

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6447918号  
(P6447918)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int. Cl. F I  
 GO 1 R 29/08 (2006.01) GO 1 R 29/08 Z  
 GO 1 R 31/12 (2006.01) GO 1 R 31/12 Z

請求項の数 2 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-76173 (P2015-76173)	(73) 特許権者	591155242
(22) 出願日	平成27年4月2日(2015.4.2)		鹿児島県
(65) 公開番号	特開2016-197029 (P2016-197029A)		鹿児島県鹿児島市鴨池新町10番1号
(43) 公開日	平成28年11月24日(2016.11.24)	(74) 代理人	100116296
審査請求日	平成29年3月24日(2017.3.24)		弁理士 堀田 幹生
		(72) 発明者	尾前 宏
			鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1
			鹿児島県工業技術センター内
		(72) 発明者	瀬戸口 正和
			鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1
			鹿児島県工業技術センター内
		(72) 発明者	市来 浩一
			鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1
			鹿児島県工業技術センター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

静電気放電に伴い発生する電磁波を、異なる場所に設置した複数の受信アンテナからなる受信アンテナ群で検出し、各受信アンテナに電磁波が到達する時間差と受信アンテナの設置位置の関係から、双曲線法によって、静電気放電発生源の3次元座標を算出する静電気放電発生源検知方法において、全ての静電気放電発生源特定用双曲線に対して、サンプリング時間間隔の値を加算して得られる第一の双曲線と、サンプリング時間間隔の値を減算して得られる第二の双曲線とを求め、第一の双曲線による交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって形成される領域を、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定する静電気放電発生源検知方法によって得られる静電気放電発生源推定領域を可視化する静電気放電発生源可視化方法であって、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間に校正された映像撮影機器を用いて、被試験体の様子を撮影し、記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電に伴い発生する電磁波を検出すると、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間を示す平面図や、前記映像撮影機器が撮影していた画像に対して、前記静電気放電発生源推定領域をマーキング表示して、静電気放電発生源推定領域を表示し、

前記映像撮影機器で撮影した画像を任意の時間分、無限ループ記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電を検出すると、検出した瞬間に撮影していた静止画像に静電気放電発生時基準番号を付与して、無限ループ記録した画像を静電気放電発生前後画像群として

保存し、保存した個々の静止画像に静電気放電発生源推定領域を示すマーキング表示を加えた後、静止画像を時系列に表示して、被試験体で静電気放電が発生する前後の被測定物の状況を表示し確認する静電気放電発生源可視化方法であり、

静電気放電に伴い発生する電磁波を、いずれかの受信アンテナで受信すると、デジタルオシロスコープのトリガが掛かる状態にして、静電気放電の発生を監視し、

デジタルオシロスコープを制御する制御用コンピュータの内部メモリを用いて映像撮影機器の無限ループ撮影を行いながら、デジタルオシロスコープで放電検出を示すフラグがたっていないかモニタリングし続け、デジタルオシロスコープで放電検出を示すフラグがたったことを検出したら、その瞬間に記録していた画像の管理番号を記録することにより、デジタルオシロスコープで放電を検知したタイミングと、映像撮影機器で静電気放電の発生した瞬間の画像のタイミングを合わせることを特徴とする静電気放電発生源可視化方法。

#### 【請求項 2】

静電気放電に伴い発生する電磁波を、異なる場所に設置した複数の受信アンテナからなる受信アンテナ群で検出し、各受信アンテナに電磁波が到達する時間差と受信アンテナの設置位置の関係から、双曲線法によって、静電気放電発生源の3次元座標を算出する静電気放電発生源検知方法において、全ての静電気放電発生源特定用双曲線に対して、サンプリング時間間隔の値を加算して得られる第一の双曲線と、サンプリング時間間隔の値を減算して得られる第二の双曲線とを求め、第一の双曲線による交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって形成される領域を、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定する静電気放電発生源検知方法によって得られる静電気放電発生源推定領域を可視化する静電気放電発生源可視化方法であって、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間に校正された映像撮影機器を用いて、被試験体の様子を撮影し、記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電に伴い発生する電磁波を検出すると、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間を示す平面図や、前記映像撮影機器が撮影していた画像に対して、前記静電気放電発生源推定領域をマーキング表示して、静電気放電発生源推定領域を表示し、

