

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/203275 A1

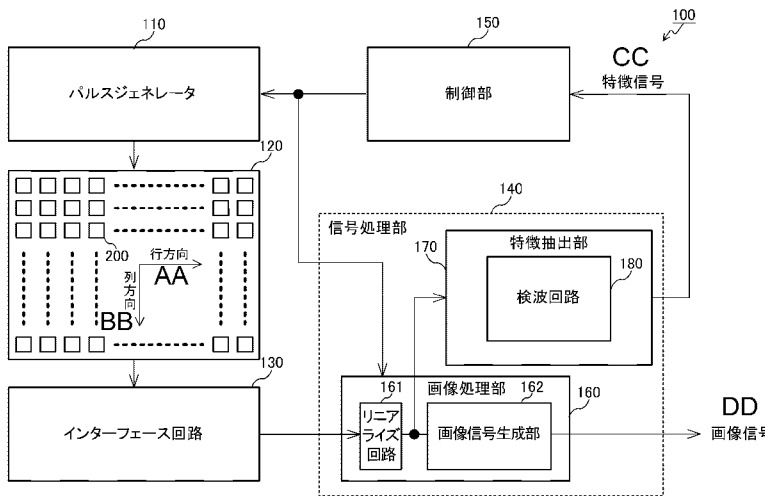
- (51) 国際特許分類:
H04N 25/766 (2023.01) H04N 25/79 (2023.01)
H04N 23/54 (2023.01) H04N 25/772 (2023.01)
H04N 25/70 (2023.01) H04N 25/773 (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/009526
- (22) 国際出願日: 2024年3月12日(12.03.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-051057 2023年3月28日(28.03.2023) JP
特願 2023-190473 2023年11月8日(08.11.2023) JP
- (71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SO-

LUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).

- (72) 発明者: 池田 泰二(IKEDA, Yasuji); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 黒田 悠暉(KURODA, Yuki); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 手塚 太貴(TEZUKA, Taiki); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 守屋 広大(MORIYA, Kodai); 〒2430014 神奈川県厚木市

(54) Title: PHOTODETECTOR AND APPLICATION PROCESSOR

(54) 発明の名称: 光検出装置およびアプリケーションプロセッサ



- 110 Pulse generator
130 Interface circuit
140 Signal processing unit
150 Control unit
160 Image processing unit
161 Linearizing circuit
162 Image-signal generating unit
170 Feature extraction unit
180 Wave detecting circuit
AA Row direction
BB Column direction
CC Feature signal
DD Image signal

(57) Abstract: The present invention normalizes the input/output characteristics of a photodetector to lend the detector a dynamic range appropriate for incident light. A photodetector according to the present technology is equipped with: a photodetection element for detecting incidence of photons in order to normalize input/output characteristics of the photodetector to lend the detector a dynamic range appropriate for incident light; an output unit for outputting the results of imaging by the photodetection element; a recharging unit for recharging the photodetection element; and a control unit

旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソ
リユーシヨonz株式会社内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 丸島 敏一 (MARUSHIMA, Toshikazu);
〒160022 東京都新宿区新宿3-3-2 京
王新宿三丁目第二ビル 5F クラフト
国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

that, on the basis of the imaging results, controls the recharging unit with respect to at least either the photon-detection interval, or the number of detections, in the photodetection element.

(57) 要約: 光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとする。本技術の光検出装置は、光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとするために、フォトン入射を検出する光検出素子と、光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、光検出素子をリチャージするリチャージ部と、撮像結果に基づいて光検出素子におけるフォトン検出間隔および検出回数の少なくとも一方についてリチャージ部を制御する制御部とを具備する。

明 細 書

発明の名称：光検出装置およびアプリケーションプロセッサ

技術分野

[0001] 本技術は、光検出装置に関する。詳しくは、フォトン入射を検出する光検出装置、および、当該光検出装置を制御するアプリケーションプロセッサに関する。

背景技術

[0002] 従来より、アバランシェフォトダイオードを含む画素が平面的に2次元アレイ状に配置された画素アレイ部を含む光電変換装置が知られている。例えば、フォトン入射を検出する検出間隔を、露光時間に応じて変更する光電変換装置が提案されている（例えば、特許文献1参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2022-106660号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述の従来技術では、露光時間に応じて検出間隔を変更することにより、光電変換装置における消費電力の抑制を図っている。しかしながら、上述の光電変換装置では、露光期間が異なる場合の露光期間内のパルス信号の数や周期について制御を行っているだけであり、入射する光によっては適正なダイナミックレンジに収まらなくなるおそれがある。

[0005] 本技術は、このような状況に鑑みて生み出されたものであり、フォトン入射を検出する光検出装置において、光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本技術は、上述の問題点を解消するためになされたものであり、その第1の側面は、フォトン入射を検出する光検出素子と、上記光検出素子による

撮像結果を出力する出力部と、上記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、上記撮像結果に基づいて上記光検出素子における上記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方について上記リチャージ部を制御する制御部とを具備する光検出装置である。これにより、光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0007] また、この第1の側面において、上記光検出素子がアレイ状に配置された画素アレイ部と、上記フォトンの検出間隔および検出回数を設定する設定部と、上記出力部から上記撮像結果として出力される上記画素アレイ部の信号に基づいて画像信号を生成する画像処理部と、上記撮像結果に基づいて特徴信号を抽出する特徴抽出部とを具備し、上記制御部について、上記特徴抽出部で抽出された上記特徴信号に基づいて上記設定部の設定情報を制御するようにしてもよい。これにより、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0008] また、この第1の側面において、上記特徴信号について、上記フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを基に検出されるダイナミックレンジ、上記ヒストグラムの横軸の最大値、最小値、照度平均値、または、最大検出頻度の中央値であるようにしてもよい。これにより、光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0009] また、この第1の側面において、上記画像処理部について、入力段にリニアライズ回路を有し、上記特徴抽出部について、上記リニアライズ回路を経た上記画素アレイ部の信号に基づいて上記特徴信号を抽出するようにしてもよい。これにより、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0010] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部は、上記フォトンのカ

ウント値を出力し、上記画像処理部は、上記検出間隔および上記検出回数に基づいて上記カウント値と光子レートとを対応付けたルックアップテーブルを生成するルックアップテーブル生成部と、上記ルックアップテーブルを参照して上記カウント値を上記光子レートに変換して上記特徴抽出部に供給する上記リニアライズ回路とを備えてもよい。これにより、適切なりニアライズが実行されるという作用をもたらす。

[0011] また、この第1の側面において、上記ルックアップテーブル生成部は、上記光子の入力に対する上記画素アレイ部の応答特性を表す関数の逆関数を用いて上記ルックアップテーブルを生成してもよい。これにより、適切なりニアライズが実行されるという作用をもたらす。

[0012] また、この第1の側面において、上記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、上記ルックアップテーブル生成部は、上記検出間隔のそれぞれについて上記カウント値ごとの上記光子レートを上記逆関数により算出し、算出した上記光子レートの集合を所定の規則に従ってソートし、ソートした上記光子レートのそれぞれに上記カウント値を割り当てることにより上記ルックアップテーブルを生成してもよい。これにより、複数の検出間隔が設定された際に適切なりニアライズが実行されるという作用をもたらす。

[0013] また、この第1の側面において、上記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、上記ルックアップテーブルは、上記検出間隔の異なる複数の結合元ルックアップテーブルと結合先ルックアップテーブルとを含み、上記ルックアップテーブル生成部は、上記複数の結合元ルックアップテーブルのそれぞれの上記光子レートの重み付け加算により上記結合先ルックアップテーブルを生成し、上記リニアライズ回路は、上記結合先ルックアップテーブルを参照してもよい。これにより、演算量が削減されるという作用をもたらす。

[0014] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部、上記設定部、および、上記出力部を、第1のチップに配置し、上記制御部、上記画像処理部、および、上記特徴抽出部を、第2のチップに配置するようにしてもよい。この配置例によっても、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、

それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0015] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部、上記設定部、および、上記出力部を、第1のチップに配置し、上記画像処理部および上記特徴抽出部を、第2のチップに配置し、上記制御部を、第3のチップに配置するようにしてもよい。この配置例によっても、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0016] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部、上記設定部、上記出力部、および、上記制御部を、第1のチップに配置し、上記画像処理部および上記特徴抽出部を、第2のチップに配置するようにしてもよい。この配置例によっても、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0017] また、この第1の側面において、上記特徴抽出部について、上記画像処理部で生成された画像信号に基づいて上記特徴信号を抽出するようにしてもよい。これにより、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0018] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部、上記設定部、および、上記出力部を、第1のチップに配置し、上記画像処理部を、第2のチップに配置し、上記制御部および上記特徴抽出部を、第3のチップに配置するようにしてもよい。この配置例によっても、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0019] また、この第1の側面において、上記特徴抽出部について、入力段にリニアライズ回路を有し、上記リニアライズ回路を経た上記画素アレイ部の信号に基づいて上記特徴信号を抽出するようにしてもよい。これにより、読み出

し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0020] また、この第1の側面において、上記画素アレイ部、上記設定部、上記出力部、上記制御部、および、上記特徴抽出部を、第1のチップに配置し、上記画像処理部を、第2のチップに配置するようにしてもよい。この配置例によっても、読み出し回路の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるという作用をもたらす。

[0021] また、この第1の側面において、上記制御部について、ユーザによる外部制御に基づいて上記設定部の設定情報を制御するようにしてもよい。これにより、ユーザによってフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を任意に制御することができるという作用をもたらす。

[0022] また、この第1の側面において、上記制御部について、上記フォトンの検出間隔として複数の検出間隔を設定し、上記複数の検出間隔で上記フォトンの検出を行うようにしてもよい。これにより、フォトンの検出回数が階調を持つ照度レンジを広げた高ダイナミックレンジな撮影や特定の照度レンジの階調を持ち上げるような撮影を実現できるという作用をもたらす。

[0023] また、この第1の側面において、上記制御部について、シーンの画像全体の照度分布のヒストグラムを基に、上記照度分布に対して上記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行うようにしてもよい。これにより、シーンの照度分布に対して適切なフォトンの検出間隔とフォトンのカウント値の制御が可能になり、シーンの情報を最大限得ることができるという作用をもたらす。

[0024] また、この第1の側面において、上記制御部について、ターゲットとなる被写体の領域の照度分布のヒストグラムを基に、上記照度分布に対して上記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行うようにしてもよい。これにより、ターゲットとなる被写体の照度分布に対して適切なフォトン

の検出間隔とフォトンのカウント値の制御が可能になり、被写体の情報を最大限得ることができるという作用をもたらす。

[0025] また、この第1の側面において、上記制御部について、上記複数の検出間隔のSNR (Signal-to-Noise Ratio)カーブをプロットしたとき、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを下回らない範囲でフォトンの検出回数を最小にする制御を行うようにしてもよい。これにより、光検出装置の消費電力を抑制することができるという作用をもたらす。

[0026] また、この第1の側面において、上記制御部について、上記特徴抽出部で作成されたフォトンレートの度数分布を基に作成されるセンサ応答曲線の形状を変えずに、ダイナミックレンジだけをシフトする制御を行うようにしてもよい。これにより、階調については固定のままで、ダイナミックレンジだけをシフトすることができるという作用をもたらす。

[0027] また、この第1の側面において、上記特徴抽出部は、上記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数分布を作成する検波回路、および、上記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備えており、上記画像処理部、上記検波回路、上記目的センサ応答曲線設計部、および、上記制御部によってアプリケーションプロセッサを構成し、上記アプリケーションプロセッサが、上記画素アレイ部が形成されたセンサチップに対して、上記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力するようにしてもよい。これにより、アプリケーションプロセッサによってフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御することができるという作用をもたらす。

[0028] また、この第1の側面において、上記特徴抽出部は、上記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数分布を作成する検波回路、および、上記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備えており、上記画像処理部、上記検波回路、および、上記制御部によってアプリケーションプロセッサを構成し、上記アプリケーションプロセッサが、上記画素アレイ部、および、上記目的センサ応答曲

線設計部が形成されたセンサチップに対して、上記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力するようにしてもよい。これにより、アプリケーションプロセッサによってフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御することができるという作用をもたらす。

[0029] また、本技術の第2の側面は、フォトン入射を検出する光検出素子と、上記光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、上記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、上記撮像結果に基づいて上記光検出素子における上記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方について上記リチャージ部を制御する制御部とを具備する光検出装置から出力される上記撮像結果を入力とし、上記撮像結果における特徴信号を検出し、上記特徴信号に基づいて上記光検出素子での上記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力するアプリケーションプロセッサである。これにより、光検出装置の入出力特性を適正化し、入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができるアプリケーションプロセッサを提供できるという作用をもたらす。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本技術の第1の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図2]本技術の第1の実施の形態における特徴抽出部で生成されるヒストグラムの一例を示す図である。

[図3]本技術の第1の実施の形態における読み出し回路の一構成例を示すブロック図である。

[図4]本技術の第1の実施の形態における画素回路の一構成例を示す回路図である。

[図5]本技術の第1の実施の形態における受光部の動作の一例を示すタイミングチャートである。

[図6]本技術の第2の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

ク図である。

[図7]本技術の第3の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図8]本技術の第4の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図9]本技術の第5の実施の形態における光検出装置の配置例を示すブロック図である。

[図10]本技術の第6の実施の形態における光検出装置の配置例を示すブロック図である。

[図11]本技術の第7の実施の形態における光検出装置の配置例を示すブロック図である。

[図12]本技術の第8の実施の形態における光検出装置の配置例を示すブロック図である。

[図13]本技術の第9の実施の形態における光検出装置の配置例を示すブロック図である。

[図14]高照度、低照度のシーンの撮影で必要となるフォトンの検出間隔についての説明図である。

[図15]長短のフォトンの検出間隔の組み合わせについての説明図である。

[図16]照度毎の階調制御についての説明図である。

[図17]本技術の第10の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図18]本技術の第10の実施の形態における光検出装置の階調優先モード(1)の制御の流れを示す図である。

[図19]本技術の第10の実施の形態における光検出装置の階調優先モード(2)の制御の流れを示す図である。

[図20]本技術の第10の実施の形態における光検出装置の低消費電力優先モードについての説明図である。

[図21]本技術の第11の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブ

ロック図である。

[図22]本技術の第11の実施の形態における光検出装置のシャッター時間の制御についての説明図である。

[図23]本技術の第12の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図24]本技術の第13の実施の形態における光検出装置の一構成例を示すブロック図である。

[図25]本技術の第13の実施の形態におけるルックアップテーブルの一例を示す図である。

[図26]本技術の第13の実施の形態における検出間隔ごとのフォトンレートの一例を示す図である。

[図27]本技術の第13の実施の形態におけるルックアップテーブルの生成方法を説明するための図である。

[図28]本技術の第13の実施の形態の第1の変形例におけるルックアップテーブルの生成方法を説明するための図である。

[図29]車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

[図30]撮像部の設置位置の一例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、本技術を実施するための形態（以下、実施の形態と称する）について説明する。説明は以下の順序により行う。

1. 第1の実施の形態（画素アレイ部の信号を基に特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてパルスジェネレータの設定事項を変更する例）

2. 第2の実施の形態（画像処理部で生成された画像信号を基に特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてパルスジェネレータの設定事項を変更する例）

3. 第3の実施の形態（画素アレイ部の信号を直接特徴抽出部に入力して特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてパルスジェネレータの設定事項を変更する例）

4. 第4の実施の形態（第1の実施の形態の構成に加えて、外部からのユーザ制御に基づいてパルスジェネレータの設定事項を制御する例）
5. 第5の実施の形態（光検出装置の構成要素の配置例(1)）
6. 第6の実施の形態（光検出装置の構成要素の配置例(2)）
7. 第7の実施の形態（光検出装置の構成要素の配置例(3)）
8. 第8の実施の形態（光検出装置の構成要素の配置例(4)）
9. 第9の実施の形態（光検出装置の構成要素の配置例(5)）
10. 複数の検出間隔でフォトン検出を行う方式について
11. 第10の実施の形態（複数の検出間隔でフォトン検出を行う方式で、階調および低消費電力を優先する例）
12. 第11の実施の形態（複数の検出間隔でフォトン検出を行う方式で、シャッター時間を制御する例）
13. 第12の実施の形態（アプリケーションプロセッサで検波した信号統計量をセンサチップ側へ出力し、応答曲線の設計以降の処理をセンサチップ側で行う例）
14. 第13の実施の形態（逆関数を用いてルックアップテーブルを生成する例）
15. 変形例
16. 移動体への応用例
17. 本技術がとることができる構成

[0032] <1. 第1の実施の形態>

[光検出装置の構成例]

図1は、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100の一構成例を示すブロック図である。第1の実施の形態における光検出装置100は、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、インターフェース回路130、信号処理部140、および、制御部150を具備している。

[0033] パルスジェネレータ110は、制御部150による制御の下に、画素アレイ部120を駆動するための種々のパルス信号を生成し、フォトンの検出間

隔および検出回数を設定する。画素アレイ部120は、光電変換を行う複数の読み出し回路200を有し、パルスジェネレータ110から与えられる種々のパルス信号に基づいて撮像を行う撮像部である。複数の読み出し回路200は、行列状（アレイ状）に二次元配置されており、入射するフォトンの検出回数に応じた信号を出力する。インターフェース回路130は、画素アレイ部120の信号を信号処理部140に供給する。

[0034] なお、画素アレイ部120の信号は、特許請求の範囲に記載の撮像結果の一例であり、画素アレイ部120およびインターフェース回路130は、特許請求の範囲に記載の出力部の一例であり、パルスジェネレータ110は、特許請求の範囲に記載の設定部の一例である。

[0035] 信号処理部140は、画像処理部160および特徴抽出部170を有する構成となっている。

[0036] 画像処理部160は、入力段に設けられたリニアライズ回路161、および、その後段に設けられた画像信号生成部162を有している。リニアライズ回路161は、入力される画素アレイ部120の信号を、照度に対して比例する線形の信号に変換する（リニアライズ）。このリニアライズの過程で、フォトンの検出回数（カウント数）が、推定される入射フォトン数に変換される。画像信号生成部162は、リニアライズ回路161でリニアライズされた画素アレイ部120の信号を基に画像信号を生成して信号処理部140の外部へ出力する。

[0037] 特徴抽出部170は、検波回路180を有している。検波回路180は、画像処理部160におけるリニアライズ回路161でリニアライズされた画素アレイ部120の信号を入力とし、当該信号を基にフォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを生成する。ヒストグラムの一例を図2に示す。図2に示すヒストグラムにおいて、横軸は照度又は入射フォトンの頻度（露光期間でのフォトン数）、縦軸は画素数である。

[0038] 特徴抽出部170は、検波回路180で生成したヒストグラムに基づいて、画像の特徴を判断するための光検出装置100の出力値の特徴信号を抽出

する。具体的には、特徴抽出部170は、フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを基に、ダイナミックレンジ、ヒストグラムの横軸の最大値、最小値、照度平均値、または、中央値を特徴信号として抽出し、この抽出した特徴信号を制御部150に供給する。

[0039] 図2に示すヒストグラムにおいて、ダイナミックレンジは、横軸の最小値と最大値との差、即ち、最小のフォトン数と最大のフォトン数との差のことである。照度平均値は、全検出頻度の平均値のことである。中央値は、最大検出頻度の中央値のことである。これらダイナミックレンジ、ヒストグラムの横軸の最大値、最小値、照度平均値、または、中央値等の特徴信号については、後述する各実施の形態においても同様である。

[0040] 制御部150は、特徴抽出部170から供給される特徴信号を基に、パルスジェネレータ110の設定情報を変更する制御を行う。具体的には、制御部150は、特徴信号を基に、読み出し回路200におけるフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方、好ましくは、検出間隔および検出回数の両方をパルスジェネレータ110の設定情報として変更する制御を行う。制御部150は、さらに、画像処理部160に対する制御を行う。

[0041] [読み出し回路の構成例]

図3は、本技術の第1の実施の形態における読み出し回路200の一構成例を示すブロック図である。本技術の第1の実施の形態における読み出し回路200は、画素回路210、カウンタ220、および、選択スイッチ230を備えている。

[0042] 画素回路210は、フォトンの入射に応答してパルス信号PLSを生成し、カウンタ220に供給する。カウンタ220は、パルス信号PLSのパルス数をカウントし、そのカウント値を画素データとして選択スイッチ230に供給する。カウンタ220のカウント値は、図1に示すパルスジェネレータ110から供給されるリセット信号RSTにより初期化される。

[0043] 選択スイッチ230は、図1に示すパルスジェネレータ110から供給される選択信号SELに従ってオン（閉）／オフ（開）動作を行い、オン状態

になることで、カウンタ220の計数値を画素データとして図1に示す信号処理部140に供給する。

[0044] [画素回路の構成例]

図4は、本技術の第1の実施の形態における画素回路210の一構成例を示す回路図である。本技術の第1の実施の形態における画素回路210は、光検出素子211、クリップトランジスタ212、インバータ213、リチャージトランジスタ214、および、検出回路240を備える。クリップトランジスタ212およびリチャージトランジスタ214として、例えば、pMOS (p-channel Metal Oxide Semiconductor) トランジスタが用いられる。なお、リチャージトランジスタ214は、特許請求の範囲に記載のリチャージ部の一例である。

[0045] 上記の画素回路210において、光検出素子211、クリップトランジスタ212、インバータ213、および、リチャージトランジスタ214のうち、光検出素子211が検出回路240とは別の基板にアレイ状に配置される。なお、クリップトランジスタ212、インバータ213、および、リチャージトランジスタ214の一部が光検出素子211と同じ基板に配置されてもよい。

[0046] 光検出素子211としては、アバランシェフォトダイオードを(APD)を用いることができる。ガイガーモードのアバランシェフォトダイオードでは、端子間に降伏電圧以上の電圧が印加されると、単一フォトン入射でアバランシェ現象が発生する。単一フォトン入射でアバランシェ現象で増倍させるアバランシェフォトダイオードは、シングルフォトンアバランシェダイオード(SPAD(Single Photon Avalanche Diode):単一フォトンアバランシェダイオード)と呼ばれている。ここでは、光検出素子211として、例えば、SPAD素子を用いる場合を例示している。すなわち、SPAD素子は、特許請求の範囲に記載の光検出素子の一例である。

[0047] 光検出素子211のアノードは、電源電圧 V_{DD} よりも低い所定の電位のノードに接続され、カソードは、クリップトランジスタ212に接続されている

。この光検出素子211のカソード電位を V_{k1} とする。

[0048] クリップトランジスタ212およびリチャージトランジスタ214は、電源電圧 V_{DD} のノードと光検出素子211のカソードとの間において、リチャージトランジスタ214を電源電圧 V_{DD} 側として直列に接続されている。これらのクリップトランジスタ212およびリチャージトランジスタ214の接続ノード（以下、検出ノードN1と称す）の電位を V_{k2} とする。

[0049] クリップトランジスタ212のゲートには、パルスジェネレータ110から供給される制御信号CLIPが入力される。また、リチャージトランジスタ214のゲートとインバータ213とに、パルスジェネレータ110から供給される制御信号XRSTが入力される。

[0050] なお、図4においては、光検出素子211のカソードにリチャージトランジスタ214が接続される読み出し方式であるが、光検出素子211のアノードにリチャージトランジスタ214が接続され、カソードが電源電圧 V_{DD} のノードが接続される読み出し方式であってもよい。

[0051] インバータ213は、制御信号XRSTの論理を反転して検出回路240に供給するものである。

[0052] 検出回路240は、フォトン入射を検出して、パルス信号PLSを生成するものである。この検出回路240は、pMOSトランジスタ241、nMOS（n-channel MOS）トランジスタ242、インバータ243、および、インバータ244を備えている。

[0053] pMOSトランジスタ241およびnMOSトランジスタ242は、電源電圧 V_{DD} のノードと接地電圧のノードとの間において、pMOSトランジスタ241を電源電圧 V_{DD} 側として直列に接続されている。pMOSトランジスタ241のゲートは、検出ノードN1に接続されている。nMOSトランジスタ242のゲートには、インバータ213からの制御信号XRSTの反転信号が入力される。これらのpMOSトランジスタ241およびnMOSトランジスタ242の接続ノードN2の電位に応じた信号を検出信号DETとする。

