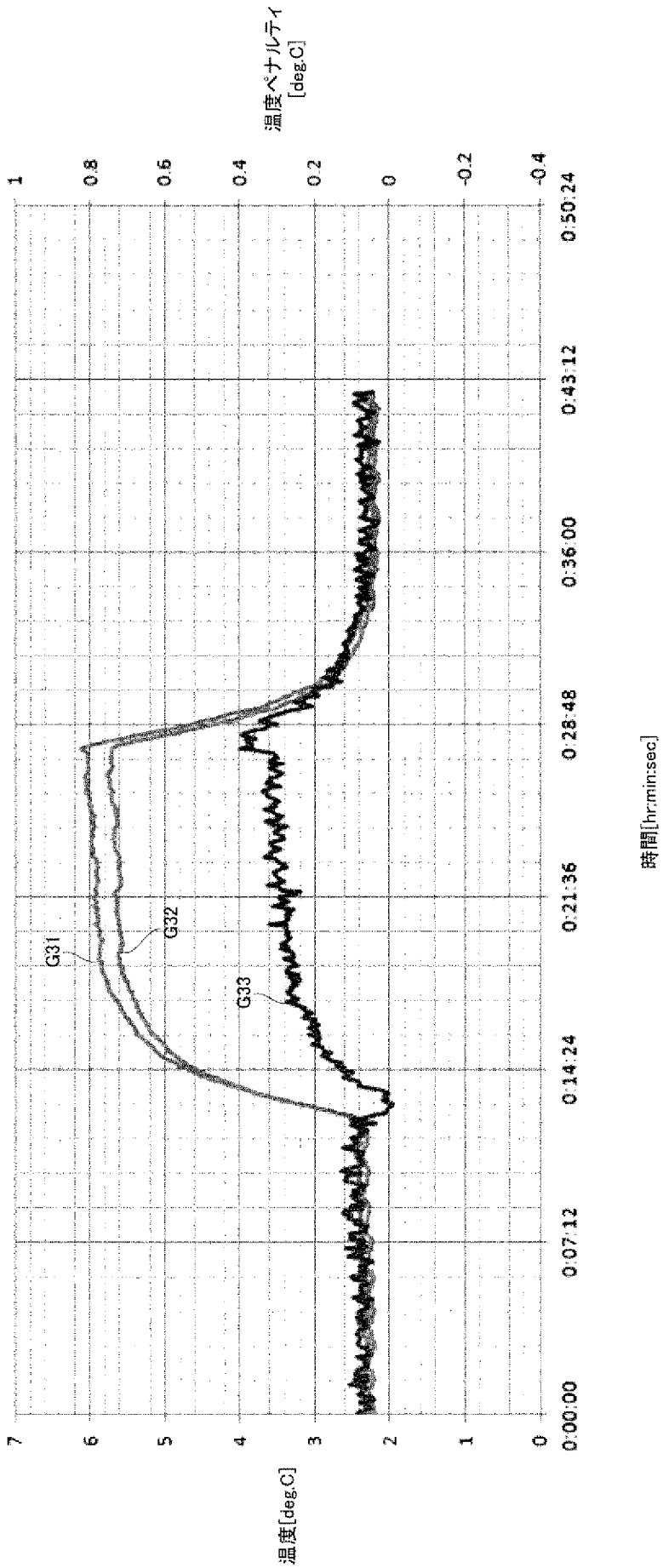
[図20]


スタート
温度センサの検出温度T1を取得
S1
バースト光信号のバーストの
デューティ比aを取得
S2
送信オン状態の検出温度T1における
逆バイアス電圧の目標値に相当する
制御デジタル値Aを取得
S3
送信オフ状態の検出温度T1における
逆バイアス電圧の目標値に相当する
制御デジタル値Bを取得
S4
デューティ比a、制御デジタル値A, B
を用いた線形演算によって
逆バイアス電圧を調整
S5
エンド