前記映像撮影機器で撮影した画像を任意の時間分、無限ループ記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電を検出すると、検出した瞬間に撮影していた静止画像に静電気放電発生時基準番号を付与して、無限ループ記録した画像を静電気放電発生前後画像群として保存し、保存した個々の静止画像に静電気放電発生源推定領域を示すマーキング表示を加えた後、静止画像を時系列に表示して、被試験体で静電気放電が発生する前後の被測定物の状況を表示し確認する静電気放電発生源可視化方法であり、

静電気放電に伴い発生する電磁波を、いずれかの受信アンテナで受信すると、デジタルオシロスコープのトリガが掛かる状態にして、静電気放電の発生を監視し、

デジタルオシロスコープのトリガ出力端子と、映像撮影機器のトリガ入力端子を接続し、映像撮影機器の内部メモリを用いて無限ループ撮影を行い、デジタルオシロスコープで放電を検出した際のトリガ信号を、映像撮影機器のトリガ入力端子を介して伝達することにより、デジタルオシロスコープで放電を検知したタイミングと、映像撮影機器で静電気放電の発生した瞬間の画像のタイミングを合わせることを特徴とする静電気放電発生源可視化方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、被測定物において静電気放電が発生した場合に、静電気放電発生源の位置を双曲線法によって算出し、サンプリングによる誤差範囲を含めて静電気放電発生源を検出する静電気放電発生源検知方法と、その位置を表示して可視化する静電気放電発生源可視化方法に関する。

#### 【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 2 】

従来の静電気放電発生箇所可視化方法及び可視化装置の一例として、被測定物において静電気放電が発生する状況をビデオ画像上で分かりやすく可視化する手段が、特許文献 1 に記載されている。

## 【 0 0 0 3 】

特許文献 1 に記載の方法は、「静電気放電に伴う電磁波を受信するための 4 本以上のアンテナと、被測定物の様子を動画像で撮影するためのビデオカメラと、ビデオカメラの撮影範囲を調べるための方位・仰角基準板を取り付けた支持体を被測定物の近傍に設置し、被測定物で発生した静電気放電に伴う電磁波が各アンテナへ到達する時間の差から、双曲線法によって、被測定物において静電気放電が発生した位置を算出し、被測定物のビデオ画像上に、静電気放電源の位置を示すマ - キング表示や、静電気放電が発生するまでの残り時間表示や、静電気放電源の位置を数値で示す表示等を重ね表示することで、被測定物において静電気放電が発生する様子をビデオ画像で可視化する。」とするものである。

## 【 0 0 0 4 】

この方法によると、被測定物で発生した静電気放電に伴う電磁波が各受信アンテナへ到達する時間の差から、双曲線法によって、被測定物において静電気放電が発生した位置を算出することで、理論的には、被測定物における静電気放電の発生座標を、非常に正確に算出することが可能である。

## 【 0 0 0 5 】

また、被測定物のビデオ画像上に、静電気放電発生源の位置を示すマ - キング表示や、静電気放電が発生するまでの残り時間表示や、静電気放電発生源の位置を数値で示す表示等を重ね表示することで、被測定物において静電気放電が発生する様子をビデオ画像で、分かりやすく確認することができる。

## 【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特許第 5 3 7 4 6 8 7 号公報

## 【 0 0 0 7 】

特許文献 1 に記載の方法は、静電気放電に伴い発生する電磁波を検出するために用いる計測装置において、各アンテナ間での電磁波到達時間差を理論どおり、正確に算出できることを前提としているが、実際に実用化されている計測機器では、サンプリング速度が有限であるため、各アンテナ間での電磁波到達時間差を算出する際に誤差が生じ、これに伴って双曲線法で算出した放電位置にも誤差が生じてしまう。

