

(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
2021年7月15日(15.07.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/140579 A1

(51) 国際特許分類:

A61B 3/113 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2020/000213

(22) 国際出願日:

2020年1月8日(08.01.2020)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 松本 篤 (MATSUMOTO, Atsushi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 虎間

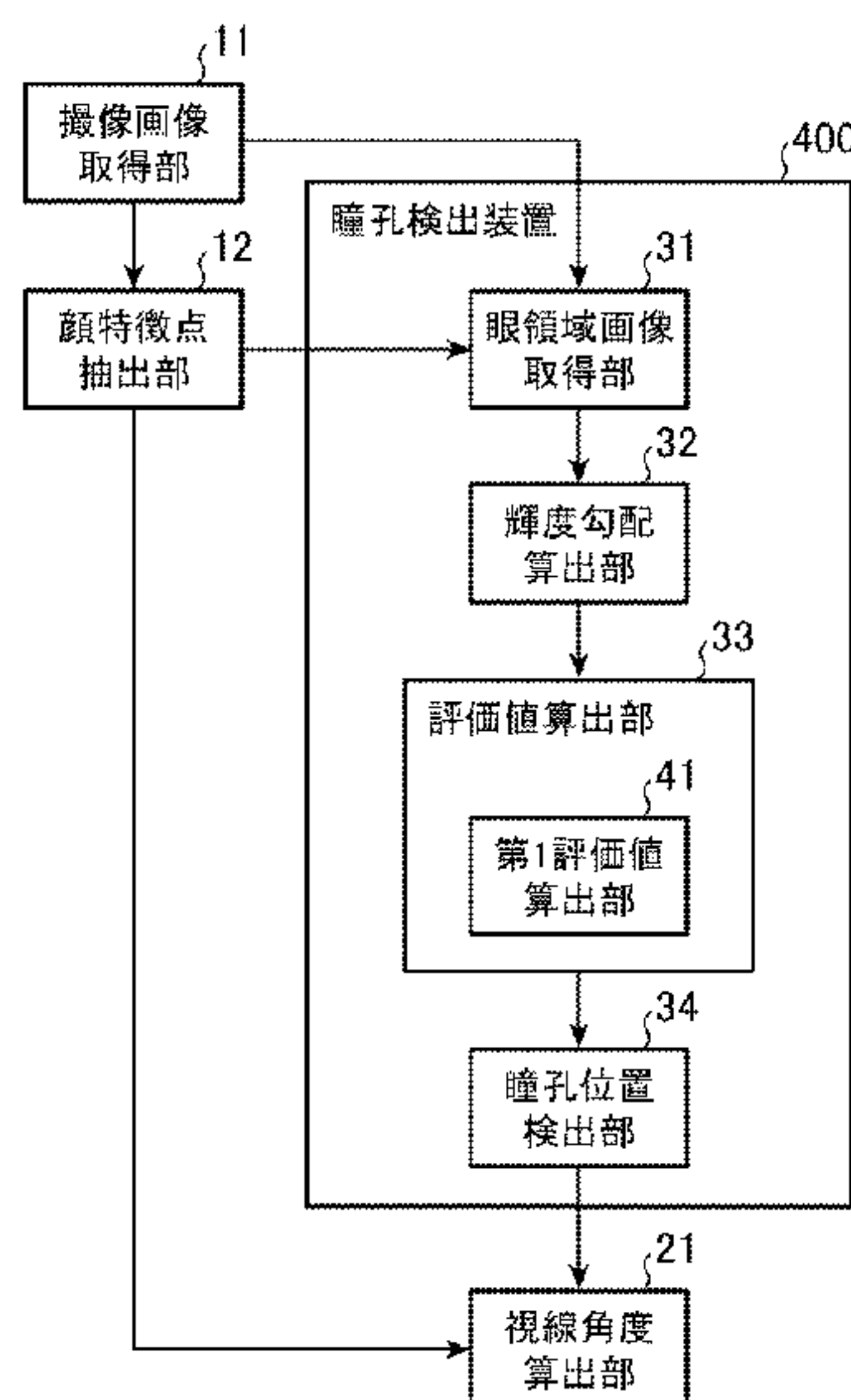
亮介(TORAMA, Ryosuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 渡邊 信太郎(WATANABE, Shintaro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 村地 遼平(MURACHI, Ryohei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: PUPIL DETECTION DEVICE, LINE-OF-SIGHT DETECTION DEVICE, OCCUPANT MONITORING SYSTEM, AND PUPIL DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 瞳孔検出装置、視線検出装置、搭乗者監視システム及び瞳孔検出方法



- 11 Captured image acquisition unit
- 12 Facial feature point extraction unit
- 21 Line-of-sight angle calculation unit
- 31 Eye region image acquisition unit
- 32 Luminance gradient calculation unit
- 33 Assessment value calculation unit
- 34 Pupil position detection unit
- 41 First assessment value calculation unit
- 400 Pupil detection device

(57) Abstract: A pupil detection device (400) comprises: an eye region image acquisition unit (31) that acquires image data indicating an eye region image (I2) in an image (I1) captured by a camera (2); a luminance gradient calculation unit (32) that calculates, using the image data, luminance gradient vectors (V2) corresponding to respective image units (U) in the eye region image (I2); an assessment value calculation unit (33) that calculates assessment values (E) corresponding to the respective image units (U) using the luminance gradient vectors (V2); and a pupil position detection unit (34) that

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, 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,
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, 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 :
一 国際調査報告 (条約第21条(3))

detects a pupil position (PP) in the eye region image (I2) using the assessment values (E).

(57) 要約 : 瞳孔検出装置 (400) は、カメラ (2) による撮像画像 (I1) における眼領域画像 (I2) を示す画像データを取得する眼領域画像取得部 (31) と、画像データを用いて眼領域画像 (I2) における個々の画像単位 (U) に対応する輝度勾配ベクトル (V2) を算出する輝度勾配算出部 (32) と、輝度勾配ベクトル (V2) を用いて個々の画像単位 (U) に対応する評価値 (E) を算出する評価値算出部 (33) と、評価値 (E) を用いて眼領域画像 (I2) における瞳孔位置 (PP) を検出する瞳孔位置検出部 (34) と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

瞳孔検出装置、視線検出装置、搭乗者監視システム及び瞳孔検出方法

技術分野

[0001] 本開示は、瞳孔検出装置、視線検出装置、搭乗者監視システム及び瞳孔検出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、カメラにより撮像された画像（以下「撮像画像」ということがある。）における瞳孔位置を検出する技術が開発されている。また、当該検出された瞳孔位置に基づき、視線方向を検出する技術が開発されている（例えば、特許文献1参照。）。これらの技術は、例えば、DMS（Driver Monitoring System）又はOMS（Occupant Monitoring system）に用いられている。

[0003] ここで、DMSは、運転者の状態を監視するシステムである。これに対して、OMSは、運転者及び同乗者のうちの少なくとも一方の状態を監視するシステムである。以下、運転者及び同乗者のうちの少なくとも一方を総称して「搭乗者」ということがある。すなわち、搭乗者（Occupant）は、運転者（Driver）に対する上位概念である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2012-24154号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1記載の瞳孔検出装置は、撮像画像における角膜反射像を検出して、当該検出された角膜反射像を用いて瞳孔位置を検出するものである（例えば、特許文献1の要約参照。）。このため、角膜反射像が正常に検出されないときは、瞳孔位置を検出することができない問題があった。

[0006] 例えば、カメラにおける解像度が低いことにより、角膜反射像が正常に検出されないことがある。また、例えば、カメラの位置と搭乗者の頭部の位置との間隔が大きいことにより、角膜反射像が正常に検出されないことがある。また、例えば、カメラと搭乗者の頭部との位置関係に応じて、撮像画像に角膜反射像が含まれない状態が生ずることがある。これにより、角膜反射像が検出されないことがある。このような場合、特許文献1記載の瞳孔検出装置においては、瞳孔位置を検出することができない問題があった。

[0007] 本開示は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、瞳孔位置を検出するにあたり、角膜反射像の検出を不要とすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示に係る瞳孔検出装置は、カメラによる撮像画像における眼領域画像を示す画像データを取得する眼領域画像取得部と、画像データを用いて眼領域画像における個々の画像単位に対応する輝度勾配ベクトルを算出する輝度勾配算出部と、輝度勾配ベクトルを用いて個々の画像単位に対応する評価値を算出する評価値算出部と、評価値を用いて眼領域画像における瞳孔位置を検出する瞳孔位置検出部と、を備えるものである。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、上記のように構成したので、瞳孔位置を検出するにあたり、角膜反射像の検出を不要とすることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。

[図2]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。

[図3]眼領域画像の例を示す説明図である。

[図4]フィルタの例を示す説明図である。

[図5]フィルタによる掃引の例を示す説明図である。

[図6]第1輝度勾配値に対応するベクトルの例、第2輝度勾配値に対応するベクトルの例、及び輝度勾配ベクトルの例を示す説明図である。

[図7]注目画像単位における輝度値の例、及び注目画像単位に対する周囲に配置された個々の画像単位における輝度値の例を示す説明図である。

[図8]注目画像単位に対応する輝度勾配ベクトルの例を示す説明図である。

[図9]評価領域の例を示す説明図である。

[図10]個々の評価画像単位に対応する輝度勾配ベクトルの例を示す説明図である。

[図11]ヨ一方向に対する視線角度の算出方法の例を示す説明図である。

[図12]ピッチ方向に対する視線角度の算出方法の例を示す説明図である。

[図13]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける搭乗者監視装置の要部のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図14]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける搭乗者監視装置の要部の他のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図15]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける搭乗者監視装置の要部の他のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図16]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける搭乗者監視装置の動作を示すフローチャートである。

[図17]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける視線検出装置の動作を示すフローチャートである。

[図18]実施の形態1に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の動作を示すフローチャートである。

[図19]評価領域の他の例を示す説明図である。

[図20]実施の形態1に係る搭乗者監視システムのシステム構成を示すブロック図である。

[図21]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図22]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブ

ロック図である。

[図23]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図24]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図25]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図26]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図27]実施の形態1に係る搭乗者監視システムの他のシステム構成を示すブロック図である。

[図28]実施の形態2に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。

[図29]実施の形態2に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。

[図30]複数個の方向の例を示す説明図である。

[図31]実施の形態2に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の動作を示すフローチャートである。

[図32]実施の形態3に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。

[図33]実施の形態3に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。

[図34]実施の形態3に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の動作を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、この開示をより詳細に説明するために、この開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

[0012] 実施の形態1.

図 1 は、実施の形態 1 に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。図 2 は、実施の形態 1 に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。図 1 及び図 2 を参照して、実施の形態 1 に係る搭乗者監視システムについて説明する。

[0013] 図 1 に示す如く、車両 1 にカメラ 2 及び出力装置 3 が設けられている。

[0014] カメラ 2 は、車室内撮像用のカメラにより構成されている。すなわち、カメラ 2 は、車両 1 の車室内前方部に設けられている。具体的には、例えば、カメラ 2 は、車両 1 のダッシュボードにおけるセンターコンソールに対する近傍の位置、又は車両 1 のダッシュボードにおけるステアリングコラムに対する近傍の位置に設けられている。カメラ 2 により撮像される範囲（以下「撮像範囲」という。）は、車両 1 の運転席を含むものである。これにより、車両 1 の運転席に運転者が着座しているとき、運転者の顔を含む画像が撮像される。これに加えて、撮像範囲は、車両 1 の助手席を含むものであっても良い。これにより、車両 1 の助手席に同乗者が着座しているとき、同乗者の顔を含む画像が撮像される。

[0015] 以下、車両 1 の搭乗者のうちのカメラ 2 による撮像対象となる搭乗者を「撮像対象者」ということがある。すなわち、撮像対象者は、車両 1 の運転者を示すものである。または、撮像対象者は、車両 1 の運転者及び車両 1 の同乗者の各々を示すものである。

[0016] 出力装置 3 は、ディスプレイ、スピーカ及び無線通信装置のうちの少なくとも一つを含むものである。ディスプレイは、例えば、液晶ディスプレイ、有機 EL (Electro Luminescence) ディスプレイ又はヘッドアップディスプレイにより構成されている。ディスプレイは、例えば、車両 1 のダッシュボードに設けられている。スピーカは、例えば、車両 1 のダッシュボードに設けられている。無線通信装置は、送信機及び受信機により構成されている。

[0017] 図 1 に示す如く、搭乗者監視システム 100 は、カメラ 2、出力装置 3 及び搭乗者監視装置 200 を含むものである。搭乗者監視装置 200 は、撮像

画像取得部 1 1、顔特徴点抽出部 1 2、顔向き推定部 1 3、搭乗者状態判定部 1 4、警告出力制御部 1 5 及び視線検出装置 3 0 0 を有している。視線検出装置 3 0 0 は、視線角度算出部 2 1、視線方向検出部 2 2 及び瞳孔検出装置 4 0 0 を有している。図 2 に示す如く、瞳孔検出装置 4 0 0 は、眼領域画像取得部 3 1、輝度勾配算出部 3 2、評価値算出部 3 3 及び瞳孔位置検出部 3 4 を有している。評価値算出部 3 3 は、第 1 評価値算出部 4 1 を有している。

[0018] 撮像画像取得部 1 1 は、カメラ 2 による撮像画像 1 1 を示す画像データ（以下「第 1 画像データ」という。）を取得するものである。撮像画像取得部 1 1 は、当該取得された第 1 画像データを顔特徴点抽出部 1 2 及び眼領域画像取得部 3 1 に出力するものである。

[0019] 顔特徴点抽出部 1 2 は、撮像画像取得部 1 1 により出力された第 1 画像データを取得するものである。顔特徴点抽出部 1 2 は、当該取得された第 1 画像データを用いて、撮像画像 1 1 における複数個の顔特徴点を抽出するものである。顔特徴点抽出部 1 2 は、当該抽出された複数個の顔特徴点を示す情報（以下「顔特徴点情報」という。）を顔向き推定部 1 3 に出力するものである。個々の顔特徴点の抽出には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0020] 以下、撮像対象者の左眼及び撮像対象者の右眼のうちのいずれか一方を「視線検出対象眼」という。または、撮像対象者の左眼及び撮像対象者の右眼の各々を「視線検出対象眼」という。

[0021] 顔特徴点抽出部 1 2 により抽出される複数個の顔特徴点は、視線検出対象眼の目尻に対応する特徴点（以下「第 1 特徴点」という。）F P 1、視線検出対象眼の目頭に対応する特徴点（以下「第 2 特徴点」という。）F P 2、視線検出対象眼の上瞼に対応する特徴点（以下「第 3 特徴点」という。）F P 3、及び視線検出対象眼の下瞼に対応する特徴点（以下「第 4 特徴点」という。）F P 4 を含むものである。顔特徴点抽出部 1 2 は、当該抽出された第 1 特徴点 F P 1、第 2 特徴点 F P 2、第 3 特徴点 F P 3 及び第 4 特徴点 F

P 4 を示す情報（以下「眼特徴点情報」という。）を視線角度算出部 2 1 及び眼領域画像取得部 3 1 に出力するものである。

[0022] 顔向き推定部 1 3 は、顔特徴点抽出部 1 2 により出力された顔特徴点情報を取得するものである。顔向き推定部 1 3 は、当該取得された顔特徴点情報を用いて、撮像対象者の顔向きを推定するものである。顔向き推定部 1 3 は、当該推定された顔向きを示す情報（以下「顔向き情報」という。）を搭乗者状態判定部 1 4 及び視線方向検出部 2 2 に出力するものである。

[0023] より具体的には、顔向き推定部 1 3 は、上記取得された顔特徴点情報を用いて、撮像対象者の顔向きを示すベクトル（以下「顔向きベクトル」という。） V_1 を算出する。顔向き情報は、当該算出された顔向きベクトル V_1 を含むものである。顔向きベクトル V_1 の算出には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0024] 眼領域画像取得部 3 1 は、顔特徴点抽出部 1 2 により出力された眼特徴点情報を取得するものである。眼領域画像取得部 3 1 は、当該取得された眼特徴点情報を用いて、撮像画像 I_1 における視線検出対象眼を含む領域（以下「眼領域」という。）を検出するものである。眼領域の検出には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0025] また、眼領域画像取得部 3 1 は、撮像画像取得部 1 1 により出力された第 1 画像データを取得するものである。眼領域画像取得部 3 1 は、当該取得された第 1 画像データを用いて、撮像画像 I_1 のうちの眼領域に対応する画像（以下「眼領域画像」という。） I_2 を示す画像データ（以下「第 2 画像データ」という。）を取得するものである。眼領域画像取得部 3 1 は、当該取得された第 2 画像データを輝度勾配算出部 3 2 に出力するものである。

[0026] 図 3 は、眼領域画像 I_2 の例を示している。図 3 に示す如く、眼領域画像 I_2 は、互いに直交する 2 方向（すなわち X 方向及び Y 方向）に配列された複数個の単位（以下「画像単位」という。） U により構成されている。ここで、個々の画像単位 U は、1 個の画素により構成されている。または、個々

の画像単位 U は、互いに隣接する複数個の画素により構成されている。

[0027] 輝度勾配算出部 32 は、眼領域画像取得部 31 により出力された第 2 画像データを取得するものである。輝度勾配算出部 32 は、当該取得された第 2 画像データを用いて、眼領域画像 12 における個々の画像単位 U に対応する輝度勾配ベクトル V_2 を算出するものである。輝度勾配算出部 32 は、当該算出された輝度勾配ベクトル V_2 を示す情報（以下「輝度勾配情報」という。）を評価値算出部 33 に出力するものである。

[0028] ここで、図 4 ～図 8 を参照して、輝度勾配ベクトル V_2 の算出方法について説明する。輝度勾配ベクトル V_2 の算出には、図 4 に示すフィルタ F が用いられる。フィルタ F は、図 5 に示す如く、眼領域画像 12 を掃引するようにして適用される。

[0029] フィルタ F は、眼領域画像 12 における個々の画像単位（以下「注目画像単位」ということがある。） U_I について、注目画像単位 U_I に対する左方に配置された画像単位 U_L における輝度値 B_L と注目画像単位 U_I に対する右方に配置された画像単位 U_R における輝度値 B_R との差分値（以下「第 1 輝度勾配値」という。） ΔB_X を算出するものである。また、フィルタ F は、注目画像単位 U_I に対する上方に配置された画像単位 U_U における輝度値 B_U と注目画像単位 U_I に対する下方に配置された画像単位 U_D における輝度値 B_D との差分値（以下「第 2 輝度勾配値」という。） ΔB_Y を算出するものである。

[0030] 図 6 に示す如く、輝度勾配ベクトル V_2 は、第 1 輝度勾配値 ΔB_X に対応するベクトル V_2_X と第 2 輝度勾配値 ΔB_Y に対応するベクトル V_2_Y との和により表される。そこで、フィルタ F は、上記算出された第 1 輝度勾配値 ΔB_X 及び上記算出された第 2 輝度勾配値 ΔB_Y を用いて、輝度勾配ベクトル V_2 の向きに対応する角度（以下「輝度勾配角度」という。） θ を算出する。輝度勾配情報は、当該算出された輝度勾配角度 θ を含むものである。

[0031] 例えば、図 7 に示す如く、輝度値 B_L が 44 であり、かつ、輝度値 B_I

Rが16であり、かつ、輝度値 B_{U} が47であり、かつ、輝度値 B_{D} が18であるものとする。この場合、注目画像単位 U_{I} にフィルタFが適用されることにより、第1輝度勾配値 ΔB_{X} が-28に算出されるとともに、第2輝度勾配値 ΔB_{Y} が-29に算出される。また、輝度勾配角度 θ が 46° に算出される。図8は、これらの値に基づく輝度勾配ベクトル V_2 の例を示している。

[0032] 評価値算出部33は、輝度勾配算出部32により出力された輝度勾配情報を取得するものである。評価値算出部33は、当該取得された輝度勾配情報を用いて、眼領域画像12における個々の画像単位 U に対応する評価値 E を算出するものである。評価値算出部33は、当該算出された評価値 E を含む情報（以下「評価値情報」という。）を瞳孔位置検出部34に出力するものである。

[0033] ここで、評価値算出部33により算出される評価値 E は、第1評価値算出部41により算出される第1評価値 E_1 を含むものである。すなわち、評価値情報は、当該算出された第1評価値 E_1 を含むものである。第1評価値 E_1 は、個々の画像単位 U （すなわち注目画像単位 U_{I} ）に向かう輝度勾配ベクトル V_2 の本数 n に基づくものである。図9及び図10を参照して、第1評価値 E_1 の算出方法について説明する。

[0034] まず、第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_{I} を含む評価用の領域（以下「評価領域」という。） E_A を設定する。評価領域 E_A は、注目画像単位 U_{I} を含むものであり、かつ、注目画像単位 U_{I} と異なる N 個の画像単位（以下「評価画像単位」ということがある。） U_{E} を含むものである。 N は、2以上の任意の整数である。

[0035] 図9は、評価領域 E_A の例を示している。図9に示す例においては、評価領域 E_A の形状が正形状であり、かつ、評価領域 E_A の中心部に注目画像単位 U_{I} が配置されている。また、評価領域 E_A に48個の評価画像単位 U_{E} が含まれている。すなわち、 $N=48$ である。

[0036] 評価領域 E_A は、所定のサイズ（以下「基準虹彩サイズ」という。）より

も小さいサイズを有している。基準虹彩サイズは、標準的な人の虹彩のサイズに対応するものである。

[0037] 次いで、第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_I と個々の評価画像単位 U_E とを結ぶ直線の傾きに対応する角度 θ' を算出する。次いで、第1評価値算出部41は、個々の評価画像単位 U_E について、対応する輝度勾配角度 θ と対応する角度 θ' との差分値 $\Delta\theta$ を算出する。当該算出された差分値 $\Delta\theta$ が所定の閾値 $\Delta\theta_{th}$ 未満である場合、第1評価値算出部41は、対応する輝度勾配ベクトル V_2 が注目画像単位 U_I に向かう向きを有するものであると判定する。他方、当該算出された差分値 $\Delta\theta$ が閾値 $\Delta\theta_{th}$ 以上である場合、第1評価値算出部41は、対応する輝度勾配ベクトル V_2 が注目画像単位 U_I に向かう向きを有しないものであると判定する。

[0038] 次いで、第1評価値算出部41は、かかる判定の結果に基づき、注目画像単位 U_I に向かう輝度勾配ベクトル V_2 の本数 n を算出する。このとき、本数 n は、0以上かつ N 以下の値に算出される。評価値算出部33は、当該算出された本数 n に応じた第1評価値 E_1 を算出する。すなわち、本数 n が多いほど、第1評価値 E_1 が高い値に算出される。換言すれば、本数 n が少ないほど、第1評価値 E_1 が低い値に算出される。

[0039] 例えば、図10に示す如く、評価領域 E_A に48個の評価画像単位 U_E が含まれているものとする($N=48$)。48個の評価画像単位 U_E に対応する48本の輝度勾配ベクトル V_2 のうち、19本の輝度勾配ベクトル V_2 が注目画像単位 U_I に向かう向きを有しているものとする($n=19$)。図中、実線による矢印は、注目画像単位 U_I に向かう向きを有する輝度勾配ベクトル V_2 を示している。他方、破線による矢印は、注目画像単位 U_I に向かう向きを有しない輝度勾配ベクトル V_2 を示している。

[0040] この場合、第1評価値算出部41により、本数 n が19に算出される。また、第1評価値算出部41により、当該算出された本数 n に応じた第1評価値 E_1 が算出される。例えば、 n/N に基づく第1評価値 E_1 が算出される。

[0041] 瞳孔位置検出部 34 は、評価値算出部 33 により出力された評価値情報を取得するものである。瞳孔位置検出部 34 は、当該取得された評価値情報を用いて、眼領域画像 12 における瞳孔位置 P P を検出するものである。瞳孔位置検出部 34 は、当該検出された瞳孔位置 P P を示す情報（以下「瞳孔位置情報」という。）を視線角度算出部 21 に出力するものである。

[0042] より具体的には、瞳孔位置検出部 34 は、上記取得された評価値情報を用いて、眼領域画像 12 における瞳孔位置 P P に対応する画像単位 U の位置を示す座標値 C__X, C__Y を検出する。瞳孔位置情報は、当該検出された座標値 C__X, C__Y を含むものである。

[0043] すなわち、瞳孔位置検出部 34 は、眼領域画像 12 における複数の画像単位 U に対応する複数の第 1 評価値 E 1 のうちの最大値を検出する。換言すれば、瞳孔位置検出部 34 は、かかる複数の第 1 評価値 E 1 における極大値を検出する。瞳孔位置検出部 34 は、当該検出された極大値に対応する画像単位 U の位置を示す座標値 C__X, C__Y を検出する。これにより、瞳孔位置 P P に対応する座標値 C__X, C__Y が検出される。

[0044] ここで、かかる最大値（すなわち極大値）の検出により瞳孔位置 P P が検出される原理について説明する。

[0045] 第一に、通常、眼領域画像 12 は、眼裂内に対応する領域（以下「眼裂内領域」という。）及び眼裂外に対応する領域（以下「眼裂外領域」という。）により構成されている。眼裂外領域は、眼裂内領域に対する周囲に配置されている。また、眼裂内領域は、瞳孔に対応する領域（以下「瞳孔領域」という。）、虹彩に対応する領域（以下「虹彩領域」という。）及び強膜に対応する領域（以下「強膜領域」という。）を含むものである。強膜領域は、虹彩領域に対する周囲に配置されている。虹彩領域は、瞳孔領域に対する周囲に配置されている。虹彩領域の形状は、円形状である。瞳孔領域の形状は、円形状である。

[0046] 第二に、通常、瞳孔領域における輝度は、虹彩領域における輝度に比して低い。このため、眼裂内領域においては、瞳孔領域と虹彩領域との境界部に

て輝度の不連続性に基づくエッジが発生する。また、虹彩領域における輝度は、強膜領域における輝度に比して低い。このため、眼裂内領域においては、虹彩領域と強膜領域との境界部にて輝度の不連続性に基づくエッジが発生する。

[0047] これらの原理により、瞳孔領域内の画像単位Uに対応する本数nは、瞳孔領域外の画像単位Uに対応する本数nに比して多くなる蓋然性が高い。したがって、瞳孔領域内の画像単位Uに対応する第1評価値E1は、瞳孔領域外の画像単位Uに対応する第1評価値E1に比して高くなる蓋然性が高い。よって、第1評価値E1のうちの最大値（すなわち第1評価値E1における極大値）を検出することにより、瞳孔位置PPを検出することができるのである。