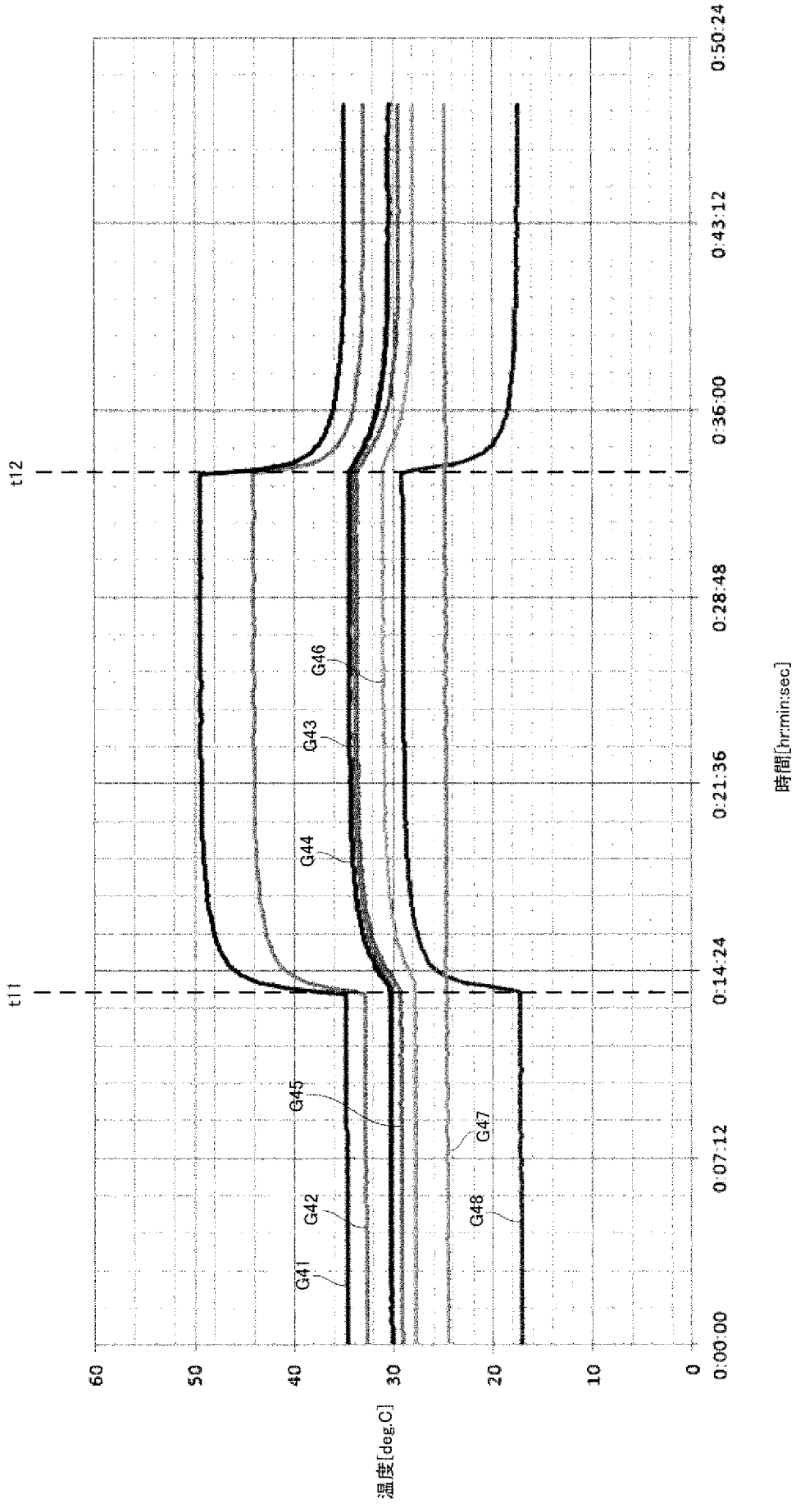
[図21]


30
20
10
0
-10
-20
温度[deg.C]
0:00:00
0:07:12
0:14:24
0:21:36
0:28:48
0:36:00
0:43:12
0:50:24
時間[hr:min:sec]
t1
t2
G21
G22
G23
G24
G25
G26
G27
G28