## 【 0 0 0 8 】

しかし、特許文献 1 では、サンプリング速度の制限に伴い算出誤差が生じることや、算出誤差への対処方法などについては一切言及されていない。

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 9 】

このように、静電気放電発生源を検知するにあたって、静電気放電発生源から発せられる電磁波の電圧波形を検知しているが、その際に、所定のサンプリング速度のもとで検知がなされるため、サンプリングによる誤差範囲が生じる。そのため、計測器のサンプリング性能に応じて、サンプリングによる誤差範囲を含めて静電気放電発生源を特定することができれば、実用上極めて有効である。

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、このような事情を考慮してなされたもので、静電気放電発生源検知を行う際に用いる計測器のサンプリング性能に応じて、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定することが可能な静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 1 】

10

20

30

40

50

以上の課題を解決するために、本発明の静電気放電発生源検知方法は、静電気放電に伴い発生する電磁波を、異なる場所に設置した複数の受信アンテナからなる受信アンテナ群で検出し、各受信アンテナに電磁波が到達する時間差と受信アンテナの設置位置の関係から、双曲線法によって、静電気放電発生源の3次元座標を算出する静電気放電発生源検知方法において、全ての静電気放電発生源特定用双曲線に対して、サンプリング時間間隔の値を加算して得られる第一の双曲線と、サンプリング時間間隔の値を減算して得られる第二の双曲線とを求め、第一の双曲線による交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって形成される領域を、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定することを特徴とする。

10

**【0012】**

双曲線法を用いて静電気放電発生源の位置を算出する際、サンプリング時間間隔によって生じる静電気放電発生源の算出誤差領域を算出することにより、計測器のサンプリング性能に応じて、真の静電気放電発生源が存在する領域を特定することが可能となる。

ここで、静電気放電発生源特定用双曲線とは、2次元空間や3次元空間における静電気放電発生源を特定するために用いた双曲線を示す。

**【0013】**

本発明の静電気放電発生源可視化方法は、本発明の静電気放電発生源検知方法によって得られる静電気放電発生源推定領域を可視化する静電気放電発生源可視化方法であって、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間に校正された映像撮影機器を用いて、被試験体の様子を撮影し、記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電に伴い発生する電磁波を検出すると、前記受信アンテナ群で構成される3次元空間を示す平面図や、前記映像撮影機器が撮影していた画像に対して、前記静電気放電発生源推定領域をマーキング表示して、静電気放電発生源推定領域を表示することを特徴とする。

20

**【0014】**

受信アンテナ群で構成される3次元空間において、誤差領域を特定する交点の位置を、XY平面図、XZ平面図、YZ平面図として表示することにより、真の放電発生源が存在する領域を可視化することが可能となる。

また、被試験体のどの領域で放電が発生したかを、放電発生直後に画像上で確認することができる。

30

ここで、受信アンテナ群で構成される3次元空間に校正された映像撮影機器とは、撮影される画角や、撮影された画像における個々の画素が対応する角度、受信アンテナ群で構成される3次元空間における、ビデオカメラの撮影基準点の設置座標や撮影角度を予め明確にした映像撮影機器のことを意味する。

**【0015】**

本発明の静電気放電発生源可視化方法においては、前記映像撮影機器で撮影した画像を任意の時間分、無限ループ記録し続け、前記受信アンテナ群が静電気放電を検出すると、検出した瞬間に撮影していた静止画像に静電気放電発生時基準番号を付与して、無限ループ記録した画像を静電気放電発生前後画像群として保存し、保存した個々の静止画像に静電気放電発生源推定領域を示すマーキング表示を加えた後、静止画像を時系列に表示して、被試験体で静電気放電が発生する前後の被測定物の状況を表示し確認する構成とすることができる。

40

**【0016】**

これにより、被試験体において静電気放電が生じる領域と、静電気放電が発生する瞬間が分かるため、被試験体で静電気放電が生じる状況を容易に確認することが可能となる。

**【発明の効果】****【0017】**

本発明によると、静電気放電発生源検知を行う際に用いる計測器のサンプリング性能に応じて、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定することができる。

50

**【図面の簡単な説明】****【0018】**

【図1】本発明の第一実施形態に係る静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法を実現する装置の構成を示す図である。