- [0054] インバータ243は、検出信号DETの論理を反転するものである。インバータ244は、インバータ243からの反転信号の論理を反転し、パルス信号PLSとして、図3に示すカウンタ220に供給する。
- [0055] また、パルスジェネレータ110には、読み出し回路200を制御するための設定情報が、制御部150から入力される。この設定情報は、フォトン入射を検出する検出間隔および検出回数の少なくとも一方の設定値を含む。ここで、検出間隔は、フォトン入射を検出する周期であり、検出回数は、その検出間隔の制御を繰り返す回数を示す。フォトン検出は露光期間に亘って行われるため、検出間隔×検出回数は、露光期間と同一の値となる。
- [0056] 検出間隔内において、制御部150はパルスジェネレータ110に対して、制御信号CLIPをハイレベルにし、次いでローレベルにする制御を行う。検出間隔のうち制御信号CLIPがハイレベルの期間は、検出ノードN1が光検出素子211のカソードから切り離される。この期間を以下、フォトン入射を待つ「待機期間」と称する。一方、検出間隔のうち制御信号CLIPがローレベルの期間は、検出ノードN1が光検出素子211のカソードに接続される。この期間を以下、「接続期間」と称する。
- [0057] 待機期間内にフォトンが入射すると、光検出素子211でアバランシェ増倍が生じ、そのカソード電位 V_{k1} が一定の電位まで降下する。その後の接続期間内にクリップトランジスタ212が検出ノードN1を光検出素子211に接続する。このため、待機期間内にフォトンが入射された場合は、接続期間内に検出ノードN1に電荷が転送され、パルス信号PLSがハイレベルになる。
- [0058] また、接続期間内の所定のリチャージ開始タイミングから所定期間に亘って制御部150はパルスジェネレータ110に対して、制御信号XRSTをローレベルにする制御を行う。これにより、リチャージトランジスタ214は、検出ノードN1に電源電圧 V_{DD} を供給する。この検出ノードN1は、光検出素子211のカソードに接続されているため、電源電圧 V_{DD} までカソード電位 V_{k1} を戻すリチャージ動作が行われる。また、ローレベルの制御信号X

R S Tにより、検出回路240が初期化される。

[0059] まとめると、クリップトランジスタ212は、接続期間内に光検出素子211と検出ノードN1とを電氣的に接続し、待機期間内に検出N1から光検出素子211を切り離す。また、リチャージトランジスタ214は、接続期間内のリチャージ開始タイミングから所定期間が経過するまでに亘って検出ノードN1に電源電圧 V_{DD} を供給する。

[0060] [受光部の動作例]

 図5は、本技術の第1の実施の形態における画素回路210の動作の一例を示すタイミングチャートである。図5には、制御信号CLIP、制御信号XRST、カソード電位 V_{k1} 、検出ノードN1の電位 V_{k2} 、および、インバータ213の出力信号のタイミング関係を示している。

[0061] 初期状態において、カソード電位 V_{k1} と検出ノードの電位 V_{k3} とは、いずれも電源電圧 V_{DD} である。

[0062] 時刻 T_0 から時刻 T_3 までの検出間隔のうち、時刻 T_1 までが待機期間に該当し、時刻 T_1 から時刻 T_3 までの期間が接続期間に該当する。待機期間内において、制御部150による制御の下に、パルスジェネレータ110は制御信号CLIPをハイレベルにする。また、パルスジェネレータ110は、待機期間内の所定タイミングから一定期間に亘って制御信号XRSTをハイレベルにする。

[0063] 時刻 T_0 から時刻 T_1 までの待機期間内にフォトンが入射したものとする。同図において太線の矢印は、フォトン入射のタイミングを示している。フォトン入射により、SPAD素子からなる光検出素子211でアバランシェ増倍が生じてカソード電位 V_{k1} が一定の電位まで降下し、そこでアバランシェ増倍が停止する。待機期間内は、検出ノードN1が光検出素子211から切り離されているため、検出ノードN1の電位 V_{k2} は振幅しない。

[0064] 時刻 T_1 において、光検出素子211のカソードが検出ノードN1に接続されると、カソードの電荷の一部が検出ノードN1に移動する。これにより、検出ノードN1の電位 V_{k2} は降下し、電荷が移動した分だけカソード電

位 V_{k1} は上昇する。また、電検出ノード $N1$ の電位 V_{k2} がpMOSトランジスタ 241 の閾値以下になると、そのpMOSトランジスタ 241 がオン状態になり、パルス信号 PLS が立ち上がる。

[0065] 接続期間内の時刻 $T2$ から所定期間に亘って、制御部 150 による制御の下に、パルスジェネレータ 110 は制御信号 X_{RST} をローレベルにする。これにより、電源電圧 V_{DD} が供給され、検出ノード $N1$ の電位 V_{k2} が電源電圧 V_{DD} に初期化される。また、検出ノード $N1$ が光検出素子 211 のカソードに接続されているため、カソード電位 V_{k1} も電源電圧 V_{DD} に初期化される。同時に、検出回路 240 が初期化され、パルス信号 PLS が立ち下がる。

[0066] 上述したように、本技術の第1の実施の形態における画素回路 210 では、接続期間のうち時刻 $T1$ から時刻 $T2$ までの期間内に読み出し回路 200 がフォトンを検出する検出状態に移行し、時刻 $T2$ から時刻 $T3$ までの期間内に読み出し回路 200 がリチャージ状態に移行する制御が行われる。

[0067] 上述の検出間隔内の制御を繰り返すことにより、検出間隔ごとに、待機期間内に1回以上のフォトン入射があった際に、1パルスを生成することができる。例えば、時刻 $T3$ から時刻 $T4$ までの検出間隔では、待機期間内にフォトンが入射されなかったため、その接続期間内にパルスが生成されない。一方、時刻 $T4$ から時刻 $T5$ までの検出間隔では、2回のフォトン入射があったため、1パルスが生成される。

[0068] 上述した本技術の第1の実施の形態における読み出し回路 200 の構成例、画素回路 210 の構成例、および、画素回路 210 の動作例については、後述する各実施の形態においても同様である。

[0069] 以上説明したように、本技術の第1の実施の形態における光検出装置 100 では、光検出素子 211 と当該光検出素子 211 をリチャージするリチャージトランジスタ 214 とを有する画素回路 210 を含む読み出し回路 200 を備え、決められた検出間隔でのフォトン入射の有無をカウントすることによって撮像を行う。そして、その撮像結果に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御する。より具体的には、画像処理

部160におけるリニアライズ回路161で、照度に対して比例する線形な信号に変換された画素アレイ部120の信号を基に特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行う。これにより、読み出し回路200の入出力特性（即ち、入射するフォトン数－カウンタ220のカウント値の特性）の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0070] また、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100では、SPAD素子からなる光検出素子211のカソードと検出ノードN1との接続／切断（切り離し）を行うクリップトランジスタ212の作用により、光検出素子211のカソードの容量を小さくすることができる。これにより、消費電力を低減することができる。

[0071] <2. 第2の実施の形態>

[光検出装置の構成例]

図6は、本技術の第2の実施の形態における光検出装置100の一構成例を示すブロック図である。

[0072] 本技術の第1の実施の形態における光検出装置100は、画像処理部160におけるリニアライズ回路161で、照度に対して比例する線形な信号に変換された画素アレイ部120の信号を特徴抽出部170に入力する構成をとっている。これに対して、本技術の第2の実施の形態における光検出装置100は、画像処理部160における画像信号生成部162で生成された画像信号を特徴抽出部170に入力する構成をとっている。

[0073] 画像処理部160は、リニアライズ回路161および画像信号生成部162を有し、リニアライズ回路161で、照度に対して比例する線形な信号に変換された画素アレイ部120の信号を基に、画像信号生成部162で画像信号を生成して信号処理部140の外部へ出力する。

[0074] 特徴抽出部170において、検波回路180は、画像処理部160における画像信号生成部162で生成された画像信号を入力とし、当該画素信号を

基にフォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを生成する。そして、特徴抽出部170は、検波回路180で生成したヒストグラムを基に、ダイナミックレンジ、照度平均値、または、中央値を特徴信号として抽出し、この抽出した特徴信号を制御部150に供給する。

[0075] 制御部150は、特徴抽出部170から供給される特徴信号を基に、読み出し回路200におけるフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方、好ましくは、検出間隔および検出回数の両方をパルスジェネレータ110の設定情報として変更する制御を行う。

[0076] 上述したように、本技術の第2の実施の形態における光検出装置100では、画像処理部160で生成された画像信号を基に特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行う。これにより、画像処理部160におけるリニアライズ回路161で、照度に対して比例する線形な信号に変換された画素アレイ部120の信号を基に特徴信号を検出する第1の実施の形態と同様に、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0077] <3. 第3の実施の形態>

[光検出装置の構成例]

図7は、本技術の第3の実施の形態における光検出装置100の一構成例を示すブロック図である。

[0078] 本技術の第3の実施の形態における光検出装置100は、インターフェース回路130から出力される画素アレイ部120の信号を直接特徴抽出部170に入力する構成をとっている。これに対応して、特徴抽出部170は、検波回路180の前段、即ち、入力段にリニアライズ回路190を有する構成となっている。リニアライズ回路190は、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100の画像処理部160に設けられたリニアライズ回路161と同様に、入力される画素アレイ部120の信号を、照度に対して比例する線形な信号にリニアライズする。

[0079] 特徴抽出部170において、検波回路180は、リニアライズ回路190で、照度に対して比例する線形な信号に変換された画素アレイ部120の信号を基に、フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを生成する。そして、特徴抽出部170は、検波回路180で生成したヒストグラムに基づいて、光検出装置100の出力値の特徴信号を抽出し、この抽出した特徴信号を制御部150に供給する。

[0080] 制御部150は、特徴抽出部170から供給される特徴信号を基に、読み出し回路200におけるフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方、好ましくは、検出間隔および検出回数の両方をパルスジェネレータ110の設定情報として変更する制御を行う。

[0081] 上述したように、本技術の第3の実施の形態における光検出装置100では、特徴抽出部170の入力段にリニアライズ回路190を有し、インターフェース回路130から出力される画素アレイ部120の信号を直接特徴抽出部170に入力するようにしている。そして、特徴抽出部170内において、照度に対して比例する線形な信号にリニアライズされた画素アレイ部120の信号を基に特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことにより、第1の実施の形態と同様に、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0082] <4. 第4の実施の形態>

[光検出装置の構成例]

図8は、本技術の第4の実施の形態における光検出装置100の一構成例を示すブロック図である。

[0083] 本技術の第4の実施の形態における光検出装置100は、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100を基本とし、特徴抽出部170で検出した特徴信号に基づいて、制御部150がパルスジェネレータ110の設定情報を変更することにより、フォトンの検出間隔および検出回数の少なくと

も一方の制御を行う構成となっている。この構成に加えて、本技術の第4の実施の形態における光検出装置100では、制御部150が外部からのユーザ制御に基づいて、フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行う構成となっている。

[0084] 制御部150に対するユーザによる外部制御（ユーザ制御）については、例えば、I2C（Inter-Integrated Circuit）、I3C（Improved Inter-Integrated Circuit）、SPI（Serial Peripheral Interface）等のバスを通して行うことができる。

[0085] 上述した本技術の第4の実施の形態における光検出装置100によれば、撮像結果を基に検出した特徴信号に基づいてパルスジェネレータ110の設定情報を変更することができるとともに、ユーザによる外部制御に基づいてパルスジェネレータ110の設定情報を任意に変更することができる。

[0086] [第4の実施の形態の変形例]

第4の実施の形態の変形例とし、ユーザ制御によるマニュアル制御を行うモード、撮像結果に基づくオート制御を行うモード、および、ユーザの設定による制限と撮像結果を基に制御を行うモードを切り替えることができるシステム構成とすることもできる。ユーザの設定による制限の対象としては、ダイナミックレンジ、シャッター時間、フレームレート、SNR（Signal-to-Noise Ratio：信号対雑音比）、ガンマカーブ特性等を例示することができる。

[0087] <5. 第5の実施の形態>

[光検出装置の構成要素の配置例(1)]

図9は、本技術の第5の実施の形態における光検出装置100の配置例を示すブロック図である。本技術の第5の実施の形態における光検出装置100の配置例では、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100の構成を前提としている。

[0088] 本技術の第5の実施の形態における光検出装置100の配置例は、第1の実施の形態における光検出装置100において、パルスジェネレータ110

、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130をセンサチップ300に配置し、制御部150、画像処理部160、および、特徴抽出部170をISP (Image Signal Processor) チップ400に配置した構成となっている。なお、センサチップ300は、特許請求の範囲に記載の第1のチップの一例であり、ISPチップ400は、特許請求の範囲に記載の第2のチップの一例である。

[0089] このように、画像処理部160、および、特徴抽出部170をISPチップ400に配置した配置例(1)によっても、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100と同様の作用、効果を得ることができる。すなわち、撮像結果を基に検出した特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことができるため、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0090] <6. 第6の実施の形態>

[光検出装置の構成要素の配置例(2)]

図10は、本技術の第6の実施の形態における光検出装置100の配置例を示すブロック図である。本技術の第6の実施の形態における光検出装置100の配置例では、本技術の第2の実施の形態における光検出装置100の構成を前提としている。

[0091] 本技術の第6の実施の形態における光検出装置100の配置例は、本技術の第2の実施の形態における光検出装置100において、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130をセンサチップ300に配置し、画像処理部160をISPチップ400に配置し、制御部150および特徴抽出部170を、ISPチップ400と異なる制御チップ500に配置した構成となっている。なお、制御チップ500は、特許請求の範囲に記載の第3のチップの一例である。

[0092] このように、制御部150および特徴抽出部170をISPチップ400と別チップである制御チップ500に配置した配置例(2)によっても、本技術

の第1の実施の形態における光検出装置100と同様の作用、効果を得ることができる。すなわち、撮像結果を基に検出した特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことができるため、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0093] <7. 第7の実施の形態>

[光検出装置の構成要素の配置例(3)]

図11は、本技術の第7の実施の形態における光検出装置100の配置例を示すブロック図である。本技術の第7の実施の形態における光検出装置100の配置例では、本技術の第3の実施の形態における光検出装置100の構成を前提としている。

[0094] 本技術の第7の実施の形態における光検出装置100の配置例は、本技術の第3の実施の形態における光検出装置100において、制御部150および特徴抽出部170を、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130と同じセンサチップ300に配置し、画像処理部160をISPチップ400に配置した構成となっている。

[0095] このように、制御部150および特徴抽出部170を画素アレイ部120と同じセンサチップ300に配置した配置例(3)によっても、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100と同様の作用、効果を得ることができる。すなわち、撮像結果を基に検出した特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことができるため、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0096] <8. 第8の実施の形態>

[光検出装置の構成要素の配置例(4)]

図12は、本技術の第8の実施の形態における光検出装置100の配置例を示すブロック図である。本技術の第8の実施の形態における光検出装置100の配置例では、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100の

構成を前提としている。

[0097] 本技術の第8の実施の形態における光検出装置100の配置例は、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100において、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130をセンサチップ300に配置し、画像処理部160および特徴抽出部170をISPチップ400に配置し、制御部150のみを制御チップ500に配置した構成となっている。

[0098] このように、制御部150をセンサチップ300およびISPチップ400と別チップの制御チップ500に配置した配置例(4)によっても、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100と同様の作用、効果を得ることができる。すなわち、撮像結果を基に検出した特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことができるため、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0099] <9. 第9の実施の形態>

[光検出装置の構成要素の配置例(5)]

図13は、本技術の第9の実施の形態における光検出装置100の配置例を示すブロック図である。本技術の第9の実施の形態における光検出装置100の配置例では、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100の構成を前提としている。

[0100] 本技術の第9の実施の形態における光検出装置100の配置例は、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100において、制御部150を、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130と同じセンサチップ300に配置し、画像処理部160および特徴抽出部170をISPチップ400に配置した構成となっている。

[0101] このように、制御部150を画素アレイ部120と同じセンサチップ300に配置した配置例(5)によっても、本技術の第1の実施の形態における光検出装置100と同様の作用、効果を得ることができる。すなわち、撮像結果

を基に検出した特徴信号に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方の制御を行うことができるため、読み出し回路200の入出力特性の適正化を図ることができ、それに伴って入射する光に対して適切なダイナミックレンジとすることができる。

[0102] <10. 複数の検出間隔でフォトン検出を行う方式について>

アバランシェ増倍による立ち上がりを検出し、外部供給の制御信号により一定間隔でリセットを行う画素回路では、カウンタのカウント値が階調を持つ照度レンジはフォトンの検出間隔によって制約を受ける。これに対して、複数の検出間隔でフォトンの検出（フォトンのカウント）を行う方式を採用することで、フォトンの検出回数（カウンタのカウント値）が階調を持つ照度レンジを広げた高ダイナミックレンジな撮影や特定の照度レンジの階調を持ち上げるような撮影を実現できる。ここで、照度レンジは、照度のダイナミックレンジであり、画像全体で最も暗いところから最も明るいところまでの範囲である。

[0103] [高照度には短い検出間隔、低照度には長い検出間隔]

以下に、複数の検出間隔でフォトンの検出を行う方式について、図14を用いて具体的に説明する。ここでは、複数の検出間隔として、相対的に長い検出間隔と、相対的に短い検出間隔との2つの検出間隔の場合を例に挙げて説明する。図14は、高照度、低照度のシーンの撮影で必要となるフォトンの検出間隔についての説明図である。

[0104] 相対的に長いフォトンの検出間隔と相対的に短いフォトンの検出間隔とによって1つの撮像フレームが構成される。1つの検出間隔内に1つ以上のフォトンの入射があることによってカウント値（カウント数）が”1”となる。1つの検出間隔内に複数のフォトンの入射があってもカウント値は”1”である。

[0105] 相対的に低い照度（低照度）のシーンの撮影では、フォトンが入射する頻度が低い。したがって、低照度に対しては、相対的に長いフォトンの検出間隔を使うことで、フォトンのカウント漏れを防ぐことができる。逆に、相対

的に高い照度（高照度）のシーンの撮影では、高頻度でフォトンが入射するため、相対的に長いフォトンの検出間隔だとカウント値が飽和することになる。したがって、高照度に対しては、相対的に短いフォトンの検出間隔を使うことで、間引きしながらフォトンのカウントを行うことができるため、カウント値を飽和させないようにすることができる。

[0106] 上述のことから明らかなように、相対的に高い照度のシーンの撮影には、相対的に短いフォトンの検出間隔が必要となり、相対的に低い照度のシーンの撮影には、相対的に長いフォトンの検出間隔が必要となる。

[0107] 図14の下側の図には、横軸を照度に比例する入射フォトンレートとし、縦軸をカウント値とする入出力特性を示している。ここでは、相対的に長いフォトンの検出間隔（例えば、1000 [nsec] × 5000 [cnt]）の場合を実線の曲線で示し、相対的に短いフォトンの検出間隔（例えば、10 [nsec] × 5000 [cnt]）の場合を点線の曲線で示している。

[0108] この入出力特性において、曲線が階調を持っている部分がダイナミックレンジに相当することになる。この入出力特性から明らかなように、相対的に長い検出間隔だけ、あるいは、相対的に短い検出間隔だけを使うと、相対的に低い照度の部分でしかダイナミックレンジを確保できなかつたり、相対的に高い照度の部分でしかダイナミックレンジを確保できなかつたりする。

[0109] [長短の検出間隔の組み合わせ]

そこで、相対的に長いフォトンの検出間隔と相対的に短いフォトンの検出間隔とを組み合わせるようにする。このように、長短のフォトンの検出間隔を組み合わせることにより、広い照度レンジで階調を持たせることができるため、高ダイナミックレンジを実現することができる。

[0110] 図15は、長短のフォトンの検出間隔の組み合わせについての説明図である。図15の下側の図には、横軸を入射フォトンレートとし、縦軸をカウント値とする入出力特性を示している。ここでは、相対的に長いフォトンの検出間隔（例えば、1000 [nsec] × 5000 [cnt]）の場合を実線の曲線で示し、相対的に短いフォトンの検出間隔（例えば、10 [nsec] × 500

0 [cnt]) の場合を点線の曲線で示している。

[0111] そして、長短の検出間隔を組み合わせた場合の特性を破線の曲線で示している。この長短の検出間隔の組み合わせによる特性は、例えば、 $10 \text{ [nsec]} \times 1666 \text{ [cnt]} + 100 \text{ [nsec]} \times 1666 \text{ [cnt]} + 1000 \text{ [nsec]} \times 1666 \text{ [cnt]}$ であり、 $10 \text{ [nsec]} : 100 \text{ [nsec]} : 1000 \text{ [nsec]} = 1 : 1 : 1$ の場合の特性である。

[0112] 図15の入出力特性から明らかなように、相対的に長い検出間隔と相対的に短い検出間隔とを組み合わせることで、どの照度に対しても適切なフォトンの検出（カウント）を行うことができ、広い照度レンジで階調を持たせることができるため、高ダイナミックレンジを実現することができる。

[0113] [照度毎の階調制御]

長短の検出間隔の組み合わせの他に、長短の検出間隔毎の検出回数（カウント数）のブレンド比を変えるようにすることもできる。このように、長短の検出間隔毎の検出回数のブレンド比を変えることにより、照度毎の階調を制御することができる。

[0114] 図16は、照度毎の階調制御についての説明図である。図16には、横軸を入射フォトンレートとし、縦軸をカウント値とする入出力特性を示している。この入出力特性では、相対的に長い検出間隔の場合を実線の曲線で示し、相対的に短い検出間隔の場合を点線の曲線で示し、長短の検出間隔を組み合わせた場合を破線で示している。

[0115] ここでは、一例として、相対的に長い検出間隔については、 $10 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]} + 100 \text{ [nsec]} \times 4000 \text{ [cnt]} + 1000 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]}$) とし、相対的に短い検出間隔については、 $10 \text{ [nsec]} \times 4000 \text{ [cnt]} + 100 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]} + 1000 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]}$) とし、長短の検出間隔を組み合わせについては、 $10 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]} + 100 \text{ [nsec]} \times 500 \text{ [cnt]} + 1000 \text{ [nsec]} \times 4000 \text{ [cnt]}$) としている。

[0116] 上述のように、長短の検出間隔毎の検出回数（カウント数）のブレンド比を変えることにより、照度毎の階調を制御することができる。例えば、相対的に高い照度側で階調を得たい場合には、相対的に短い検出間隔の検出回数を増やし、相対的に低い照度側で階調を得たい場合には、相対的に長い検出間隔の検出回数を増やす制御を行う。これにより、対応する照度領域の階調が高くなるため、S N Rの向上を図ることができる。

[0117] < 1 1 . 第 1 0 の実施の形態 >

本技術の第 1 0 の実施の形態は、複数の検出間隔でフォトン検出を行う方式において、階調および低消費電力を優先する例である。また、本技術の第 1 0 の実施の形態は、画素アレイ部 1 2 0 の信号の検波から、その検波結果に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するまでの全ての処理を、後述するアプリケーションプロセッサ側で行う例でもある。

[0118] [光検出装置の構成例]

図 1 7 は、本技術の第 1 0 の実施の形態における光検出装置 1 0 0 の一構成例を示すブロック図である。

[0119] 本技術の第 1 0 の実施の形態における光検出装置 1 0 0 は、パルスジェネレータ 1 1 0、画素アレイ部 1 2 0、インターフェース回路 1 3 0、信号処理部 1 4 0、および、制御部 1 5 0 を具備する構成において、パルスジェネレータ 1 1 0、画素アレイ部 1 2 0、および、インターフェース回路 1 3 0 は、センサチップ 3 0 0 に配置されている。また、画像処理部 1 6 0 および特徴抽出部 1 7 0 を含む信号処理部 1 4 0 と制御部 1 5 0 とは、アプリケーションプロセッサ 6 0 0 を構成している。

[0120] アプリケーションプロセッサ 6 0 0 において、特徴抽出部 1 7 0 は、検波回路 1 8 0 および目的センサ応答曲線設計部 6 1 0 を有している。

[0121] 検波回路 1 8 0 は、画像処理部 1 6 0 におけるリニアライズ回路 1 6 1 で、照度に対して比例する線形な信号にリニアライズされた画素アレイ部 1 2 0 の信号を基に、フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを生成

し、当該ヒストグラムから光子レートの度数分布（照度分布）を作成する。

[0122] 目的センサ応答曲線設計部 610 は、検波回路 180 で作成された光子レートの度数分布に基づいて目的とするセンサ応答曲線を作成し、当該目的とするセンサ応答曲線の情報を特徴信号として制御部 150 に供給する。

[0123] 制御部 150 は、目的センサ応答曲線設計部 610 から目的とするセンサ応答曲線の情報を受信すると、当該センサ応答曲線を実現する光子の検出間隔 T_p 、および、ある光子の検出間隔でのカウント値（カウント数） N_{max} を推定する。すなわち、制御部 150 は、光子の検出間隔 T_p およびカウント値（光子の検出回数） N_{max} を計算する機能を持っている。なお、全体の最大カウント値 N は、 $N = \sum N_{max}$ である。

[0124] 制御部 150 は、推定した光子の検出間隔 T_p 、および、ある光子の検出間隔でのカウント値 N_{max} をパルスジェネレータ 110 に与えることで、光子の検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御する。

[0125] 上述のように、画像処理部 160、特徴抽出部 170、および、制御部 150 を含むアプリケーションプロセッサ 600 は、画素アレイ部 120 での撮像結果における特徴信号を検出し、当該特徴信号に基づいて光検出素子 211 での光子の検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する。

[0126] 続いて、本技術の第 10 の実施の形態における光検出装置 100 における 2 つの階調優先モード(1)、(2)の制御の流れ、および、低消費電力優先モードについて説明する。

[0127] [階調優先モード(1)]