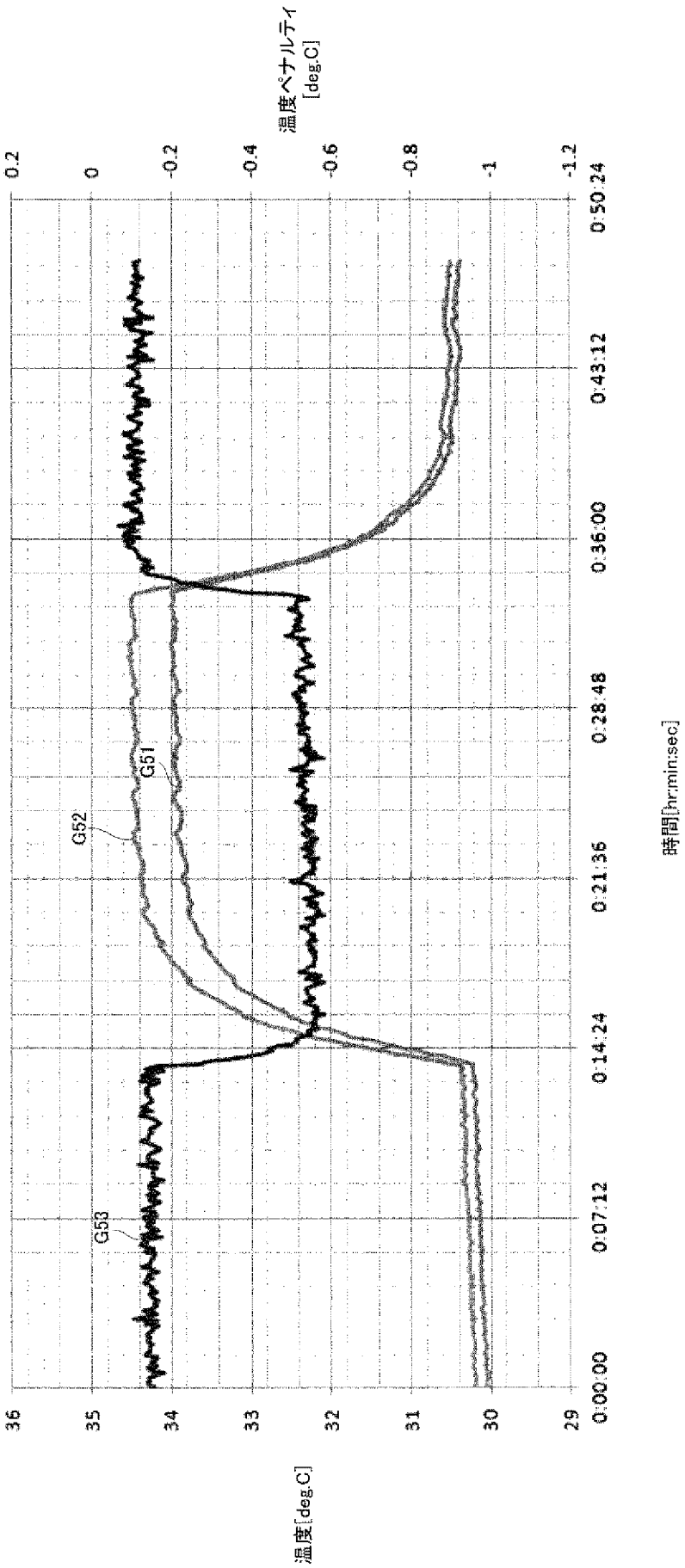
[図22]


温度ペナルティ [deg.C]
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
0:50:24
0:43:12
0:36:00
0:28:48
0:21:36
0:14:24
0:07:12
0:00:00
G31
G32
G33
温度[deg.C]
7
6
5
4
3
2
1
0
時間[hr:min:sec]

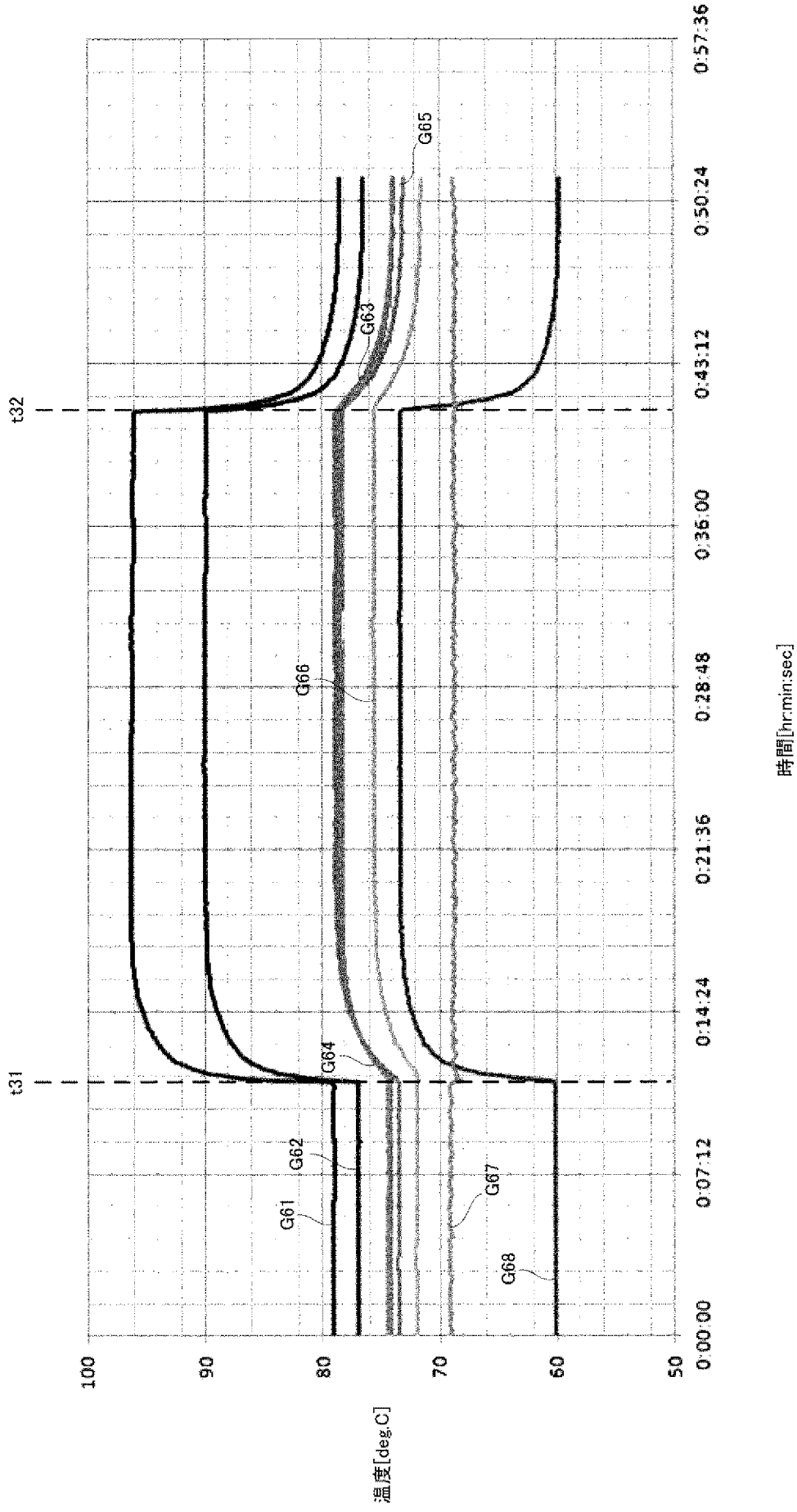
[図23]