[0048] 視線角度算出部21は、顔特徴点抽出部12により出力された眼特徴点情報を取得するとともに、瞳孔位置検出部34により出力された瞳孔位置情報を取得するものである。視線角度算出部21は、当該取得された眼特徴点情報及び当該取得された瞳孔位置情報を用いて、撮像対象者の視線角度 ϕ を算出するものである。視線角度算出部21は、当該算出された視線角度 ϕ を含む情報（以下「視線角度情報」という。）を視線方向検出部22に出力するものである。

[0049] ここで、視線角度 ϕ は、ヨ一方向に対する視線角度 ϕ_X 及びピッチ方向に対する視線角度 ϕ_Y を含むものである。図11を参照して、視線角度 ϕ_X の算出方法について説明する。また、図12を参照して、視線角度 ϕ_Y の算出方法について説明する。

[0050] まず、視線角度算出部21は、上記取得された眼特徴点情報を用いて、X方向に対する位置P__FP1__X、P__FP2__Xを算出する。位置P__FP1__Xは、第1特徴点FP1（すなわち目尻）に対応するものである。位置P__FP2__Xは、第2特徴点FP2（すなわち目頭）に対応するものである。

[0051] 次いで、視線角度算出部21は、当該算出された位置P__FP1__X、P

$_FP2_X$ に基づき、 X 方向に対する位置（以下「第1基準位置」という。） P_C_X を算出する。第1基準位置 P_C_X は、第1特徴点 $FP1$ と第2特徴点 $FP2$ との中間位置に対応するものである。すなわち、第1基準位置 P_C_X は、 X 方向に対する眼裂内領域の中心部に対応するものである。

[0052] 次いで、視線角度算出部21は、上記取得された瞳孔位置情報を用いて、 X 方向に対する位置 P_PP_X を算出する。位置 P_PP_X は、瞳孔位置 PP に対応するものである。

[0053] 次いで、視線角度算出部21は、位置 P_FP1_X 又は位置 P_FP2_X について、第1基準位置 P_C_X に対する間隔 L_X_1 及び位置 P_PP_X に対する間隔 L_X_2 を算出する。図11は、位置 P_FP2_X を間隔 L_X_1 、 L_X_2 の基準に用いた場合の例を示している。

[0054] 視線角度算出部21には、視線角度 ϕ_X の最大値 ϕ_{max}_X を示す値が予め設定されている。視線角度算出部21は、当該設定されている最大値 ϕ_{max}_X 及び上記算出された間隔 L_X_1 、 L_X_2 を用いて、以下の式（1）により視線角度 ϕ_X を算出する。

[0055]
$$\phi_X = \phi_{max}_X \times (L_X_1 - L_X_2) / L_X_1 \quad (1)$$

[0056] 最大値 ϕ_{max}_X は、例えば、以下のようなモデル M_X に基づくものである。すなわち、モデル M_X においては、仮に位置 P_PP_X が第1基準位置 P_C_X と同一であるとき、視線角度 ϕ_X が 0° となるものである。また、モデル M_X においては、仮に位置 P_PP_X が位置 P_FP1_X と同一であるとき、視線角度 ϕ_X が最大値 ϕ_{max}_X に対応する値（例えば -60° ）となるものである。また、モデル M_X においては、仮に位置 P_PP_X が位置 P_FP2_X と同一であるとき、視線角度 ϕ_X が最大値 ϕ_{max}_X に対応する値（例えば $+60^\circ$ ）となるものである。

[0057] また、視線角度算出部21は、上記取得された眼特徴点情報を用いて、 Y

方向に対する位置 P_FP3_Y , P_FP4_Y を算出する。位置 P_FP3_X は、第3特徴点 $FP3$ (すなわち上瞼) に対応するものである。位置 P_FP4_Y は、第4特徴点 $FP4$ (すなわち下瞼) に対応するものである。

[0058] 次いで、視線角度算出部21は、当該算出された位置 P_FP3_Y , P_FP4_Y に基づき、Y方向に対する位置 (以下「第2基準位置」という。) P_C_Y を算出する。第2基準位置 P_C_Y は、第3特徴点 $FP3$ と第4特徴点 $FP4$ との中間位置に対応するものである。すなわち、第2基準位置 P_C_Y は、Y方向に対する眼裂内領域の中心部に対応するものである。

[0059] 次いで、視線角度算出部21は、上記取得された瞳孔位置情報を用いて、Y方向に対する位置 P_PP_Y を算出する。位置 P_PP_Y は、瞳孔位置 PP に対応するものである。

[0060] 次いで、視線角度算出部21は、位置 P_FP3_Y 又は位置 P_FP4_Y について、第2基準位置 P_C_Y に対する間隔 L_Y_1 及び位置 P_PP_Y に対する間隔 L_Y_2 を算出する。図12は、位置 P_FP3_Y を間隔 L_Y_1 , L_Y_2 の基準に用いた場合の例を示している。

[0061] 視線角度算出部21には、視線角度 ϕ_Y の最大値 ϕ_{max_Y} を示す値が予め設定されている。視線角度算出部21は、当該設定されている最大値 ϕ_{max_Y} 及び上記算出された間隔 L_X_1 , L_X_2 を用いて、以下の式(2)により視線角度 ϕ_Y を算出する。

[0062]
$$\phi_Y = \phi_{max_Y} \times (L_Y_1 - L_Y_2) / L_Y_1 \quad (2)$$

[0063] 最大値 ϕ_{max_Y} は、例えば、以下のようなモデル M_Y に基づくものである。すなわち、モデル M_Y においては、仮に位置 P_PP_Y が第2基準位置 P_C_Y と同一であるとき、視線角度 ϕ_Y が 0° となるものである。また、モデル M_Y においては、仮に位置 P_PP_Y が位置 P_FP3_Y と同一であるとき、視線角度 ϕ_Y が最大値 ϕ_{max_Y} に対応す

る値（例えば $+20^\circ$ ）となるものである。また、モデル M_Y においては、仮に位置 $P_P P_Y$ が位置 $P_F P 4_Y$ と同一であるとき、視線角度 ϕ_Y が最大値 ϕ_{max}_Y に対応する値（例えば -20° ）となるものである。

[0064] なお、視線角度 ϕ_X 、 ϕ_Y の算出方法は、これらの具体例に限定されるものではない。視線角度 ϕ_X 、 ϕ_Y の算出には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0065] 視線方向検出部22は、顔向き推定部13により出力された顔向き情報を取得するとともに、視線角度算出部21により出力された視線角度情報を取得するものである。視線方向検出部22は、当該取得された顔向き情報及び当該取得された視線角度情報を用いて、撮像対象者の視線方向を検出するものである。視線方向検出部22は、当該検出された視線方向を示す情報（以下「視線方向情報」という。）を搭乗者状態判定部14に出力するものである。

[0066] より具体的には、視線方向検出部22は、顔向き推定部13により算出された顔向きベクトル $V1$ 及び視線角度算出部21により算出された視線角度 ϕ を用いて、撮像対象者の視線方向を示すベクトル（以下「視線方向ベクトル」という。） $V3$ を算出する。視線方向情報は、当該算出された視線方向ベクトル $V3$ を含むものである。視線方向ベクトル $V3$ の算出には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0067] 搭乗者状態判定部14は、顔向き推定部13により出力された顔向き情報を取得するとともに、視線方向検出部22により出力された視線方向情報を取得するものである。搭乗者状態判定部14は、当該取得された顔向き情報及び当該取得された視線方向情報のうちの少なくとも一方を用いて、撮像対象者の状態が所定の状態（以下「警告対象状態」という。）であるか否かを判定するものである。搭乗者状態判定部14は、かかる判定の結果を示す情報（以下「判定結果情報」という。）を警告出力制御部15に出力するもの

である。

[0068] 例えば、警告対象状態は、車両 1 の運転者が脇見運転をしている状態（以下「脇見運転状態」という。）を含むものである。運転者の状態が脇見運転状態であるか否かは、例えば、以下のようにして判定される。

[0069] すなわち、搭乗者状態判定部 14 は、車両 1 の進行方向を示す情報を取得する。かかる情報は、例えば、車両 1 におけるナビゲーションシステム又は車両 1 におけるセンサから取得される。搭乗者状態判定部 14 は、当該取得された情報を用いて、運転者の視線が車両 1 の進行方向に向けられているときの視線方向ベクトル V_3 に相当するベクトル V_3' を算出する。搭乗者状態判定部 14 は、当該算出されたベクトル V_3' と上記取得された視線方向情報が示す視線方向ベクトル V_3 とを比較することにより、運転者の状態が脇見運転状態であるか否かを判定する。

[0070] また、例えば、警告対象状態は、車両 1 の運転者が後方の確認をするべきタイミングにて後方の確認をしてない状態（以下「後方不注意状態」という。）を含むものである。運転者の状態が後方不注意状態であるか否かは、例えば、以下のようにして判定される。

[0071] すなわち、搭乗者状態判定部 14 は、車両 1 における後方確認用のミラー（例えばルームミラー又はサイドミラー）の設置位置を示す情報を取得する。搭乗者状態判定部 14 は、当該取得された情報を用いて、運転者の視線が後方確認用のミラーに向けられているときの視線方向ベクトル V_3 に相当するベクトル V_3'' を算出する。

[0072] また、搭乗者状態判定部 14 は、車両 1 の運転者が後方の確認をするべきタイミング（例えば車両 1 が右折、左折又は車線変更をするタイミング）を示す情報を取得する。搭乗者状態判定部 14 は、当該取得された情報が示すタイミングにて、上記算出されたベクトル V_3'' と上記取得された視線方向情報が示す視線方向ベクトル V_3 とを比較することにより、運転者の状態が後方不注意状態であるか否かを判定する。

[0073] また、例えば、警告対象状態は、車両 1 の運転者の注意力が低下している

状態（以下「注意力低下状態」という。）を含むものである。運転者の状態が注意力低下状態であるか否かの判定には、例えば、所定時間に亘る脇見運転状態に係る判定結果又は所定時間に亘る後方不注意状態に係る判定結果が用いられる。

[0074] また、例えば、警告対象状態は、車両１の運転者が居眠り運転をしている状態（以下「居眠り運転状態」という。）を含むものである。運転者の状態が居眠り運転状態であるか否かの判定には、例えば、上記取得された顔向き情報が用いられる。

[0075] また、例えば、警告対象状態は、車両１の運転者による運転が不可能である状態（以下「デッドマン状態」という。）を含むものである。運転者の状態がデッドマン状態であるか否かの判定には、例えば、上記取得された顔向き情報が用いられる。

[0076] このほか、警告対象状態に係る判定には、公知の種々の技術を用いることができる。これらの技術についての詳細な説明は省略する。

[0077] 警告出力制御部１５は、搭乗者状態判定部１４により出力された判定結果情報を取得するものである。警告出力制御部１５は、当該取得された判定結果情報を用いて、警告の出力の要否を判定するものである。警告出力制御部１５は、警告の出力が要であると判定された場合、出力装置３を用いて警告を出力する制御を実行するものである。

[0078] 例えば、警告出力制御部１５は、上記取得された判定結果情報を用いて、警告用の画像（以下「警告画像」という。）の表示の要否を判定する。警告出力制御部１５は、警告画像の表示が要であると判定された場合、出力装置３に含まれるディスプレイを用いて警告画像を表示する制御を実行する。

[0079] また、例えば、警告出力制御部１５は、上記取得された判定結果情報を用いて、警告用の音声（以下「警告音声」という。）の出力の要否を判定する。警告出力制御部１５は、警告音声の出力が要であると判定された場合、出力装置３に含まれるスピーカを用いて警告音声を出力する制御を実行する。

[0080] また、例えば、警告出力制御部１５は、上記取得された判定結果情報を用

いて、警告用の信号（以下「警告信号」という。）の送信の要否を判定する。警告出力制御部 15 は、警告信号の送信が要であると判定された場合、出力装置 3 に含まれる無線通信装置を用いて警告信号を送信する制御を実行する。

[0081] 以下、撮像画像取得部 11 の機能に「F 1」の符号を用いることがある。また、顔特徴点抽出部 12 の機能に「F 2」の符号を用いることがある。また、顔向き推定部 13 の機能に「F 3」の符号を用いることがある。また、搭乗者状態判定部 14 の機能に「F 4」の符号を用いることがある。また、警告出力制御部 15 の機能に「F 5」の符号を用いることがある。

[0082] 以下、視線角度算出部 21 の機能に「F 11」の符号を用いることがある。また、視線方向検出部 22 の機能に「F 12」の符号を用いることがある。

[0083] 以下、眼領域画像取得部 31 の機能に「F 21」の符号を用いることがある。また、輝度勾配算出部 32 の機能「F 22」の符号を用いることがある。また、評価値算出部 33 の機能に「F 23」の符号を用いることがある。また、瞳孔位置検出部 34 の機能に「F 24」の符号を用いることがある。

[0084] 以下、眼領域画像取得部 31 により実行される処理を総称して「眼領域画像取得処理」ということがある。また、輝度勾配算出部 32 により実行される処理を総称して「輝度勾配算出処理」ということがある。また、評価値算出部 33 により実行される処理を総称して「評価値算出処理」ということがある。また、瞳孔位置検出部 34 により実行される処理を総称して「瞳孔位置検出処理」ということがある。また、瞳孔検出装置 400 により実行される処理を総称して「瞳孔検出処理」ということがある。すなわち、瞳孔検出処理は、眼領域画像取得処理、輝度勾配算出処理、評価値算出処理及び瞳孔位置検出処理を含むものである。

[0085] 以下、視線角度算出部 21 により実行される処理を総称して「視線角度算出処理」ということがある。また、視線方向検出部 22 により実行される処理を総称して「視線方向検出処理」ということがある。また、視線検出装置

300により実行される処理を総称して「視線検出処理」ということがある。すなわち、視線検出処理は、瞳孔検出処理、視線角度算出処理及び視線方向検出処理を含むものである。

[0086] 以下、撮像画像取得部11により実行される処理を総称して「撮像画像取得処理」ということがある。また、顔特徴点抽出部12により実行される処理を総称して「顔特徴点抽出処理」ということがある。また、顔向き推定部13により実行される処理を総称して「顔向き推定処理」ということがある。また、搭乗者状態判定部14により実行される処理を総称して「搭乗者状態判定処理」ということがある。また、警告出力制御部15により実行される処理及び制御を総称して「警告出力制御」ということがある。

[0087] 次に、図13～図15を参照して、搭乗者監視装置200の要部のハードウェア構成について説明する。

[0088] 図13に示す如く、搭乗者監視装置200は、プロセッサ51及びメモリ52を有している。メモリ52には、複数の機能F1～F5，F11，F12，F21～F24に対応するプログラムが記憶されている。プロセッサ51は、メモリ52に記憶されているプログラムを読み出して実行する。これにより、複数の機能F1～F5，F11，F12，F21～F24が実現される。

[0089] または、図14に示す如く、搭乗者監視装置200は、処理回路53を有している。処理回路53は、複数の機能F1～F5，F11，F12，F21～F24に対応する処理を実行する。これにより、複数の機能F1～F5，F11，F12，F21～F24が実現される。

[0090] または、図15に示す如く、搭乗者監視装置200は、プロセッサ51、メモリ52及び処理回路53を有している。メモリ52には、複数の機能F1～F5，F11，F12，F21～F24のうちの一部の機能に対応するプログラムが記憶されている。プロセッサ51は、メモリ52に記憶されているプログラムを読み出して実行する。これにより、かかる一部の機能が実現される。また、処理回路53は、複数の機能F1～F5，F11，F

12, F21～F24のうちの残余の機能に対応する処理を実行する。これにより、かかる残余の機能が実現される。

[0091] プロセッサ51は、1個以上のプロセッサにより構成されている。個々のプロセッサは、例えば、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ又はDSP (Digital Signal Processor) を用いたものである。

[0092] メモリ52は、1個以上の不揮発性メモリにより構成されている。または、メモリ52は、1個以上の不揮発性メモリ及び1個以上の揮発性メモリにより構成されている。すなわち、メモリ52は、1個以上のメモリにより構成されている。個々のメモリは、例えば、半導体メモリ又は磁気ディスクを用いたものである。

[0093] より具体的には、個々の揮発性メモリは、例えば、RAM (Random Access Memory) を用いたものである。また、個々の不揮発性メモリは、例えば、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)、ソリッドステートドライブ又はハードディスクドライブを用いたものである。

[0094] 処理回路53は、1個以上のデジタル回路により構成されている。または、処理回路53は、1個以上のデジタル回路及び1個以上のアナログ回路により構成されている。すなわち、処理回路53は、1個以上の処理回路により構成されている。個々の処理回路は、例えば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、PLD (Programmable Logic Device)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、SoC (System on a Chip) 又はシステムLSI (Large

e Scale Integration) を用いたものである。

[0095] ここで、プロセッサ 51 が複数個のプロセッサにより構成されているとき、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 と複数個のプロセッサとの対応関係は任意である。すなわち、複数個のプロセッサの各々は、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 のうちの対応する 1 個以上の機能に対応するプログラムを読み出して実行するものであっても良い。

[0096] また、メモリ 52 が複数個のメモリにより構成されているとき、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 と複数個のメモリとの対応関係は任意である。すなわち、複数個のメモリの各々は、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 のうちの対応する 1 個以上の機能に対応するプログラムを記憶するものであっても良い。

[0097] また、処理回路 53 が複数個の処理回路により構成されているとき、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 と複数個の処理回路との対応関係は任意である。すなわち、複数個の処理回路の各々は、複数個の機能 F 1 ~ F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1 ~ F 2 4 のうちの対応する 1 個以上の機能に対応する処理を実行するものであっても良い。

[0098] 次に、図 16 のフローチャートを参照して、搭乗者監視装置 200 の動作について説明する。図 16 に示す処理は、所定の条件が満たされているとき（例えば車両 1 におけるイグニッション電源がオンされているとき）、繰り返し実行される。

[0099] まず、撮像画像取得部 11 が撮像画像取得処理を実行する（ステップ S T 1）。次いで、顔特徴点抽出部 12 が顔特徴点抽出処理を実行する（ステップ S T 2）。次いで、顔向き推定部 13 が顔向き推定処理を実行する（ステップ S T 3）。次いで、視線検出装置 300 が視線検出処理を実行する（ステップ S T 4）。次いで、搭乗者状態判定部 14 が搭乗者状態判定処理を実行する（ステップ S T 5）。次いで、警告出力制御部 15 が警告出力制御を実行する（ステップ S T 6）。

[0100] 次に、図 17 のフローチャートを参照して、視線検出装置 300 の動作について説明する。すなわち、図 16 に示すステップ S T 4 内の処理について説明する。

[0101] まず、瞳孔検出装置 400 が瞳孔検出処理を実行する（ステップ S T 1 1）。次いで、視線角度算出部 21 が視線角度算出処理を実行する（ステップ S T 1 2）。次いで、視線方向検出部 22 が視線方向検出処理を実行する（ステップ S T 1 3）。

[0102] 次に、図 18 のフローチャートを参照して、瞳孔検出装置 400 の動作について説明する。すなわち、図 17 に示すステップ S T 1 1 内の処理について説明する。

[0103] まず、眼領域画像取得部 31 が目領域画像取得処理を実行する（ステップ S T 2 1）。次いで、輝度勾配算出部 32 が輝度勾配算出処理を実行する（ステップ S T 2 2）。次いで、評価値算出部 33 が評価値算出処理を実行する（ステップ S T 2 3）。次いで、瞳孔位置検出部 34 が瞳孔位置検出処理を実行する（ステップ S T 2 4）。

[0104] 次に、瞳孔検出装置 400 の効果について説明する。

[0105] 上記のとおり、従来の瞳孔検出装置は、撮像画像における角膜反射像を検出して、当該検出された角膜反射像を用いて瞳孔位置を検出するものであった。このため、角膜反射像が正常に検出されないときは、瞳孔位置を検出することができない問題があった。

[0106] 特に、DMS 又は OMS においては、安価なカメラを用いることが要求される。すなわち、低い解像度を有するカメラを用いることが要求される。かかるカメラを用いて角膜反射像を正常に検出することは困難である。このため、従来の瞳孔検出装置を DMS 又は OMS に用いることにより、瞳孔位置の検出が不安定になる問題があった。

[0107] これに対して、瞳孔検出装置 400 においては、瞳孔位置 P P を検出するにあたり、角膜反射像の検出が不要である。このため、角膜反射像が正常に検出される状態であるか否かにかかわらず、瞳孔位置 P P を検出することが

できる。これにより、瞳孔検出装置400が搭乗者監視システム100に用いられる場合においても、瞳孔位置PPを安定して検出することができる。

[0108] また、瞳孔検出装置400は、瞳孔位置PPを検出するにあたり、輝度勾配ベクトルV2に基づく評価値Eを用いるものである。これにより、瞳孔位置PPを高精度に検出することができる。また、視線検出対象眼における瞳孔のサイズにかかわらず（すなわち眼領域画像12における瞳孔領域のサイズにかかわらず）、瞳孔位置PPを検出することができる。

[0109] また、瞳孔検出装置400においては、評価領域EAが基準虹彩サイズよりも小さいサイズを有している。評価領域EAのサイズを小さくすることにより、評価値算出処理の高速化を図ることができる。また、瞳孔領域と虹彩領域との境界部における輝度の不連続性に基づくエッジにより、瞳孔領域内の画像単位Uについて高い評価値Eを算出することができる。

[0110] 次に、瞳孔検出装置400の変形例について説明する。

[0111] 以下、眼領域画像12における目尻に対応する部位を「目尻部」という。また、眼領域画像12における目頭に対応する部位を「目頭部」という。また、眼領域画像12における上瞼に対応する部位を「上瞼部」という。また、眼領域画像12における下瞼に対応する部位を「下瞼部」という。

[0112] 以下、視線検出対象眼が左眼である場合における評価領域EAの左半部に対応する領域又は視線検出対象眼が右眼である場合における評価領域EAの右半部に対応する領域を「第1部分評価領域」という。また、視線検出対象眼が左眼である場合における評価領域EAの右半部に対応する領域又は視線検出対象眼が右眼である場合における評価領域EAの左半部に対応する領域を「第2部分評価領域」という。また、評価領域EAの下半部に対応する領域を「第3部分評価領域」という。また、評価領域EAの上半部に対応する領域を「第4部分評価領域」という。

[0113] 視線検出対象眼が左眼である場合において、評価値算出処理における注目画像単位U__1が目尻部に位置しているとき、評価領域EAの略右半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。また、視線検出対象眼が右眼である場

合において、評価値算出処理における注目画像単位 U_I が目尻部に位置しているとき、評価領域 E_A の略左半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。

[0114] また、視線検出対象眼が左眼である場合において、評価値算出処理における注目画像単位 U_I が目頭部に位置しているとき、評価領域 E_A の略左半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。また、視線検出対象眼が右眼である場合において、評価値算出処理における注目画像単位 U_I が目尻部に位置しているとき、評価領域 E_A の略右半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。

[0115] また、評価値算出処理における注目画像単位 U_I が上瞼部に位置しているとき、評価領域 E_A の略上半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。また、評価値算出処理における注目画像単位 U_I が下瞼部に位置しているとき、評価領域 E_A の略下半部が眼裂外領域に位置する状態が生じ得る。

[0116] これらの状態において、眼裂外領域における画像単位 U に対応する輝度勾配ベクトル V_2 が第1評価値 E_1 の算出に用いられることがある。これにより、瞳孔位置 P_P の検出精度が低下することがある。

[0117] そこで、第1評価値算出部41は、顔特徴点抽出部12により出力された眼特徴点情報を取得するものであっても良い。第1評価値算出部41は、当該取得された眼特徴点情報を用いて、注目画像単位 U_I が目尻部に位置しているか否かを判定するものであっても良い。第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_I が目尻部に位置していると判定された場合、評価領域 E_A に代えて第1部分評価領域を用いて第1評価値 E_1 を算出するものであっても良い。

[0118] また、第1評価値算出部41は、上記取得された眼特徴点情報を用いて、注目画像単位 U_I が目頭部に位置しているか否かを判定するものであっても良い。第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_I が目頭部に位置していると判定された場合、評価領域 E_A に代えて第2部分評価領域を用いて第1評価値 E_1 を算出するものであっても良い。

- [0119] また、第1評価値算出部41は、上記取得された眼特徴点情報を用いて、注目画像単位 U_I が上瞼部に位置しているか否かを判定するものであっても良い。第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_I が上瞼部に位置していると判定された場合、評価領域E Aに代えて第3部分評価領域を用いて第1評価値E 1を算出するものであっても良い。
- [0120] また、第1評価値算出部41は、眼特徴点情報を用いて、注目画像単位 U_I が下瞼部に位置しているか否かを判定するものであっても良い。第1評価値算出部41は、注目画像単位 U_I が下瞼部に位置していると判定された場合、評価領域E Aに代えて第4部分評価領域を用いて第1評価値E 1を算出するものであっても良い。
- [0121] 第1部分評価領域、第2部分評価領域、第3部分評価領域又は第4部分評価領域が第1評価値E 1の算出に用いられる場合、第1評価値E 1は、 n/N に基づく値に算出されるのに代えて、 $n/(N/2)$ に基づく値に算出されるものであっても良い。
- [0122] これにより、視線検出対象眼における瞳孔の位置にかかわらず（すなわち眼領域画像I 2における瞳孔領域の位置にかかわらず）、瞳孔位置P Pを検出することができる。例えば、瞳孔が上瞼に対する近傍の位置に位置している場合であっても、瞳孔位置P Pを検出することができる。
- [0123] 次に、瞳孔検出装置400の他の変形例について説明する。
- [0124] 輝度勾配算出部32は、第1輝度勾配値 ΔB_X 及び第2輝度勾配値 ΔB_Y を用いて、輝度勾配ベクトル $V 2$ の大きさに対応する値（以下「輝度勾配値」という。） ΔB を算出するものであっても良い。輝度勾配情報は、当該算出された輝度勾配値 ΔB を含むものであっても良い。
- [0125] 第1評価値算出部41は、個々の評価画像単位 U_E に対応する輝度勾配ベクトル $V 2$ が有する輝度勾配値 ΔB を所定の閾値 ΔB_{th} と比較するものであっても良い。第1評価値算出部41は、閾値 ΔB_{th} 以下の輝度勾配値 ΔB を有する輝度勾配ベクトル $V 2$ を第1評価値E 1の算出から除外するものであっても良い。