図 18 は、本技術の第 10 の実施の形態における光検出装置 100 の階調優先モード(1)の制御の流れを示す図である。

[0128] 図 18 における a は、あるシーンの画像全体を表している。検波回路 180 は、光子の検出頻度を度数として示すヒストグラムから光子レートの度数分布を作成する。光子レートの度数分布を図 18 における b に

示す。このフォトンレートの度数分布を基に、目的センサ応答曲線設計部610は、目的とするセンサ応答曲線を作成する。具体的には、フォトンレートの度数分布が高いところではカウント値の傾きが大きく、度数分布が低いところではカウント値の傾きが小さいセンサ応答曲線を作成する。目的とするセンサ応答曲線を図18におけるcに示す。そして、制御部150は、図18におけるdに示すように、目的とするセンサ応答曲線を実現するフォトンの検出間隔 T_p 、および、あるフォトンの検出間隔でのカウント値 N_{max} を推定する。

[0129] 上述のように、階調優先モード(1)では、図17に示す制御部150による制御の下に、あるシーンの画像全体の照度分布（フォトンレートの度数分布）のヒストグラムを参照し、度数分布の高い照度レンジで階調を高めるように、即ち、シーンの照度分布に対してフォトンのカウント値（検出回数）の階調を最大化するように制御が行われる。このように、フォトンのカウント値の階調を優先した制御を行うことで、シーンの照度分布に対して適切なフォトンの検出間隔とフォトンのカウント値の制御が可能になり、シーンの情報を最大限得ることができる。

[0130] [階調優先モード(2)]

上述の階調優先モード(1)では、あるシーンの画像全体の照度分布に対してフォトンのカウント値（検出回数）の階調を最大化する制御を行うとしている。これに対して、階調優先モード(2)では、ターゲットとなる被写体の照度分布に対してフォトンのカウント値（検出回数）の階調を最大化する制御を行うようにする。

[0131] 図19は、本技術の第10の実施の形態における光検出装置100の階調優先モード(2)の制御の流れを示す図である。

[0132] 図19におけるaは、ターゲットとなる被写体の領域（破線枠）を表している。検波回路180は、フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムからフォトンレートの度数分布を作成する。具体的には、ターゲットとなる被写体の領域に対して重み付けをしたフォトンレートの度数分布を作成す

る。フォトンレートの度数分布を図19におけるbに示す。このフォトンレートの度数分布を基に、目的センサ応答曲線設計部610は、目的とするセンサ応答曲線を作成する。具体的には、フォトンレートの度数分布が高いところではカウント値の傾きが大きく、度数分布が低いところではカウント値の傾きが小さいセンサ応答曲線を作成する。目的とするセンサ応答曲線を図19におけるcに示す。そして、制御部150は、図19におけるdに示すように、目的とするセンサ応答曲線を実現するフォトンの検出間隔 T_p 、および、あるフォトンの検出間隔でのカウント値 N_{max} を推定する。

[0133] 上述のように、階調優先モード(2)では、図17に示す制御部150による制御の下に、ターゲットとなる被写体の領域の照度分布（フォトンレートの度数分布）のヒストグラムを参照し、当該照度分布に対してフォトンのカウント値（検出回数）の階調を最大化するように制御が行われる。このように、フォトンのカウント値の階調を優先した制御を行うことで、ターゲットとなる被写体の照度分布に対して適切なフォトンの検出間隔とフォトンのカウント値の制御が可能になり、被写体の情報を最大限得ることができる。

[0134] [低消費電力優先モード]

あるフォトンの検出間隔でのカウント数を増やすと、対応する照度領域の階調が高くなってSNRが向上する一方、カウンタ220のカウント値が大きくなるため消費電力が増大する。すなわち、SNRと消費電力とはトレードオフの関係にある。そこで、低消費電力優先モードでは、図17に示す制御部150による制御の下に、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを下回らない範囲でカウンタ220のカウント値を最小にする制御が行われる。

[0135] 図20は、本技術の第10の実施の形態における光検出装置100の低消費電力優先モードについての説明図である。

[0136] 単一の検出間隔のSNRカーブは、次の式で表される。

[数1]

$$\text{SNR} = \frac{-f_p T_p}{\log(1 - \sqrt{(e^{f_p T_p} - 1) / N_{\max}})} \quad \dots \text{式1}$$

上式において、 f_p は、入射光子レートであり、 T_p は、光子の検出間隔であり、 N_{\max} は、光子の検出回数（カウンタのカウント値）である。

[0137] 図20には、複数の検出間隔 T_p のSNRカーブを図示している、図20において、大きい一点鎖線は $T_p = 25$ [nsec]のSNRカーブを示し、大きい破線は $T_p = 100$ [nsec]のSNRカーブを示し、二点鎖線は $T_p = 400$ [nsec]のSNRカーブを示し、小さい一点鎖線は $T_p = 1600$ [nsec]のSNRカーブを示し、小さい破線は $T_p = 6400$ [nsec]のSNRカーブを示し、点線は $T_p = 25600$ [nsec]のSNRカーブを示している。また、実線は多重露出モードを示している。

[0138] 本技術の第10の実施の形態における光検出装置100の低消費電力優先モードでは、図17に示す制御部150による制御の下に、複数の検出間隔 T_p のSNRカーブをプロットしたとき、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを下回らない範囲でカウンタ220のカウント値（光子の検出回数）を最小にする制御が行われる。これにより、光検出装置100の消費電力を抑えることができる。図20に示す例では、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを25 [dB]としている。

[0139] <12. 第11の実施の形態>

本技術の第11の実施の形態は、複数の検出間隔で光子検出を行う方式において、シャッター時間を制御する例である。このシャッター時間の制御モードでは、光子レートの度数分布に基づいて作成される、目的とするセンサ応答曲線（階調）については固定で、ダイナミックレンジのみをシフトする制御が行われることになる。

[0140] [光検出装置の構成例]

図21は、本技術の第11の実施の形態における光検出装置100の一構

成例を示すブロック図である。

- [0141] 本技術の第11の実施の形態における光検出装置100は、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、インターフェース回路130、信号処理部140、および、制御部150を具備する構成において、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、および、インターフェース回路130は、センサチップ300に配置されている。また、画像処理部160および特徴抽出部170を含む信号処理部140と制御部150とは、アプリケーションプロセッサ600を構成している。
- [0142] 本技術の第11の実施の形態におけるシャッター時間の制御モードでは、階調（センサ応答曲線の形状）が固定であることで、アプリケーションプロセッサ600において、特徴抽出部170は、検波回路180のみを有している。すなわち、第11の実施の形態では、第10の実施の形態における特徴抽出部170に配置されていた、目的センサ応答曲線設計部610を不要とする構成となっている。これにより、第11の実施の形態におけるアプリケーションプロセッサ600の構成を、目的センサ応答曲線設計部610を不要とした分だけ、第10の実施の形態よりも簡略化できる。
- [0143] 検波回路180は、画像処理部160におけるリニアライズ回路161で、照度に対して比例する線形な信号にリニアライズされた画素アレイ部120の信号を基に、フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを生成し、当該ヒストグラムからフォトンレートの度数分布（照度分布）を信号統計量として作成する。そして、検波回路180は、検波後の信号統計量を特徴信号として制御部150に供給する。
- [0144] 制御部150は、検波回路180から特徴信号としてフォトンレートの度数分布を受信すると、固定のセンサ応答曲線を実現するフォトンの検出間隔 T_p 、および、あるフォトンの検出間隔でのカウント値（カウント数） N_{\max} を推定する。すなわち、制御部150は、フォトンの検出間隔 T_p およびカウント値（フォトンの検出回数） N_{\max} を計算する機能を持っている。
- [0145] そして、制御部150は、全てのフォトンの検出間隔 T_p を一律 n 倍する制

御を行う。図22の左側に、全てのフォトンの検出間隔 T_p を一律 n 倍（例えば、 $n=0.1$ ）する前の入力フォトンレートに対するカウント値およびSNRの特性を示し、同図の右側に、全てのフォトンの検出間隔 T_p を一律 n 倍した後の入力フォトンレートに対するカウント値およびSNRの特性を示している。

[0146] 本技術の第11の実施の形態におけるシャッター時間の制御モードでは、複数の検出間隔 T_p を、25 [nsec]（図中、大きい一点鎖線）、100 [nsec]（大きい破線）、400 [nsec]（二点鎖線）、1600 [nsec]（小さい一点鎖線）、6400 [nsec]（小さい破線）、および、25600 [nsec]（点線）としており、この点については、本技術の第10の実施の形態における低消費電力優先モードと同じである。

[0147] 制御部150による制御の下に、全てのフォトンの検出間隔 T_p を一律 n 倍すると、入力フォトンレートのダイナミックレンジは $1/n$ 倍シフトする。例えば、全てのフォトンの検出間隔 T_p を一律0.1倍すると、図22に示すように、入力フォトンレートのダイナミックレンジが、 $10^4\sim 10^8$ [Hz]から $10^5\sim 10^9$ [Hz]にシフトする。

[0148] 上述のように、本技術の第11の実施の形態におけるシャッター時間の制御モードにおいては、検波回路180で作成されたフォトンレートの度数分布を基に作成されるセンサ応答曲線の形状を変えずに、ダイナミックレンジだけをシフトする制御が行われる。これにより、センサ応答曲線の形状を変えないことで階調については固定のまま、ダイナミックレンジだけをシフトすることができる。

[0149] <13. 第12の実施の形態>

先述の本技術の第10の実施の形態は、画素アレイ部120の信号の検波から、その検波結果に基づいてフォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するまでの全ての処理をアプリケーションプロセッサ600側で行う例である。これに対して、本技術の第12の実施の形態は、本技術の第10の実施の形態の変形例であり、アプリケーションプロセッサ600

で検波した信号統計量をセンサチップ300側へ出力し、応答曲線の設計以降の処理をセンサチップ300側で行う例である。

[光検出装置の構成例]

図23は、本技術の第12の実施の形態における光検出装置100の一構成例を示すブロック図である。

[0150] 本技術の第12の実施の形態における光検出装置100は、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、インターフェース回路130、画像処理部160、検波回路180、目的センサ応答曲線設計部610、および、制御部150を具備する構成において、画像処理部160および検波回路180によってアプリケーションプロセッサ600を構成している。そして、パルスジェネレータ110、画素アレイ部120、インターフェース回路130、目的センサ応答曲線設計部610、および、制御部150をセンサチップ300側に配置している。

[0151] 上述のように、本技術の第12の実施の形態における光検出装置100は、アプリケーションプロセッサ600における検波回路180での検波後の信号統計量をセンサチップ300側へ出力し、目的センサ応答曲線設計部610でのセンサ応答曲線の設計以降の処理をセンサチップ300側で行う構成となっている。この構成によっても、本技術の第12の実施の形態における2つの階調優先モード(1)、(2)、および、低消費電力優先モードと同様の処理を行うことができる。

[0152] なお、ここでは、本技術の第12の実施の形態について、本技術の第10の実施の形態の変形例としたが、本技術の第11の実施の形態の変形例とすることもできる。この変形例の場合、図23における目的センサ応答曲線設計部610を削除する構成となる。

[0153] <14. 第13の実施の形態>

先述の第1の実施の形態では、リニアライズ回路161が、画素アレイ部120からの信号に対してリニアライズを行っていた。この構成では、制御部150が撮像シーンに合わせて検出間隔や検出回数を制御しようとする

、画素アレイ部 120 の応答特性も変化する。このため、シーンに合わせたリニアライズを行うには、その応答特性を示す関数の逆関数が必要になる。この第 13 の実施の形態における光検出装置 100 は、逆関数を用いてルックアップテーブルを生成する点において第 1 の実施の形態と異なる。

[0154] 図 24 は、本技術の第 13 の実施の形態における光検出装置 100 の一構成例を示すブロック図である。この第 13 の実施の形態の光検出装置 100 は、画像処理部 160 内にルックアップテーブル生成部 163 およびメモリ 164 をさらに配置した点において第 1 の実施の形態と異なる。

[0155] ルックアップテーブル生成部 163 は、制御部 150 により設定された検出間隔 T_p および検出回数に基づいて、画素アレイ部 120 からフォトンのカウント値 N_{cnt} とフォトンレート f_p とを対応付けたルックアップテーブルを生成するものである。ここで、図 14 に例示したように、フォトンの入射に対する画素アレイ部 120 の応答特性は非線形である。この応答特性を示す関数は、例えば、次の式により表すことができる。

[数2]

$$N_{cnt} = (1 - e^{(-T_p \times f_p)}) \times N_{max} \quad \dots \text{式2}$$

上式において、 N_{max} は、総カウント数であり、「0」からカウントする場合、検出回数の設定値から「1」を減算した値となる。

[0156] 式 2 の逆関数は、次の式により表される。

[数3]

$$f_p = -\frac{\log\left(1 - \frac{N_{cnt}}{N_{max}}\right)}{T_p} \quad \dots \text{式3}$$

[0157] ルックアップテーブル生成部 163 は、式 3 を用いてカウント値 N_{cnt} ごとにフォトンレート f_p を演算し、それらに対応付けたルックアップテーブルを生成してメモリ 164 に保持させる。リニアライズ回路 161 は、メモリ 1

64に保持されたルックアップテーブルを参照して、カウント値 N_{cnt} に対応する光子レート f_p を取得し、特徴抽出部170および画像信号生成部162に供給する。これにより、リニアライズが実現される。

[0158] 図25は、本技術の第13の実施の形態におけるルックアップテーブルの一例を示す図である。例えば、検出回数として「5000」が設定された場合、カウント値 N_{cnt} の範囲は、「0」から「4999」までとなる。ルックアップテーブル生成部163は、「0」から「4999」のそれぞれと、総カウント数 N_{max} （ここでは、4999）と、設定された検出間隔 T_p とを式3に代入し、「 f_0 」から「 f_{4999} 」の値の光子レート f_p を算出する。そして、ルックアップテーブル生成部163は、それらのカウント値と光子レートとを対応付けたルックアップテーブルをメモリ164に保持させる。

[0159] 同図では、1つの検出間隔 T_p のみが設定された場合を想定しているが、前述したように、制御部150は、ダイナミックレンジを拡大するなどの目的で複数の検出間隔を設定することができる。図26および図27を参照して、複数の検出間隔が設定された場合のルックアップテーブルの生成方法の一例について説明する。

[0160] 図26に例示するように、例えば、互いに異なる検出間隔 T_{p1} 、 T_{p2} および T_{p3} の3つが設定されたものとする。また、検出間隔 T_{p1} 、 T_{p2} 、 T_{p3} に対応する検出回数として、それぞれ「8」、「6」、「5」が設定されたものとする。

[0161] 検出間隔 T_{p1} に対応するカウント値 $N_{cnt}^{(1)}$ の範囲は、「0」から「7」となり、検出間隔 T_{p2} に対応するカウント値 $N_{cnt}^{(2)}$ の範囲は、「0」から「5」となる。検出間隔 T_{p3} に対応するカウント値 $N_{cnt}^{(3)}$ の範囲は、「0」から「4」となる。カウント値が「0」のときの光子レートは、式3より、検出間隔に関わらず「0」となる。このため、ルックアップテーブル生成部163は、検出間隔ごとに、「1」以降のカウント値のそれぞれについて、式3の逆関数を用いて光子レートを算出する。

[0162] 同図に例示するように、検出間隔 T_{p_1} に対応するフォトンレート $f_p^{(1)}$ として、「3」から「105」が算出され、検出間隔 T_{p_2} に対応するフォトンレート $f_p^{(2)}$ として、「1.1」から「23」が算出された。また、検出間隔 T_{p_3} に対応するフォトンレート $f_p^{(3)}$ として、「0.3」から「5」が算出された。

[0163] 図27におけるaに、検出間隔ごとのフォトンレートの一例を示す。同図におけるaの縦軸は、検出間隔を示し、横軸は、フォトンレートを示す。また、黒丸は、フォトンレート $f_p^{(1)}$ の算出値を示し、灰色の丸は、フォトンレート $f_p^{(2)}$ の算出値を示す。白丸は、フォトンレート $f_p^{(3)}$ の算出値を示す。丸の中の数値は、対応するカウント値を示す。

[0164] 同図におけるbに例示するように、ルックアップテーブル生成部163は、検出間隔ごとに算出したフォトンレートの集合を、所定の規則に従って（例えば、昇順で）ソートする。ソート前のフォトンレートの集合 f_p^{cat} を例えば、次の式により表す。

[数4]

$$f_p^{cat} = Concat(f_p^{(1)}, f_p^{(2)}, f_p^{(3)}) = [3, \dots, 105, 1.1, \dots, 23, 0.3, \dots, 5] \dots \text{式4}$$

上式において、0.3から105の集合が $f_p^{(1)}$ に対応し、1.1から23が $f_p^{(2)}$ に対応する。0.3から5が $f_p^{(3)}$ に対応する。

[0165] ソート後のフォトンレート f_p の集合を例えば、次の式により表す。

[数5]

$$f_p = Sort(f_p^{cat}) = [3, \dots, 1.1, \dots, 3, \dots, 5, \dots, 23, \dots, 105] \dots \text{式5}$$

[0166] そして、ルックアップテーブル生成部163は、ソートしたフォトンレートのそれぞれに新たなカウント値を割り当てる。

[0167] この例では、フォトンレートの算出値の個数が合計で16であったため、「1」から「16」のカウント値が割り当てられる。例えば、式5のフォトンレートの最小値が「0.3」であったため、その値に「1」のカウント値

が割り当てられる。また、式5の光子レートの最大値が「105」であったため、その値に「16」のカウンタ値が割り当てられる。ルックアップテーブル生成部163は、それらのカウンタ値と光子レートとを対応付けたルックアップテーブルを生成する。ただし、このままでは、誤差が含まれるため、ニュートン法により光子レートの値を補正することが好ましい。

[0168] ニュートン法により補正を行う場合、例えば、式5の算出値が初期値 f_{p_0} として用いられる。また、式2に基づいて、次の関数 $f(x)$ を定義する。

[数6]

$$f(x) = \sum_{i=1}^I (1 - e^{-T_p^{(i)}x}) N_{\max}^{(i)} - N_{cnt} \quad \dots \text{式6}$$

上式において、 I は、検出間隔の設定数を示す整数であり、式4の例では、「3」となる。

[0169] 式6の微分により、次の式が得られる。

[数7]

$$f'(x) = \sum_{i=1}^I T_p^{(i)} N_{\max}^{(i)} e^{-T_p^{(i)}x} \quad \dots \text{式7}$$

[0170] そして、ルックアップテーブル生成部163は、カウンタ値ごとに、 t が所定値（例えば、「2」）になるまで次の式を反復して、収束値を求める。

[数8]

$$f_{p_t+1} = f_{p_t} - \frac{f(f_{p_t})}{f'(f_{p_t})} \quad \dots \text{式8}$$

上式において、 t が「0」のときの初期値 f_{p_0} として、式5の値が用いられる。

[0171] ルックアップテーブル生成部163は、カウンタ値ごとに、式8で得られた収束値を補正後の光子レートとして、その値によりルックアップテー

ブルを更新する。

[0172] このように、本技術の第13の実施の形態によれば、ルックアップテーブル生成部163が逆関数を用いてルックアップテーブルを生成するため、リニアライズ回路161は、そのテーブルを参照して、シーンに応じた適切なリニアライズを行うことができる。

[0173] [第13の実施の形態の変形例]

上述の第13の実施の形態では、複数の検出間隔が設定された際に、ルックアップテーブル生成部163は、検出間隔ごとに光子レートを算出してソートし、カウント値を割り当てていたが、さらに演算量を削減することが望ましい。この第13の実施の形態の変形例における光検出装置は、予め作成しておいた複数のルックアップテーブルを結合する点において第1の実施の形態と異なる。

[0174] 図28は、本技術の第13の実施の形態の変形例におけるルックアップテーブルの生成方法を説明するための図である。予め生成しておいた、検出間隔の異なる複数のルックアップテーブルが結合元ルックアップテーブルとしてメモリ164に格納される。同図におけるaは、検出間隔 T_a と、「1000」の検出回数とが設定された際の結合元ルックアップテーブルの一例を示す。このテーブルにおいて、「0」から「9999」のカウント値に対応する光子レートを f_{a_0} から $f_{a_{9999}}$ とする。

[0175] 同図におけるbは、検出間隔 T_b と、「10000」の検出回数とが設定された際の結合元ルックアップテーブルの一例を示す。このテーブルにおいて、「0」から「9999」のカウント値に対応する光子レートを f_{b_0} から $f_{b_{9999}}$ とする。なお、メモリ164内の結合元ルックアップテーブルは、2つに限定されず、3つ以上であってもよい。

[0176] 制御部150により検出間隔および検出回数が設定されると、ルックアップテーブル生成部163は、設定された検出間隔に近い検出間隔の複数の結合元ルックアップテーブルをメモリ164から読み出す。そして、ルックアップテーブル生成部163は、それらの光子レートの重み付け加算によ

り新たなルックアップテーブルを、結合先ルックアップテーブルとして生成する。例えば、撮像時に設定された検出間隔を T_c とし、その T_c と T_a および T_b との間に次の関係式が成立するものとする。

$$T_c = T_a \times \alpha + T_b \times \beta \quad \dots \text{式9}$$

$$\alpha + \beta = 1 \quad \dots \text{式10}$$

上式において、 α および β は、実数であり、重みとして用いられる。

[0177] 例えば、同図における c に例示するように、ルックアップテーブル生成部 163 は、カウント値「0」に対応するフォトンレートについて、同図における a のテーブルから f_{a0} を読み出し、同図における b のテーブルから f_{b0} を読み出す。そして、ルックアップテーブル生成部 163 は、重み α 、 β により、それらのフォトンレートを重み付け加算し、その加算値を結合元ルックアップテーブル内のカウント値「0」に対応するフォトンレートとする。カウント値「1」以降についても同様の重み付け加算が実行される。このように、第13の実施の形態の変形例では、予め生成しておいた結合元ルックアップテーブルを用いるため、第13の実施の形態と比較して演算量を削減することができる。

[0178] 同図における c で生成した結合元ルックアップテーブルの検出回数が、制御部 150 により設定された検出回数より多いことがある。この場合、ルックアップテーブル生成部 163 は、設定値に合わせて同図における c の行（カウント値およびフォトンレート）の間引きを行う。

[0179] 例えば、同図における c の結合元ルックアップテーブルの検出回数が「10000」で設定された検出回数が「5000」の場合、行の半分が間引かれる。同図における d は、間引き後のテーブルの一例を示す。同図における d の網掛けの行は、間引かれた行を示す。例えば、同図における c でカウント値が奇数であった行が間引かれる。そして、同図における d に例示するように、残った行に、「0」から「4999」の新たなカウント値が割り当てられる。

[0180] 間引きが必要でなかった場合、同図における c の結合先ルックアップテ

ブルがメモリ 164 に保持され、間引きが必要であった場合、同図における d の結合先ルックアップテーブルがメモリ 164 に保持される。リニアライズ回路 161 は、その結合先ルックアップテーブルを参照してリニアライズを行う。

[0181] なお、上述の重み付け加算を行う場合、2分法のような球根アルゴリズムにより、カウント値ごとのフォトンレートの近似解を複数の逆関数の式に基づいて求めることもできる。

[0182] このように、本技術の第13の実施の形態の変形例によれば、ルックアップテーブル生成部 163 は、複数の結合元ルックアップテーブルの重み付け加算により結合先ルックアップテーブルを求めるため、演算量を削減することができる。

[0183] <15. 各実施形態の変形例>

なお、上述の実施の形態は本技術を具現化するための一例を示したものであり、実施の形態における事項と、特許請求の範囲における発明特定事項とはそれぞれ対応関係を有する。同様に、特許請求の範囲における発明特定事項と、これと同一名称を付した本技術の実施の形態における事項とはそれぞれ対応関係を有する。ただし、本技術は実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において実施の形態に種々の変形を施すことにより具現化することができる。

[0184] <16. 移動体への応用例>

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、自動車、電気自動車、ハイブリッド電気自動車、自動二輪車、自転車、パーソナルモビリティ、飛行機、ドローン、船舶、ロボット等のいずれかの種類の移動体に搭載される装置として実現されてもよい。

[0185] 図29は、本開示に係る技術が適用され得る移動体制御システムの一例である車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

[0186] 車両制御システム 12000 は、通信ネットワーク 12001 を介して接

続された複数の電子制御ユニットを備える。図29に示した例では、車両制御システム12000は、駆動系制御ユニット12010、ボディ系制御ユニット12020、車外情報検出ユニット12030、車内情報検出ユニット12040、及び統合制御ユニット12050を備える。また、統合制御ユニット12050の機能構成として、マイクロコンピュータ12051、音声画像出力部12052、及び車載ネットワークI/F(interface)12053が図示されている。

[0187] 駆動系制御ユニット12010は、各種プログラムにしたがって車両の駆動系に関連する装置の動作を制御する。例えば、駆動系制御ユニット12010は、内燃機関又は駆動用モータ等の車両の駆動力を発生させるための駆動力発生装置、駆動力を車輪に伝達するための駆動力伝達機構、車両の舵角を調節するステアリング機構、及び、車両の制動力を発生させる制動装置等の制御装置として機能する。