t12
t11
G46
G43
G44
G45
G47
G42
G48
G41
60
50
40
30
20
10
0
温度[deg.C]
0:00:00
0:07:12
0:14:24
0:21:36
0:28:48
0:36:00
0:43:12
0:50:24
時間[hr:min:sec]

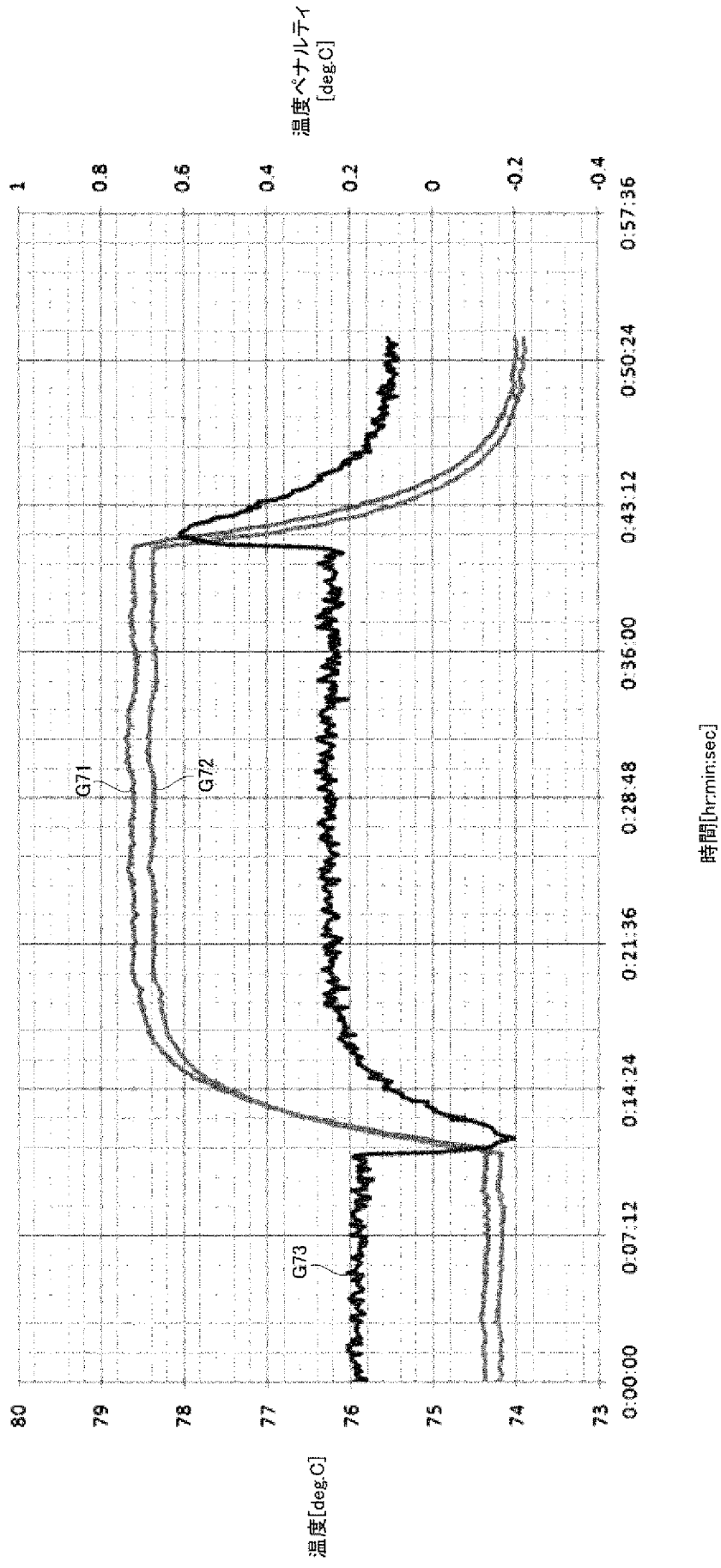
[図24]