- [0126] これにより、不要な輝度勾配ベクトル V_2 を第 1 評価値 E_1 の算出から除外することができる。具体的には、例えば、上記エッジに対応する輝度勾配ベクトル V_2 を第 1 評価値 E_1 の算出に含めつつ、他の輝度勾配ベクトル V_2 を第 1 評価値 E_1 の算出から除外することができる。この結果、瞳孔位置 P_P を高精度に検出しつつ、評価値算出処理の高速化を図ることができる。
- [0127] 次に、図 19 を参照して、瞳孔検出装置 400 の他の変形例について説明する。
- [0128] 評価領域 E_A の形状は、正形状に限定されるものではない。評価領域 E_A の形状は、如何なる形状であっても良い。例えば、評価領域 E_A の形状は、斜形状又は円形状であっても良い（図 19 参照）。
- [0129] 次に、図 20～図 27 を参照して、搭乗者監視システム 100 の変形例について説明する。
- [0130] 車両 1 に車載情報機器 4 が搭載されるものであっても良い。また、車両 1 に携帯情報端末 5 が持ち込まれるものであっても良い。車載情報機器 4 及び携帯情報端末 5 は、相互に通信自在であっても良い。車載情報機器 4 は、車両 1 外のサーバ 6 と通信自在であっても良い。携帯情報端末 5 は、車両 1 外のサーバ 6 と通信自在であっても良い。
- [0131] カメラ 2 は、車載情報機器 4 又は携帯情報端末 5 に設けられたものであっても良い。また、出力装置 3 は、車載情報機器 4 又は携帯情報端末 5 に設けられたものであっても良い。また、複数の機能 $F_1 \sim F_5$, F_{11} , F_{12} , $F_{21} \sim F_{24}$ の各々は、車載情報機器 4 にて実現されるものであっても良く、携帯情報端末 5 にて実現されるものであっても良く、サーバ 6 にて実現されるものであっても良く、車載情報機器 4 及び携帯情報端末 5 が連携することにより実現されるものであっても良く、車載情報機器 4 及びサーバ 6 が連携することにより実現されるものであっても良く、又は携帯情報端末 5 及びサーバ 6 が連携することにより実現されるものであっても良い。
- [0132] すなわち、図 20 に示す如く、車載情報機器 4 により搭乗者監視システム 100 の要部が構成されているものであっても良い。または、図 21 に示す

如く、携帯情報端末5により搭乗者監視システム100の要部が構成されているものであっても良い。または、図22に示す如く、車載情報機器4及び携帯情報端末5により搭乗者監視システム100の要部が構成されているものであっても良い。または、図23に示す如く、車載情報機器4及びサーバ6により搭乗者監視システム100の要部が構成されているものであっても良い。または、図24に示す如く、携帯情報端末5及びサーバ6により搭乗者監視システム100の要部が構成されているものであっても良い。または、図25、図26又は図27に示す如く、車載情報機器4、携帯情報端末5及びサーバ6により搭乗者監視システム100の要部が構成されているものであっても良い。

[0133] 以上のように、実施の形態1に係る瞳孔検出装置400は、カメラ2による撮像画像11における眼領域画像12を示す画像データ（第2画像データ）を取得する眼領域画像取得部31と、画像データ（第2画像データ）を用いて眼領域画像12における個々の画像単位Uに対応する輝度勾配ベクトルV2を算出する輝度勾配算出部32と、輝度勾配ベクトルV2を用いて個々の画像単位Uに対応する評価値Eを算出する評価値算出部33と、評価値Eを用いて眼領域画像12における瞳孔位置PPを検出する瞳孔位置検出部34と、を備える。これにより、瞳孔位置PPを検出するにあたり、角膜反射像の検出を不要とすることができる。この結果、低い解像度を有するカメラ2を用いた場合であっても、瞳孔位置PPを安定して検出することができる。また、瞳孔位置PPを高精度に検出することができる。

[0134] また、実施の形態1に係る視線検出装置300は、瞳孔検出装置400と、瞳孔位置PPに基づき視線角度 ϕ を算出する視線角度算出部21と、視線角度 ϕ に基づき視線方向を検出する視線方向検出部22と、を備える。これにより、低い解像度を有するカメラ2を用いた場合であっても、視線方向を安定して検出することができる。

[0135] また、実施の形態1に係る搭乗者監視システム100は、視線検出装置300と、視線方向に基づき車両1の搭乗者（撮像対象者）の状態が警告対象

状態であるか否かを判定する搭乗者状態判定部 1 4 と、搭乗者状態判定部 1 4 による判定結果に応じて警告を出力する制御を実行する警告出力制御部 1 5 と、を備える。これにより、低い解像度を有するカメラ 2 を用いた場合であっても、警告対象状態を安定して検出することができる。

[0136] また、実施の形態 1 に係る瞳孔検出方法は、眼領域画像取得部 3 1 が、カメラ 2 による撮像画像 I 1 における眼領域画像 I 2 を示す画像データ（第 2 画像データ）を取得するステップ S T 2 1 と、輝度勾配算出部 3 2 が、画像データ（第 2 画像データ）を用いて眼領域画像 I 2 における個々の画像単位 U に対応する輝度勾配ベクトル V 2 を算出するステップ S T 2 2 と、評価値算出部 3 3 が、輝度勾配ベクトル V 2 を用いて個々の画像単位 U に対応する評価値 E を算出するステップ S T 2 3 と、瞳孔位置検出部 3 4 が、評価値 E を用いて眼領域画像 I 2 における瞳孔位置 P P を検出するステップ S T 2 4 と、を備える。これにより、瞳孔位置 P P を検出するにあたり、角膜反射像の検出を不要とすることができる。この結果、低い解像度を有するカメラ 2 を用いた場合であっても、瞳孔位置 P P を安定して検出することができる。また、瞳孔位置 P P を高精度に検出することができる。

[0137] 実施の形態 2 .

図 2 8 は、実施の形態 2 に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。図 2 9 は、実施の形態 2 に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。図 2 8 及び図 2 9 を参照して、実施の形態 2 に係る搭乗者監視システムについて説明する。なお、図 2 8 において、図 1 に示すブロックと同様のブロックには同一符号を付して説明を省略する。また、図 2 9 において、図 2 に示すブロックと同様のブロックには同一符号を付して説明を省略する。

[0138] 図 2 8 に示す如く、搭乗者監視システム 1 0 0 a は、カメラ 2、出力装置 3 及び搭乗者監視装置 2 0 0 a を含むものである。搭乗者監視装置 2 0 0 a は、撮像画像取得部 1 1、顔特徴点抽出部 1 2、顔向き推定部 1 3、搭乗者状態判定部 1 4、警告出力制御部 1 5 及び視線検出装置 3 0 0 a を有してい

る。視線検出装置 300a は、視線角度算出部 21、視線方向検出部 22 及び瞳孔検出装置 400a を有している。図 29 に示す如く、瞳孔検出装置 400a は、眼領域画像取得部 31、輝度勾配算出部 32、評価値算出部 33a 及び瞳孔位置検出部 34a を有している。評価値算出部 33a は、第 2 評価値算出部 42 を有している。

[0139] 評価値算出部 33a は、輝度勾配算出部 32 により出力された輝度勾配情報を取得するものである。評価値算出部 33a は、当該取得された輝度勾配情報を用いて、眼領域画像 12 における個々の画像単位 U に対応する評価値 E を算出するものである。評価値算出部 33a は、当該算出された評価値 E を含む情報（すなわち評価値情報）を瞳孔位置検出部 34a に出力するものである。

[0140] ここで、評価値算出部 33a により算出される評価値 E は、第 2 評価値算出部 42 により算出される第 2 評価値 E2 を含むものである。すなわち、評価値情報は、当該算出された第 2 評価値 E2 を含むものである。第 2 評価値 E2 は、個々の画像単位 U（すなわち注目画像単位 U__1）に向かう輝度勾配ベクトル V2 の方向数 m に基づくものである。図 30 を参照して、第 2 評価値 E2 の算出方法について説明する。

[0141] まず、第 2 評価値算出部 42 は、注目画像単位 U__1 を含む評価領域 EA を設定する。評価領域 EA は、実施の形態 1 にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0142] 第 2 評価値算出部 42 においては、注目画像単位 U__1 に向かう M 個の方向 D__1 ~ D__M が予め設定されている。M は、2 以上の任意の整数である。図 30 は、M = 8 の場合における方向 D__1 ~ D__8 の例を示している。図 30 に示す如く、方向 D__1 ~ D__8 は、360° を八等分してなる方向に設定されている。すなわち、方向 D__1 ~ D__8 は、45° 間隔の方向に設定されている。

[0143] 上記取得された輝度勾配情報には、N 個の評価画像単位 U__E に対応する N 本の輝度勾配ベクトル V2 について、N 本の輝度勾配ベクトル V2 の各々

の向きに対応する輝度勾配角度 θ が含まれている。第2評価値算出部42は、これらの輝度勾配角度 θ を用いて、M個の方向 $D_1 \sim D_M$ の各々について、かかる方向Dに対応する向きにて注目画像単位 U_1 に向かう輝度勾配ベクトル V_2 の有無を判定する。これにより、第2評価値算出部42は、注目画像単位 U_1 に向かう輝度勾配ベクトル V_2 の方向数 m を算出する。すなわち、 m は、0以上M以下の値に算出される。

[0144] 次いで、第2評価値算出部42は、当該算出された方向数 m に応じた第2評価値 E_2 を算出する。すなわち、方向数 m が多いほど、第2評価値 E_2 が高い値に算出される。換言すれば、方向数 m が少ないほど、第2評価値 E_2 が低い値に算出される。

[0145] 例えば、 $M=8$ の場合において（図30参照）、方向 D_1, D_2 に対応する向きにて注目画像単位 U_1 に向かう輝度勾配ベクトル V_2 がN本の輝度勾配ベクトル V_2 に含まれており、かつ、方向 $D_3 \sim D_8$ に対応する向きにて注目画像単位 U_1 に向かう輝度勾配ベクトル V_2 がN本の輝度勾配ベクトル V_2 に含まれていないものとする。この場合、第2評価値算出部42により、方向数 m が2に算出される。また、第2評価値算出部42により、当該算出された方向数 m に応じた第2評価値 E_2 が算出される。例えば、 m/M に基づく第2評価値 E_2 が算出される。

[0146] 瞳孔位置検出部34aは、評価値算出部33aにより出力された評価値情報を取得するものである。瞳孔位置検出部34aは、当該取得された評価値情報を用いて、眼領域画像12における瞳孔位置PPを検出するものである。瞳孔位置検出部34aは、当該検出された瞳孔位置PPを示す情報（すなわち瞳孔位置情報）を視線角度算出部21に出力するものである。

[0147] すなわち、瞳孔位置検出部34aは、眼領域画像12における複数個の画像単位Uに対応する複数個の第2評価値 E_2 のうちの最大値を検出する。換言すれば、瞳孔位置検出部34aは、かかる複数個の第2評価値 E_2 における極大値を検出する。瞳孔位置検出部34aは、当該検出された極大値に対応する画像単位Uの位置を示す座標値 C_X, C_Y を検出する。これによ

り、瞳孔位置 P P に対応する座標値 C __ X, C __ Y が検出される。

[0148] かかる最大値（すなわち極大値）の検出により瞳孔位置 P P が検出される原理は、実施の形態 1 にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0149] 以下、評価値算出部 3 3 a の機能に「F 2 3 a」の符号を用いることがある。また、瞳孔位置検出部 3 4 a の機能に「F 2 4 a」の符号を用いることがある。

[0150] 以下、評価値算出部 3 3 a により実行される処理を総称して「評価値算出処理」ということがある。また、瞳孔位置検出部 3 4 a により実行される処理を総称して「瞳孔位置算出処理」ということがある。

[0151] 搭乗者監視装置 2 0 0 a の要部のハードウェア構成は、実施の形態 1 にて図 1 3 ～図 1 5 を参照して説明したものと同様である。このため、詳細な説明は省略する。すなわち、搭乗者監視装置 2 0 0 a は、複数の機能 F 1 ～F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1, F 2 2, F 2 3 a, F 2 4 a を有している。複数の機能 F 1 ～F 5, F 1 1, F 1 2, F 2 1, F 2 2, F 2 3 a, F 2 4 a の各々は、プロセッサ 5 1 及びメモリ 5 2 により実現されるものであっても良く、又は処理回路 5 3 により実現されるものであっても良い。

[0152] 搭乗者監視装置 2 0 0 a の動作は、実施の形態 1 にて図 1 6 のフローチャートを参照して説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0153] 視線検出装置 3 0 0 a の動作は、実施の形態 1 にて図 1 7 のフローチャートを参照して説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0154] 次に、図 3 1 のフローチャートを参照して、瞳孔検出装置 4 0 0 a の動作について説明する。なお、図 3 1 において、図 1 8 に示すステップと同様のステップには同一符号を付して説明を省略する。

[0155] まず、ステップ S T 2 1, S T 2 2 の処理が実行される。次いで、評価値算出部 3 3 a が評価値算出処理を実行する（ステップ S T 2 3 a）。次いで

、瞳孔位置検出部 34 a が瞳孔位置検出処理を実行する（ステップ S T 24 a）。

[0156] なお、瞳孔検出装置 400 a は、実施の形態 1 にて説明したものと同様の種々の変形例を採用することができる。また、搭乗者監視システム 100 a は、実施の形態 1 にて説明したものと同様の種々の変形例を採用することができる。

[0157] 例えば、第 2 評価値算出部 42 は、注目画像単位 U_l が目尻部に位置していると判定された場合、第 1 部分評価領域を用いて第 2 評価値 E_2 を算出するものであっても良い。また、第 2 評価値算出部 42 は、注目画像単位 U_l が目頭部に位置していると判定された場合、第 2 部分評価領域を用いて第 2 評価値 E_2 を算出するものであっても良い。また、第 2 評価値算出部 42 は、注目画像単位 U_l が上瞼部に位置していると判定された場合、第 3 部分評価領域を用いて第 2 評価値 E_2 を算出するものであっても良い。また、第 2 評価値算出部 42 は、注目画像単位 U_l が下瞼部に位置していると判定された場合、第 4 部分評価領域を用いて第 2 評価値 E_2 を算出するものであっても良い。

[0158] 第 1 部分評価領域、第 2 部分評価領域、第 3 部分評価領域又は第 4 部分評価領域が第 2 評価値 E_2 の算出に用いられる場合、第 2 評価値 E_2 は、 m/M に基づく値に算出されるのに代えて、 $m/(M/2)$ に基づく値に算出されるものであっても良い。

[0159] また、例えば、第 2 評価値算出部 42 は、閾値 ΔB_{th} 以下の輝度勾配値 ΔB を有する輝度勾配ベクトル V_2 を第 2 評価値 E_2 の算出から除外するものであっても良い。

[0160] 以上のように、実施の形態 2 に係る瞳孔検出装置 400 a において、評価値 E は、個々の画像単位 U に向かう輝度勾配ベクトル V_2 の方向数 m に基づく第 2 評価値 E_2 を含む。瞳孔位置 PP を高精度に検出するにあたり、第 1 評価値 E_1 を用いることができるのはもちろんのこと、第 2 評価値 E_2 を用いることもできる。

[0161] 実施の形態 3.

図 3 2 は、実施の形態 3 に係る搭乗者監視システムの要部を示すブロック図である。図 3 3 は、実施の形態 3 に係る搭乗者監視システムにおける瞳孔検出装置の要部を示すブロック図である。図 3 2 及び図 3 3 を参照して、実施の形態 3 に係る搭乗者監視システムについて説明する。なお、図 3 2 において、図 1 に示すブロックと同様のブロックには同一符号を付して説明を省略する。また、図 3 3 において、図 2 に示すブロックと同様のブロックには同一符号を付して説明を省略する。

[0162] 図 3 2 に示す如く、搭乗者監視システム 1 0 0 b は、カメラ 2、出力装置 3 及び搭乗者監視装置 2 0 0 b を含むものである。搭乗者監視装置 2 0 0 b は、撮像画像取得部 1 1、顔特徴点抽出部 1 2、顔向き推定部 1 3、搭乗者状態判定部 1 4、警告出力制御部 1 5 及び視線検出装置 3 0 0 b を有している。視線検出装置 3 0 0 b は、視線角度算出部 2 1、視線方向検出部 2 2 及び瞳孔検出装置 4 0 0 b を有している。図 3 3 に示す如く、瞳孔検出装置 4 0 0 b は、眼領域画像取得部 3 1、輝度勾配算出部 3 2、評価値算出部 3 3 b 及び瞳孔位置検出部 3 4 b を有している。評価値算出部 3 3 b は、第 1 評価値算出部 4 1 及び第 2 評価値算出部 4 2 を有している。

[0163] 評価値算出部 3 3 b は、輝度勾配算出部 3 2 により出力された輝度勾配情報を取得するものである。評価値算出部 3 3 b は、当該取得された輝度勾配情報を用いて、眼領域画像 1 2 における個々の画像単位 U に対応する評価値 E を算出するものである。評価値算出部 3 3 b は、当該算出された評価値 E を含む情報（すなわち評価値情報）を瞳孔位置検出部 3 4 b に出力するものである。

[0164] ここで、評価値算出部 3 3 b により算出される評価値 E は、第 1 評価値算出部 4 1 により算出される第 1 評価値 E 1 を含むものであり、かつ、第 2 評価値算出部 4 2 により算出される第 2 評価値 E 2 を含むものである。すなわち、評価値情報は、当該算出された第 1 評価値 E 1 及び当該算出された第 2 評価値 E 2 を含むものである。

[0165] 第1評価値E1の算出方法は、実施の形態1にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。また、第2評価値E2の算出方法は、実施の形態2にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0166] 瞳孔位置検出部34bは、評価値算出部33bにより出力された評価値情報を取得するものである。瞳孔位置検出部34bは、当該取得された評価値情報を用いて、眼領域画像I2における瞳孔位置PPを検出するものである。瞳孔位置検出部34bは、当該検出された瞳孔位置PPを示す情報（すなわち瞳孔位置情報）を視線角度算出部21に出力するものである。以下、瞳孔位置検出部34bによる瞳孔位置PPの検出方法について三つ説明する。

[0167] 〈第1の検出方法〉

瞳孔位置検出部34bには、所定の基準値E1refが予め設定されている。瞳孔位置検出部34bは、眼領域画像I2に含まれる複数個の画像単位Uのうちの基準値E1ref以上の第1評価値E1に対応する画像単位Uを検出する。次いで、瞳孔位置検出部34bは、当該検出された画像単位Uのうちの対応する第2評価値E2が最大値となる画像単位Uを検出する。すなわち、瞳孔位置検出部34bは、対応する第2評価値E2が極大値となる画像単位Uを検出する。次いで、瞳孔位置検出部34bは、当該検出された画像単位Uの位置を示す座標値C__X, C__Yを検出する。これにより、瞳孔位置PPに対応する座標値C__X, C__Yが検出される。

[0168] かかる最大値（すなわち極大値）の検出により瞳孔位置PPが検出される原理は、実施の形態1にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0169] 〈第2の検出方法〉

瞳孔位置検出部34bには、所定の基準値E2refが予め設定されている。瞳孔位置検出部34bは、眼領域画像I2に含まれる複数個の画像単位Uのうちの基準値E2ref以上の第2評価値E2に対応する画像単位Uを検出する。次いで、瞳孔位置検出部34bは、当該検出された画像単位Uの

うちの対応する第1評価値 E_1 が最大値となる画像単位 U を検出する。すなわち、瞳孔位置検出部34bは、対応する第1評価値 E_1 が極大値となる画像単位 U を検出する。次いで、瞳孔位置検出部34bは、当該検出された画像単位 U の位置を示す座標値 C_X , C_Y を検出する。これにより、瞳孔位置 P_P に対応する座標値 C_X , C_Y が検出される。

[0170] かかる最大値（すなわち極大値）の検出により瞳孔位置 P_P が検出される原理は、実施の形態1にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0171] 〈第3の検出方法〉

瞳孔位置検出部34bは、眼領域画像12における個々の画像単位 U について、対応する第1評価値 E_1 及び対応する第2評価値 E_2 による統計値 S を算出する。瞳孔位置検出部34bは、眼領域画像12に含まれる複数の画像単位 U のうちの対応する統計値 S が最大値となる画像単位 U を検出する。すなわち、瞳孔位置検出部34bは、対応する統計値 S が極大値となる画像単位 U を検出する。瞳孔位置検出部34bは、当該検出された画像単位 U の位置を示す座標値 C_X , C_Y を検出する。これにより、瞳孔位置 P_P に対応する座標値 C_X , C_Y が検出される。

[0172] かかる最大値（すなわち極大値）の検出により瞳孔位置 P_P が検出される原理は、実施の形態1にて説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0173] 統計値 S は、例えば、対応する第1評価値 E_1 と対応する第2評価値 E_2 との合計値を用いたものである（ $S = E_1 + E_2$ ）。または、例えば、統計値 S は、対応する第1評価値 E_1 に所定の重み値 W_1 による重み付けをしてなる値 E_1' と第2評価値 E_2 との合計値を用いたものである（ $S = E_1' + E_2$ ）。または、例えば、統計値 S は、対応する第1評価値 E_1 と対応する第2評価値 E_2 に所定の重み値 W_2 による重み付けをしてなる値 E_2' との合計値を用いたものである（ $S = E_1 + E_2'$ ）。または、例えば、統計値 S は、対応する第1評価値 E_1 に所定の重み値 W_1 による重み付けをして

なる値 $E1'$ と対応する第2評価値 $E2$ に所定の重み値 $W2$ による重み付けをしてなる値 $E2'$ との合計値を用いたものである ($S = E1' + E2'$)

。

[0174] 以下、評価値算出部33bの機能に「F23b」の符号を用いることがある。また、瞳孔位置検出部34bの機能に「F24b」の符号を用いることがある。

[0175] 以下、評価値算出部33bにより実行される処理を総称して「評価値算出処理」ということがある。また、瞳孔位置検出部34bにより実行される処理を総称して「瞳孔位置算出処理」ということがある。

[0176] 搭乗者監視装置200bの要部のハードウェア構成は、実施の形態1にて図13～図15を参照して説明したものと同様である。このため、詳細な説明は省略する。すなわち、搭乗者監視装置200bは、複数の機能F1～F5, F11, F12, F21, F22, F23b, F24bを有している。複数の機能F1～F5, F11, F12, F21, F22, F23b, F24bの各々は、プロセッサ51及びメモリ52により実現されるものであっても良く、又は処理回路53により実現されるものであっても良い。

[0177] 搭乗者監視装置200bの動作は、実施の形態1にて図16のフローチャートを参照して説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0178] 視線検出装置300bの動作は、実施の形態1にて図17のフローチャートを参照して説明したものと同様である。このため、再度の説明は省略する。

[0179] 次に、図34のフローチャートを参照して、瞳孔検出装置400bの動作について説明する。なお、図34において、図18に示すステップと同様のステップには同一符号を付して説明を省略する。

[0180] まず、ステップST21, ST22の処理が実行される。次いで、評価値算出部33bが評価値算出処理を実行する(ステップST23b)。次いで、瞳孔位置検出部34bが瞳孔位置検出処理を実行する(ステップST24

b)。

[0181] なお、瞳孔検出装置400bは、実施の形態1にて説明したものと同様の種々の変形例を採用することができる。また、搭乗者監視システム100bは、実施の形態1にて説明したものと同様の種々の変形例を採用することができる。

[0182] 例えば、評価値算出部33bは、注目画像単位U__Iが目尻部に位置していると判定された場合、第1部分評価領域を用いて第1評価値E1及び第2評価値E2を算出するものであっても良い。また、評価値算出部33bは、注目画像単位U__Iが目頭部に位置していると判定された場合、第2部分評価領域を用いて第1評価値E1及び第2評価値E2を算出するものであっても良い。また、評価値算出部33bは、注目画像単位U__Iが上瞼部に位置していると判定された場合、第3部分評価領域を用いて第1評価値E1及び第2評価値E2を算出するものであっても良い。また、評価値算出部33bは、注目画像単位U__Iが下瞼部に位置していると判定された場合、第4部分評価領域を用いて第1評価値E1及び第2評価値E2を算出するものであっても良い。

[0183] また、例えば、評価値算出部33bは、閾値 ΔB_{th} 以下の輝度勾配値 ΔB を有する輝度勾配ベクトルV2を第1評価値E1及び第2評価値E2の算出から除外するものであっても良い。

[0184] 以上のように、実施の形態3に係る瞳孔検出装置400bにおいて、評価値Eは、個々の画像単位Uに向かう輝度勾配ベクトルV2の本数nに基づく第1評価値E1を含み、かつ、個々の画像単位Uに向かう輝度勾配ベクトルV2の方向数mに基づく第2評価値E2を含む。瞳孔位置PPを高精度に検出するにあたり、第1評価値E1を用いることができるのはもちろんのこと、第2評価値E2を用いることもできる。

[0185] なお、本願開示はその開示の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0186] 本開示に係る瞳孔検出装置、視線検出装置及び瞳孔検出方法は、例えば、搭乗者監視システムに用いることができる。本開示に係る搭乗者監視システムは、例えば、車両に用いることができる。

符号の説明

[0187] 1 車両、2 カメラ、3 出力装置、4 車載情報機器、5 携帯情報端末、6 サーバ、11 撮像画像取得部、12 顔特徴点抽出部、13 顔向き推定部、14 搭乗者状態判定部、15 警告出力制御部、21 視線角度算出部、22 視線方向検出部、31 眼領域画像取得部、32 輝度勾配算出部、33, 33a, 33b 評価値算出部、34, 34a, 34b 瞳孔位置検出部、41 第1評価値算出部、42 第2評価値算出部、51 プロセッサ、52 メモリ、53 処理回路、100, 100a, 100b 搭乗者監視システム、200, 200a, 200b 搭乗者監視装置、300, 300a, 300b 視線検出装置、400, 400a, 400b 瞳孔検出装置。