[0188] ボディ系制御ユニット12020は、各種プログラムにしたがって車体に装備された各種装置の動作を制御する。例えば、ボディ系制御ユニット12020は、キーレスエントリーシステム、スマートキーシステム、パワーウィンドウ装置、あるいは、ヘッドランプ、バックランプ、ブレーキランプ、ウinker又はフォグランプ等の各種ランプの制御装置として機能する。この場合、ボディ系制御ユニット12020には、鍵を代替する携帯機から発信される電波又は各種スイッチの信号が入力され得る。ボディ系制御ユニット12020は、これらの電波又は信号の入力を受け付け、車両のドアロック装置、パワーウィンドウ装置、ランプ等を制御する。

[0189] 車外情報検出ユニット12030は、車両制御システム12000を搭載した車両の外部の情報を検出する。例えば、車外情報検出ユニット12030には、撮像部12031が接続される。車外情報検出ユニット12030は、撮像部12031に車外の画像を撮像させるとともに、撮像された画像を受信する。車外情報検出ユニット12030は、受信した画像に基づいて、人、車、障害物、標識又は路面上の文字等の物体検出処理又は距離検出処

理を行ってもよい。

[0190] 撮像部12031は、光を受光し、その光の受光量に応じた電気信号を出力する光センサである。撮像部12031は、電気信号を画像として出力することもできるし、測距の情報として出力することもできる。また、撮像部12031が受光する光は、可視光であっても良いし、赤外線等の非可視光であっても良い。

[0191] 車内情報検出ユニット12040は、車内の情報を検出する。車内情報検出ユニット12040には、例えば、運転者の状態を検出する運転者状態検出部12041が接続される。運転者状態検出部12041は、例えば運転者を撮像するカメラを含み、車内情報検出ユニット12040は、運転者状態検出部12041から入力される検出情報に基づいて、運転者の疲労度合い又は集中度合いを算出してもよいし、運転者が居眠りをしていないかを判別してもよい。

[0192] マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030又は車内情報検出ユニット12040で取得される車内外の情報に基づいて、駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置の制御目標値を演算し、駆動系制御ユニット12010に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車両の衝突回避あるいは衝撃緩和、車間距離に基づく追従走行、車速維持走行、車両の衝突警告、又は車両のレーン逸脱警告等を含むADAS (Advanced Driver Assistance System) の機能実現を目的とした協調制御を行うことができる。

[0193] また、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030又は車内情報検出ユニット12040で取得される車両の周囲の情報に基づいて駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置等を制御することにより、運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

[0194] また、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030で取得される車外の情報に基づいて、ボディ系制御ユニット12020

に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ 12051 は、車外情報検出ユニット 12030 で検知した先行車又は対向車の位置に応じてヘッドランプを制御し、ハイビームをロービームに切り替える等の防眩を図ることを目的とした協調制御を行うことができる。

[0195] 音声画像出力部 12052 は、車両の搭乗者又は車外に対して、視覚的又は聴覚的に情報を通知することが可能な出力装置へ音声及び画像のうちの少なくとも一方の出力信号を送信する。図 29 の例では、出力装置として、オーディオスピーカ 12061、表示部 12062 及びインストルメントパネル 12063 が例示されている。表示部 12062 は、例えば、オンボードディスプレイ及びヘッドアップディスプレイの少なくとも一つを含んでもよい。

[0196] 図 30 は、撮像部 12031 の設置位置の例を示す図である。

[0197] 図 30 では、撮像部 12031 として、撮像部 12101、12102、12103、12104、12105 を有する。

[0198] 撮像部 12101、12102、12103、12104、12105 は、例えば、車両 12100 のフロントノーズ、サイドミラー、リアバンパ、バックドア及び車室内のフロントガラスの上部等の位置に設けられる。フロントノーズに備えられる撮像部 12101 及び車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部 12105 は、主として車両 12100 の前方の画像を取得する。サイドミラーに備えられる撮像部 12102、12103 は、主として車両 12100 の側方の画像を取得する。リアバンパ又はバックドアに備えられる撮像部 12104 は、主として車両 12100 の後方の画像を取得する。車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部 12105 は、主として先行車両又は、歩行者、障害物、信号機、交通標識又は車線等の検出に用いられる。

[0199] なお、図 30 には、撮像部 12101 ないし 12104 の撮影範囲の一例が示されている。撮像範囲 12111 は、フロントノーズに設けられた撮像部 12101 の撮像範囲を示し、撮像範囲 12112、12113 は、それ

ぞれサイドミラーに設けられた撮像部12102, 12103の撮像範囲を示し、撮像範囲12114は、リアバンパ又はバックドアに設けられた撮像部12104の撮像範囲を示す。例えば、撮像部12101ないし12104で撮像された画像データが重ね合わせられることにより、車両12100を上方から見た俯瞰画像が得られる。

[0200] 撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、距離情報を取得する機能を有していてもよい。例えば、撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、複数の撮像素子からなるステレオカメラであってもよいし、位相差検出用の画素を有する撮像素子であってもよい。

[0201] 例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を基に、撮像範囲12111ないし12114内における各立体物までの距離と、この距離の時間的変化（車両12100に対する相対速度）を求めることにより、特に車両12100の進行路上にある最も近い立体物で、車両12100と略同じ方向に所定の速度（例えば、0km/h以上）で走行する立体物を先行車として抽出することができる。さらに、マイクロコンピュータ12051は、先行車の手前に予め確保すべき車間距離を設定し、自動ブレーキ制御（追従停止制御も含む）や自動加速制御（追従発進制御も含む）等を行うことができる。このように運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

[0202] 例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を元に、立体物に関する立体物データを、2輪車、普通車両、大型車両、歩行者、電柱等その他の立体物に分類して抽出し、障害物の自動回避に用いることができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車両12100の周辺の障害物を、車両12100のドライバが視認可能な障害物と視認困難な障害物とに識別する。そして、マイクロコンピュータ12051は、各障害物との衝突の危険度を示す衝突リスクを判断し、衝突リスクが設定値以上で衝突可能性がある状況であるときには

、オーディオスピーカ12061や表示部12062を介してドライバに警報を出力することや、駆動系制御ユニット12010を介して強制減速や回避操舵を行うことで、衝突回避のための運転支援を行うことができる。

[0203] 撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、赤外線を検出する赤外線カメラであってもよい。例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104の撮像画像中に歩行者が存在するかどうかを判定することで歩行者を認識することができる。かかる歩行者の認識は、例えば赤外線カメラとしての撮像部12101ないし12104の撮像画像における特徴点を抽出する手順と、物体の輪郭を示す一連の特徴点にパターンマッチング処理を行って歩行者か否かを判別する手順によって行われる。マイクロコンピュータ12051が、撮像部12101ないし12104の撮像画像中に歩行者が存在すると判定し、歩行者を認識すると、音声画像出力部12052は、当該認識された歩行者に強調のための方形輪郭線を重畳表示するように、表示部12062を制御する。また、音声画像出力部12052は、歩行者を示すアイコン等を所望の位置に表示するように表示部12062を制御してもよい。

[0204] 以上、本開示に係る技術が適用され得る車両制御システムの一例について説明した。本開示に係る技術は、以上説明した構成のうち、例えば、撮像部12031に適用され得る。具体的には、本開示に係る技術の各実施の形態における光検出装置は、撮像部12031に適用することができる。本開示に係る技術を撮像部12031に適用することにより、光検出装置の入出力特性を適正化して移動体制御システムの性能を向上させることができる。

[0205] <16. 本技術がとることができる構成>

なお、本技術は以下のような構成もとることができる。

- (1) フォトンの入射を検出する光検出素子と、
- 前記光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、
- 前記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、
- 前記撮像結果に基づいて前記光検出素子における前記フォトンの検出間隔

および検出回数の少なくとも一方について前記リチャージ部を制御する制御部と

を具備する光検出装置。

(2) 前記光検出素子がアレイ状に配置された画素アレイ部と、
前記フォトンの検出間隔および検出回数を設定する設定部と、
前記出力部から前記撮像結果として出力される前記画素アレイ部の信号に基づいて画像信号を生成する画像処理部と、

前記撮像結果に基づいて特徴信号を抽出する特徴抽出部と
を具備し、

前記制御部は、前記特徴抽出部で抽出された前記特徴信号に基づいて前記設定部の設定情報を制御する

前記(1)に記載の光検出装置。

(3) 前記特徴信号は、前記フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを基に検出されるダイナミックレンジ、前記ヒストグラムの横軸の最大値、最小値、照度平均値、または、最大検出頻度の中央値である

前記(2)に記載の光検出装置。

(4) 前記画像処理部は、入力段にリニアライズ回路を有し、

前記特徴抽出部は、前記リニアライズ回路を経た前記画素アレイ部の信号に基づいて前記特徴信号を抽出する

前記(3)に記載の光検出装置。

(5) 前記画素アレイ部は、前記フォトンのカウント値を出力し、

前記画像処理部は、

前記検出間隔および前記検出回数に基づいて前記カウント値とフォトンレートとを対応付けたルックアップテーブルを生成するルックアップテーブル生成部と、

前記ルックアップテーブルを参照して前記カウント値を前記フォトンレートに変換して前記特徴抽出部に供給する前記リニアライズ回路と
を備える前記(4)に記載の光検出装置。

(6) 前記ルックアップテーブル生成部は、前記フォトンの入力に対する前記画素アレイ部の応答特性を表す関数の逆関数を用いて前記ルックアップテーブルを生成する

前記(5)記載の光検出装置。

(7) 前記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、

前記ルックアップテーブル生成部は、前記検出間隔のそれぞれについて前記カウント値ごとの前記フォトンレートを前記逆関数により算出し、算出した前記フォトンレートの集合を所定の規則に従ってソートし、ソートした前記フォトンレートのそれぞれに前記カウント値を割り当てることにより前記ルックアップテーブルを生成する

前記(6)記載の光検出装置。

(8) 前記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、

前記ルックアップテーブルは、前記検出間隔の異なる複数の結合元ルックアップテーブルと結合先ルックアップテーブルとを含み、

前記ルックアップテーブル生成部は、前記複数の結合元ルックアップテーブルのそれぞれの前記フォトンレートの重み付け加算により前記結合先ルックアップテーブルを生成し、

前記リニアライズ回路は、前記結合先ルックアップテーブルを参照する
前記(6)記載の光検出装置。

(9) 前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第1のチップに配置され、

前記制御部、前記画像処理部、および、前記特徴抽出部は、第2のチップに配置されている

前記(4)に記載の光検出装置。

(10) 前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第1のチップに配置され、

前記画像処理部および前記特徴抽出部は、第2のチップに配置され、

前記制御部は、第3のチップに配置されている

前記（９）に記載の光検出装置。

（１１）前記画素アレイ部、前記設定部、前記出力部、および、前記制御部は、第１のチップに配置され、

前記画像処理部および前記特徴抽出部は、第２のチップに配置されている前記（９）に記載の光検出装置。

（１２）前記特徴抽出部は、前記画像処理部で生成された画像信号に基づいて前記特徴信号を抽出する

前記（３）に記載の光検出装置。

（１３）前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第１のチップに配置され、

前記画像処理部は、第２のチップに配置され、

前記制御部および前記特徴抽出部は、第３のチップに配置されている前記（１２）に記載の光検出装置。

（１４）前記特徴抽出部は、入力段にリニアライズ回路を有し、前記リニアライズ回路を経た前記画素アレイ部の信号に基づいて前記特徴信号を抽出する

前記（３）に記載の光検出装置。

（１５）前記画素アレイ部、前記設定部、前記出力部、前記制御部、および、前記特徴抽出部は、第１のチップに配置され、

前記画像処理部は、第２のチップに配置されている

前記（１４）に記載の光検出装置。

（１６）前記制御部は、ユーザによる外部制御に基づいて前記設定部の設定情報を制御する

前記（３）に記載の光検出装置。

（１７）前記制御部は、前記フォトンの検出間隔として複数の検出間隔を設定し、前記複数の検出間隔で前記フォトンの検出を行う

前記（３）に記載の光検出装置。

（１８）前記制御部は、シーンの画像全体の照度分布のヒストグラムを基に

、前記照度分布に対して前記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行う

前記（１７）に記載の光検出装置。

（１９）前記制御部は、ターゲットとなる被写体の領域の照度分布のヒストグラムを基に、前記照度分布に対して前記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行う

前記（１７）に記載の光検出装置。

（２０）前記制御部は、前記複数の検出間隔のSNR (Signal-to-Noise Ratio)カーブをプロットしたとき、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを下回らない範囲でフォトンの検出回数を最小にする制御を行う

前記（１７）に記載の光検出装置。

（２１）前記制御部は、前記特徴抽出部で作成されたフォトンレートの度数分布を基に作成されるセンサ応答曲線の形状を変えずに、ダイナミックレンジだけをシフトする制御を行う

前記（１７）に記載の光検出装置。

（２２）前記特徴抽出部は、前記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数分布を作成する検波回路、および、前記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備えており、

前記画像処理部、前記検波回路、前記目的センサ応答曲線設計部、および、前記制御部によってアプリケーションプロセッサが構成され、

前記アプリケーションプロセッサは、前記画素アレイ部が形成されたセンサチップに対して、前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する

前記（１７）に記載の光検出装置。

（２３）前記特徴抽出部は、前記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数分布を作成する検波回路、および、前記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備え

ており、

前記画像処理部、前記検波回路、および、前記制御部によってアプリケーションプロセッサが構成され、

前記アプリケーションプロセッサは、前記画素アレイ部、および、前記目的センサ応答曲線設計部が形成されたセンサチップに対して、前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する

前記（１７）に記載の光検出装置。

（２４）フォトンの入射を検出する光検出素子と、

前記光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、

前記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、

前記撮像結果に基づいて前記光検出素子における前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方について前記リチャージ部を制御する制御部と

を具備する光検出装置から出力される前記撮像結果を入力とし、

前記撮像結果における特徴信号を検出し、前記特徴信号に基づいて前記光検出素子での前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する

アプリケーションプロセッサ。

符号の説明

- [0206] 100 光検出装置
110 パルスジェネレータ
120 画素アレイ部
130 インターフェース回路
140 信号処理部
150 制御部
160 画像処理部
161, 190 リニアライズ回路

- 1 6 2 画像信号生成部
- 1 6 3 ルックアップテーブル生成部
- 1 6 4 メモリ
- 1 7 0 特徴抽出部
- 1 8 0 検波回路
- 2 0 0 読み出し回路
- 2 1 0 画素回路
- 2 1 1 光検出素子
- 2 1 2 クリップトランジスタ
- 2 1 3 インバータ
- 2 1 4 リチャージトランジスタ
- 2 2 0 カウンタ
- 2 3 0 選択スイッチ
- 2 4 0 検出回路
- 3 0 0 センサチップ
- 4 0 0 I S P チップ
- 5 0 0 制御チップ
- 6 0 0 アプリケーションプロセッサ
- 6 1 0 目的センサ応答曲線設計部

請求の範囲

- [請求項1] フォトンの入射を検出する光検出素子と、
 前記光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、
 前記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、
 前記撮像結果に基づいて前記光検出素子における前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方について前記リチャージ部を制御する制御部と
 を具備する光検出装置。
- [請求項2] 前記光検出素子がアレイ状に配置された画素アレイ部と、
 前記フォトンの検出間隔および検出回数を設定する設定部と、
 前記出力部から前記撮像結果として出力される前記画素アレイ部の信号に基づいて画像信号を生成する画像処理部と、
 前記撮像結果に基づいて特徴信号を抽出する特徴抽出部と
 を具備し、
 前記制御部は、前記特徴抽出部で抽出された前記特徴信号に基づいて前記設定部の設定情報を制御する
 請求項 1 記載の光検出装置。
- [請求項3] 前記特徴信号は、前記フォトンの検出頻度を度数として示すヒストグラムを基に検出されるダイナミックレンジ、前記ヒストグラムの横軸の最大値、最小値、照度平均値、または、最大検出頻度の中央値である
 請求項 2 記載の光検出装置。
- [請求項4] 前記画像処理部は、入力段にリニアライズ回路を有し、
 前記特徴抽出部は、前記リニアライズ回路を経た前記画素アレイ部の信号に基づいて前記特徴信号を抽出する
 請求項 3 記載の光検出装置。
- [請求項5] 前記画素アレイ部は、前記フォトンのカウント値を出力し、
 前記画像処理部は、

前記検出間隔および前記検出回数に基づいて前記カウント値とフォトンレートとを対応付けたルックアップテーブルを生成するルックアップテーブル生成部と、

前記ルックアップテーブルを参照して前記カウント値を前記フォトンレートに変換して前記特徴抽出部に供給する前記リニアライズ回路と

を備える請求項4記載の光検出装置。

[請求項6] 前記ルックアップテーブル生成部は、前記フォトンの入力に対する前記画素アレイ部の応答特性を表す関数の逆関数を用いて前記ルックアップテーブルを生成する
請求項5記載の光検出装置。

[請求項7] 前記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、
前記ルックアップテーブル生成部は、前記検出間隔のそれぞれについて前記カウント値ごとの前記フォトンレートを前記逆関数により算出し、算出した前記フォトンレートの集合を所定の規則に従ってソートし、ソートした前記フォトンレートのそれぞれに前記カウント値を割り当てることにより前記ルックアップテーブルを生成する
請求項6記載の光検出装置。

[請求項8] 前記設定部は、2つ以上の検出間隔を設定し、
前記ルックアップテーブルは、前記検出間隔の異なる複数の結合元ルックアップテーブルと結合先ルックアップテーブルとを含み、
前記ルックアップテーブル生成部は、前記複数の結合元ルックアップテーブルのそれぞれの前記フォトンレートの重み付け加算により前記結合先ルックアップテーブルを生成し、
前記リニアライズ回路は、前記結合先ルックアップテーブルを参照する
請求項6記載の光検出装置。

[請求項9] 前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第1のチ

チップに配置され、

前記制御部、前記画像処理部、および、前記特徴抽出部は、第2のチップに配置されている

請求項4記載の光検出装置。

[請求項10]

前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第1のチップに配置され、

前記画像処理部および前記特徴抽出部は、第2のチップに配置され

、

前記制御部は、第3のチップに配置されている

請求項9記載の光検出装置。

[請求項11]

前記画素アレイ部、前記設定部、前記出力部、および、前記制御部は、第1のチップに配置され、

前記画像処理部および前記特徴抽出部は、第2のチップに配置されている

請求項9記載の光検出装置。

[請求項12]

前記特徴抽出部は、前記画像処理部で生成された画像信号に基づいて前記特徴信号を抽出する

請求項3記載の光検出装置。

[請求項13]

前記画素アレイ部、前記設定部、および、前記出力部は、第1のチップに配置され、

前記画像処理部は、第2のチップに配置され、

前記制御部および前記特徴抽出部は、第3のチップに配置されている

請求項12記載の光検出装置。

[請求項14]

前記特徴抽出部は、入力段にリニアライズ回路を有し、前記リニアライズ回路を経た前記画素アレイ部の信号に基づいて前記特徴信号を抽出する

請求項3記載の光検出装置。

- [請求項15] 前記画素アレイ部、前記設定部、前記出力部、前記制御部、および、前記特徴抽出部は、第1のチップに配置され、
前記画像処理部は、第2のチップに配置されている
請求項14記載の光検出装置。
- [請求項16] 前記制御部は、ユーザによる外部制御に基づいて前記設定部の設定情報を制御する
請求項3記載の光検出装置。
- [請求項17] 前記制御部は、前記フォトンの検出間隔として複数の検出間隔を設定し、前記複数の検出間隔で前記フォトンの検出を行う
請求項3記載の光検出装置。
- [請求項18] 前記制御部は、シーンの画像全体の照度分布のヒストグラムを基に、前記照度分布に対して前記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行う
請求項17記載の光検出装置。
- [請求項19] 前記制御部は、ターゲットとなる被写体の領域の照度分布のヒストグラムを基に、前記照度分布に対して前記フォトンの検出回数の階調を最大化するように制御を行う
請求項17記載の光検出装置。
- [請求項20] 前記制御部は、前記複数の検出間隔のSNR(Signal-to-Noise Ratio)カーブをプロットしたとき、シーンの照度レンジ内で最低限要求されるSNRを下回らない範囲でフォトンの検出回数を最小にする制御を行う
請求項17記載の光検出装置。
- [請求項21] 前記制御部は、前記特徴抽出部で作成されたフォトンレートの度数分布を基に作成されるセンサ応答曲線の形状を変えずに、ダイナミックレンジだけをシフトする制御を行う
請求項17記載の光検出装置。
- [請求項22] 前記特徴抽出部は、前記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数

分布を作成する検波回路、および、前記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備えており、

前記画像処理部、前記検波回路、前記目的センサ応答曲線設計部、および、前記制御部によってアプリケーションプロセッサが構成され、

前記アプリケーションプロセッサは、前記画素アレイ部が形成されたセンサチップに対して、前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する

請求項 17 記載の光検出装置。

[請求項23]

前記特徴抽出部は、前記撮像結果に基づいてフォトンレートの度数分布を作成する検波回路、および、前記フォトンレートの度数分布に基づいて、目的とするセンサ応答曲線を作成する目的センサ応答曲線設計部を備えており、

前記画像処理部、前記検波回路、および、前記制御部によってアプリケーションプロセッサが構成され、

前記アプリケーションプロセッサは、前記画素アレイ部、および、前記目的センサ応答曲線設計部が形成されたセンサチップに対して、前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力する

請求項 17 記載の光検出装置。

[請求項24]

フォトンの入射を検出する光検出素子と、

前記光検出素子による撮像結果を出力する出力部と、

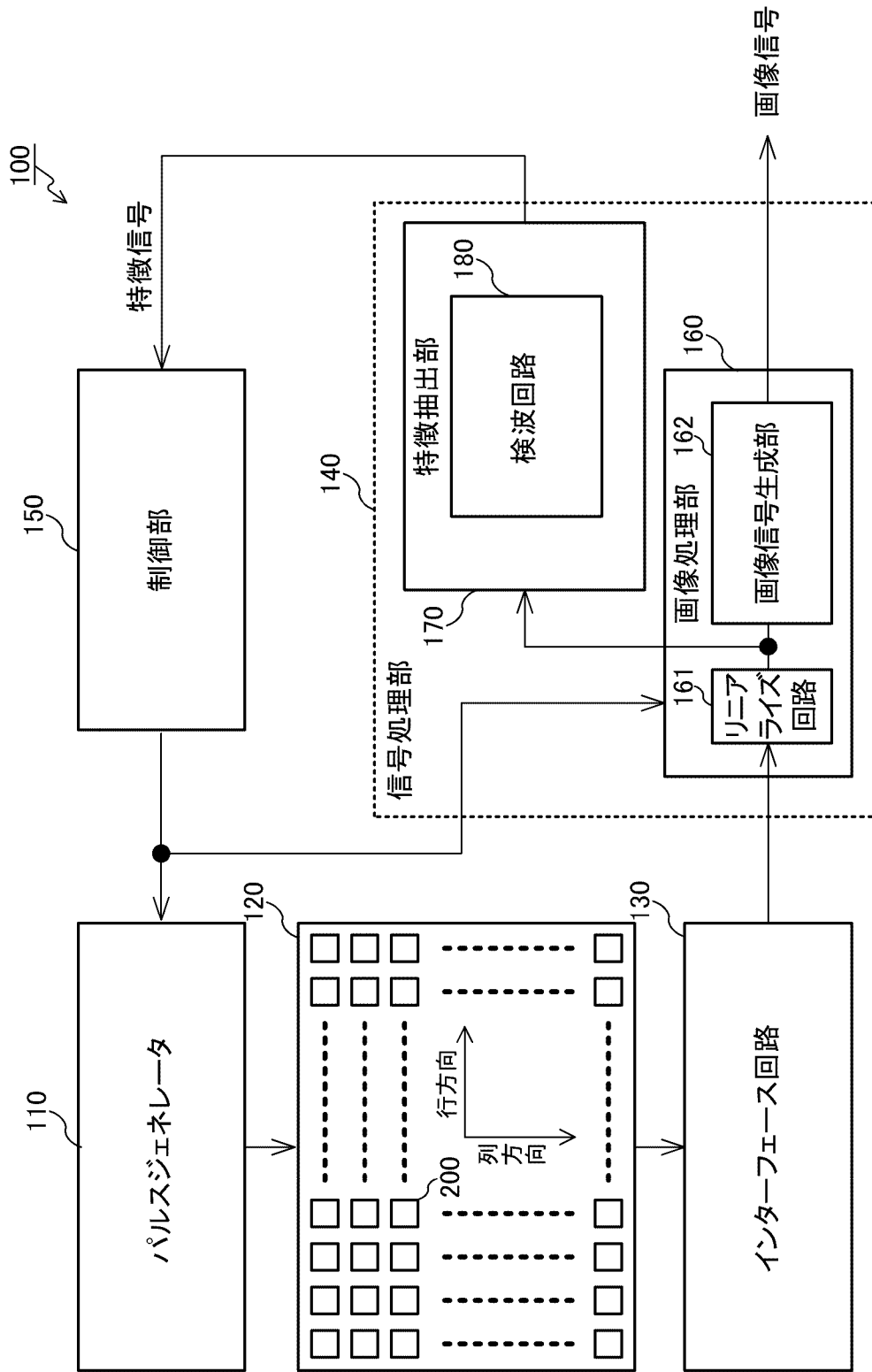
前記光検出素子をリチャージするリチャージ部と、

前記撮像結果に基づいて前記光検出素子における前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方について前記リチャージ部を制御する制御部と