温度ペナルティ
[deg.C]
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
0:50:24
0:43:12
0:36:00
0:28:48
0:21:36
0:14:24
0:07:12
0:00:00
時間[hr:min:sec]
G51
G52
G53
温度[deg.C]
36
35
34
33
32
31
30
29

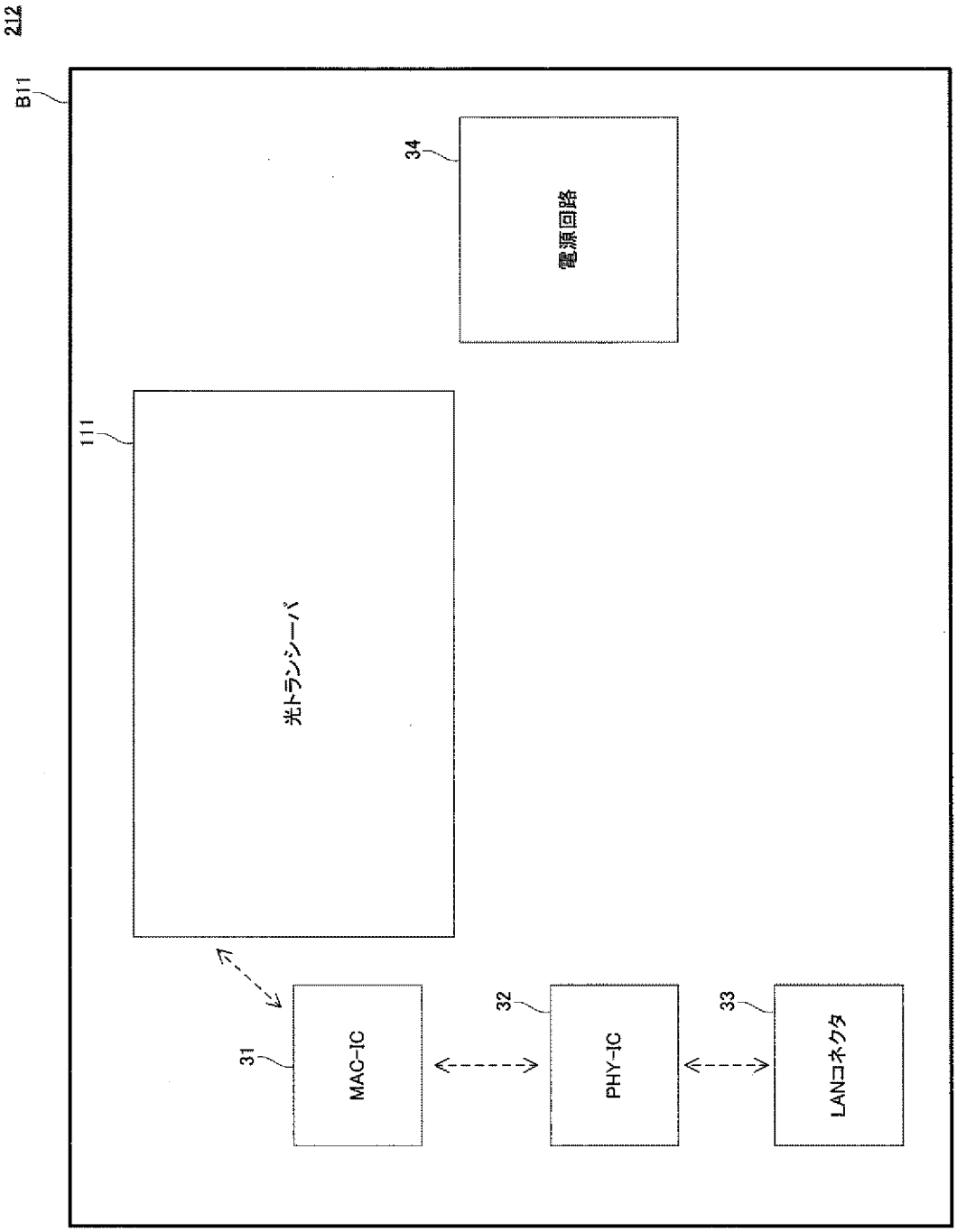
[図25]