請求の範囲

- [請求項1] カメラによる撮像画像における眼領域画像を示す画像データを取得する眼領域画像取得部と、
- 前記画像データを用いて前記眼領域画像における個々の画像単位に対応する輝度勾配ベクトルを算出する輝度勾配算出部と、
- 前記輝度勾配ベクトルを用いて個々の前記画像単位に対応する評価値を算出する評価値算出部と、
- 前記評価値を用いて前記眼領域画像における瞳孔位置を検出する瞳孔位置検出部と、
- を備える瞳孔検出装置。
- [請求項2] 前記評価値は、個々の前記画像単位に向かう前記輝度勾配ベクトルの本数に基づく第1評価値を含むことを特徴とする請求項1記載の瞳孔検出装置。
- [請求項3] 前記瞳孔位置検出部は、前記第1評価値における極大値に対応する前記画像単位的位置を検出することにより前記瞳孔位置を検出することを特徴とする請求項2記載の瞳孔検出装置。
- [請求項4] 前記評価値は、個々の前記画像単位に向かう前記輝度勾配ベクトルの方向数に基づく第2評価値を含むことを特徴とする請求項1記載の瞳孔検出装置。
- [請求項5] 前記瞳孔位置検出部は、前記第2評価値における極大値に対応する前記画像単位的位置を検出することにより前記瞳孔位置を検出することを特徴とする請求項4記載の瞳孔検出装置。
- [請求項6] 前記評価値は、個々の前記画像単位に向かう前記輝度勾配ベクトルの本数に基づく第1評価値を含み、かつ、個々の前記画像単位に向かう前記輝度勾配ベクトルの方向数に基づく第2評価値を含むことを特徴とする請求項1記載の瞳孔検出装置。
- [請求項7] 前記瞳孔位置検出部は、基準値以上の前記第1評価値に対応する前記画像単位のうちの前記第2評価値における極大値に対応する前記画

像単位的位置を検出することにより前記瞳孔位置を検出することを特徴とする請求項 6 記載の瞳孔検出装置。

[請求項8] 前記瞳孔位置検出部は、基準値以上の前記第 2 評価値に対応する前記画像単位のうちの前記第 1 評価値における極大値に対応する前記画像単位的位置を検出することにより前記瞳孔位置を検出することを特徴とする請求項 6 記載の瞳孔検出装置。

[請求項9] 前記瞳孔位置検出部は、前記第 1 評価値及び前記第 2 評価値による統計値における極大値に対応する前記画像単位的位置を検出することにより前記瞳孔位置を検出することを特徴とする請求項 6 記載の瞳孔検出装置。

[請求項10] 前記統計値は、前記第 1 評価値に対する重み付けがなされた値及び前記第 2 評価値に対する重み付けがなされた値のうちの少なくとも一方に基づくものであることを特徴とする請求項 9 記載の瞳孔検出装置。

[請求項11] 前記評価値算出部は、閾値以下の大きさを有する前記輝度勾配ベクトルを前記評価値の算出から除外することを特徴とする請求項 1 記載の瞳孔検出装置。

[請求項12] 前記評価値算出部は、個々の前記画像単位に対応する評価領域における前記輝度勾配ベクトルを用いて前記評価値を算出することを特徴とする請求項 1 記載の瞳孔検出装置。

[請求項13] 前記評価値算出部は、前記眼領域画像の目尻部における前記画像単位に対応する前記評価値を算出するとき、前記評価領域の左半部又は右半部に対応する第 1 部分評価領域における前記輝度勾配ベクトルを用いて前記評価値を算出することを特徴とする請求項 1 2 記載の瞳孔検出装置。

[請求項14] 前記評価値算出部は、前記眼領域画像の目頭部における前記画像単位に対応する前記評価値を算出するとき、前記評価領域の右半部又は左半部に対応する第 2 部分評価領域における前記輝度勾配ベクトルを

用いて前記評価値を算出することを特徴とする請求項 1 2 記載の瞳孔検出装置。

[請求項15] 前記評価値算出部は、前記眼領域画像の上瞼部における前記画像単位に対応する前記評価値を算出するとき、前記評価領域の下半部に対応する第 3 部分評価領域における前記輝度勾配ベクトルを用いて前記評価値を算出することを特徴とする請求項 1 2 記載の瞳孔検出装置。

[請求項16] 前記評価値算出部は、前記眼領域画像の下瞼部における前記画像単位に対応する前記評価値を算出するとき、前記評価領域の上半部に対応する第 4 部分評価領域における前記輝度勾配ベクトルを用いて前記評価値を算出することを特徴とする請求項 1 2 記載の瞳孔検出装置。

[請求項17] 前記評価領域は、基準虹彩サイズよりも小さいサイズを有することを特徴とする請求項 1 2 記載の瞳孔検出装置。

[請求項18] 請求項 1 記載の瞳孔検出装置と、
前記瞳孔位置に基づき視線角度を算出する視線角度算出部と、
前記視線角度に基づき視線方向を検出する視線方向検出部と、
を備える視線検出装置。

[請求項19] 請求項 1 8 記載の視線検出装置と、
前記視線方向に基づき車両の搭乗者の状態が警告対象状態であるか否かを判定する搭乗者状態判定部と、
前記搭乗者状態判定部による判定結果に応じて警告を出力する制御を実行する警告出力制御部と、
を備える搭乗者監視システム。

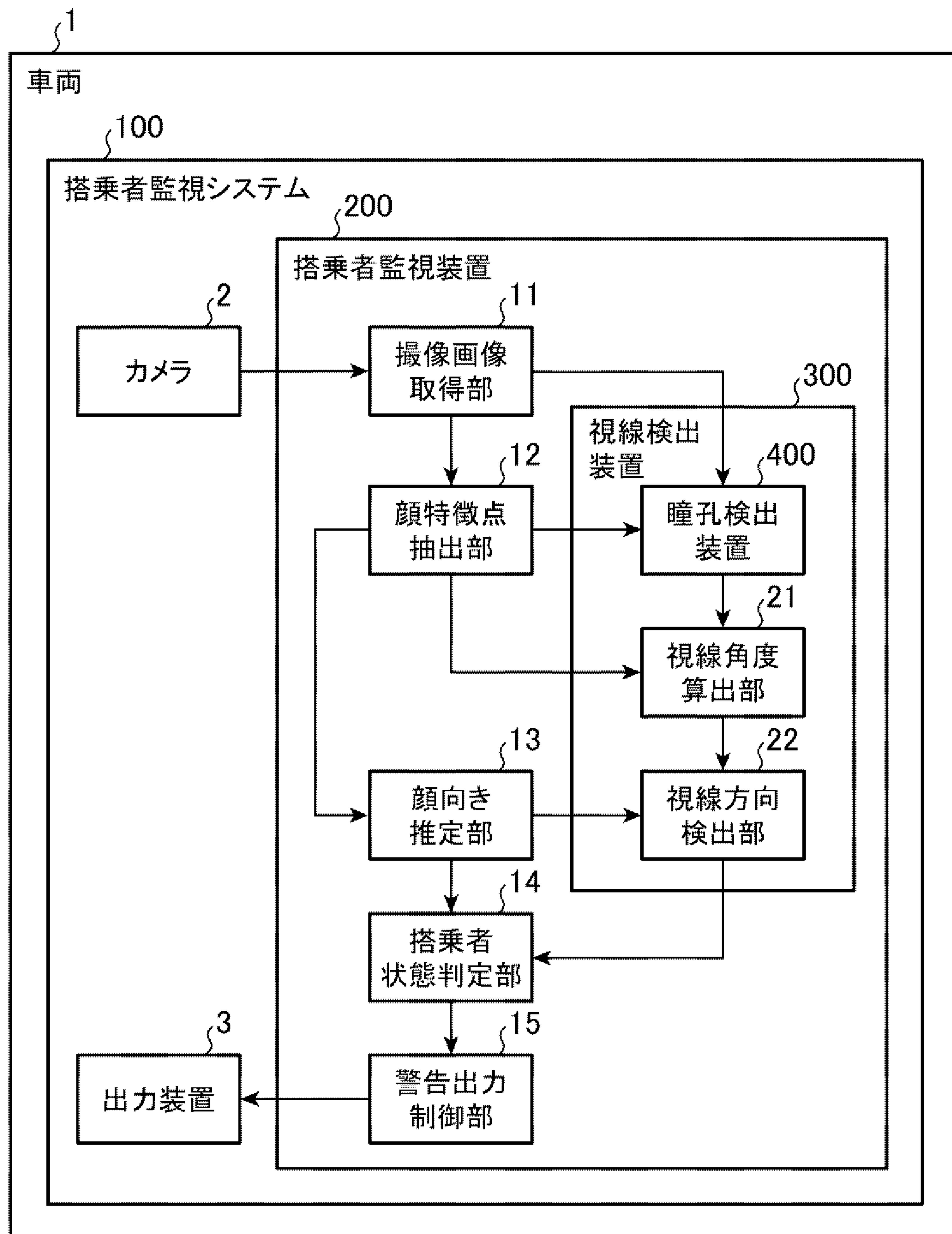
[請求項20] 眼領域画像取得部が、カメラによる撮像画像における眼領域画像を示す画像データを取得するステップと、
輝度勾配算出部が、前記画像データを用いて前記眼領域画像における個々の画像単位に対応する輝度勾配ベクトルを算出するステップと、
、
評価値算出部が、前記輝度勾配ベクトルを用いて個々の前記画像単

位に対応する評価値を算出するステップと、

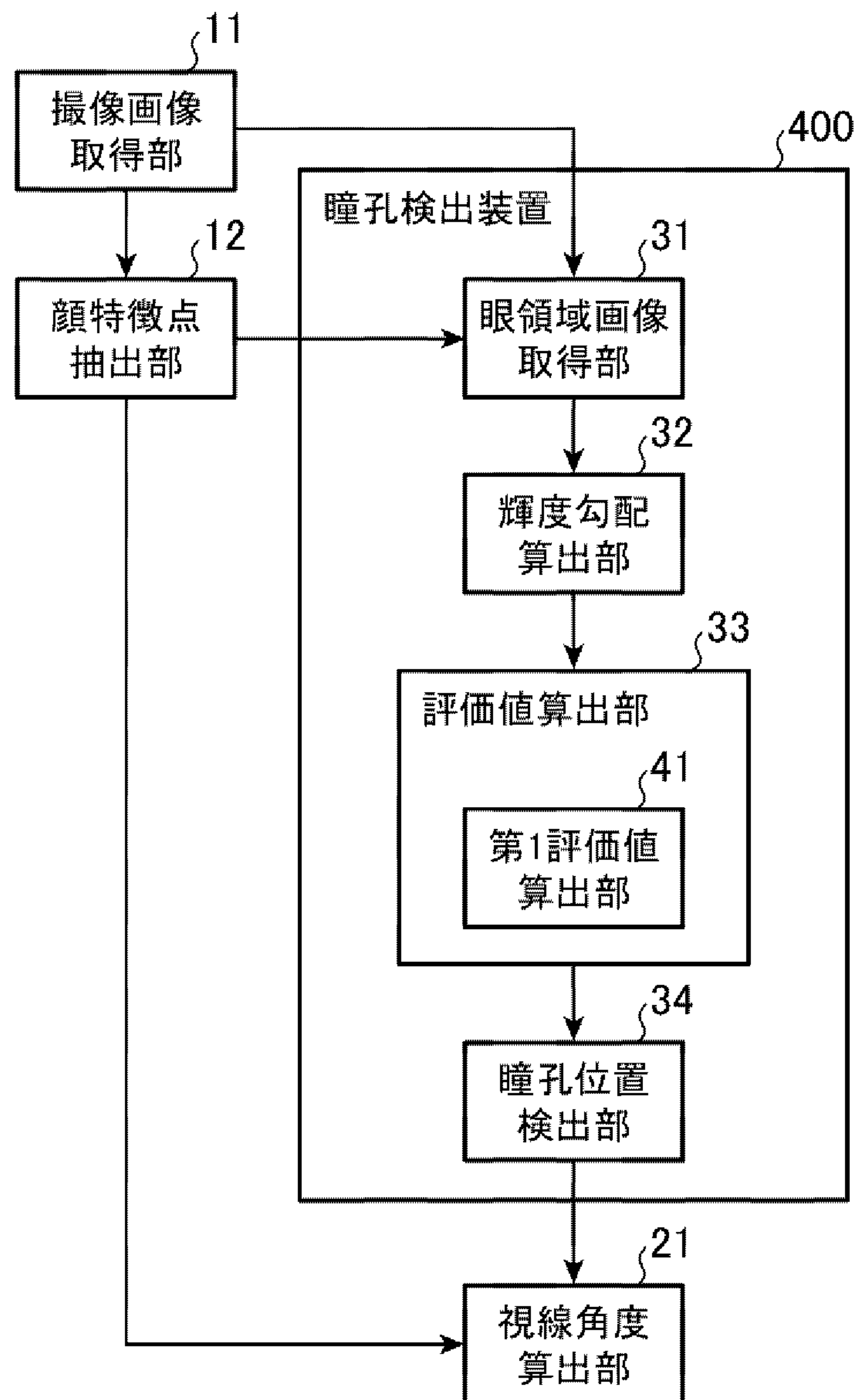
瞳孔位置検出部が、前記評価値を用いて前記眼領域画像における瞳孔位置を検出するステップと、

を備える瞳孔検出方法。

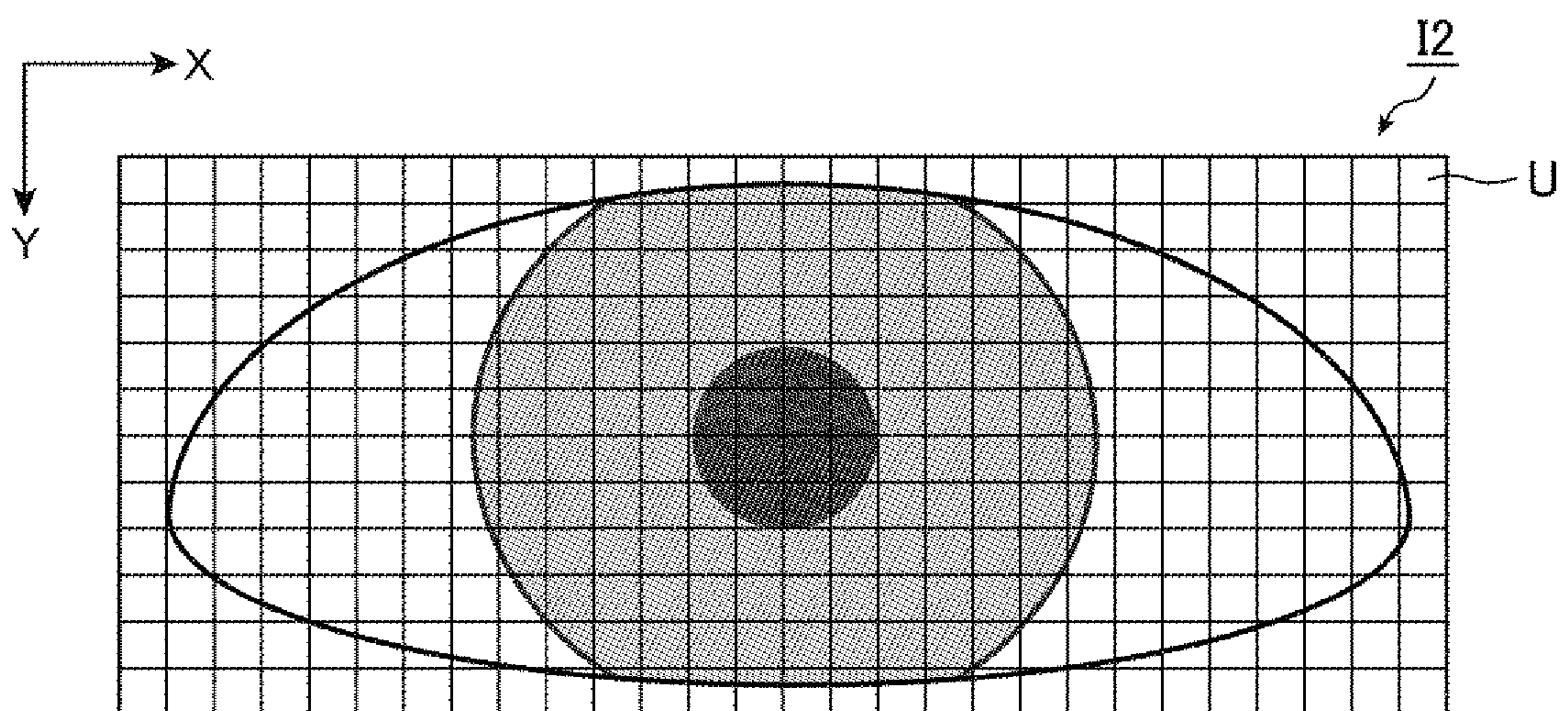
[図1]



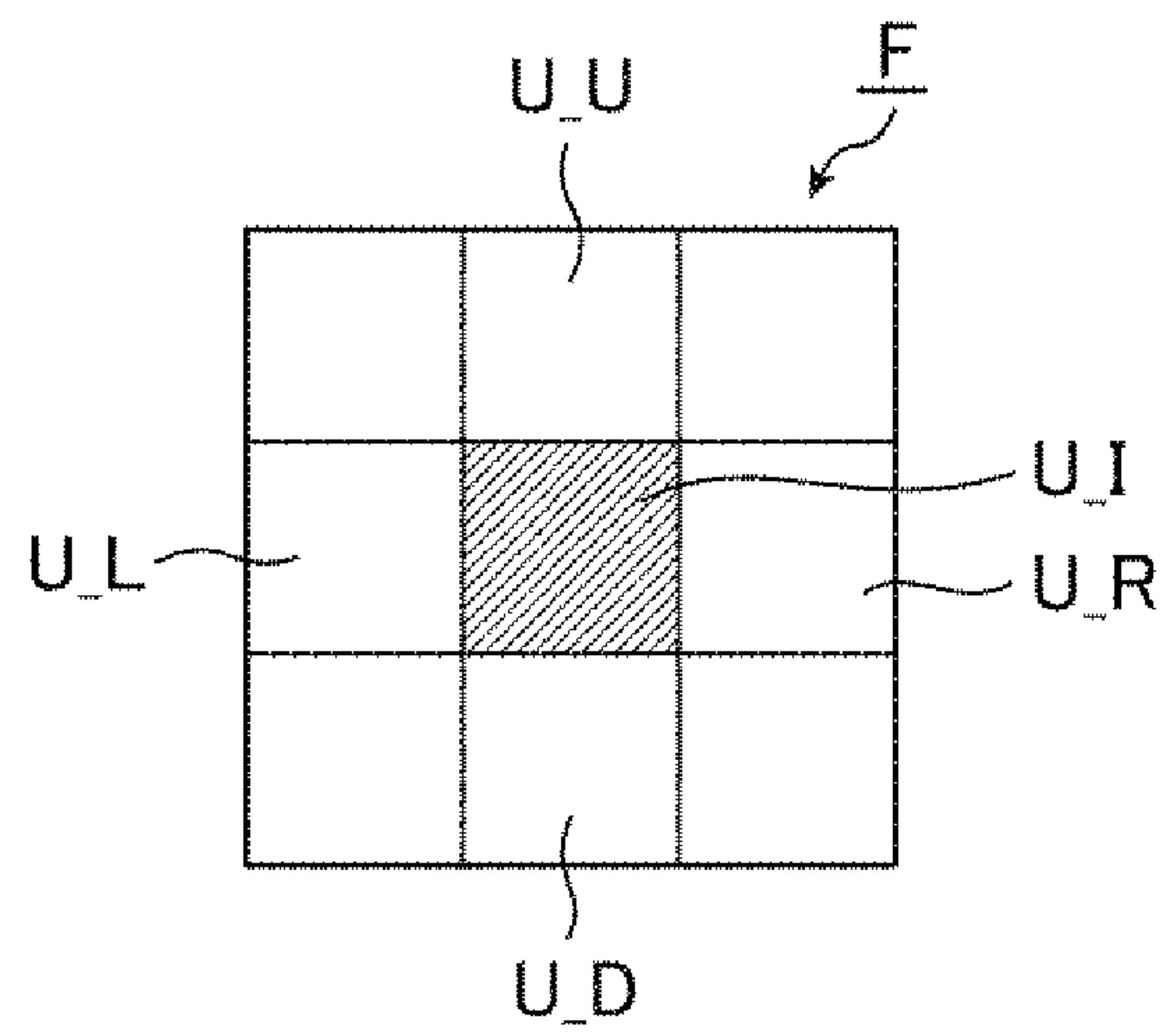
[図2]



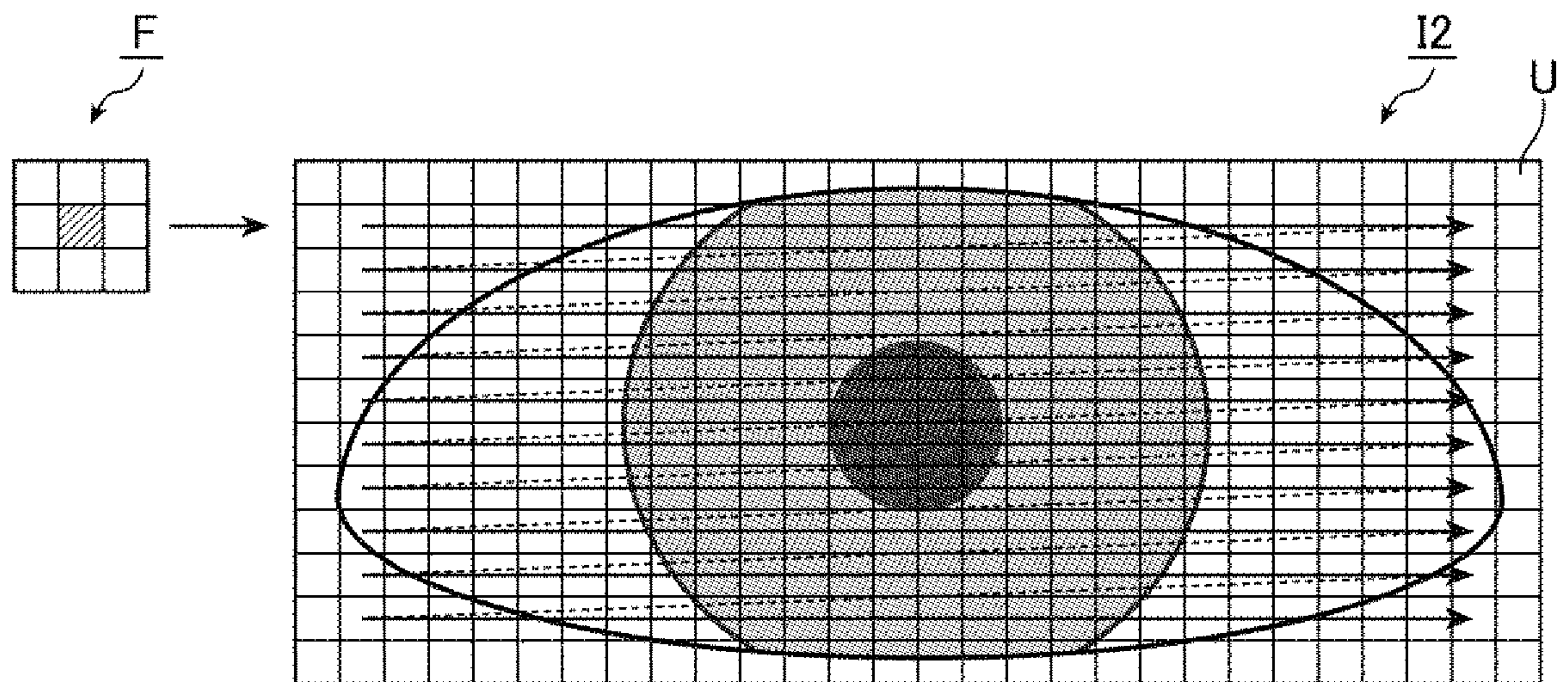
[図3]



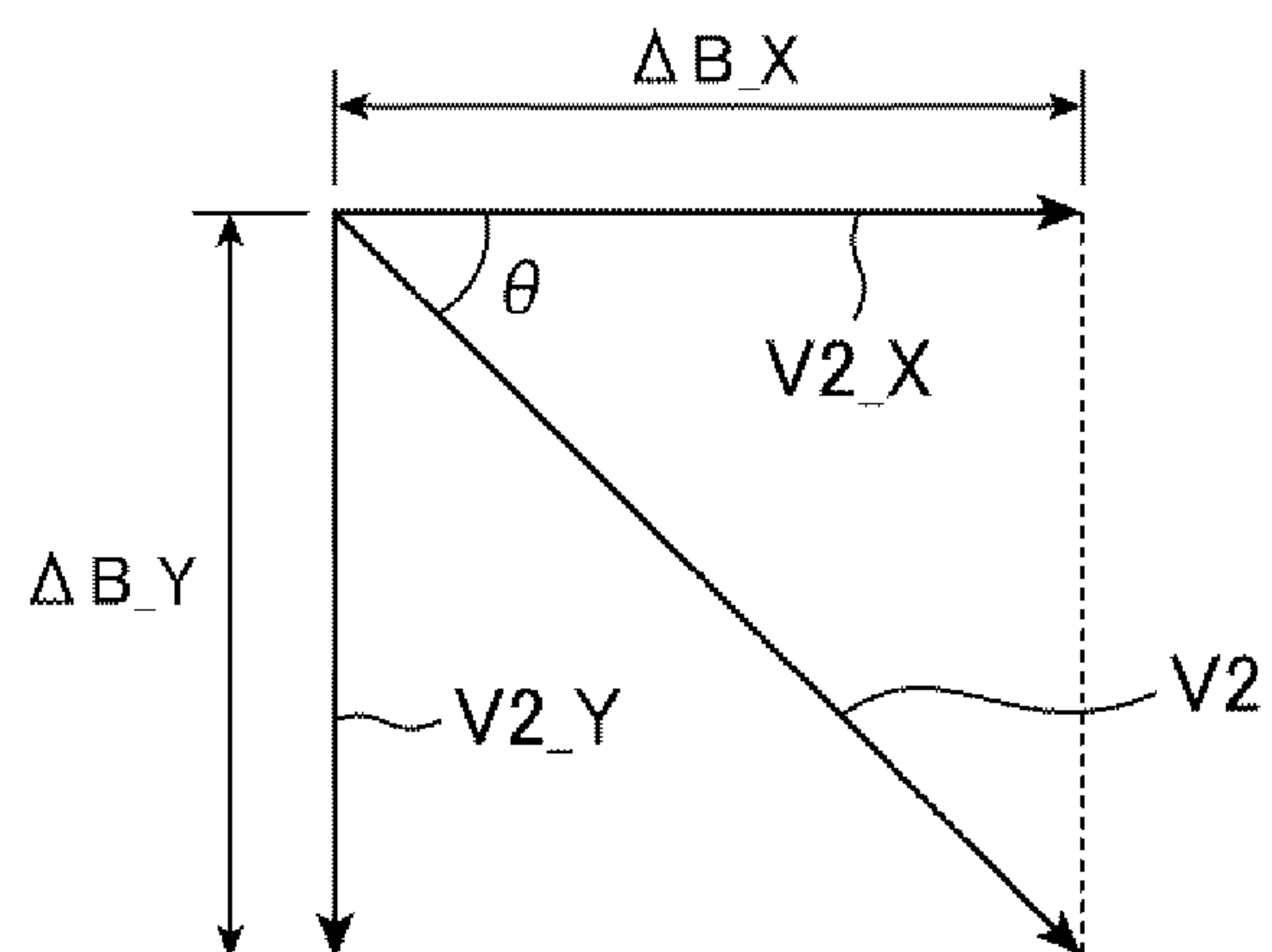
[図4]