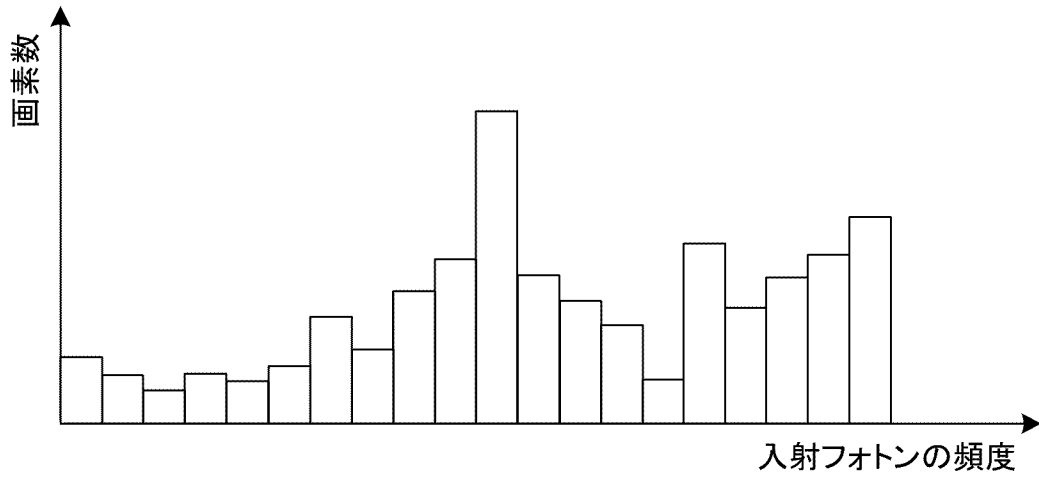
を具備する光検出装置から出力される前記撮像結果を入力とし、

前記撮像結果における特徴信号を検出し、前記特徴信号に基づいて前記光検出素子での前記フォトンの検出間隔および検出回数の少なくとも一方を制御するための信号を出力するアプリケーションプロセッサ。

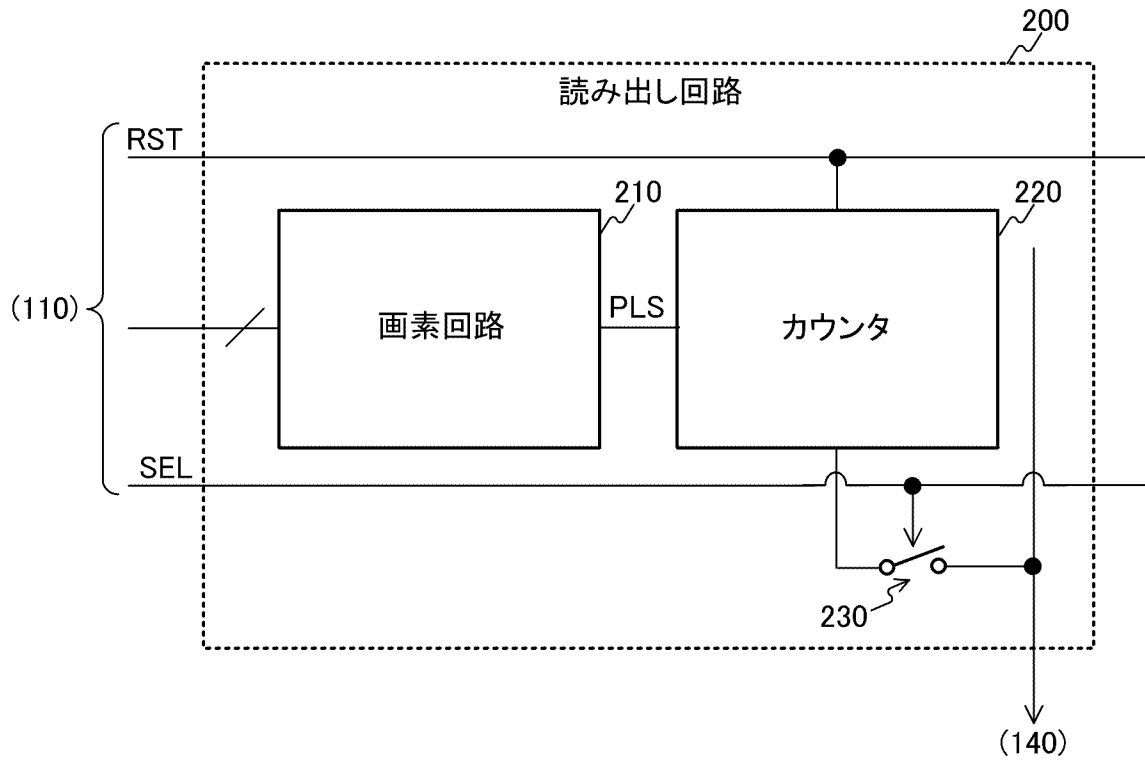
[図1]



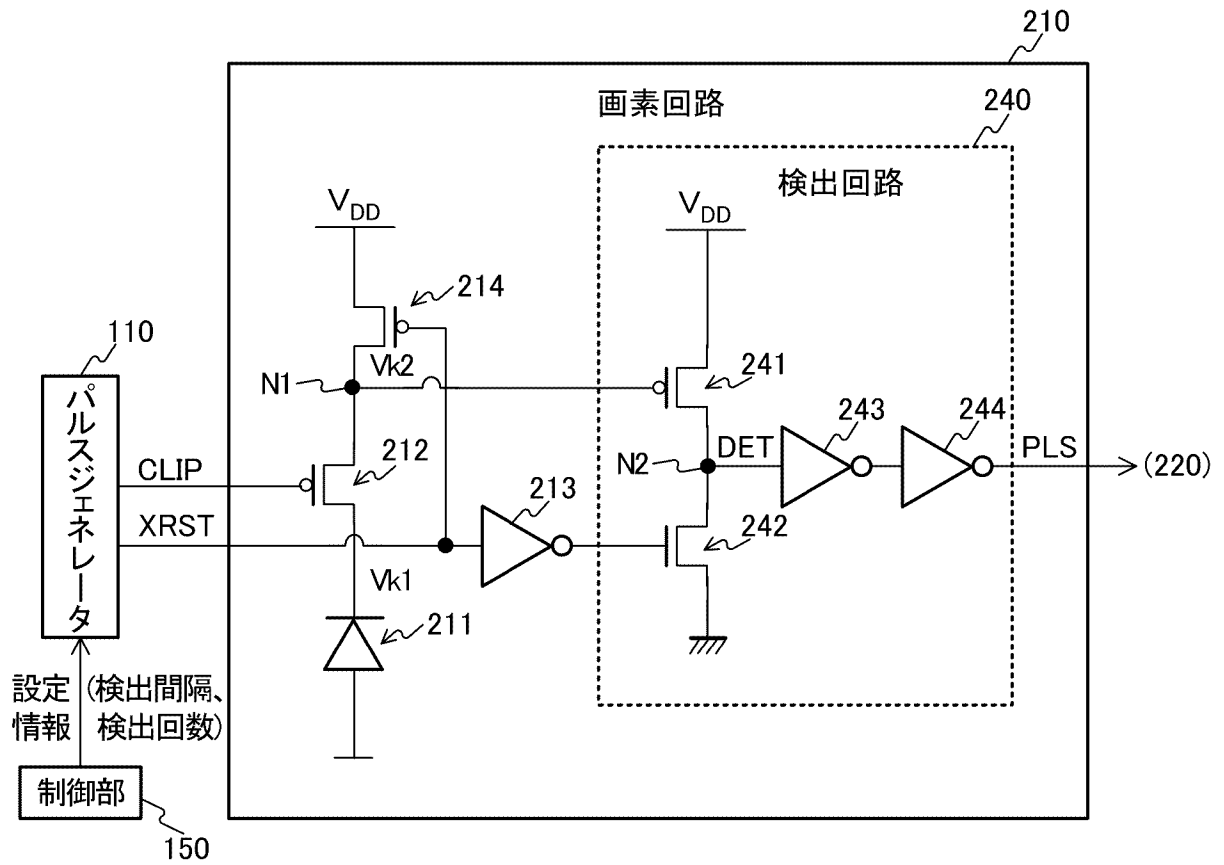
[図2]



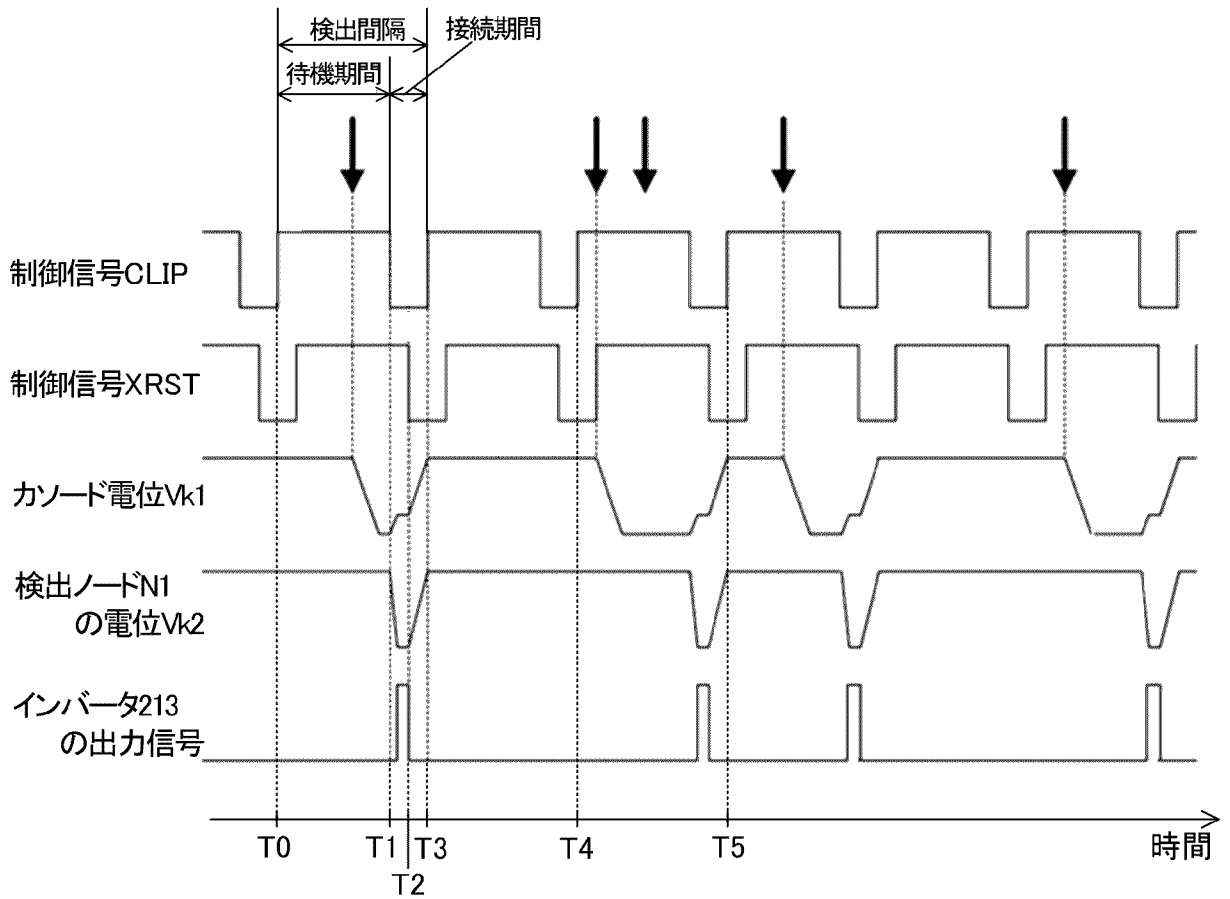
[図3]



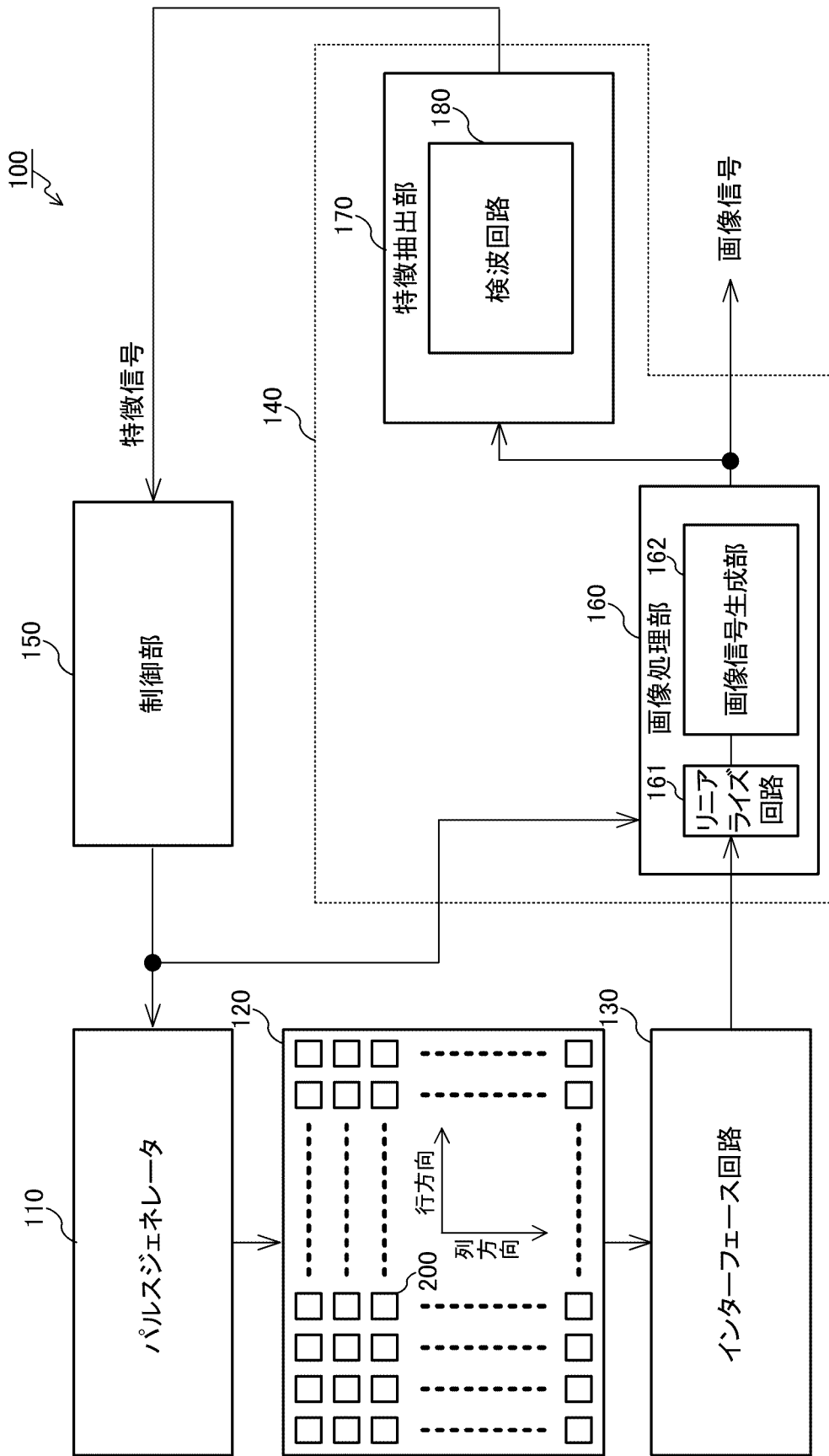
[図4]



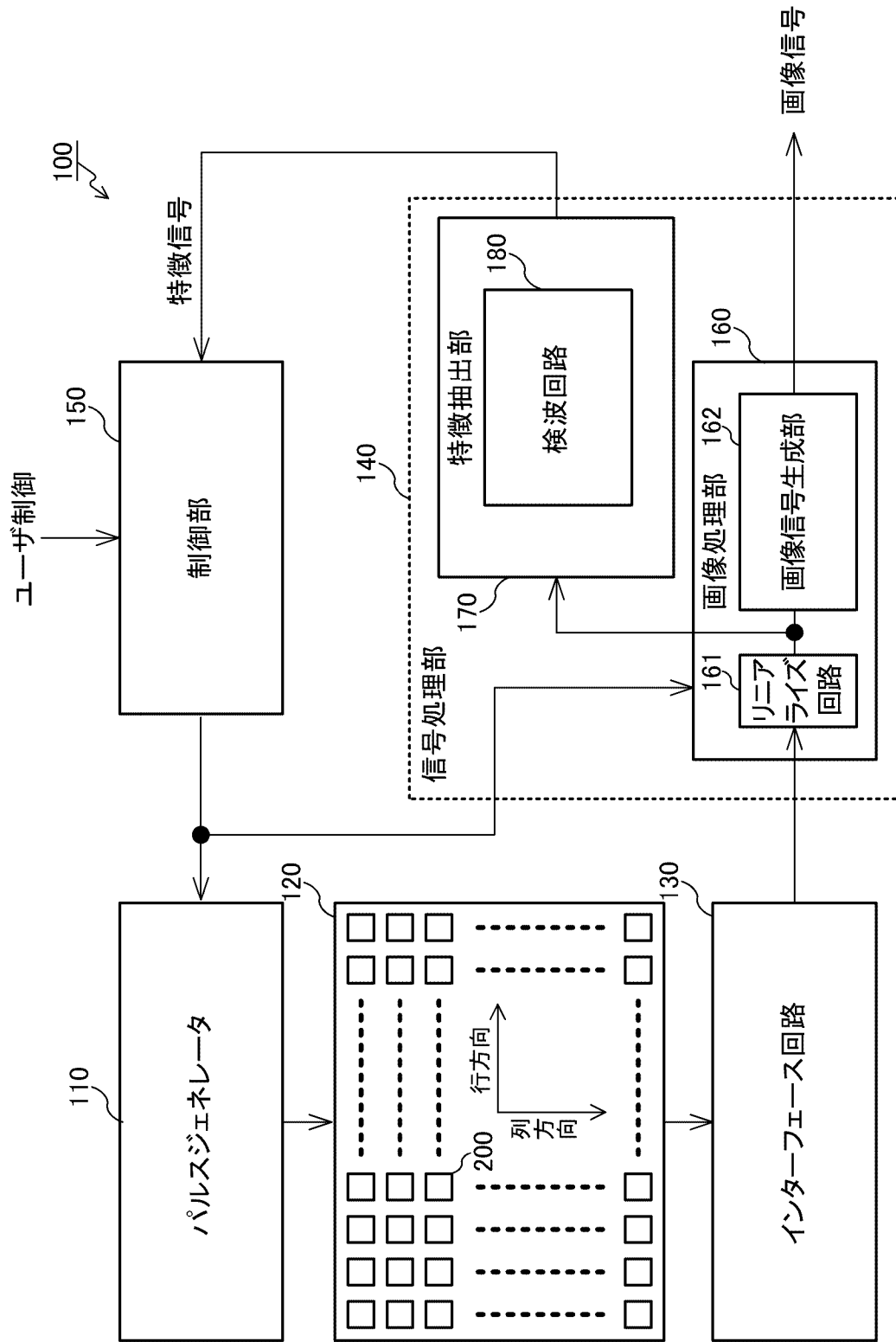
[図5]



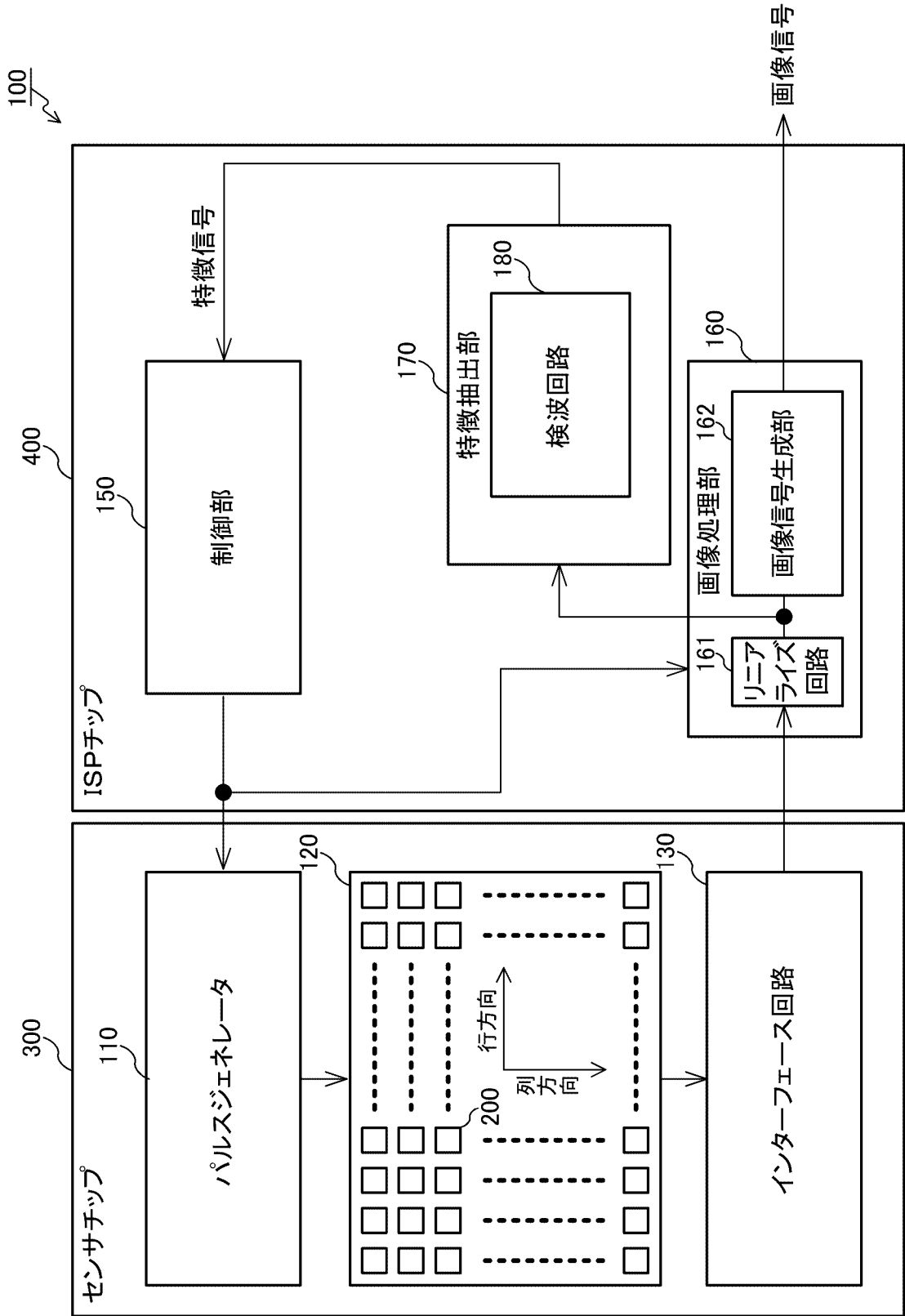
[図6]