t31
t32
G61
G62
G63
G64
G65
G66
G67
G68
100
90
80
70
60
50
温度[deg.C]
0:00:00
0:07:12
0:14:24
0:21:36
0:28:48
0:36:00
0:43:12
0:50:24
0:57:36
時間[hr:min:sec]

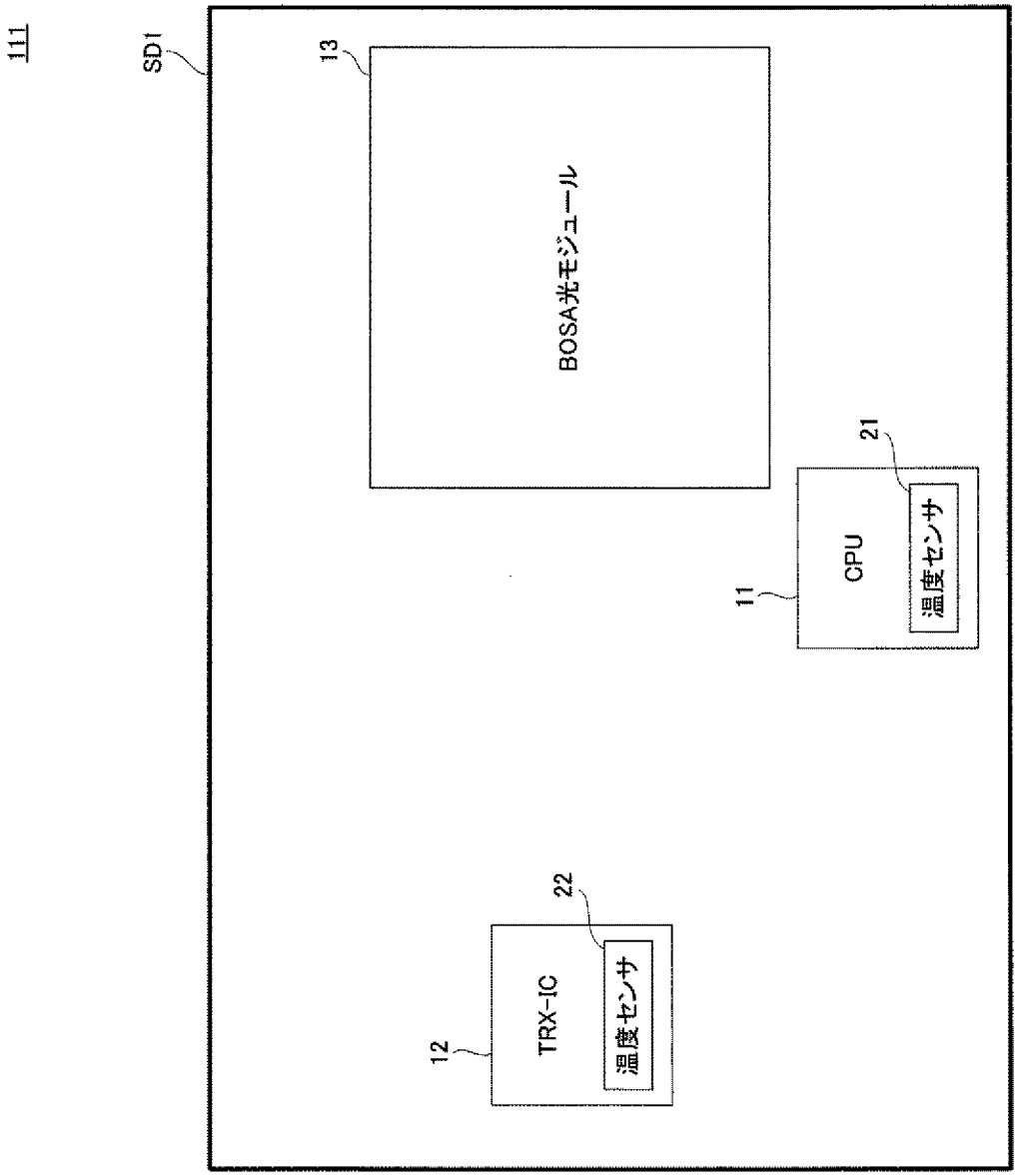
[図26]