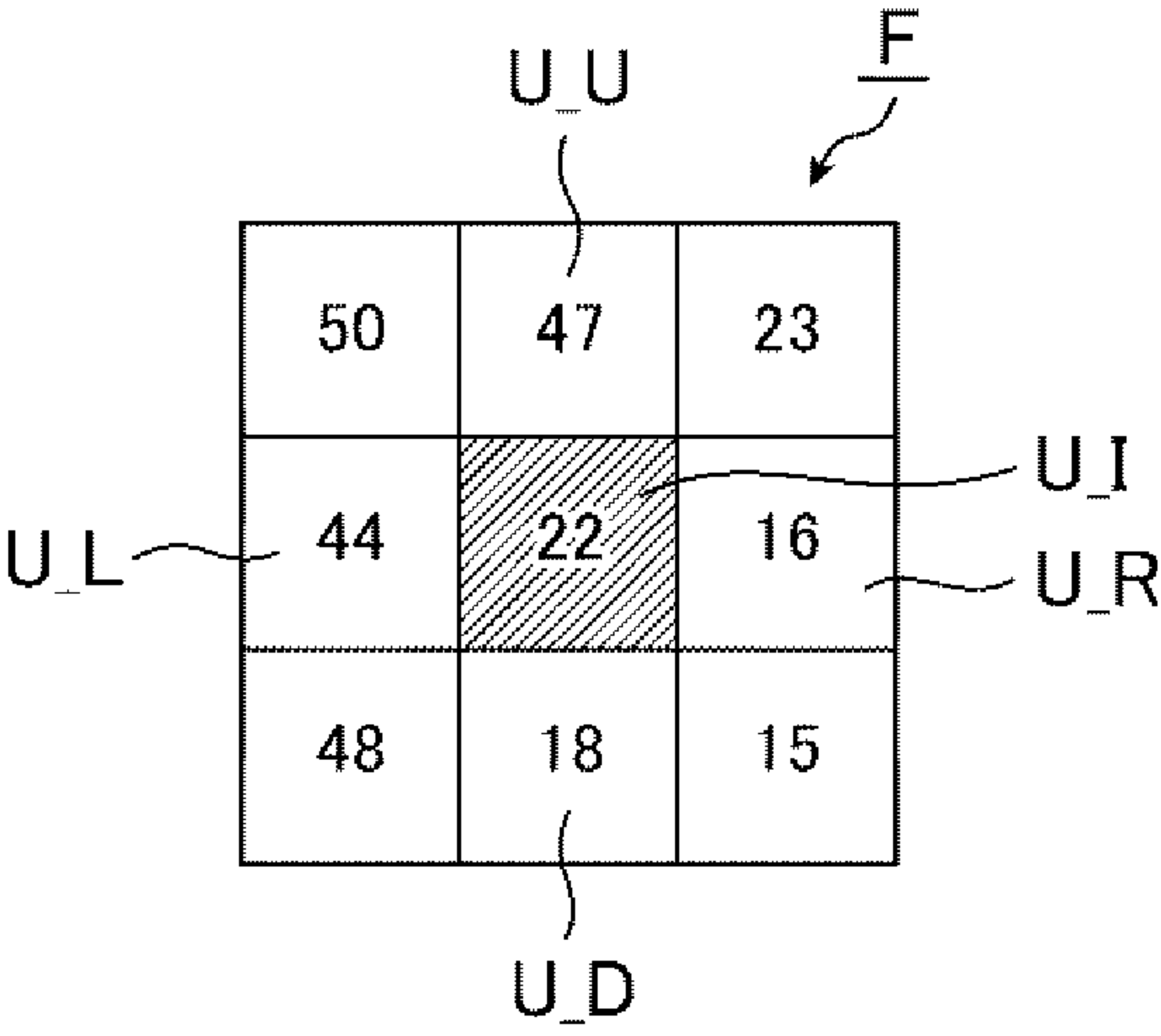
[図5]



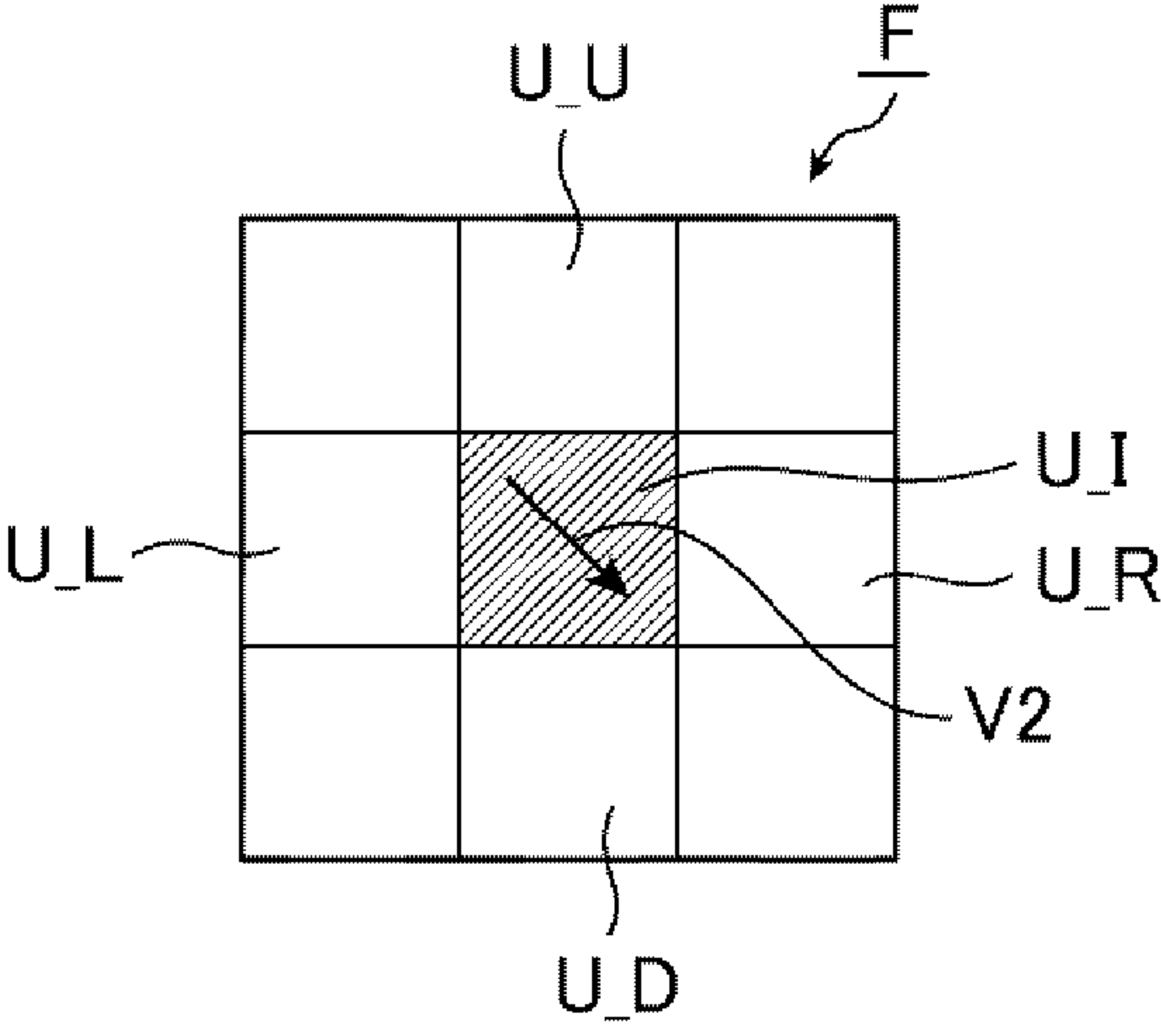
[図6]



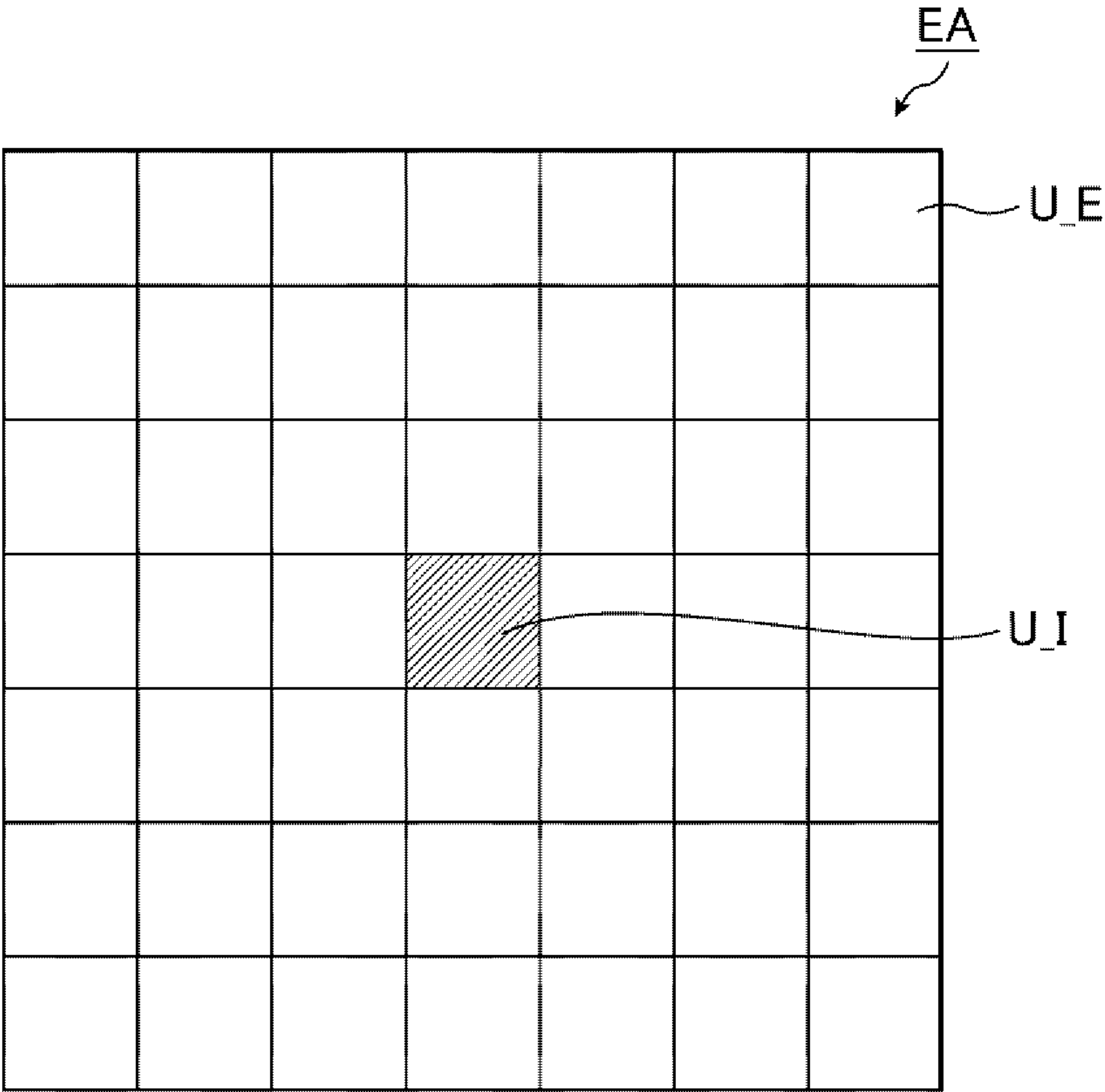
[図7]



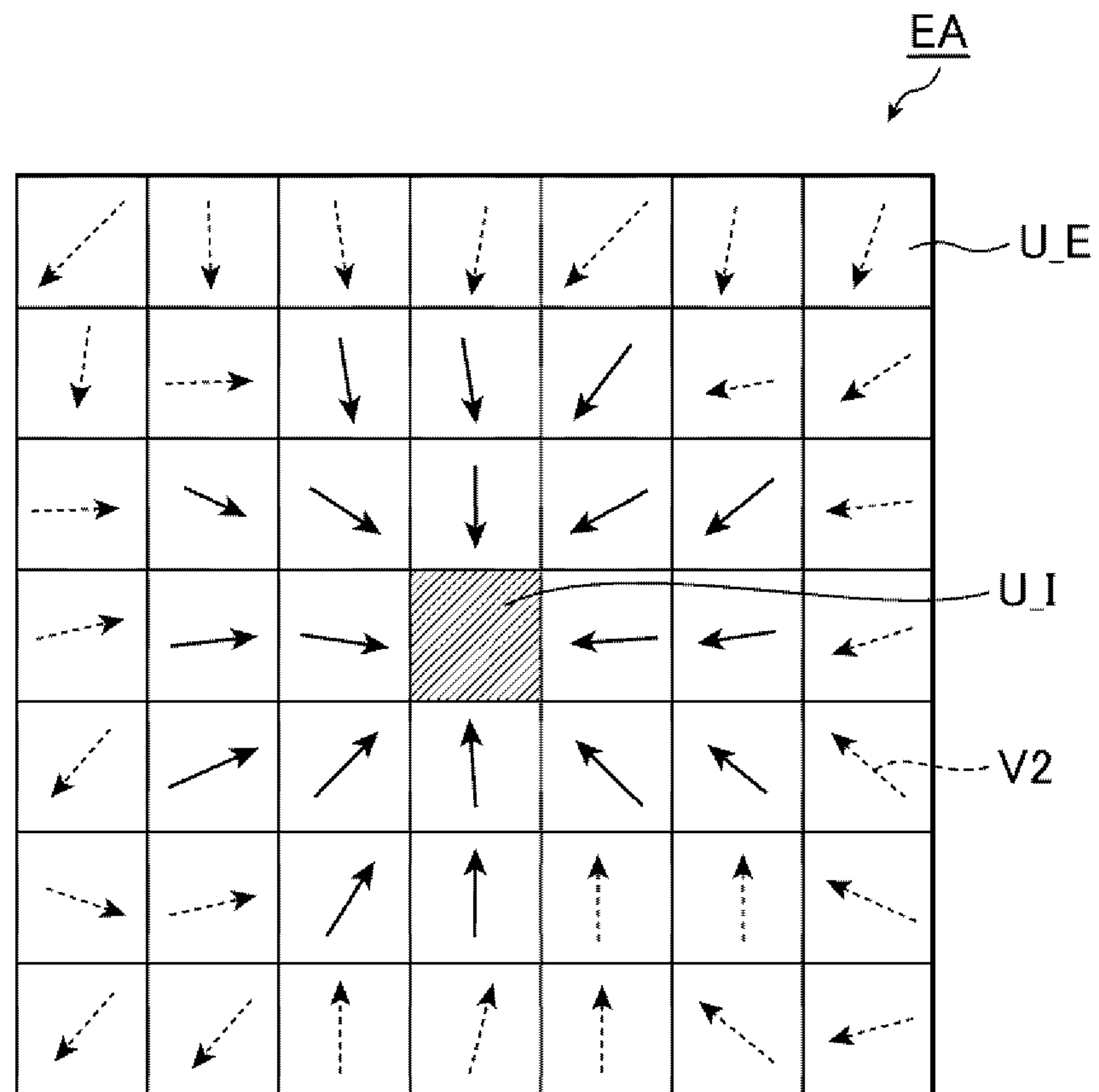
[図8]



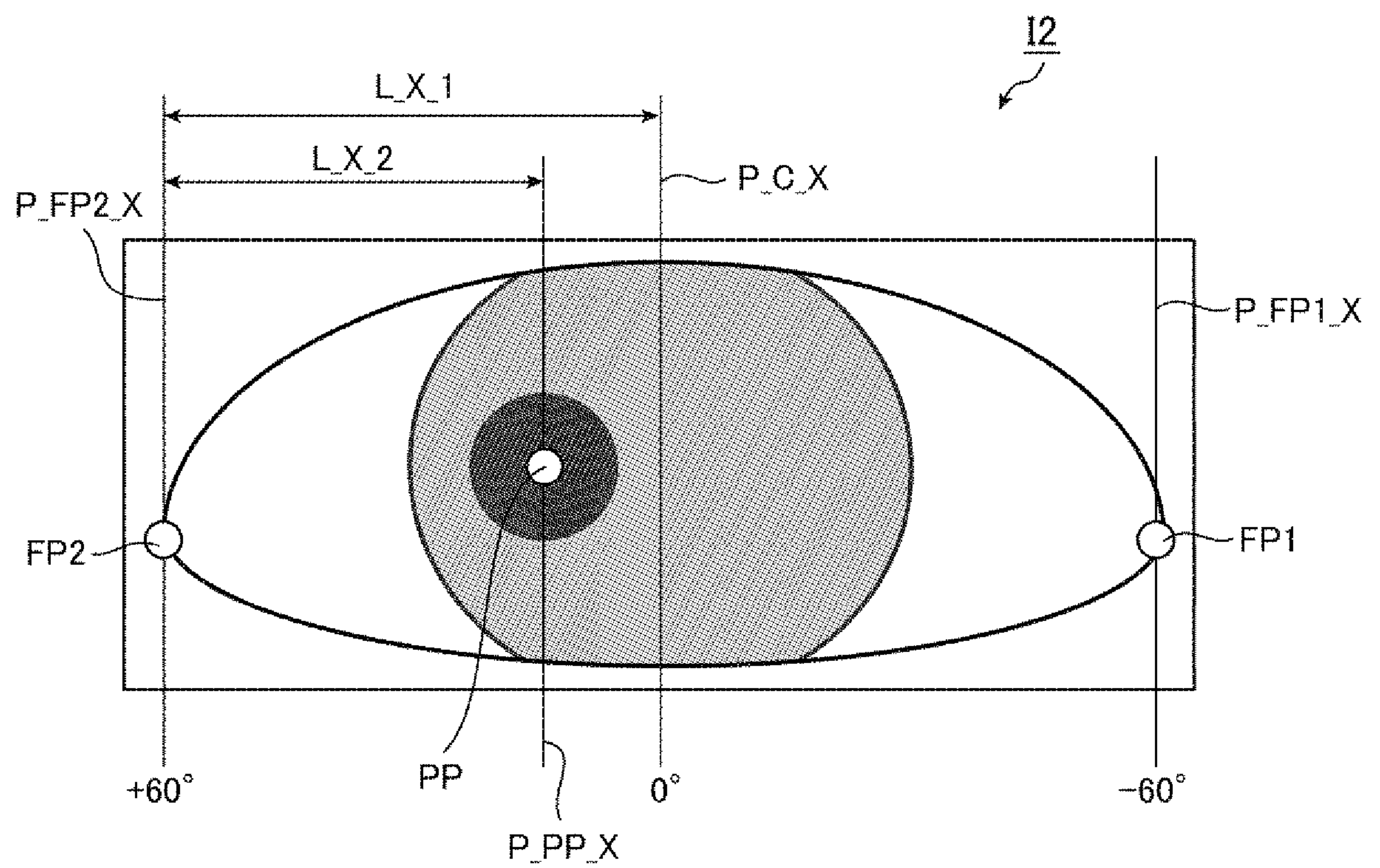
[図9]



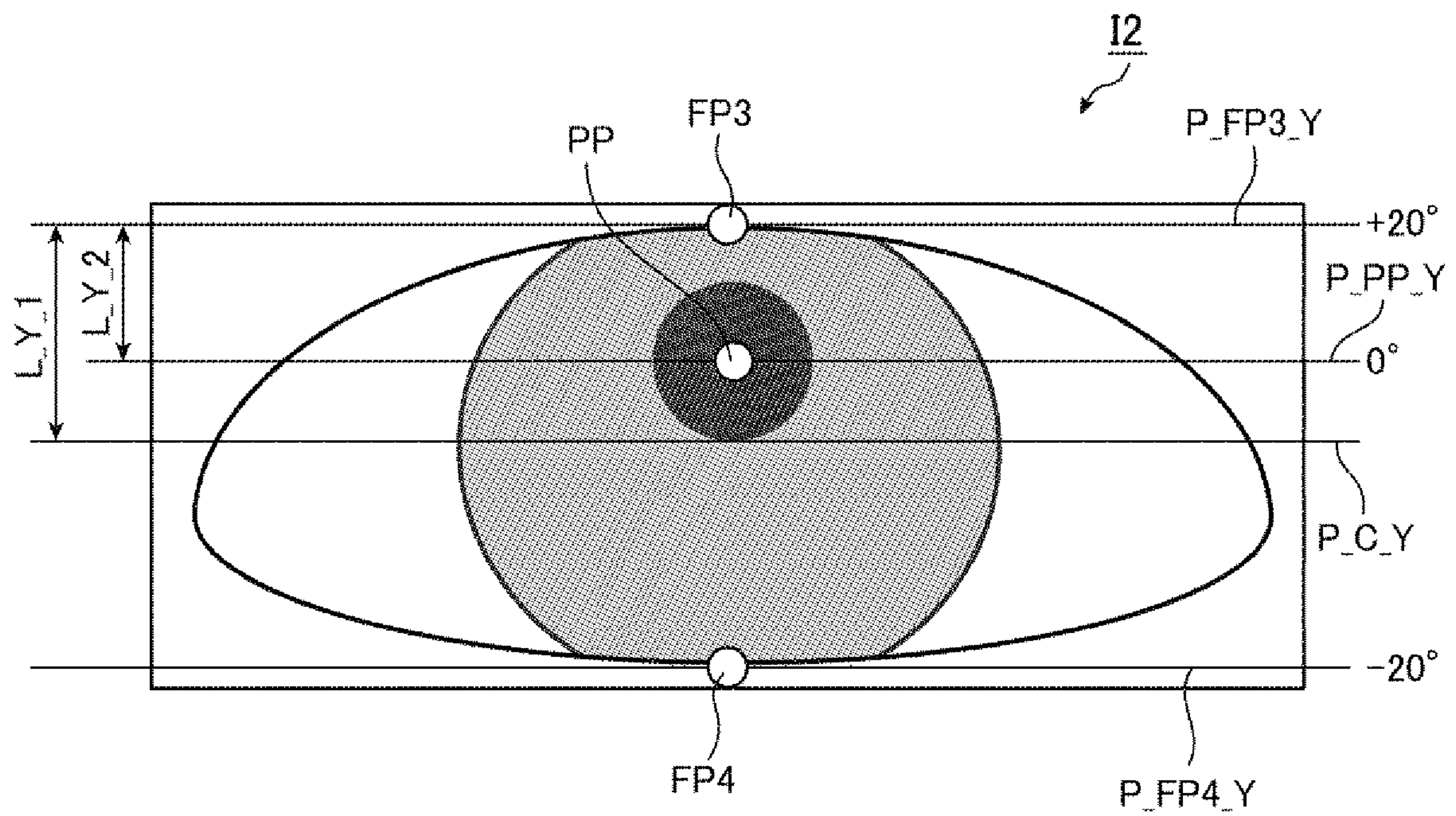
[図10]



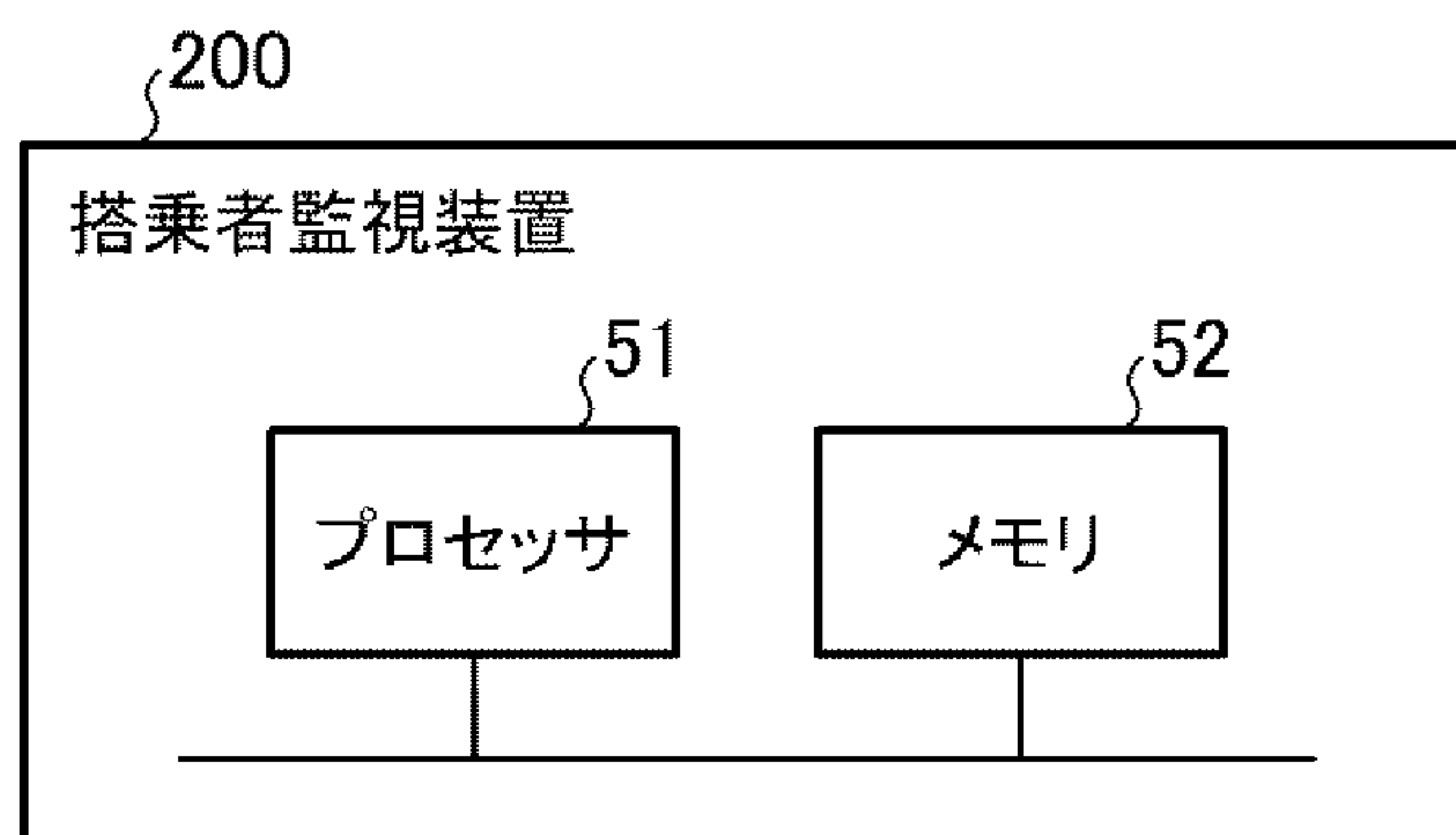
[図11]