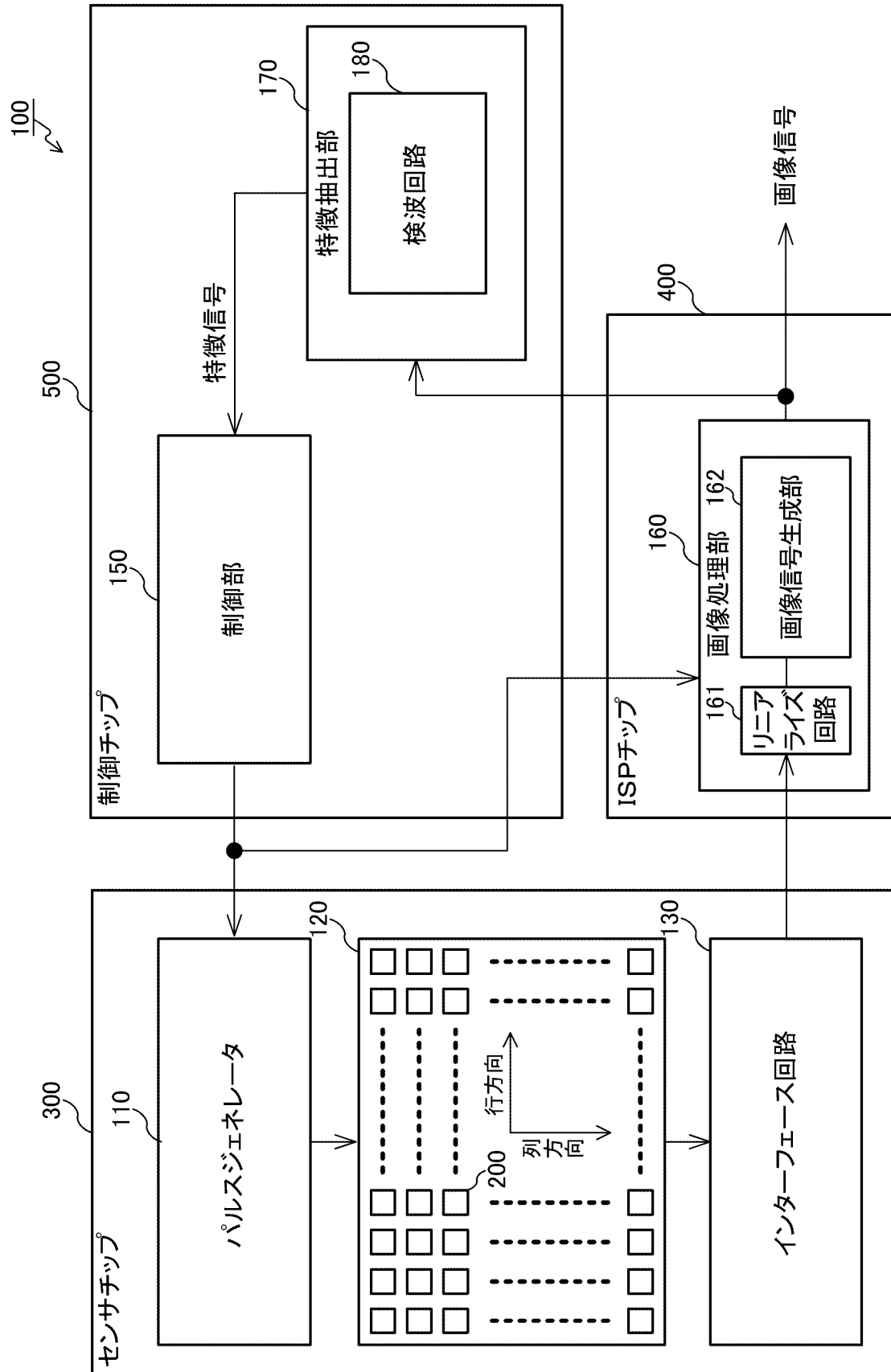
[図8]



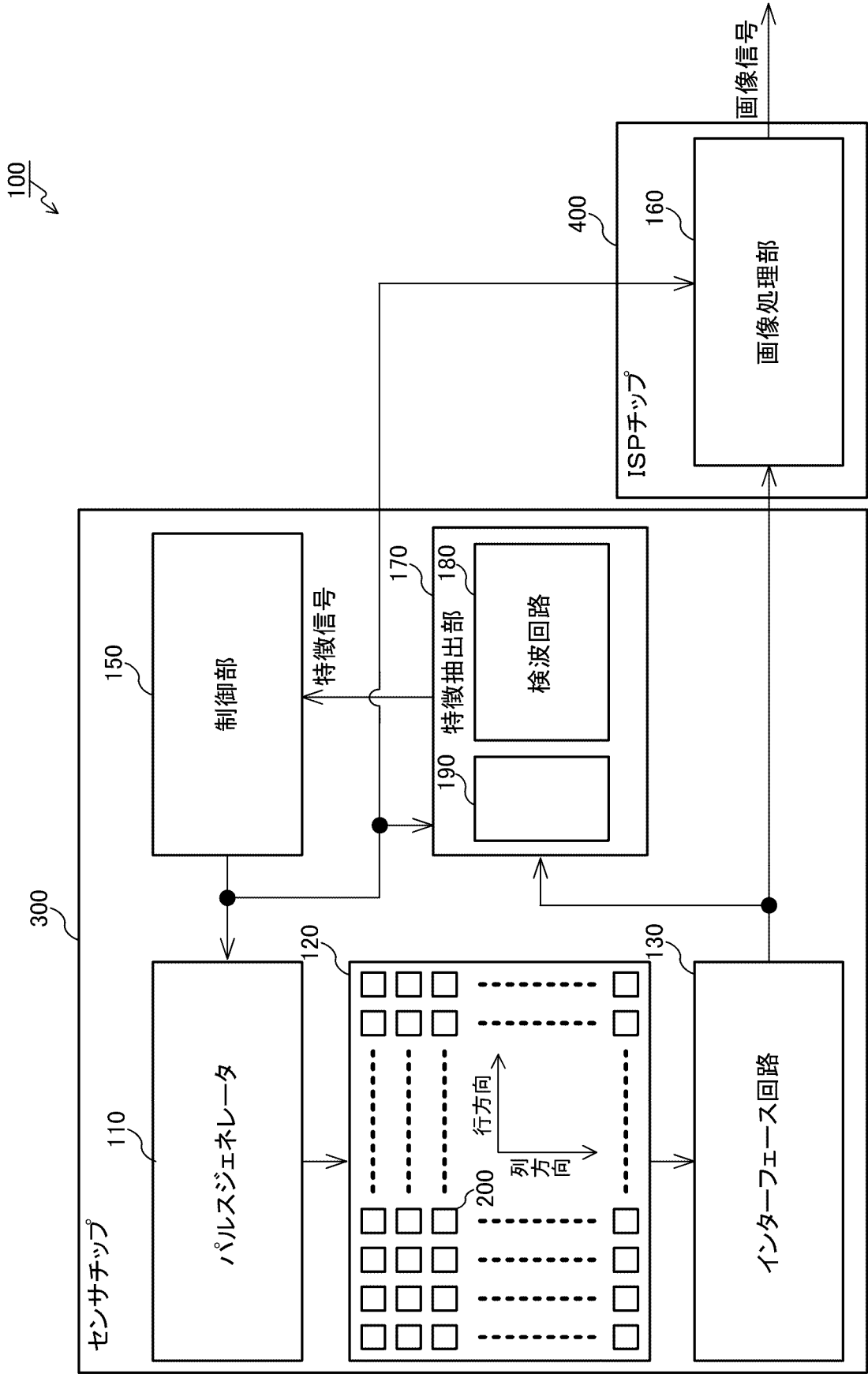
[図9]



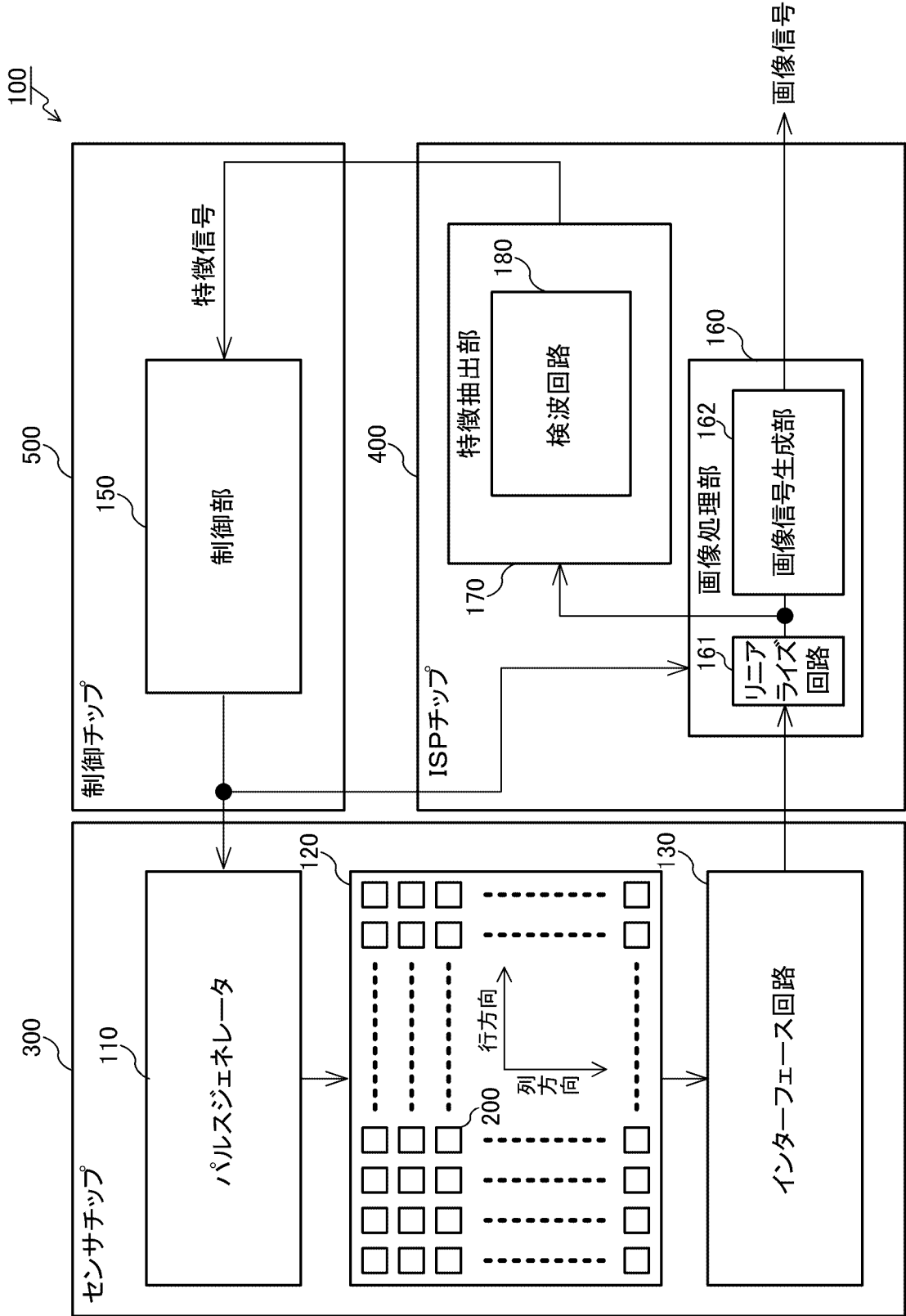
[図10]



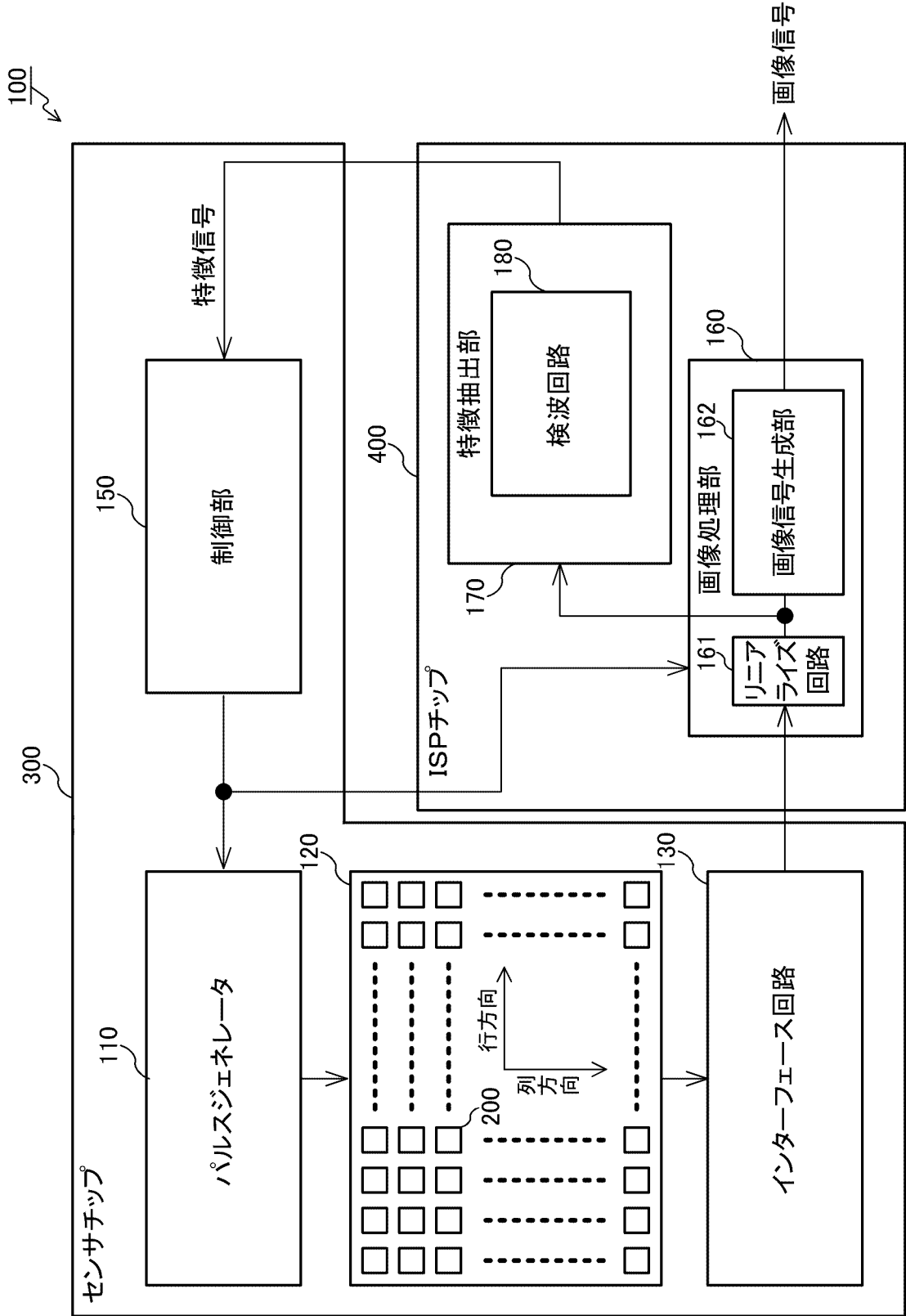
[図11]



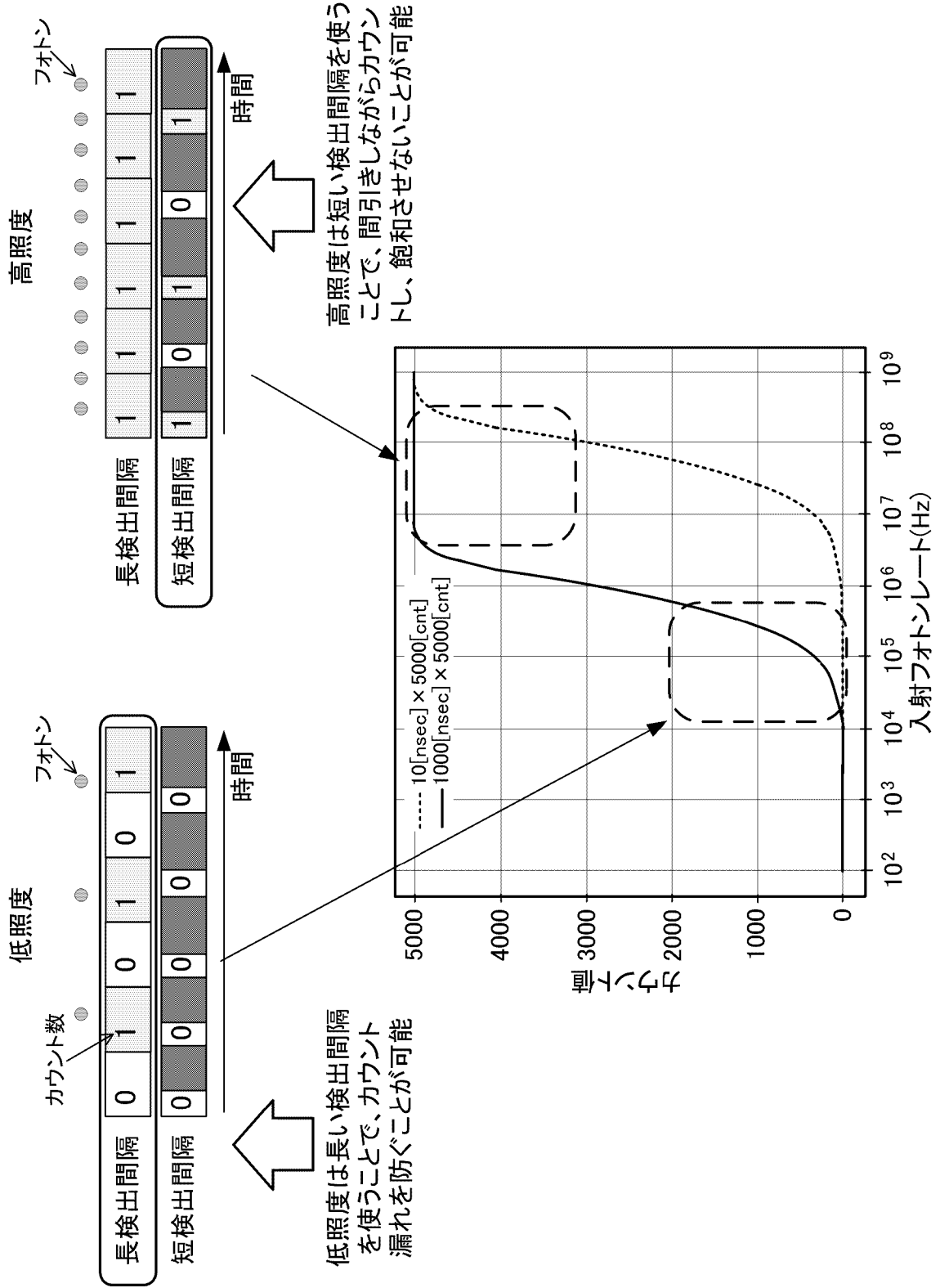
[図12]



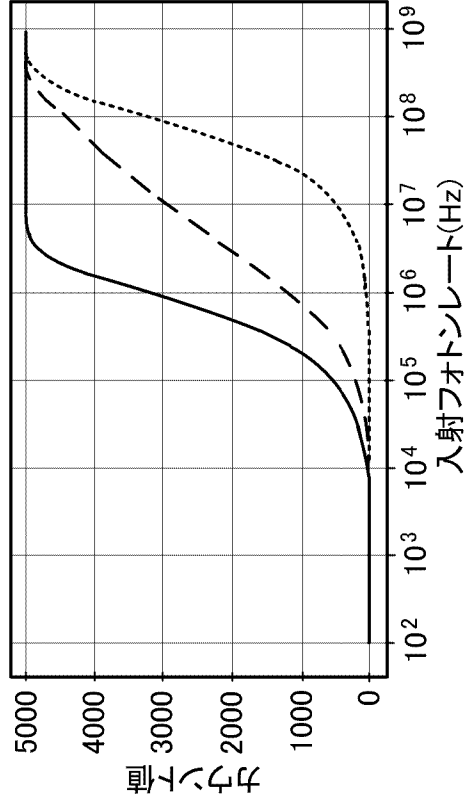
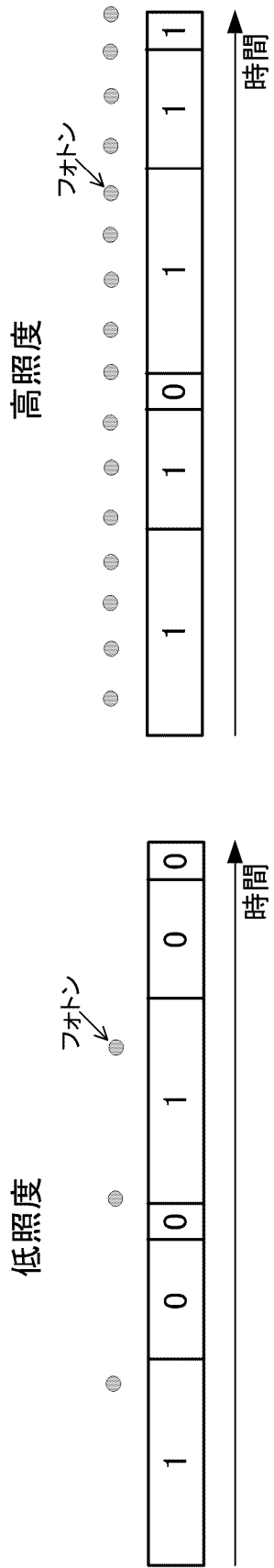
[図13]



[図14]

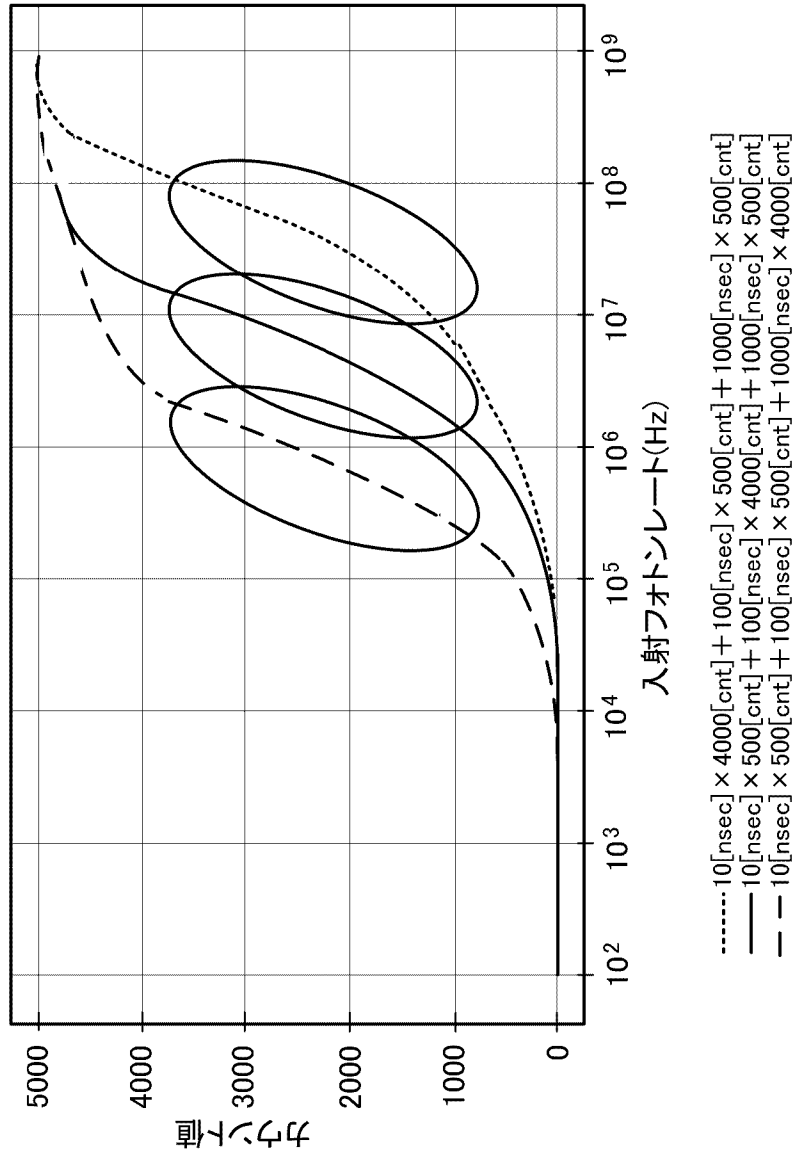


[図15]