温度ペナルティ
[deg.C]
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
0:57:36
0:50:24
0:43:12
0:36:00
0:28:48
0:21:36
0:14:24
0:07:12
0:00:00
時間[hr:min:sec]
G71
G72
G73
80
79
78
77
76
75
74
73
温度[deg.C]

[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/050087

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04B10/40(2013.01)i, *H01L31/107*(2006.01)i, *H04B10/69*(2013.01)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)
H04B10/40, H01L31/107, H04B10/69

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y A	JP 2009-105489 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 May 2009 (14.05.2009), paragraphs [0013] to [0022]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-3 5-6
Y A	JP 2006-302967 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 November 2006 (02.11.2006), paragraphs [0014] to [0020], [0039], [0044]; fig. 1 to 2, 5 (Family: none)	1-3 4-6

☒ 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	Date of mailing of the international search report
28 January 2016 (28.01.16)	09 February 2016 (09.02.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/050087

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005/0006567 A1 (STEWART, James et al.), 13 January 2005 (13.01.2005), paragraphs [0024], [0033] to [0038], [0044]; fig. 2 to 5, 8 & WO 2003/069379 A2	4-6
A	JP 2006-222868 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 24 August 2006 (24.08.2006), paragraphs [0024] to [0041]; fig. 1 to 2 (Family: none)	5-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/050087

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Claim 1 and claim 4 have a common technical feature of an optical transceiver that is provided with a temperature sensor, an optical module, a transmission driver, and a housing.

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 2 (JP 2006-302967 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 November 2006 (02.11.2006), paragraphs [0014] to [0020], [0039], [0044]; fig. 1 to 2, 5).

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Claim 1 and claims 5-6 have a common technical feature of being provided with a light emitting element, a light receiving element, a transmission driver, and a temperature sensor.

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1 (JP 2009-105489 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 May 2009 (14.05.2009), paragraphs [0013] to [0022]; fig. 1 to 2) and the document 2.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Accordingly, claims are classified into three inventions each of which has a special technical feature indicated below.

(Invention 1) claims 1-3

An optical transceiver, which is provided with a temperature sensor, an optical module, a transmission driver, and a housing, and in which a detection temperature difference between a detection temperature of the temperature sensor in an on-state of transmission of optical signals by means of a light emitting element, and a detection temperature of the temperature sensor in an off-state of the transmission of the optical signals is more than 2°C.

(Continued to next extra sheet)

(Invention 2) claim 4

An optical transceiver, which is provided with a first temperature sensor, a second temperature sensor, an optical module, a transmission driver having the second temperature sensor thermally coupled thereto, and a housing, and in which an error of an actual measurement value of the temperature of a light receiving section with respect to an estimated value of the temperature of the light receiving section is equal to or lower than an allowable temperature error for controlling the light receiving section, said estimated value being obtained by internally dividing, by a drive ratio, a temperature Tmin of the light receiving section and a temperature Tmax of the light receiving section, said temperature Tmin being a temperature that can be estimated on the basis of the detection temperature of the first temperature sensor and the detection temperature of the second temperature sensor when the drive ratio is at the minimum value when the drive ratio of the transmission driver is at an intermediate value between the minimum value and the maximum value, and said temperature Tmax being a temperature that can be estimated on the basis of the detection temperature of the first temperature sensor and the detection temperature of the second temperature sensor when the drive ratio is at the maximum value when the drive ratio is at the minimum value when the drive ratio of the transmission driver is at the intermediate value between the minimum value and the maximum value.

Claim 4 is not relevant to an invention which involves all of the matters to define the invention in claim 1 and which has a same category.

Further, as a result of the search which has been carried out with respect to claims classified into Invention 1, claim 4 is not relevant to an invention on which it is substantially possible to carry out a search without an additional prior-art search and judgment, and there is no other reason for that it can be considered that it is efficient to carry out a search on claim 4 together with claims 1-3, and consequently, it is impossible to classify claim 4 into Invention 1.

(Invention 3) claims 5-6

An optical communication device, which is provided with a light emitting element, a light receiving element wherein multiplication factor can be changed by means of a bias voltage, a transmission driver, and a temperature sensor, and which adjusts the bias voltage by means of linear operation on the basis of a detection temperature of the temperature sensor, and calculation results of a drive ratio of the transmission driver, said linear operation using a plurality of target values of the bias voltage in combinations of a plurality of temperatures and a plurality of drive ratios.