【図2】3次元空間における方位と仰角を示す図である。

【図3】静電気放電発生源からの電磁波の電圧波形と電磁波到達基準点を示す図である。

【図4】双曲線法による静電気放電発生源を特定する方法の説明図である。

【図5】静電気放電発生源の位置の特定を3次元空間に適用した説明図である。

【図6】サンプリングによる到達時間差の誤差を示す図である。

【図7】サンプリングによる誤差範囲を含んで、正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定する方法を説明する図である。 10

【図8】誤差範囲の算出例と表示例を示す図である。

【図9】サンプリングレートの相違による、静電気放電発生源推定領域の表示の一例を示す図である。

【図10】異なる到達時間差の場合の、静電気放電発生源推定領域の表示の一例を示す図である。

**【発明を実施するための形態】****【0019】**

以下に、本発明の静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法を、その実施形態に基づいて説明する。 20

図1に、本発明の第一実施形態に係る静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法を実現する装置の構成を示す。

**【0020】**

図1に示すように、静電気放電発生源bを特定したい被測定物aの近くの任意の場所に、受信アンテナ2a、2b、2c、2dが配置されており、ビデオカメラ4、方位・仰角基準板5を取り付けた支持体1が設置されている。

**【0021】**

受信アンテナ2a、2b、2c、2dは、それぞれ同軸ケーブル3a、3b、3c、3dを介して、デジタルオシロスコープ6の入力端子であるch1、ch2、ch3、ch4にそれぞれ接続されている。デジタルオシロスコープ6は、制御用コンピュータ9とデジタルインターフェースケーブル9aによって接続されており、制御用コンピュータ9は、デジタルオシロスコープ6を制御する。 30

**【0022】**

ビデオカメラ4は、デジタルインターフェースケーブル9bによって制御用コンピュータ9と接続され、制御用コンピュータ9によって制御される。

**【0023】**

支持体1において、受信アンテナ2aを取り付けた位置を可視化装置の測定基準点cとし、受信アンテナ2aに対して、それぞれ方位角が90度異なる任意の場所に受信アンテナ2b、2c、2dを取り付ける。図1の場合、測定基準点cに対して、受信アンテナ2bを通過する軸線をY軸、受信アンテナ2cを通過する軸線をX軸、受信アンテナ2dを通過する軸線をZ軸とする。なお、XYZの各軸をどの受信アンテナの向きにするかは特に限定されない。 40

**【0024】**

すなわち、図1に示す場合には、受信アンテナ2aが基準点受信アンテナであり、この基準点受信アンテナと、基準点受信アンテナ以外の3つまたはそれ以上の受信アンテナによって受信アンテナ群が形成されている。基準点受信アンテナと他の2つの受信アンテナとで一つの平面を形成し、その他の受信アンテナは、この平面上はない位置に配置されている。

**【0025】**

図1において、受信アンテナ2a、2b、2c、2dによって受信された信号は、高周 50

波伝達経路である同軸ケーブル3 a、3 b、3 c、3 dを介して、4チャンネル入力のデジタルオシロスコープ6の入力チャンネルch 1、ch 2、ch 3、ch 4に、それぞれ入力される。

【0026】

個々の受信アンテナ2 a、2 b、2 c、2 dからデジタルオシロスコープ6までの電気信号到達時間差を予め調べておき、電磁波到達時間差を算出する際には、電気信号伝達時間差が0になるよう補正する。

【0027】

デジタルオシロスコープ6は、制御用コンピュータ9とデジタルインターフェースケーブル9 aで接続され、制御用コンピュータ9でデジタルオシロスコープ6の初期化と測定条件の設定を行う。なお、制御用コンピュータ9とデジタルオシロスコープ6とを接続する際の通信インターフェース方式は、GP-IB、RS-232C、LAN、USB等、デジタルオシロスコープ6の制御やデータの受け渡しができるものであれば方式を問わない。制御用コンピュータ9の画面には、静電気放電発生源推定領域Rが表示される。この表示に至るプロセスは、後に詳述する。