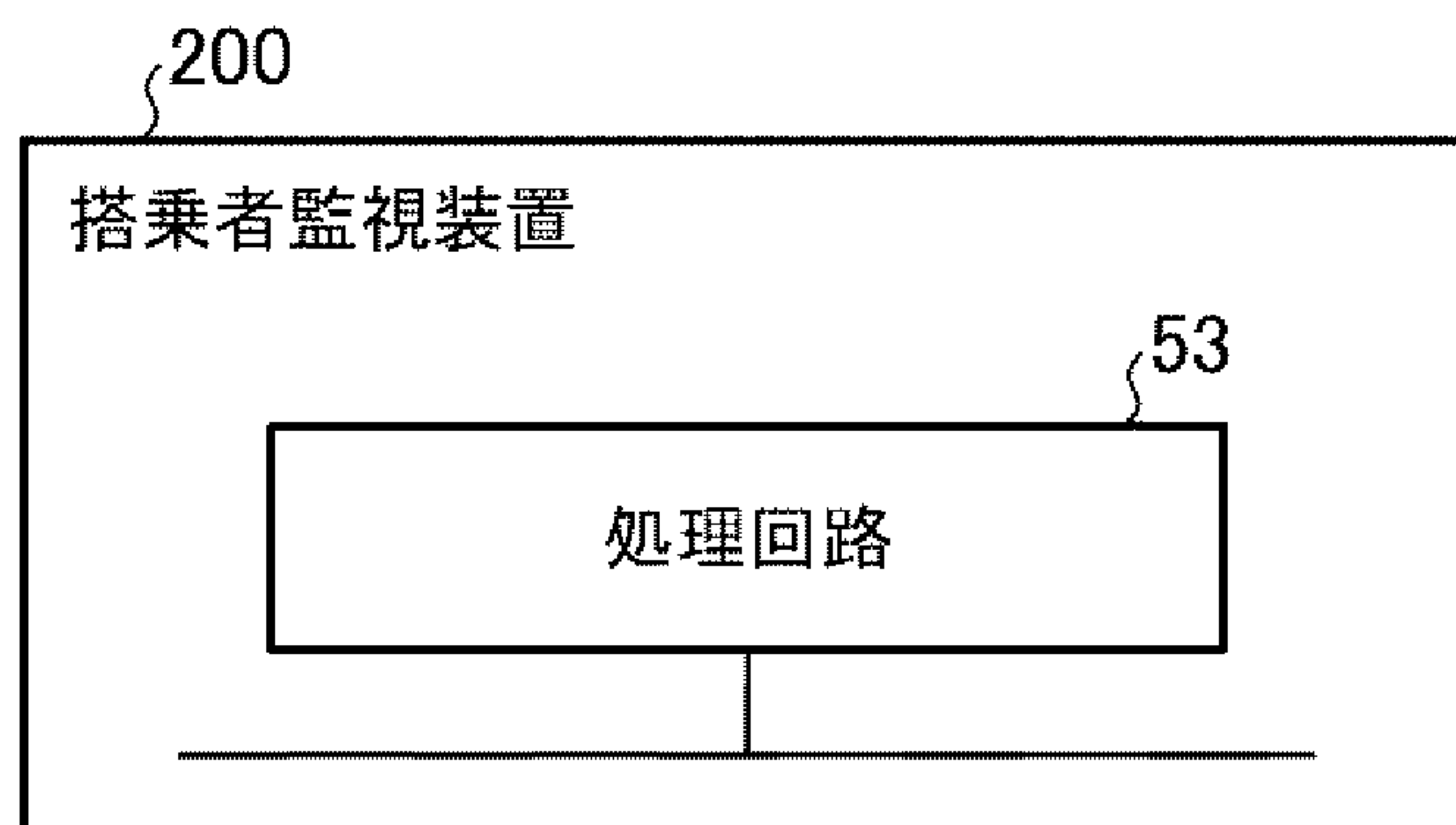
[図12]



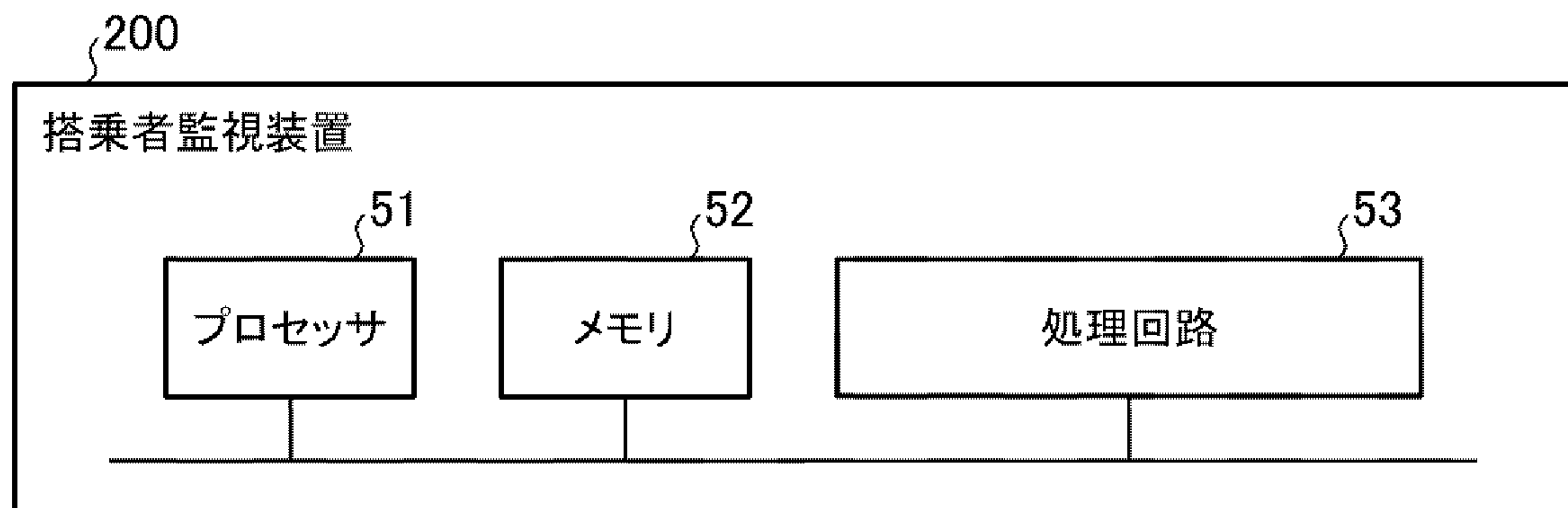
[図13]



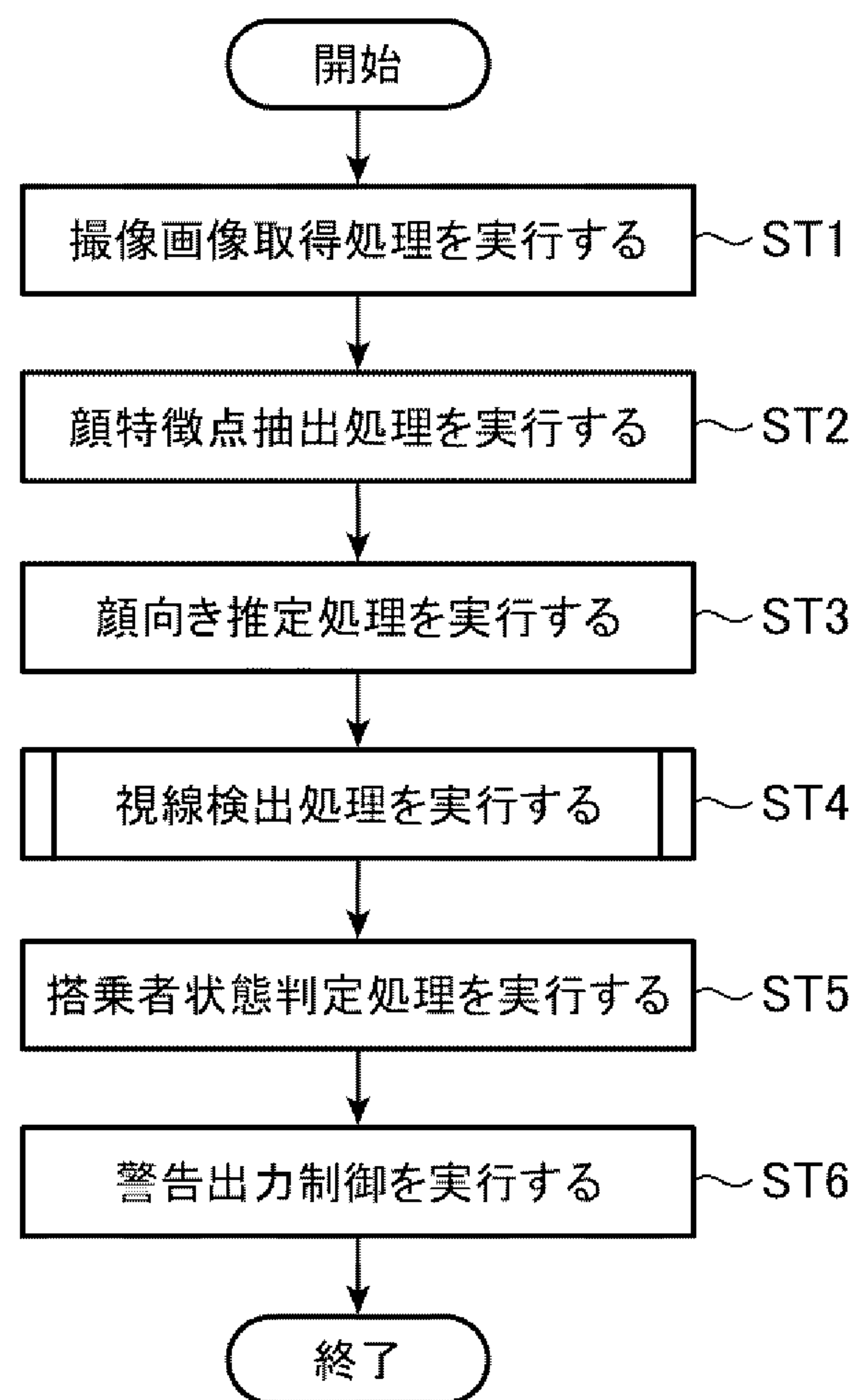
[図14]



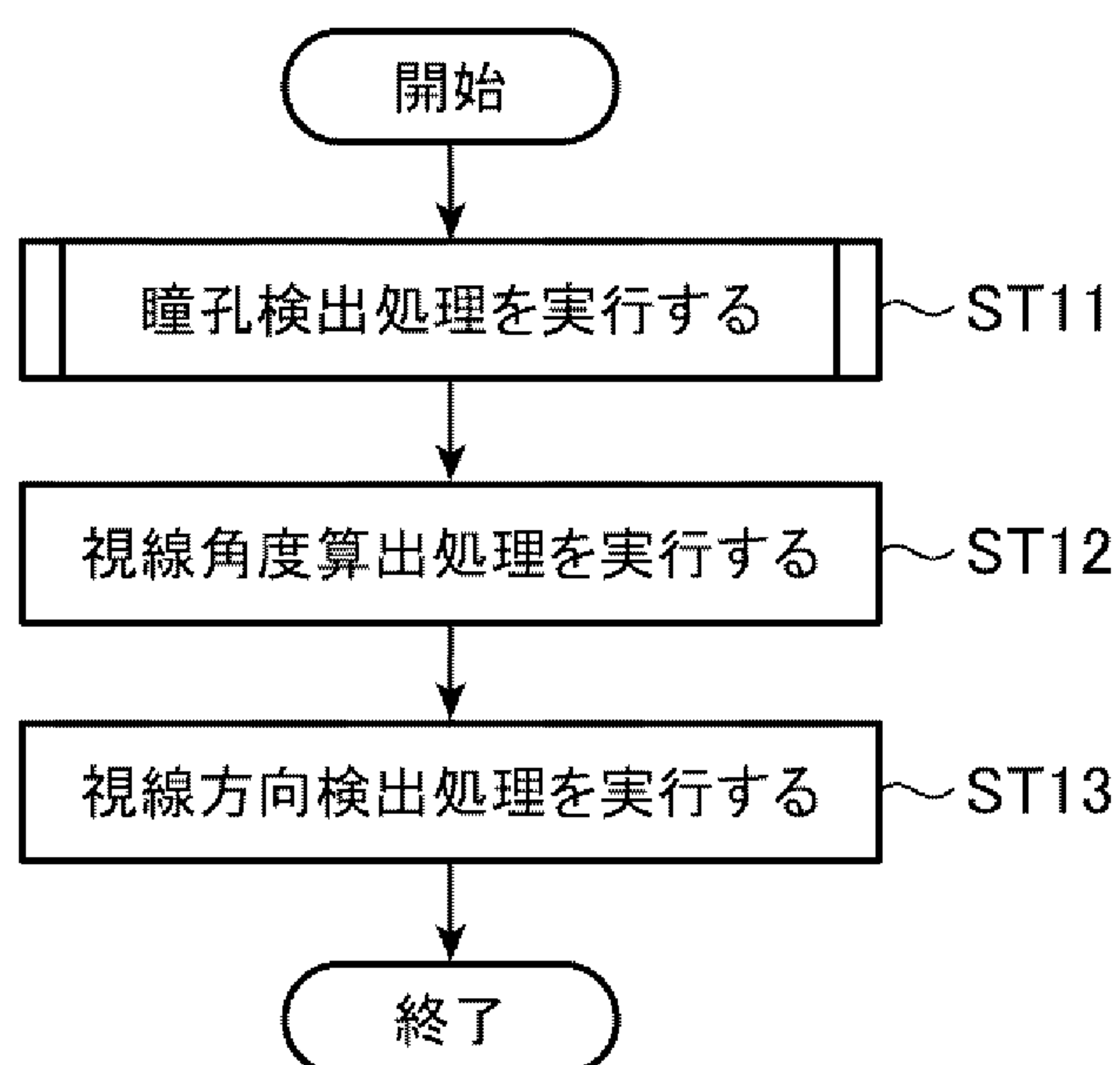
[図15]



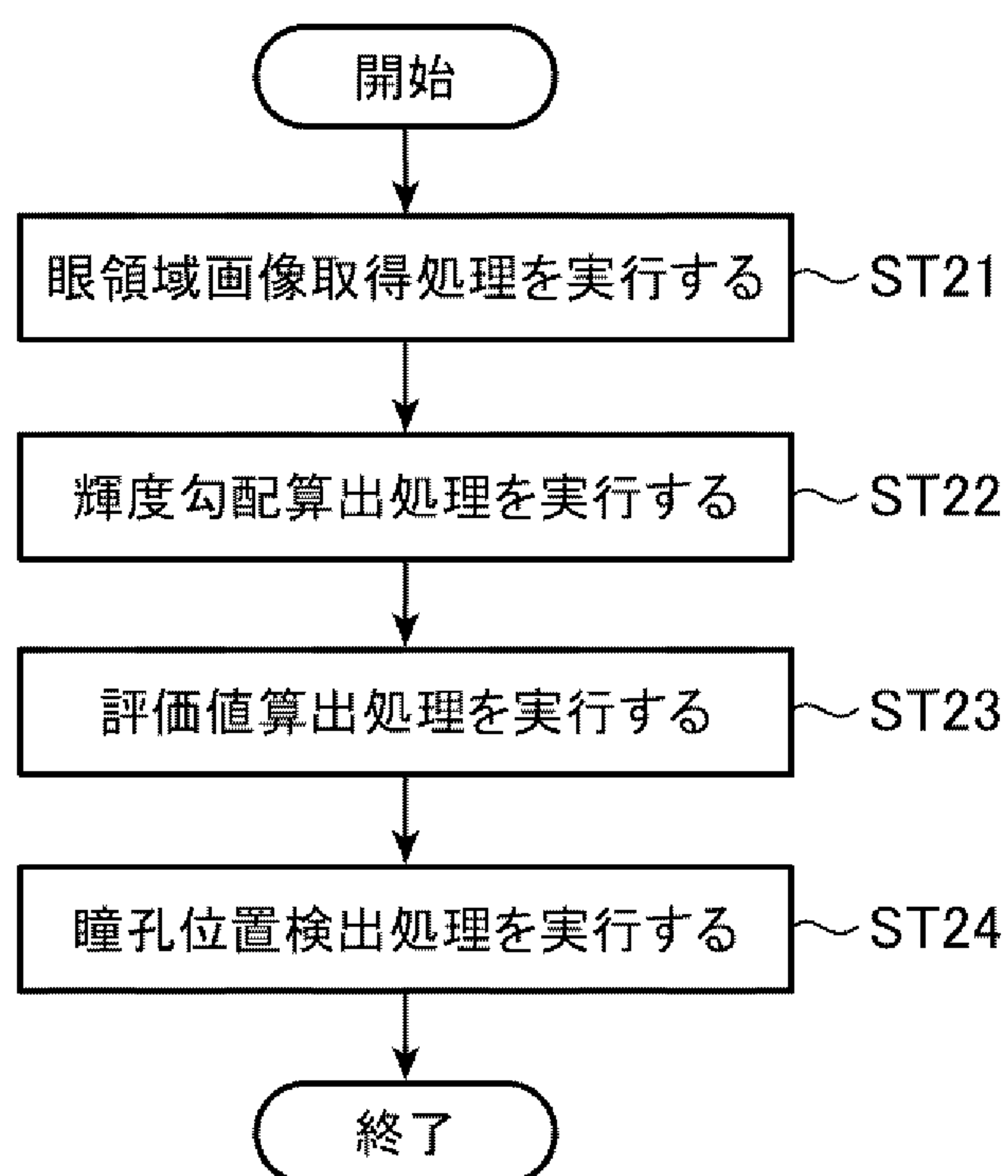
[図16]



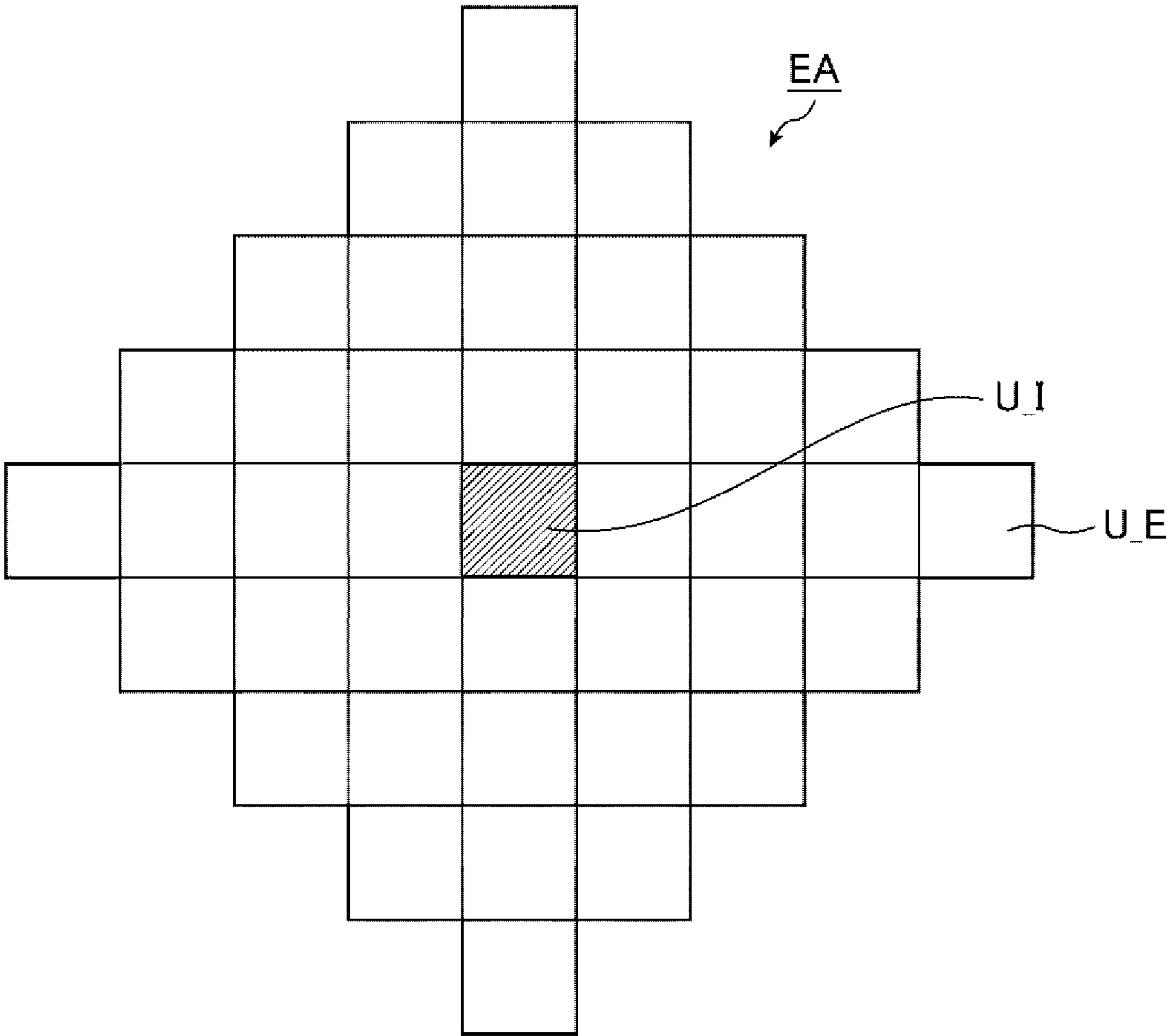
[図17]



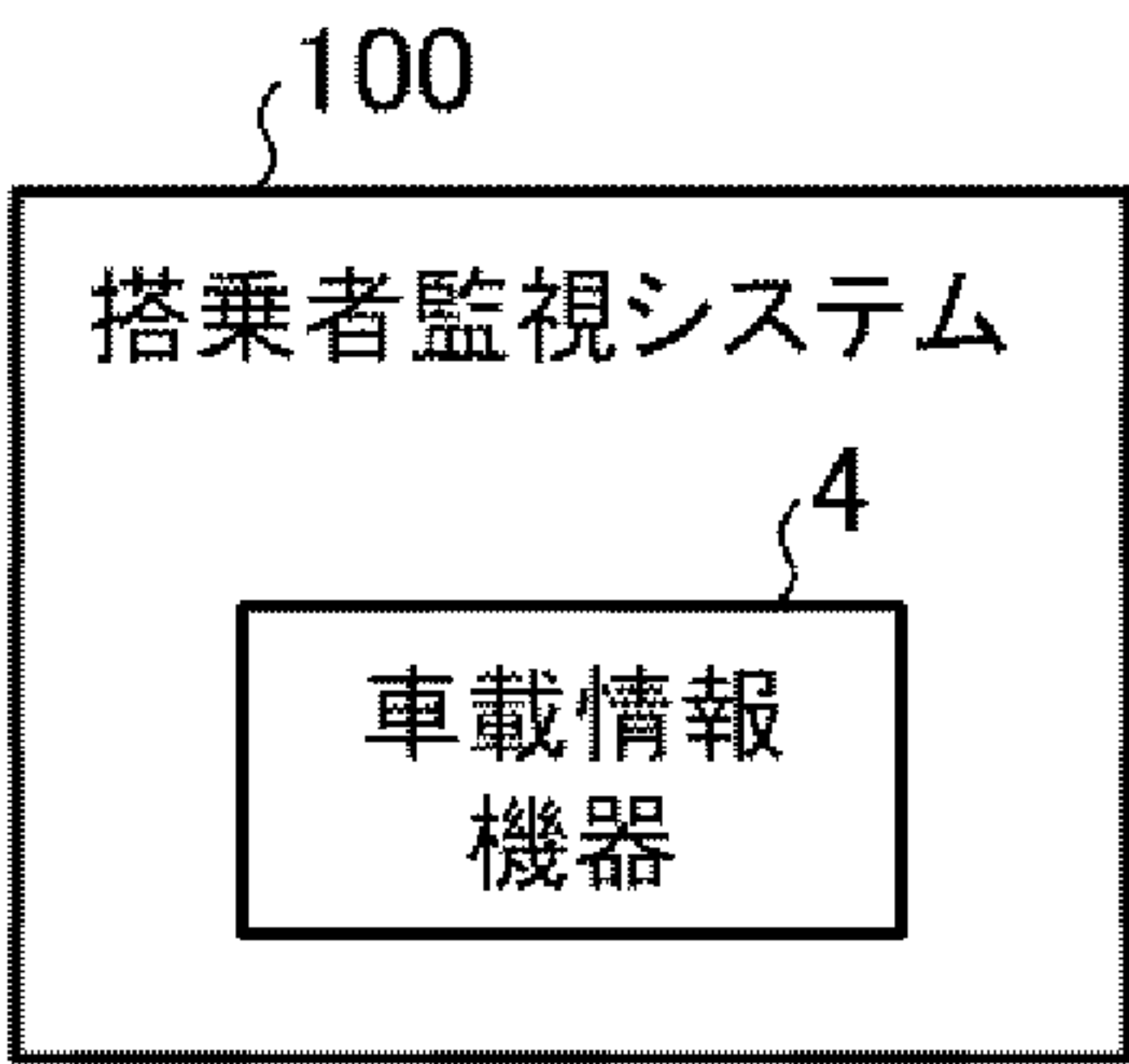
[図18]