Claims 5-6 are not relevant to inventions which involve all of the matters to define the invention in claim 1 or claim 4 and which have a same category.

Further, as a result of the search which has been carried out with respect to claims classified into Invention 1 or Invention 2, claims 5-6 are not relevant to inventions on which it is substantially possible to carry out a search without an additional prior-art search and judgment, and there is no other reason for that it can be considered that it is efficient to carry out a search on these claims together with claims 1-3 or claim 4, and consequently, it is impossible to classify claims 5-6 into Invention 1 or Invention 2.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０５００８７

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページ参照

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０５００８７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H04B10/40(2013.01)i, H01L31/107(2006.01)i, H04B10/69(2013.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H04B10/40, H01L31/107, H04B10/69

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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
Y	JP 2009-105489 A (住友電気工業株式会社) 2009.05.14, 段落[0013]-[0022], 図 1-2	1-3
A	(ファミリーなし)	5-6
Y	JP 2006-302967 A (住友電気工業株式会社) 2006.11.02, 段落[0014]-[0020], [0039], [0044], 図 1-2, 5	1-3
A	(ファミリーなし)	4-6

☑　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	国際調査報告の発送日
２８．０１．２０１６	０９．０２．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｊ　４５４０
後澤　瑞征
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５３４

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	US 2005/0006567 A1 (STEWART, James et al.) 2005.01.13, 段落[0024], [0033]-[0038], [0044], 図 2-5, 8 & WO 2003/069379 A2	4-6
A	JP 2006-222868 A (株式会社村田製作所) 2006.08.24, 段落[0024]-[0041], 図 1-2 (ファミリーなし)	5-6

請求項１と請求項４とは、温度センサと、光モジュールと、送信ドライバと、筐体とを備えた光トランシーバという共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的事項は、文献２（JP 2006-302967 A (住友電気工業株式会社) 2006.11.02, 段落[0014]-[0020], [0039], [0044], 図1-2, 5）の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

請求項１と請求項５－６とは、発光素子と、受光素子と、送信ドライバと、温度センサとを備えるという共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的事項は、文献１（JP 2009-105489 A (住友電気工業株式会社) 2009.05.14, 段落[0013]-[0022], 図 1-2）や、文献２の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

そして、請求の範囲は、下記の特別な技術的特徴を有する３の発明に区分される。

（発明１）請求項１－３

温度センサと、光モジュールと、送信ドライバと、筐体とを備え、発光素子による光信号の送信オン状態における温度センサの検出温度と、光信号の送信オフ状態における温度センサの検出温度との差が２℃より大きい光トランシーバ。

（発明２）請求項４

第１の温度センサと、第２の温度センサと、光モジュールと、第２の温度センサが熱的に結合された送信ドライバと、筐体とを備え、送信ドライバの駆動率が、最小値および最大値の中間値であるときに、駆動率が最小値であるときの第１の温度センサの検出温度及び第２の温度センサの検出温度から推定できる受光部の温度Ｔｍｉｎ、及び、駆動率が最大値であるときの第１の温度センサの検出温度及び第２の温度センサの検出温度から推定できる受光部の温度Ｔｍａｘを、駆動率で内分することによって求まる受光部の温度の推定値に対する、受光部の温度の実測値の誤差が、受光部の制御のために許容される温度誤差以下である、光トランシーバ。

請求項４は、請求項１の発明特定事項を全て含む同一カテゴリーの発明ではない。そして、請求項４は、発明１に区分された請求項について調査した結果、実質的に追加的な先行技術調査や判断を必要とすることなく調査を行うことが可能な発明ではなく、請求項１－３とまとめて調査を行うことが効率的であるといえる他の事情もないから、請求項４を発明１に区分することはできない。

（発明３）請求項５－６

発光素子と、バイアス電圧による増倍率の変更が可能な受光素子と、送信ドライバと、温度センサとを備え、温度センサの検出温度及び送信ドライバの駆動率の算出結果に基づいて、複数の温度かつ複数の駆動率の組み合わせにおける、バイアス電圧の複数の目標値を用いた線形演算によってバイアス電圧を調整する、光通信装置。

請求項５－６は、請求項１又は請求項４の発明特定事項を全て含む同一カテゴリーの発明ではない。そして、請求項５－６は、発明１又は発明２に区分された請求項について調査した結果、実質的に追加的な先行技術調査や判断を必要とすることなく調査を行うことが可能な発明ではなく、請求項１－３又は請求項４とまとめて調査を行うことが効率的であるといえる他の事情もないから、請求項５－６を発明１又は発明２に区分することはできない。