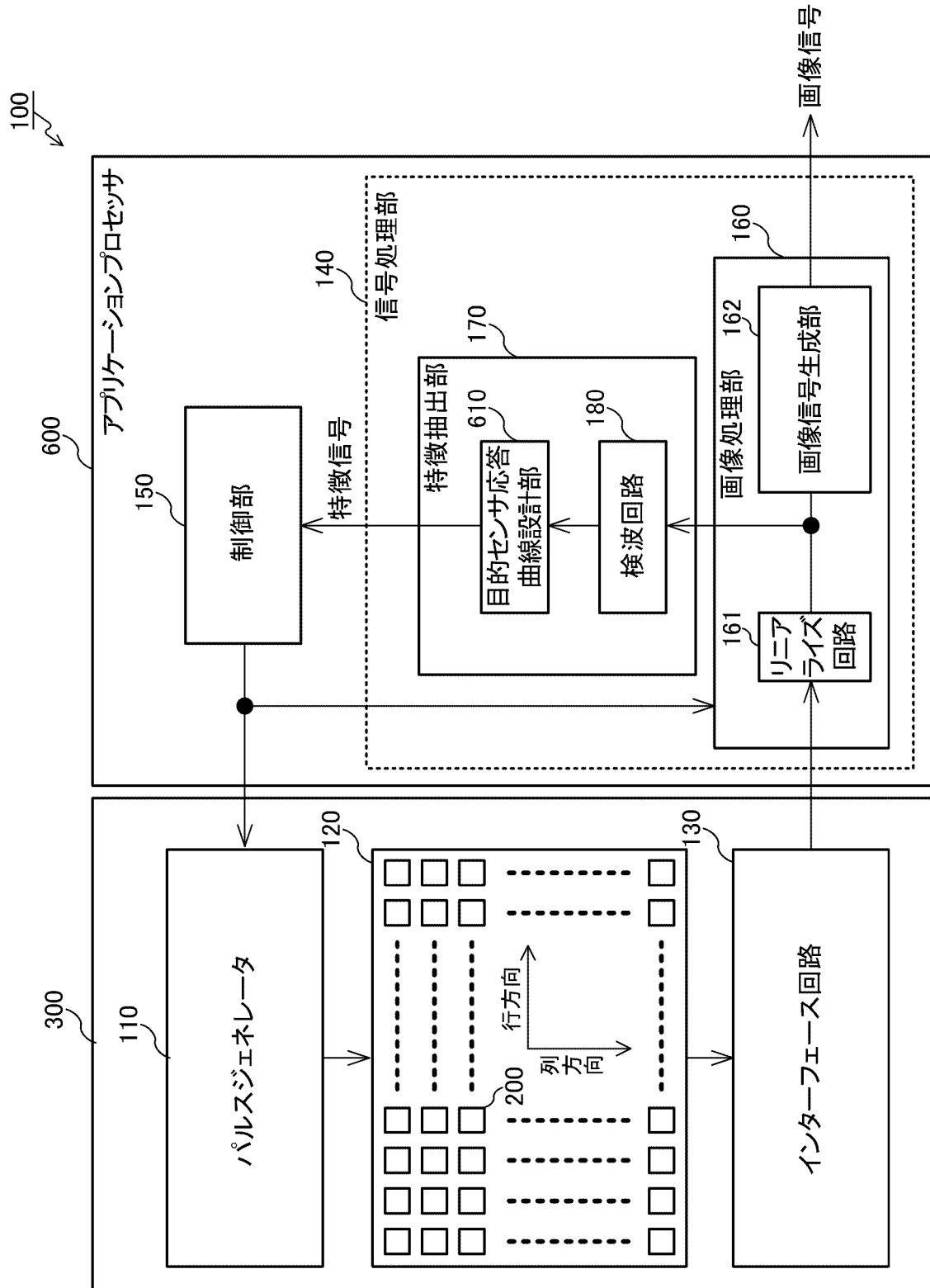


- $10[\text{nsec}] \times 5000[\text{cnt}]$
- $1000[\text{nsec}] \times 5000[\text{cnt}]$
- - - $10[\text{nsec}] \times 1666[\text{cnt}] + 100[\text{nsec}] \times 1666[\text{cnt}] + 1000[\text{nsec}] \times 1666[\text{cnt}] + 1666[\text{cnt}] \times 1666[\text{cnt}]$

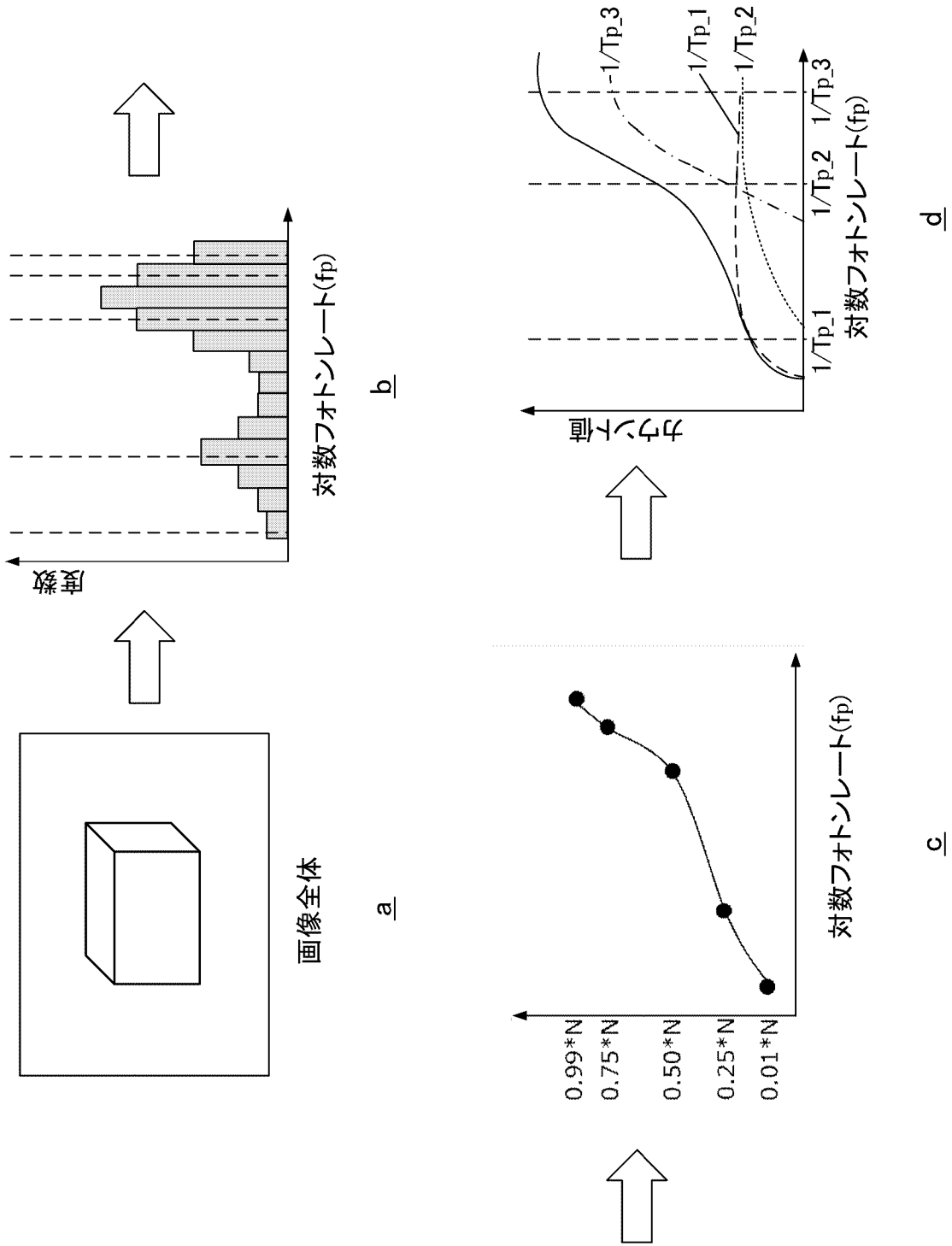
[図16]



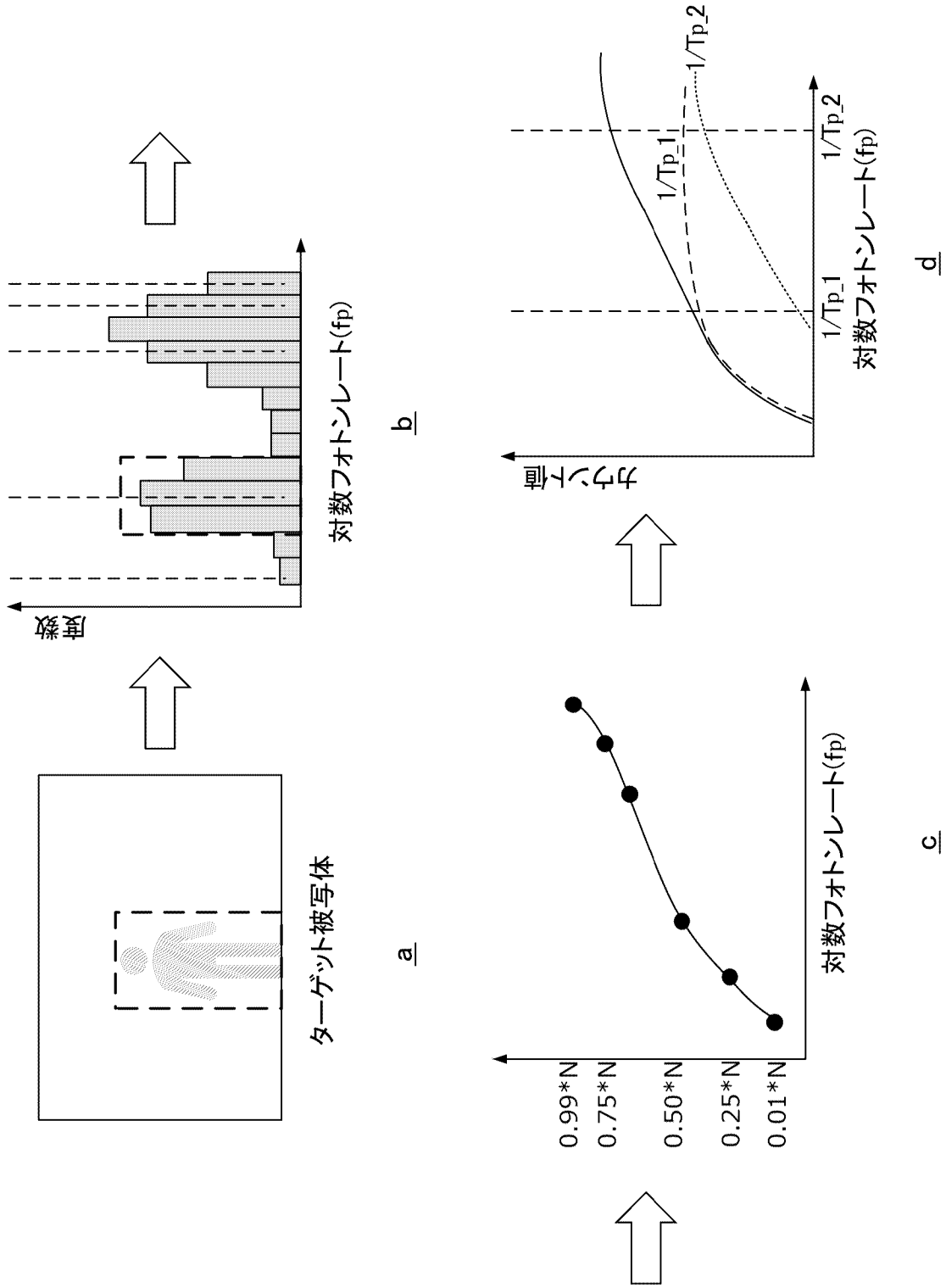
[図17]



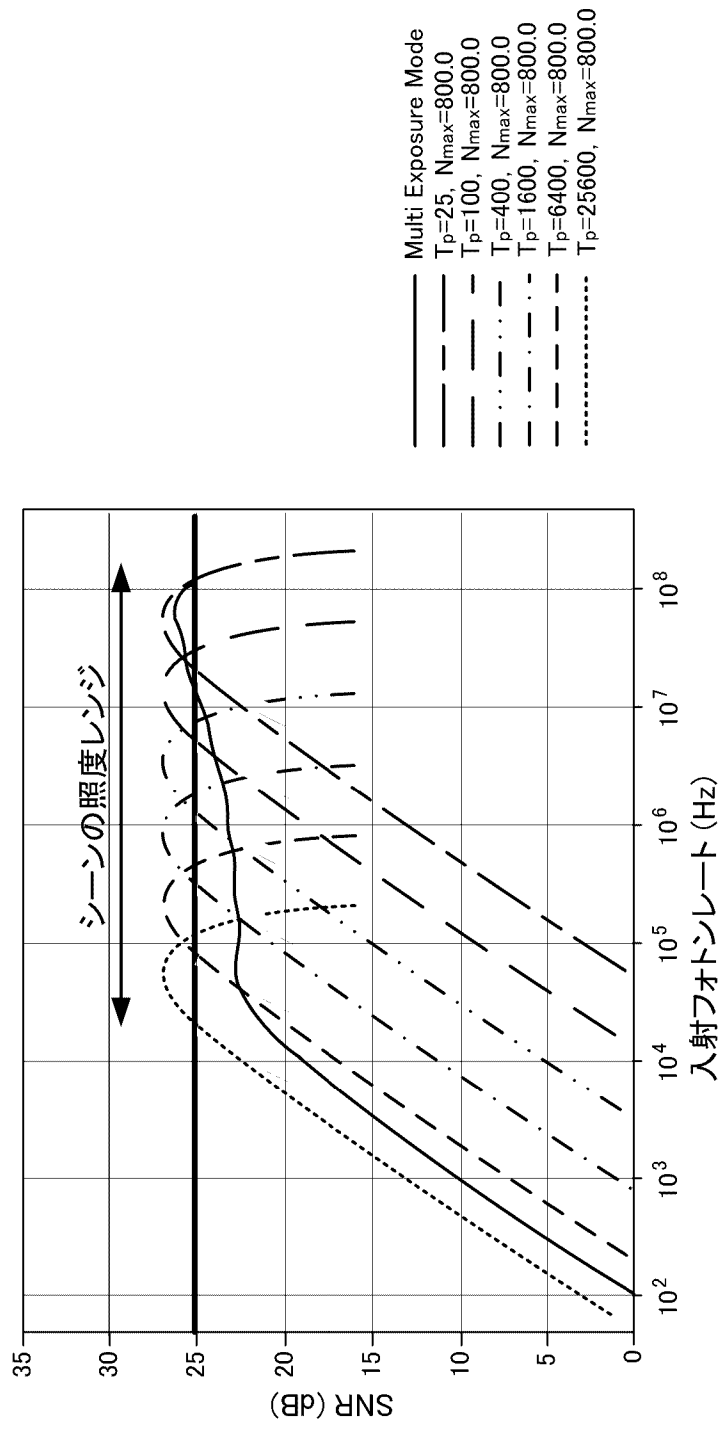
[図18]



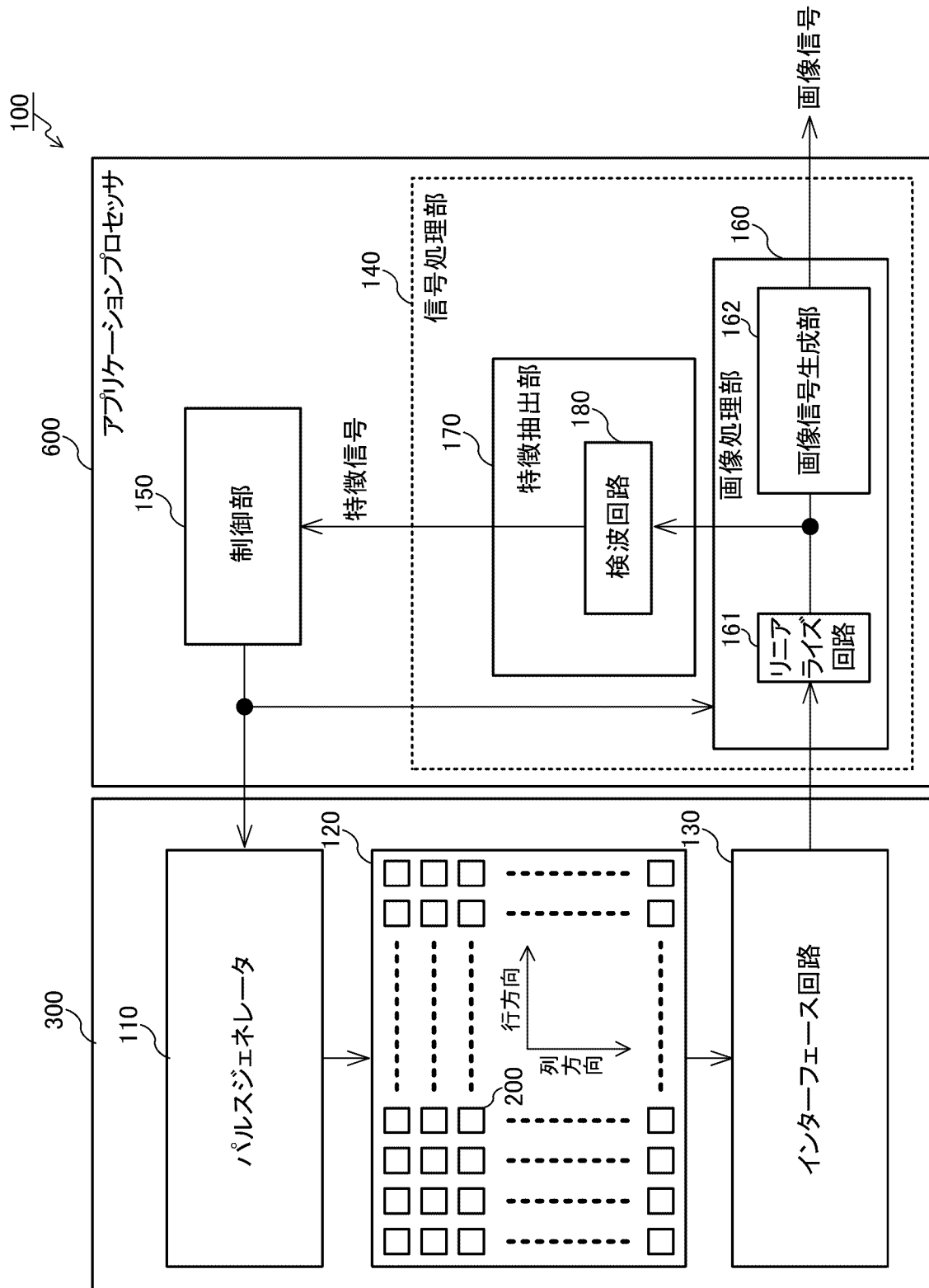
[図19]



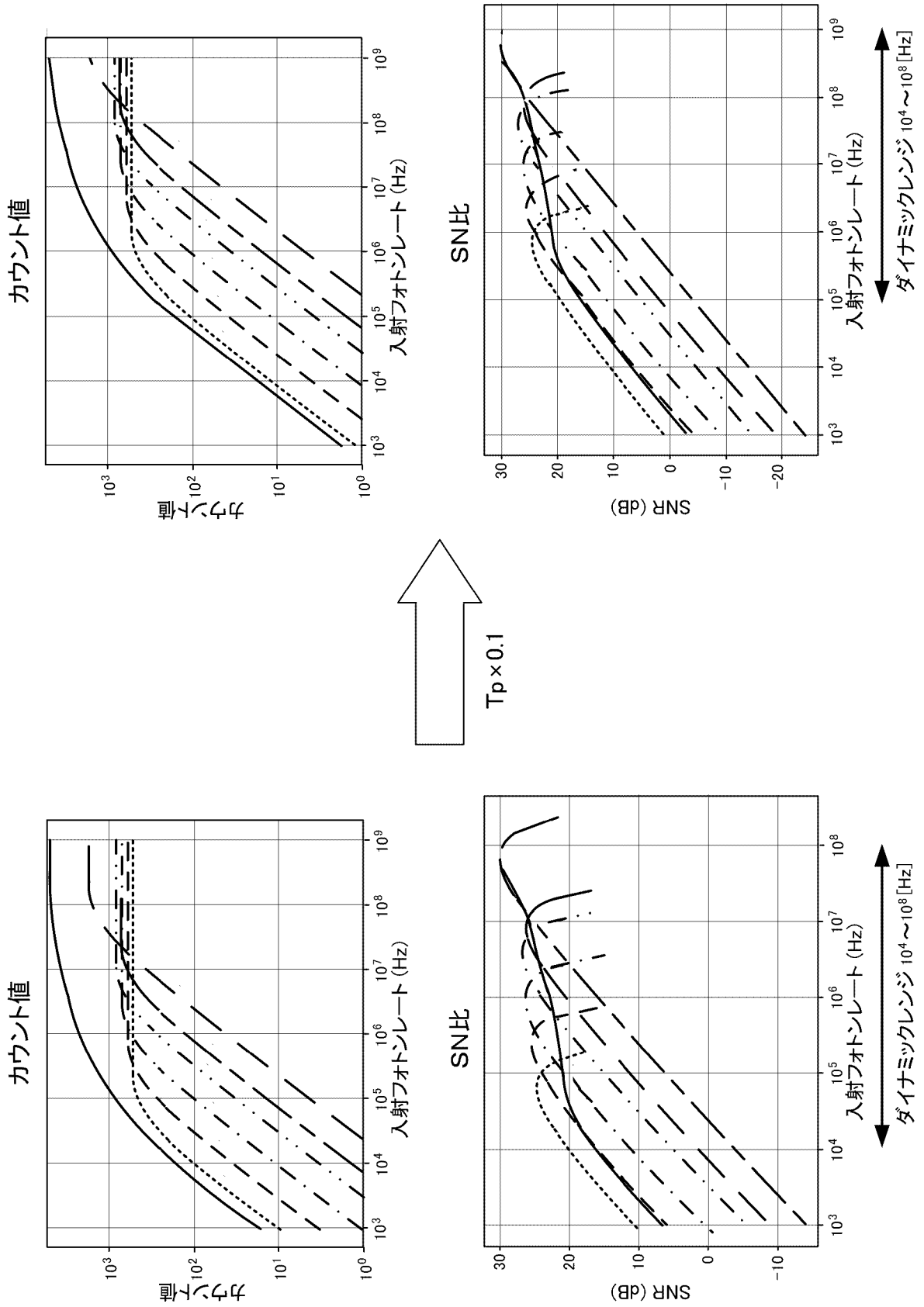
[図20]



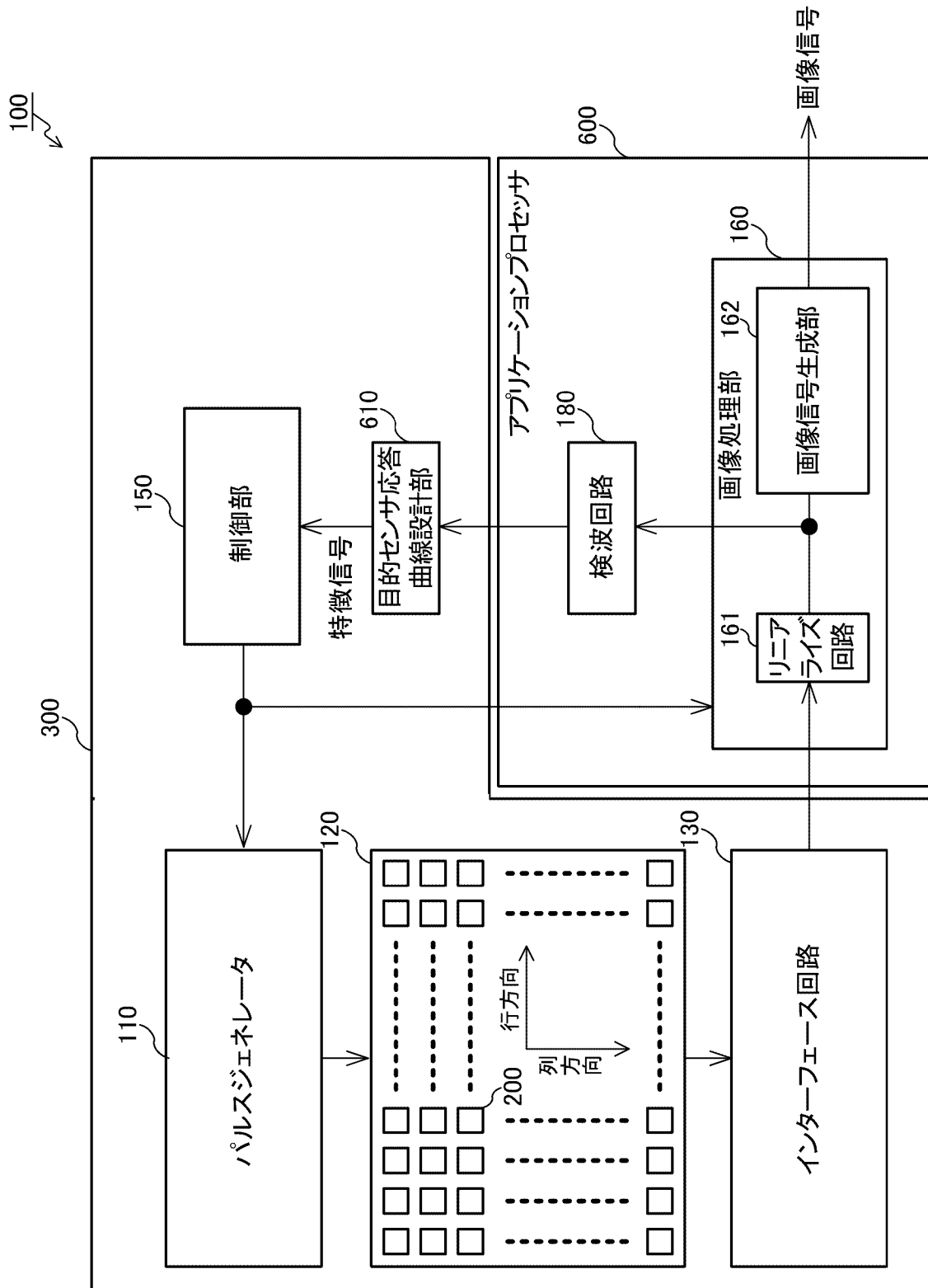
[図21]