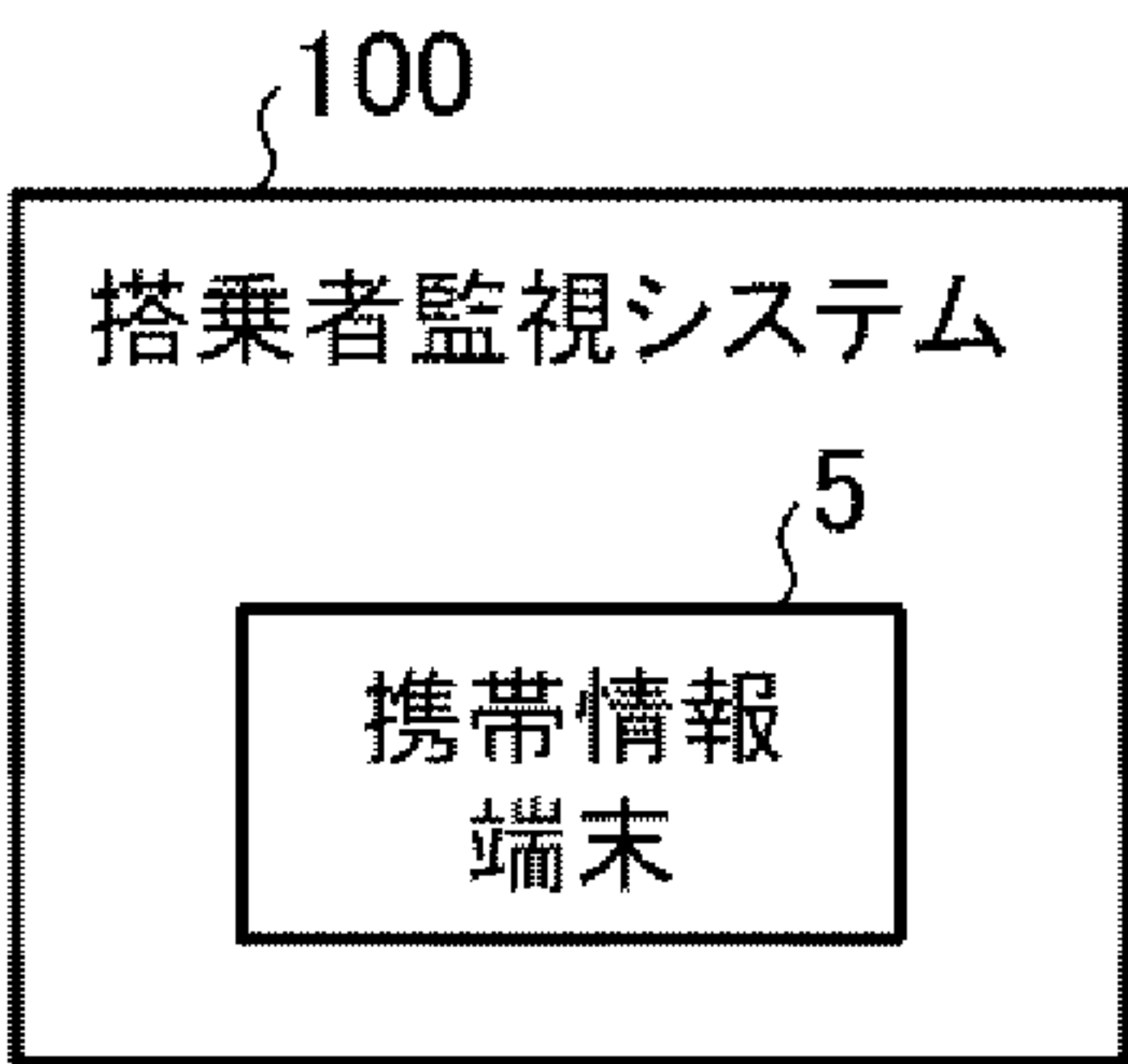
[図19]



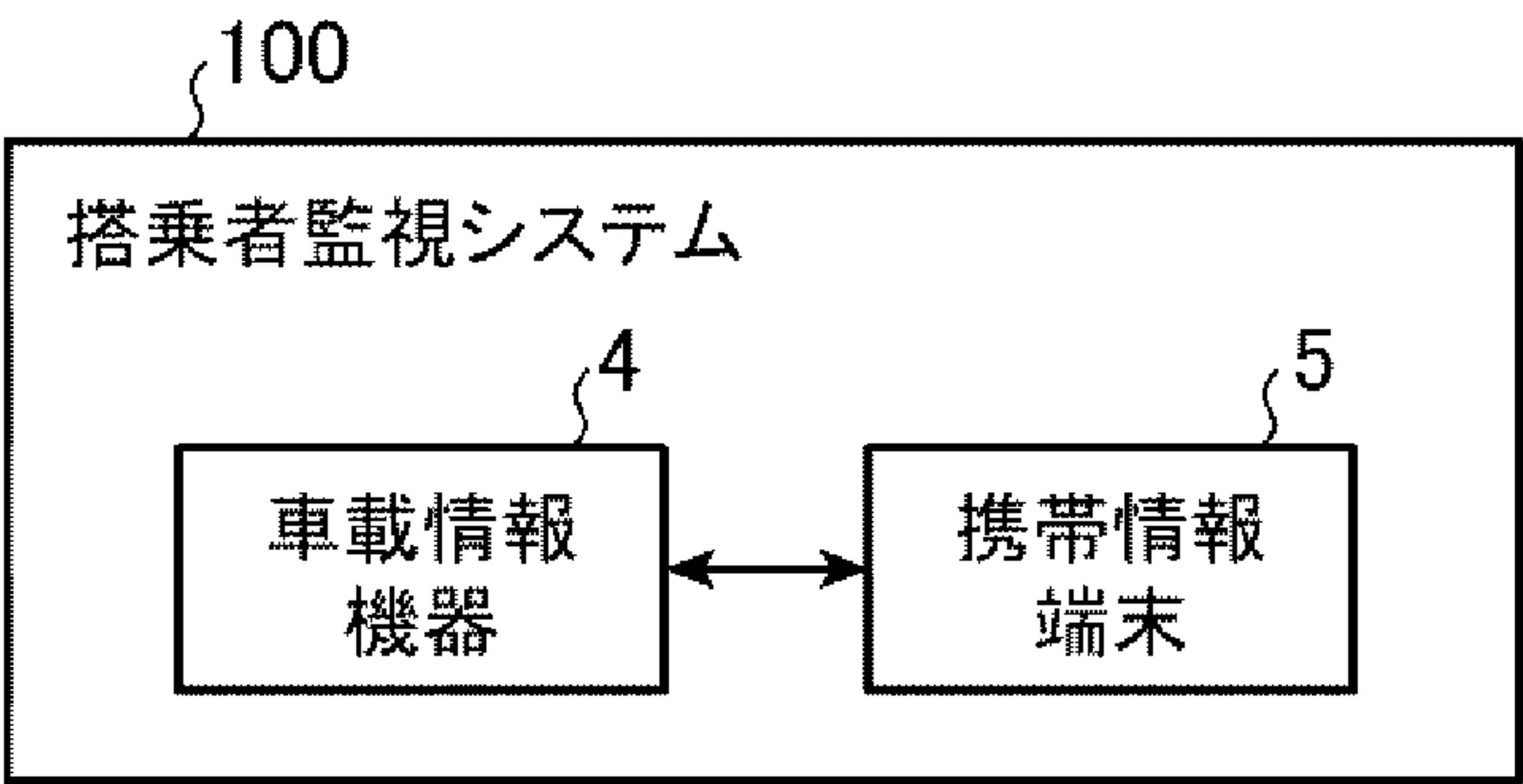
[図20]



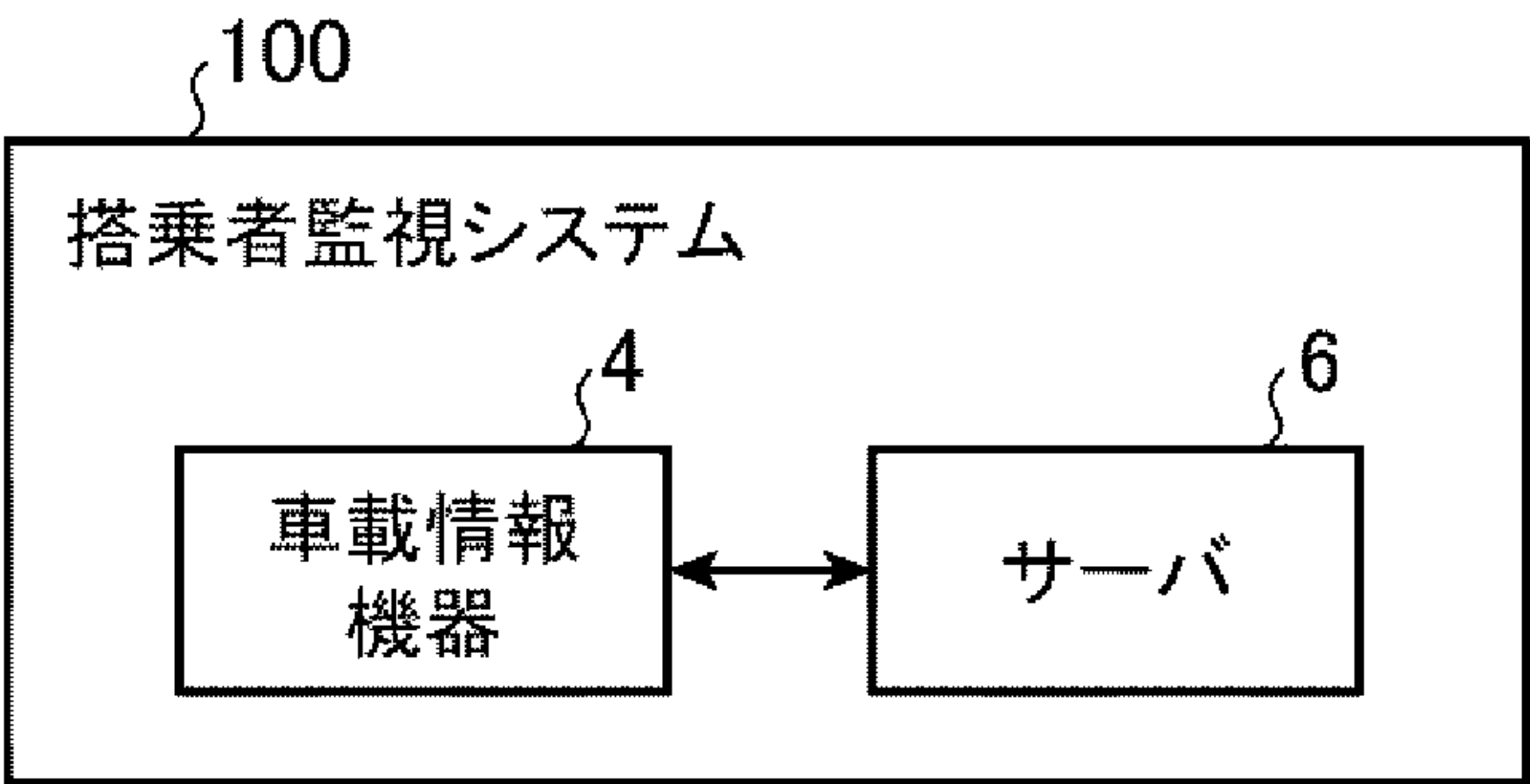
[図21]



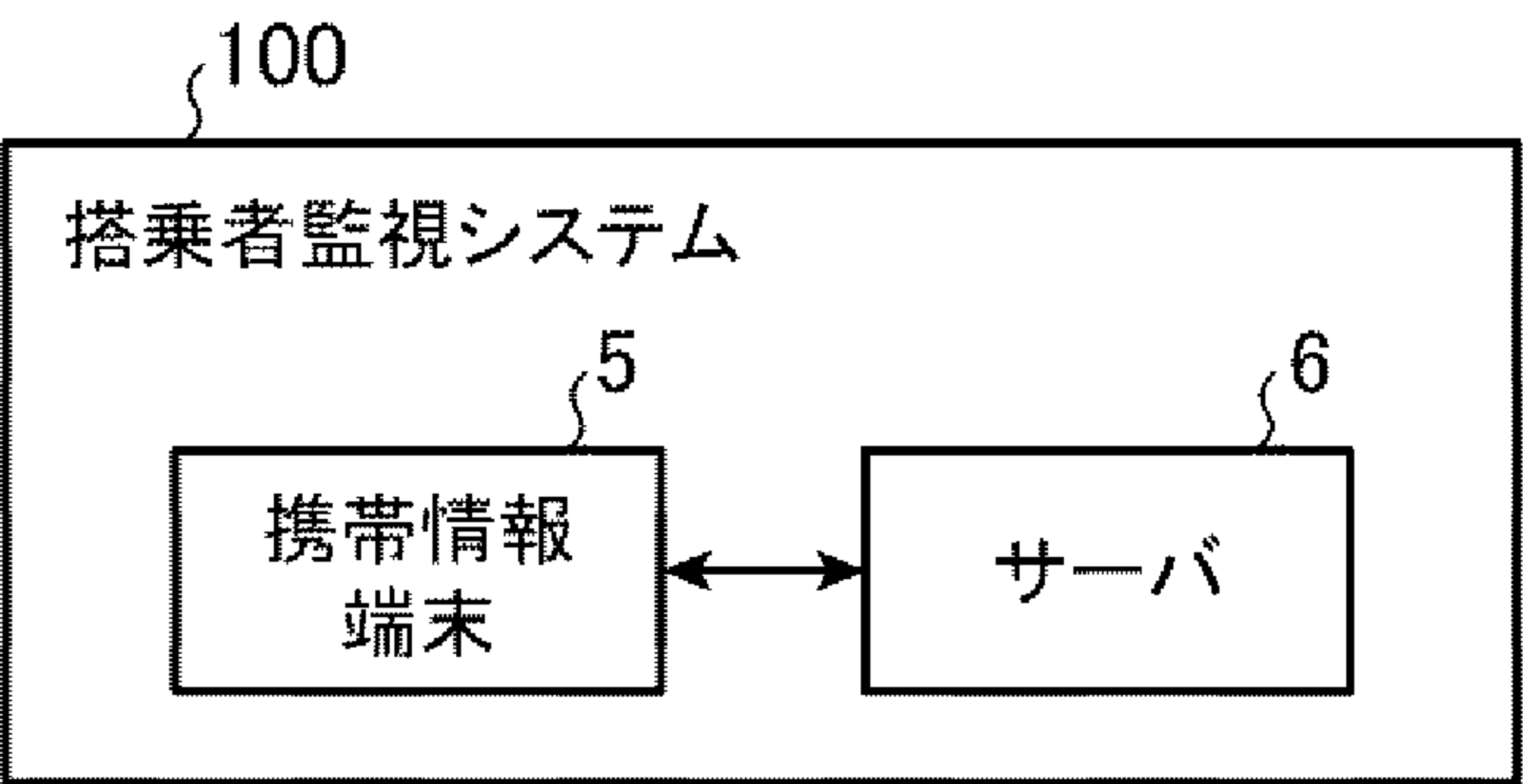
[図22]



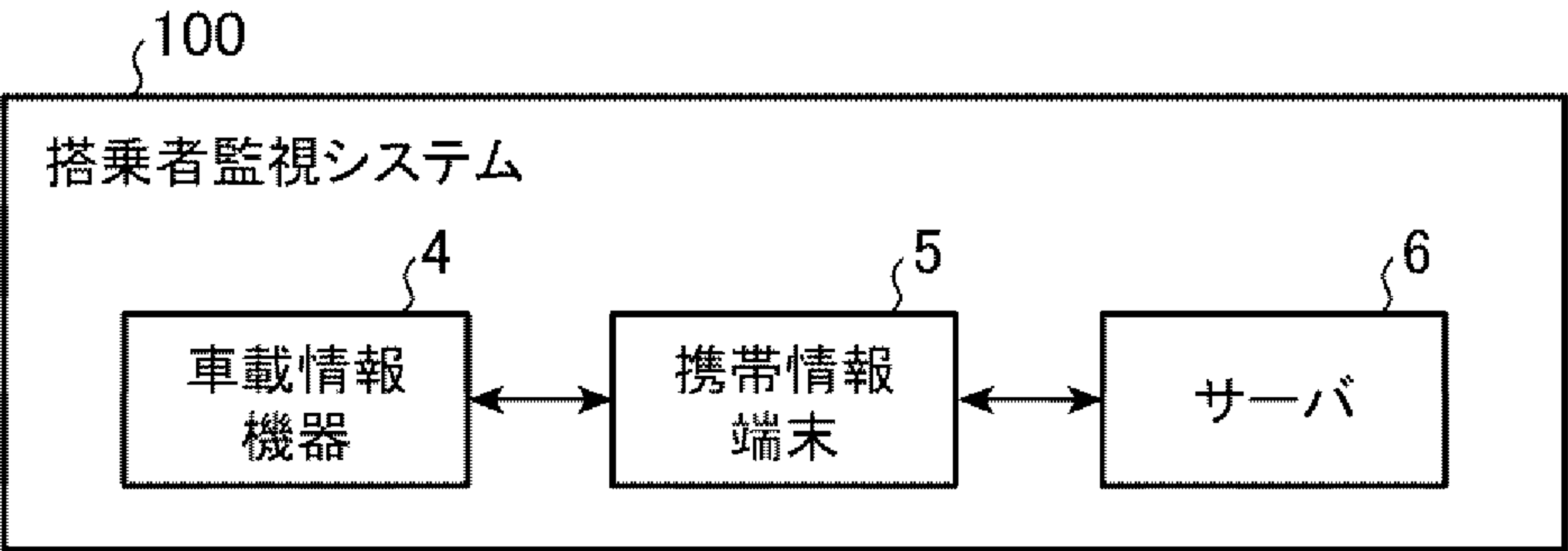
[図23]



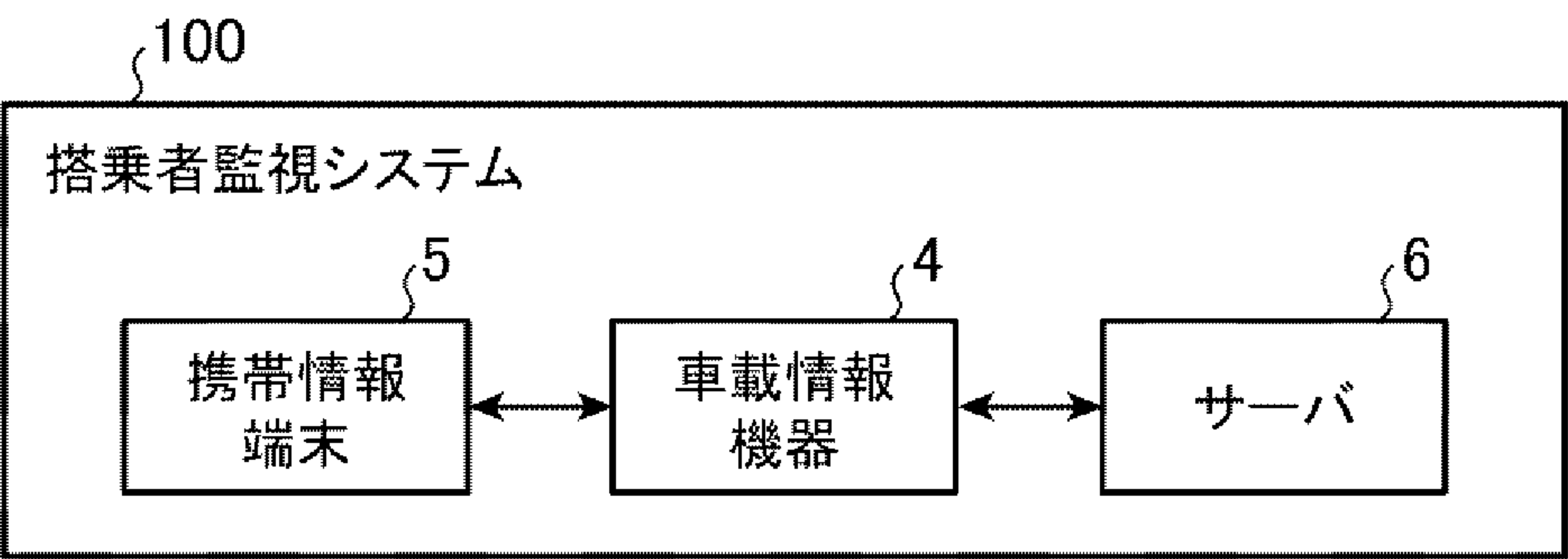
[図24]



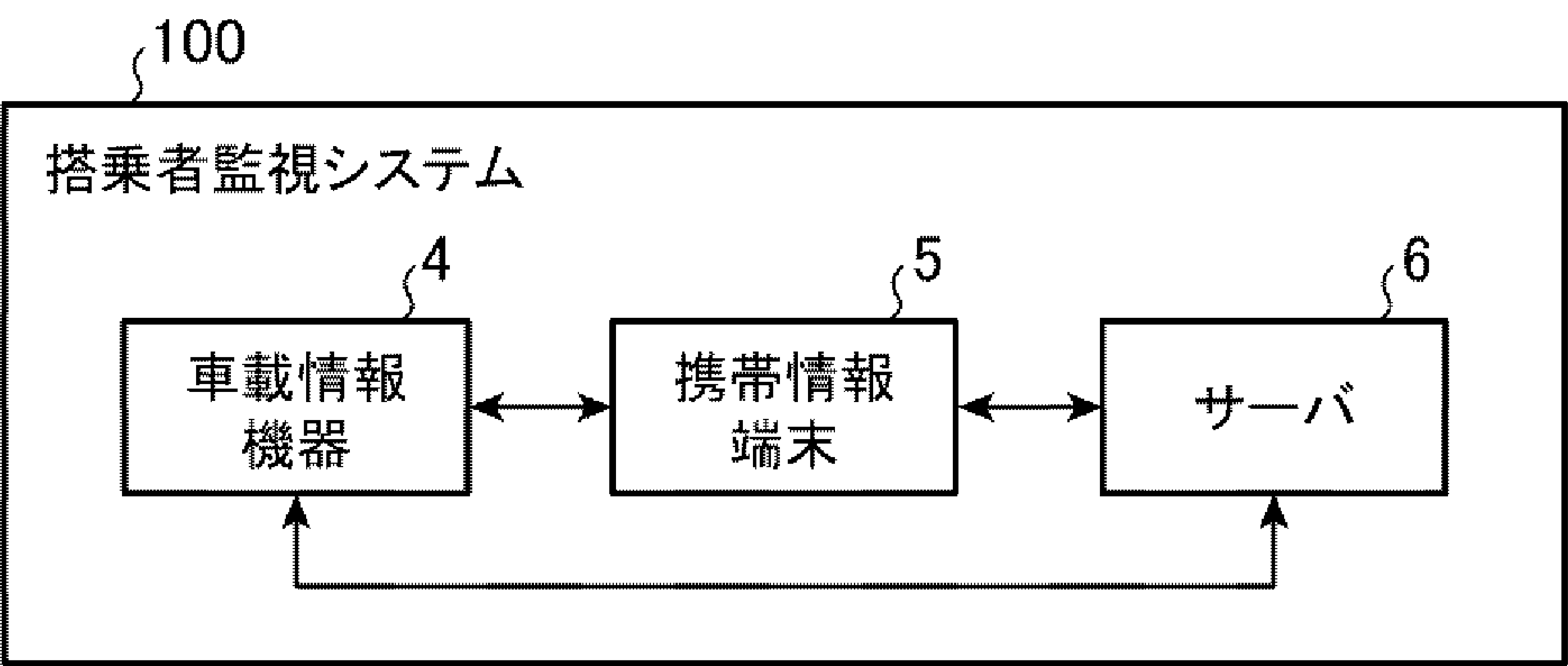
[図25]



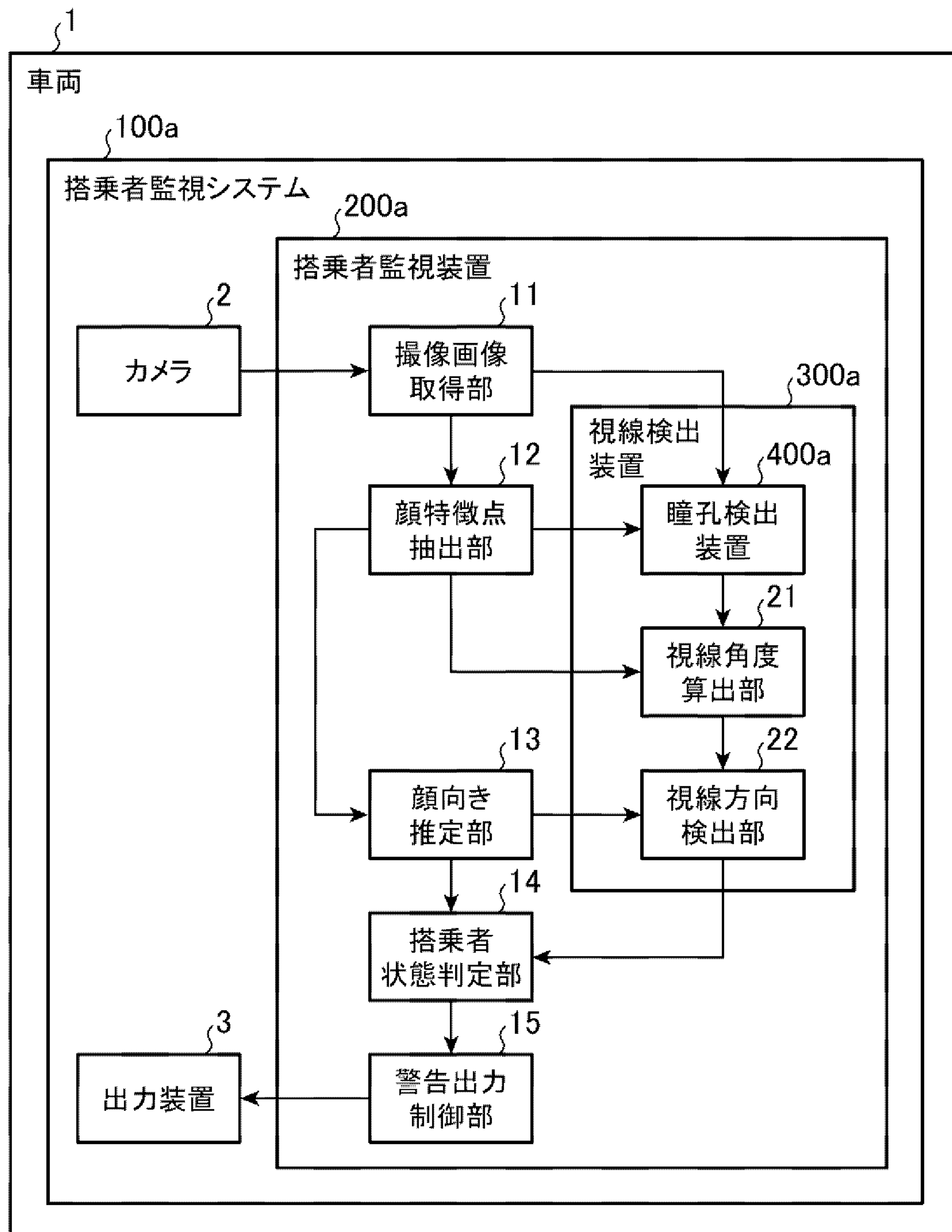
[図26]



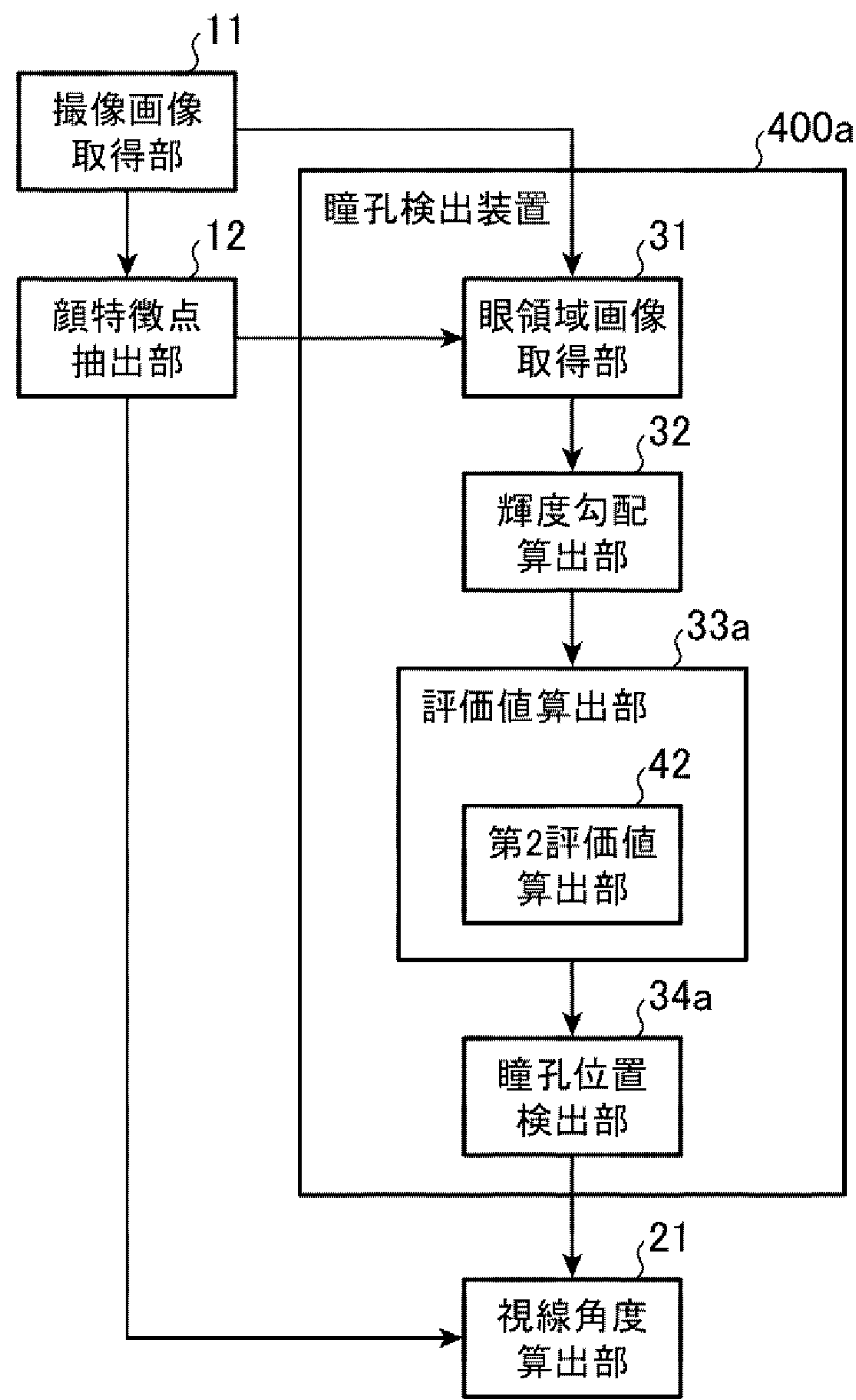
[図27]



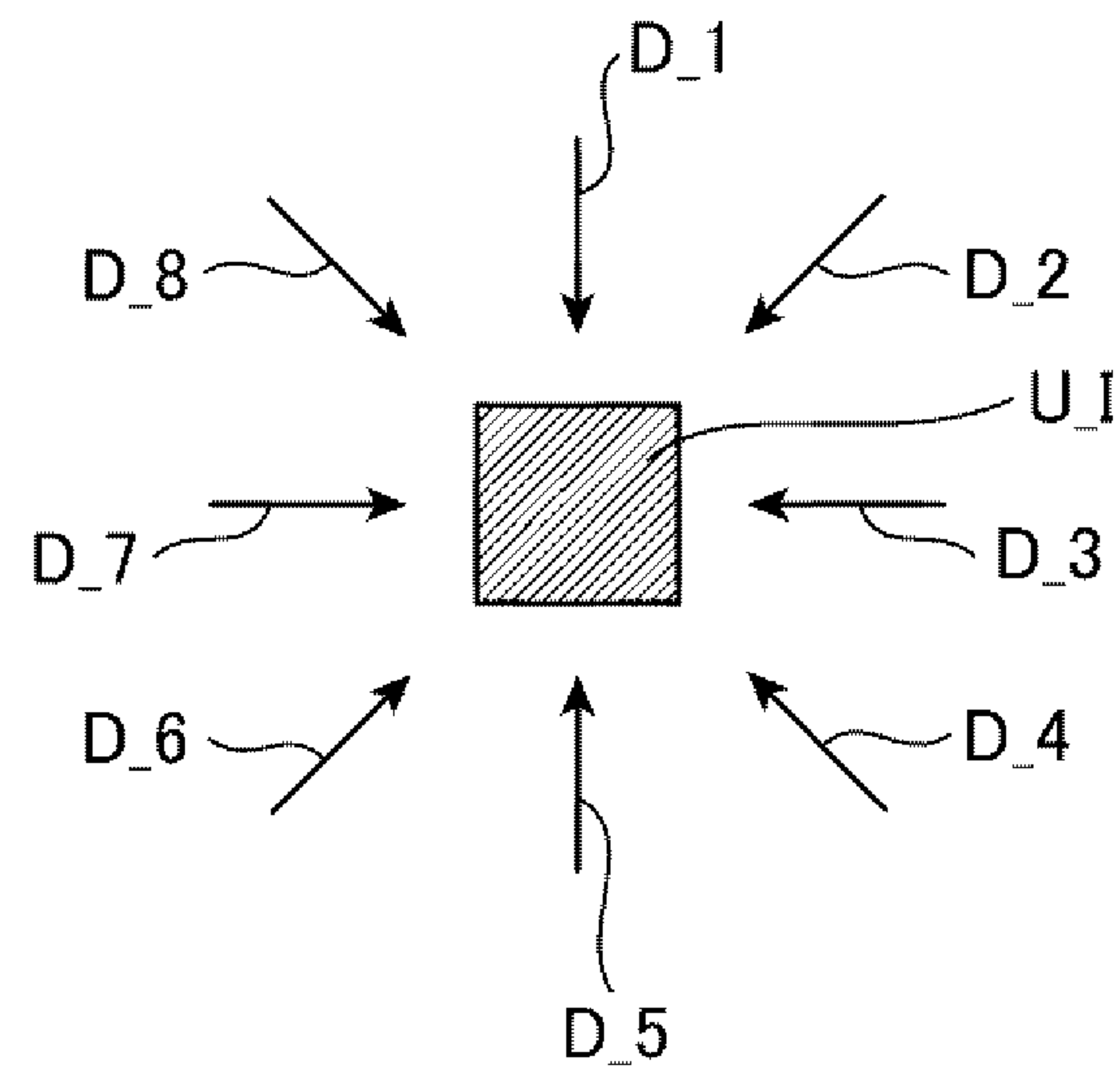
[図28]



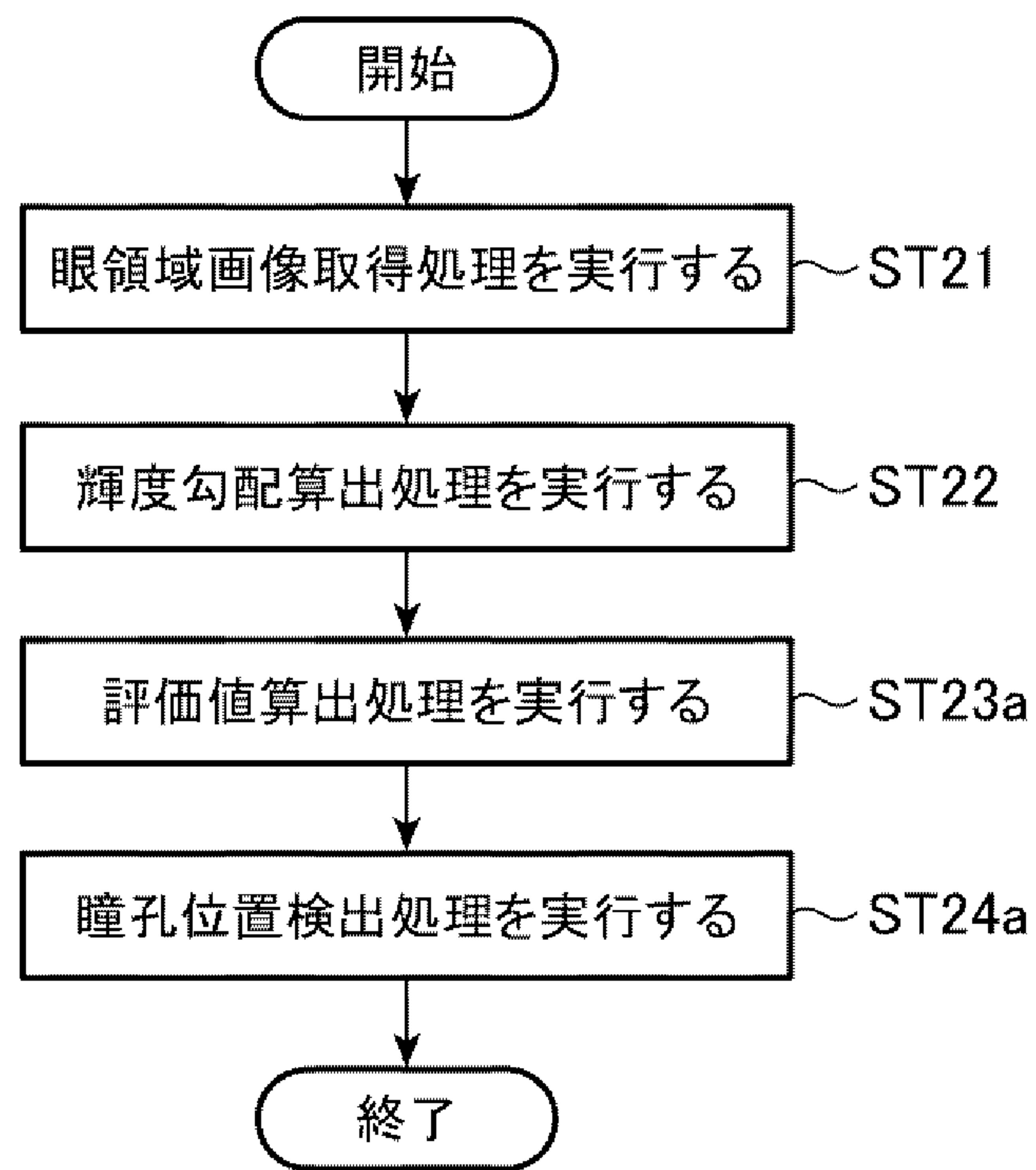
[図29]



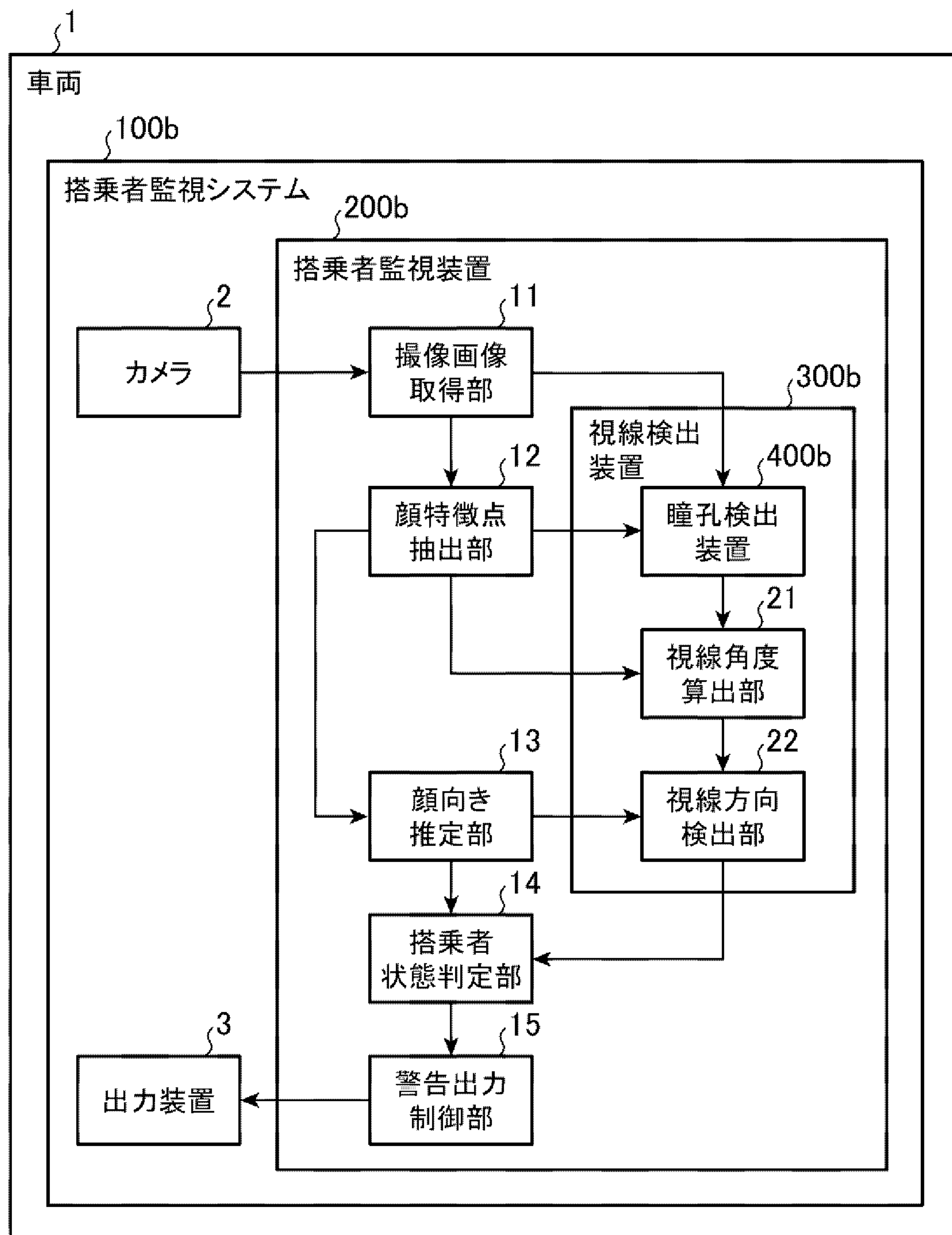
[図30]



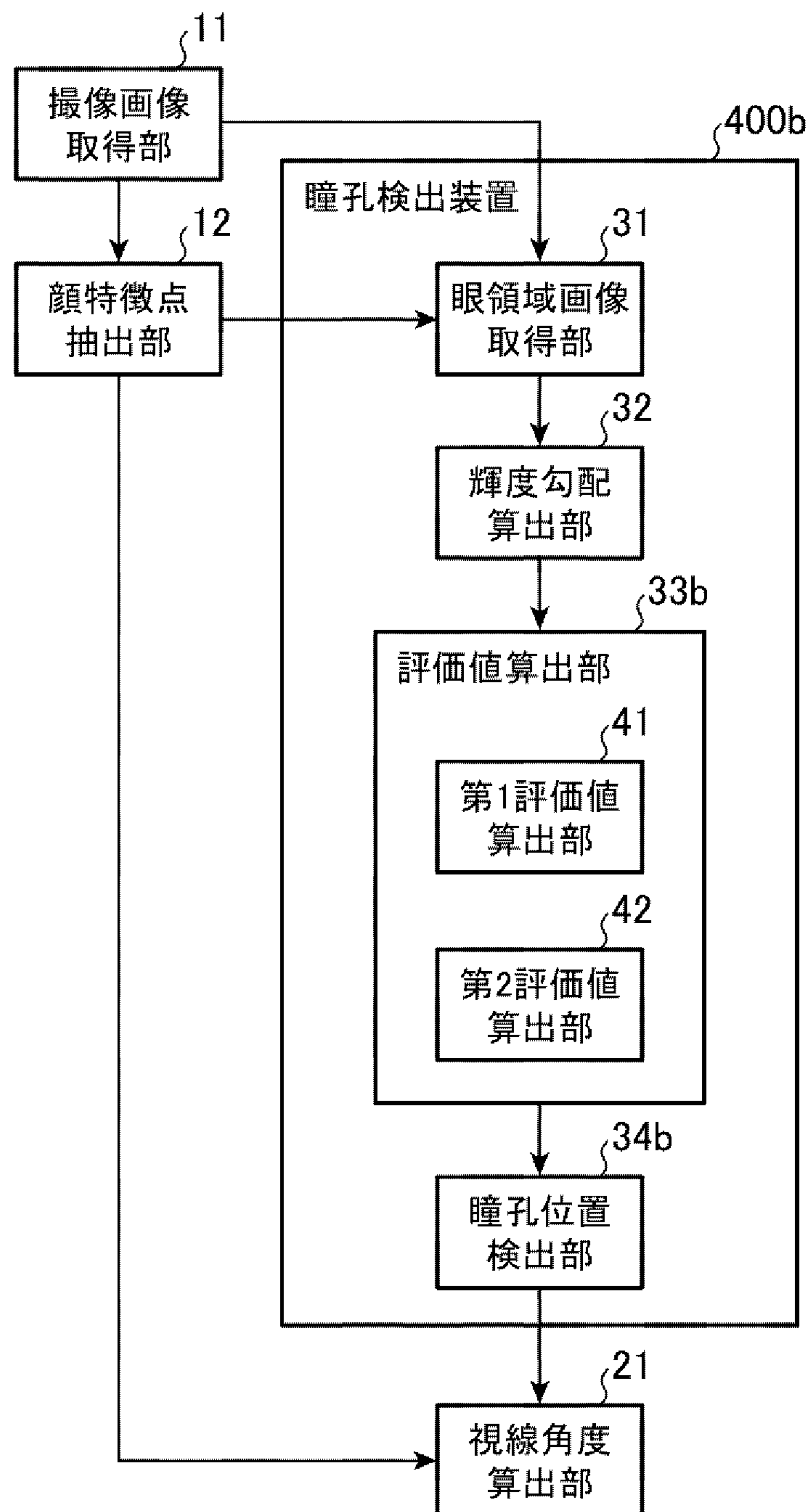
[図31]



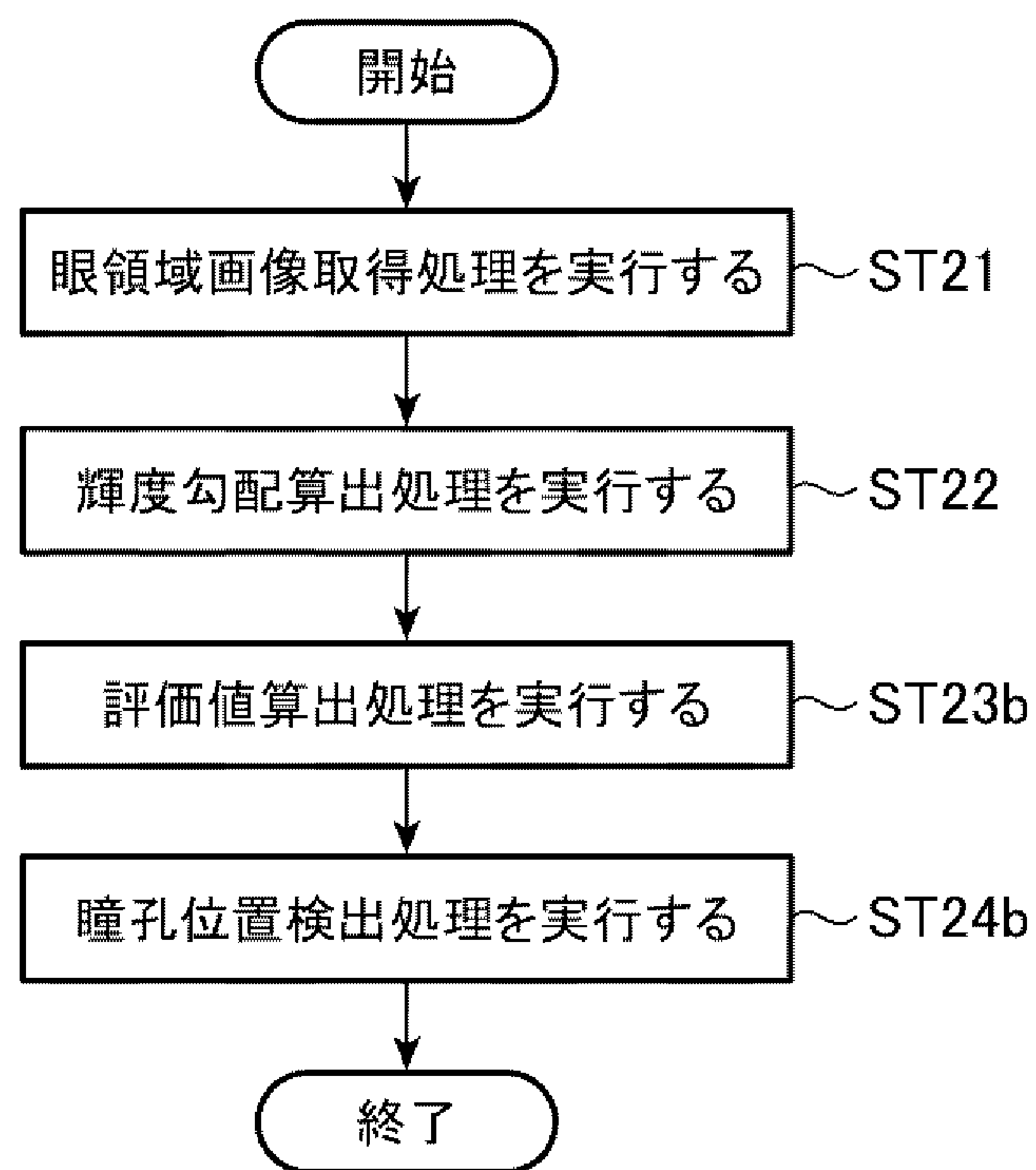
[図32]



[図33]



[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/000213

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. A61B3/113(2006.01) i
FI: A61B3/113
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)
Int. Cl. A61B3/113

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 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-56394 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 20 February 2002, paragraphs [0038], [0067], [0090], [0092], [0093]	1, 4-5, 11-12, 17, 20
Y		18-19
A		2-3, 6-10, 13-16
Y	JP 2012-24154 A (PANASONIC CORP.) 09 February 2012, paragraphs [0063]-[0065]	18
Y	WO 2010/035472 A1 (PANASONIC CORP.) 01 April 2010, paragraph [0094]	19
A	US 2010/0092049 A1 (SCHROEDER, John Howison) 15 April 2010, paragraph [0018]	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☒ See patent family annex.
---	--

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 17.03.2020	Date of mailing of the international search report 31.03.2020
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 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/JP2020/000213

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2002-56394 A	20.02.2002	US 2003/0118217 A1 paragraphs [0055], [0087]-[0089], [0114], [0115]-[0117] CN 1422596 A	
JP 2012-24154 A	09.02.2012	US 2012/0177266 A1 paragraphs [0096]- [0098] CN 102510734 A	
WO 2010/035472 A1	01.04.2010	US 2011/0249868 A1 paragraph [0106] CN 102149325 A	
US 2010/0092049 A1	15.04.2010	(Family: none)	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2020/000213
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） A61B 3/113(2006.01)i FI: A61B3/113		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） A61B3/113		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 2 0 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 2 0 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 2 0 年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2002-56394 A（松下電器産業株式会社）20.02.2002（2002 - 02 - 20） [0038], [0067], [0090], [0092], [0093]	1, 4-5, 11- 12, 17, 20 18-19 2-3, 6-10, 13-16
Y	JP 2012-24154 A（パナソニック株式会社）09.02.2012（2012 - 02 - 09） [0063]-[0065]	18
Y	WO 2010/035472 A1（パナソニック株式会社）01.04.2010（2010 - 04 - 01） [0094]	19
A	US 2010/0092049 A1（SCHROEDER, John howison）15.04.2010（2010 - 04 - 15） [0018]	1-20
☐ 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
国際調査を完了した日 17. 03. 2020		国際調査報告の発送日 31. 03. 2020
名称及びあて先 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		権限のある職員（特許庁審査官） 増渕 俊仁 2Q 4747 電話番号 03-3581-1101 内線 3292

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2002-56394	A	20.02.2002	US 2003/0118217 A1 [0055], [0087]-[0089], [0114], [0115]-[0117] CN 1422596 A	
JP	2012-24154	A	09.02.2012	US 2012/0177266 A1 [0096]-[0098] CN 102510734 A	
WO	2010/035472	A1	01.04.2010	US 2011/0249868 A1 [0106] CN 102149325 A	
US	2010/0092049	A1	15.04.2010	(ファミリーなし)	