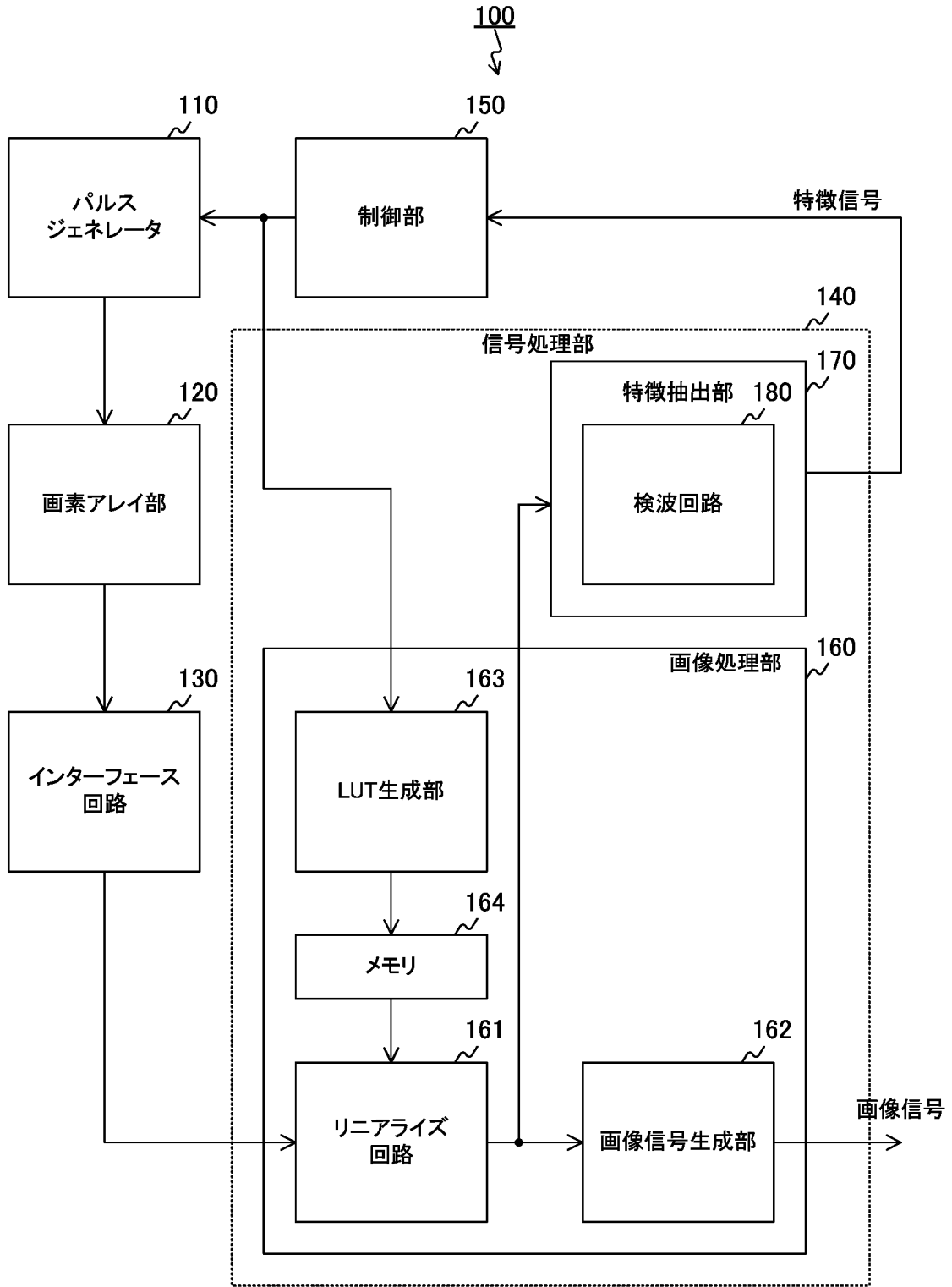
[図22]



[図23]



[図24]

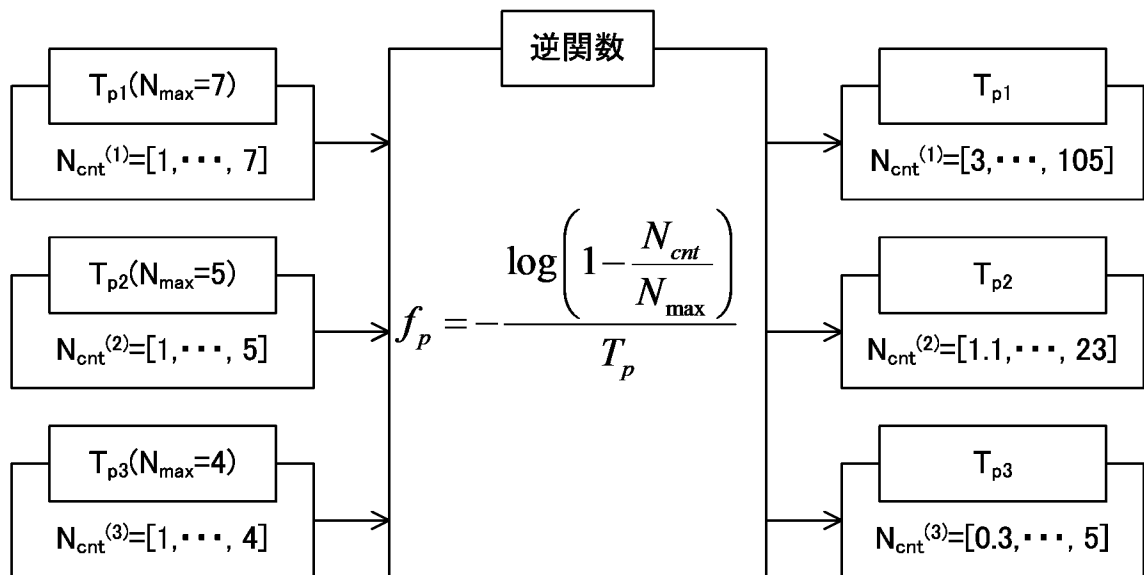


[図25]

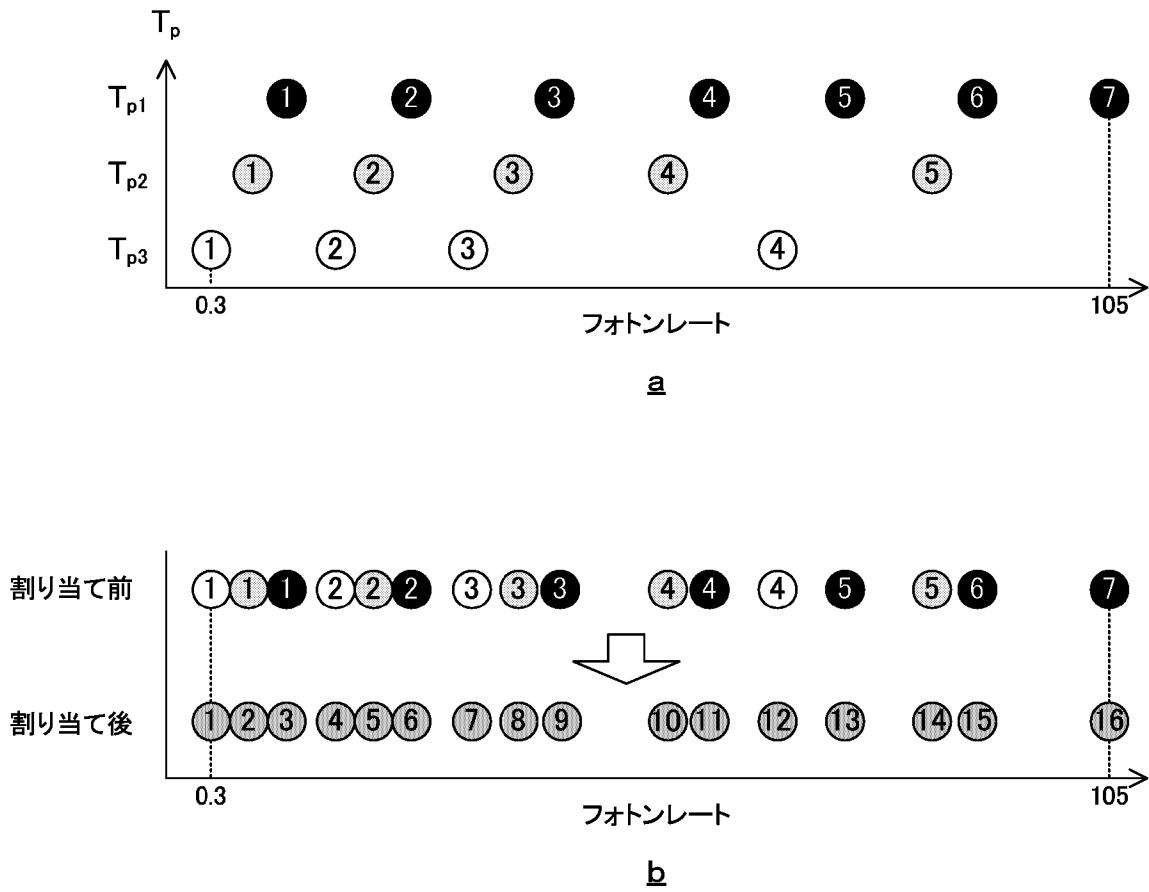
164
↓

N_{cnt}	f_p
0	f_0
1	f_1
2	f_2
⋮	⋮
⋮	⋮
4999	f_{4999}

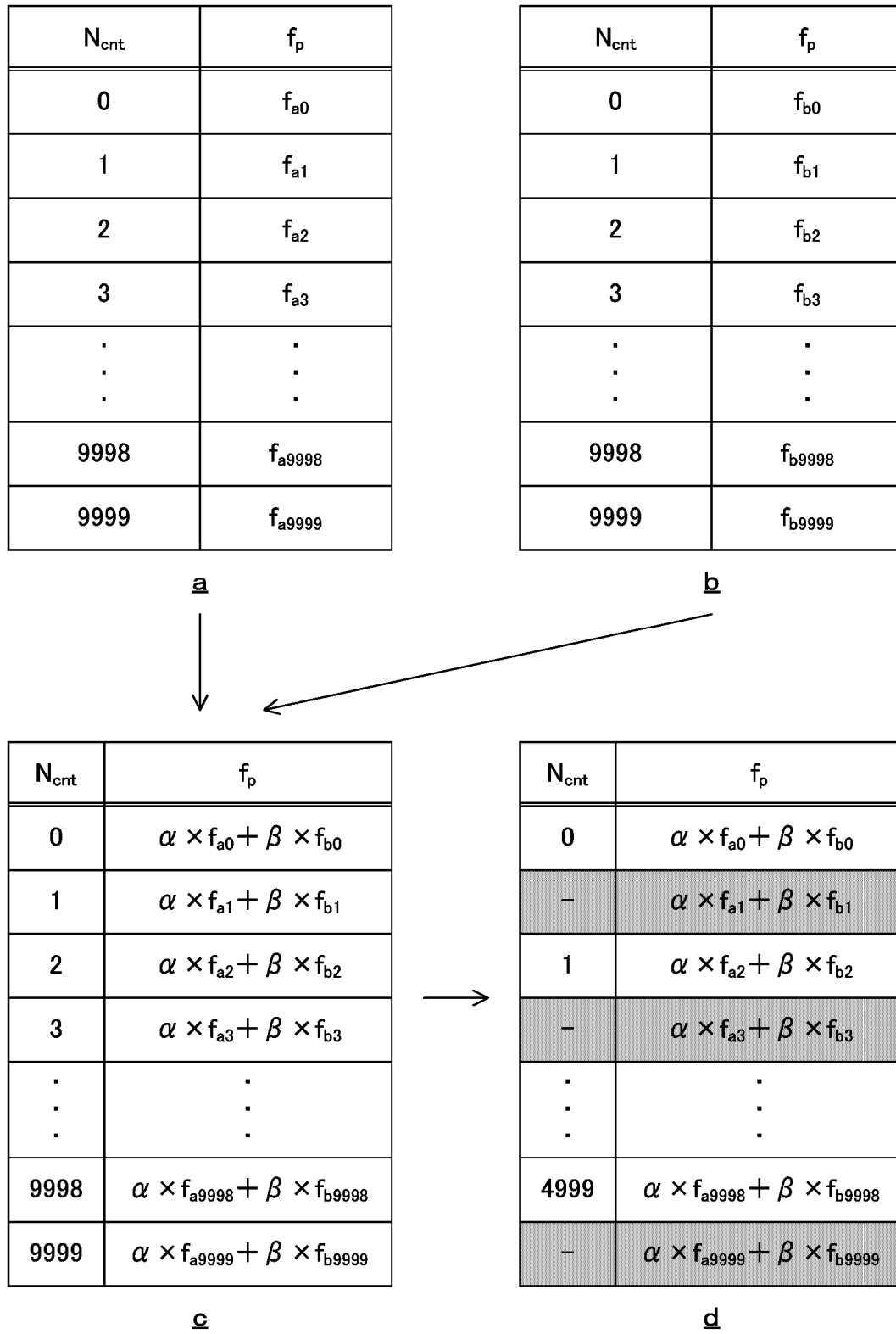
[図26]



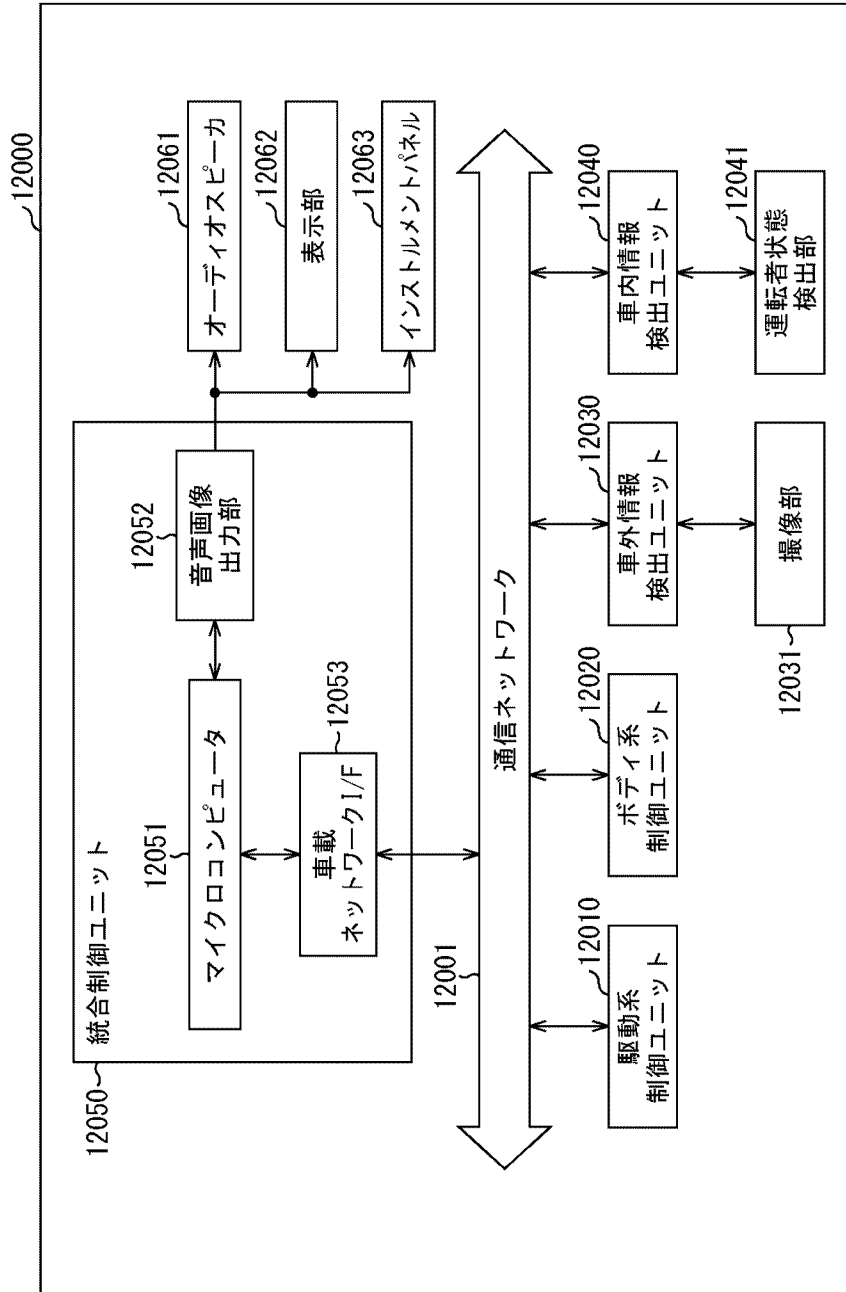
[図27]



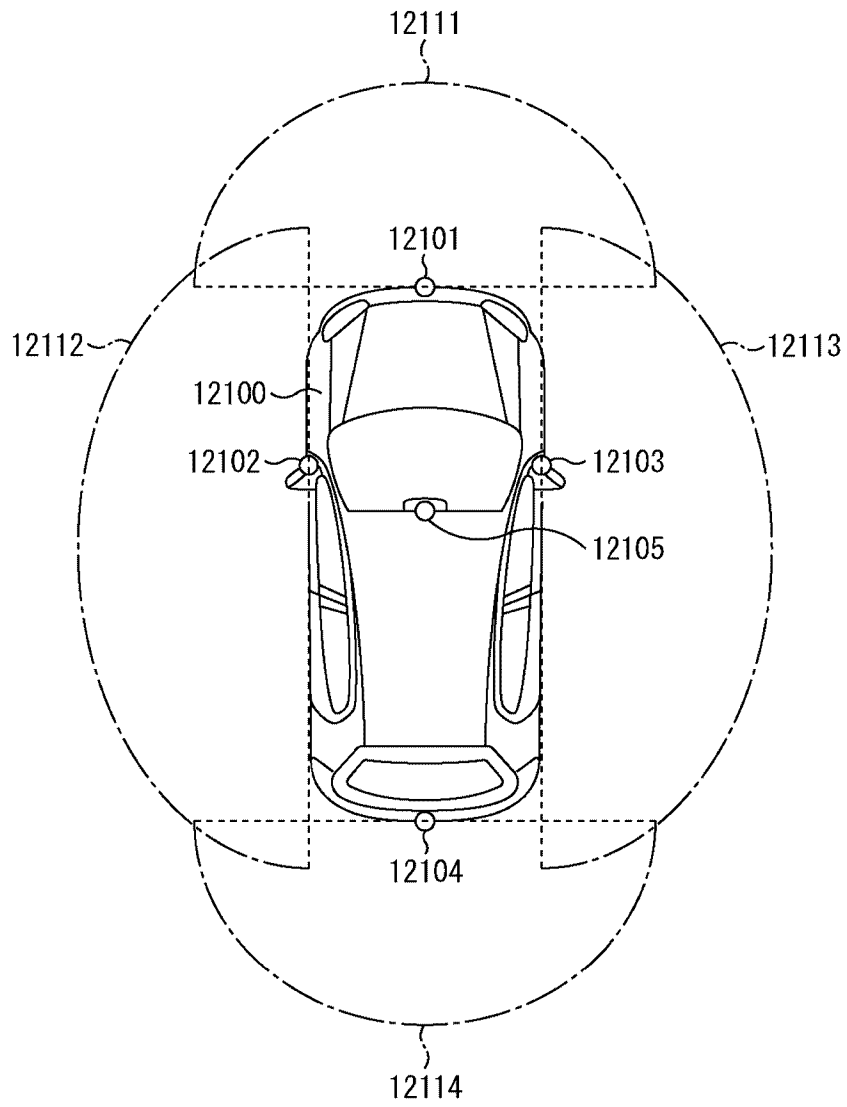
[図28]



[図29]



[図30]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/009526

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H04N 25/766</i> (2023.01)i; <i>H04N 23/54</i> (2023.01)i; <i>H04N 25/70</i> (2023.01)i; <i>H04N 25/79</i> (2023.01)i; <i>H04N 25/772</i> (2023.01)i; <i>H04N 25/773</i> (2023.01)i		
FI: H04N25/766; H04N25/773; H04N25/70; H04N25/79; H04N25/772; H04N23/54		
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) H04N25/766; H04N23/54; H04N25/70; H04N25/79; H04N25/772; H04N25/773		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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	JP 2022-106660 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 20 July 2022 (2022-07-20) fig. 1-6, paragraphs [0014]-[0065]	1, 2, 24
A	fig. 1-6, paragraphs [0014]-[0065]	3-23
Y	JP 2007-180761 A (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) 12 July 2007 (2007-07-12) fig. 1, paragraph [0024]	1, 2, 24
A	fig. 1, paragraph [0024]	3-23
A	JP 2020-123930 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 13 August 2020 (2020-08-13) column "abstract"	1-24
A	JP 2020-17861 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 30 January 2020 (2020-01-30) column "abstract"	1-24
A	JP 2013-27022 A (RICOH COMPANY, LTD.) 04 February 2013 (2013-02-04) column "abstract"	1-24
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 23 April 2024		Date of mailing of the international search report 14 May 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/009526

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2022-106660	A	20 July 2022	US 2023/0343879 A1 fig. 1-6, paragraphs [0048]- [0099] WO 2022/149576 A1 EP 4277263 A1 CN 116711320 A KR 10-2023-0128061 A	
JP	2007-180761	A	12 July 2007	US 2007/0146522 A1 fig. 2, paragraph [0026] CN 1992822 A KR 10-2007-0069060 A	
JP	2020-123930	A	13 August 2020	US 2020/0252534 A1 abstract	
JP	2020-17861	A	30 January 2020	US 2020/0033482 A1 abstract	
JP	2013-27022	A	04 February 2013	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H04N 25/766(2023.01)i; H04N 23/54(2023.01)i; H04N 25/70(2023.01)i; H04N 25/79(2023.01)i; H04N 25/772(2023.01)i; H04N 25/773(2023.01)i FI: H04N25/766; H04N25/773; H04N25/70; H04N25/79; H04N25/772; H04N23/54</p>																										
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H04N25/766; H04N23/54; H04N25/70; H04N25/79; H04N25/772; H04N25/773</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2024年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2024年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年																
日本国実用新案公報	1922 - 1996年																									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2024年																									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年																									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年																									
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2022-106660 A（キヤノン株式会社）20.07.2022（2022 - 07 - 20） 図1 - 図6、段落0014 - 0065</td> <td>1、2、24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>図1 - 図6、段落0014 - 0065</td> <td>3 - 23</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2007-180761 A（三洋電機株式会社）12.07.2007（2007 - 07 - 12） 図1、段落0024</td> <td>1、2、24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>図1、段落0024</td> <td>3 - 23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2020-123930 A（キヤノン株式会社）13.08.2020（2020 - 08 - 13） 要約欄</td> <td>1 - 24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2020-17861 A（キヤノン株式会社）30.01.2020（2020 - 01 - 30） 要約欄</td> <td>1 - 24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-27022 A（株式会社リコー）04.02.2013（2013 - 02 - 04） 要約欄</td> <td>1 - 24</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <p>* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献</p>			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 2022-106660 A（キヤノン株式会社）20.07.2022（2022 - 07 - 20） 図1 - 図6、段落0014 - 0065	1、2、24	A	図1 - 図6、段落0014 - 0065	3 - 23	Y	JP 2007-180761 A（三洋電機株式会社）12.07.2007（2007 - 07 - 12） 図1、段落0024	1、2、24	A	図1、段落0024	3 - 23	A	JP 2020-123930 A（キヤノン株式会社）13.08.2020（2020 - 08 - 13） 要約欄	1 - 24	A	JP 2020-17861 A（キヤノン株式会社）30.01.2020（2020 - 01 - 30） 要約欄	1 - 24	A	JP 2013-27022 A（株式会社リコー）04.02.2013（2013 - 02 - 04） 要約欄	1 - 24
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 2022-106660 A（キヤノン株式会社）20.07.2022（2022 - 07 - 20） 図1 - 図6、段落0014 - 0065	1、2、24																								
A	図1 - 図6、段落0014 - 0065	3 - 23																								
Y	JP 2007-180761 A（三洋電機株式会社）12.07.2007（2007 - 07 - 12） 図1、段落0024	1、2、24																								
A	図1、段落0024	3 - 23																								
A	JP 2020-123930 A（キヤノン株式会社）13.08.2020（2020 - 08 - 13） 要約欄	1 - 24																								
A	JP 2020-17861 A（キヤノン株式会社）30.01.2020（2020 - 01 - 30） 要約欄	1 - 24																								
A	JP 2013-27022 A（株式会社リコー）04.02.2013（2013 - 02 - 04） 要約欄	1 - 24																								
<p>国際調査を完了した日</p> <p>23.04.2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>14.05.2024</p>																									
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>彦田 克文 2V 9182</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3271</p>																									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/009526

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2022-106660	A	20.07.2022	US 2023/0343879	A1	
				Figures 1-6, Paragraphs 0048-0099		
				WO 2022/149576	A1	
				EP 4277263	A1	
				CN 116711320	A	
				KR 10-2023-0128061	A	
JP	2007-180761	A	12.07.2007	US 2007/0146522	A1	
				Figure 2, Paragraph 0026		
				CN 1992822	A	
				KR 10-2007-0069060	A	
JP	2020-123930	A	13.08.2020	US 2020/0252534	A1	
				Abstract		
JP	2020-17861	A	30.01.2020	US 2020/0033482	A1	
				Abstract		
JP	2013-27022	A	04.02.2013	(ファミリーなし)		