【0028】

図2に、3次元空間における方位と仰角を示す。

図2に示すように、3次元空間において、測定基準点cの存在するXY平面での測定基準点cからの向きを方位とし、測定基準点cの存在するXY平面に対する垂直方向の傾きの度合いを仰角とする。本実施形態の場合、+Y軸の向きを方位0度とし、+X軸側(右側)に右回転するに従って方位が増加することとし、仰角については、測定基準点cの存在するXY平面に向いている時を仰角0度とし、+Z軸の向きの時の仰角を+90度、-Z軸の向きの時の仰角を-90度とする。

【0029】

静電気放電に伴い発生する電磁波を、受信アンテナ2 a、2 b、2 c、2 dのいずれかで受信すると、デジタルオシロスコープ6のトリガが掛かる状態にして、静電気放電の発生を監視する。デジタルオシロスコープ6のトリガ機能には、ある一定電位を超える入力があった場合にトリガの掛かるエッジトリガや、入力信号のパルス幅がある一定時間内であるときにトリガが掛かるパルス幅トリガや、それらを複数の入力チャンネルで組み合わせたパタ-ントリガなどがあり、どのようなトリガ条件にするかは、測定現場の状況に応じて調整して選択する。

【0030】

静電気放電に伴い発生する電磁波を受信して、デジタルオシロスコープ6のトリガが掛かると、受信アンテナ2 a、2 b、2 c、2 dで受信した、静電気放電に伴い発生する電磁波の電圧的变化が、デジタルオシロスコープ6のチャンネルch 1、ch 2、ch 3、ch 4のデジタルデータとして記録される。

【0031】

デジタルオシロスコープ6において記録されるデジタルデータとは、デジタルオシロスコープ6において、その各チャンネルに入力された電圧の時間的变化を離散的に高速AD(アナログ値からデジタル値へ)変換して得られた電圧値を、設定したポイントの数だけ時系列に記録したデータ群のことである。

【0032】

デジタルオシロスコープ6のトリガが掛かると、そのことを制御用コンピュータ9で検知し、静電気放電の発生時刻として記録する。そして、デジタルオシロスコープ6で記録された4チャンネル分のデジタルデータを制御用コンピュータ9で読み込み、各チャンネルにおける電磁波到達基準点を見つけ出す。

【0033】

図3に、静電気放電に伴い発生する電磁波を、受信アンテナ2 a、2 b、2 c、2 dを接続したデジタルオシロスコープ6で検出した電圧波形のイメージと電磁波到達基準点を示す。

10

20

30

40

50

電磁波到達基準点とは、静電気放電に伴い発生する電磁波が各受信アンテナ 2 a、2 b、2 c、2 d に到達した時刻を比較するための基準点のことである。デジタルオシロスコープ 6 に記録された静電気放電に伴う電磁波の波形データの中で、静電気放電に伴い発生する電磁波によって発生した最初の電圧パルスのピークを示す測定ポイントを、電磁波到達基準点 P (2 a)、P (2 b)、P (2 c)、P (2 d) とする。

【0034】

測定ポイントとは、デジタルオシロスコープ 6 において時系列に記録されたデジタルデータの中の何番目のデータであるかを示すものである。

【0035】

その電圧パルスのピーク部分がデジタルオシロスコープ 6 の表示範囲を超えている場合には、超えている区間の中間の測定ポイントを電磁波到達基準点とする。図 3 における P (2 c) がその例である。

【0036】

そして、ある任意の 2 つの受信アンテナ間において、電磁波到達基準点を示す測定ポイントの差分に、計測時のデジタルオシロスコープ 6 のサンプリングレートの逆数を掛けると、その 2 つの受信アンテナ間での、静電気放電に伴い発生する電磁波の到達時間差  $t(ba)$ 、 $t(ca)$ 、 $t(da)$  が算出される。

【0037】

サンプリングレートとは、デジタルオシロスコープ 6 において電圧等の時間的変化を離散的に測定する際の、1 秒間に測定する回数のことである。

【0038】

サンプリング時間間隔とは、サンプリングレートの逆数のことで、デジタルオシロスコープ 6 において電圧等の時間的変化を離散的に測定する際の時間間隔を意味する。

【0039】

双曲線法とは、静電気放電に伴い発生する電磁波を、設置場所の異なる 3 台以上の受信アンテナで受信し、各受信アンテナに電磁波が到達する時間差と受信アンテナの設置位置の関係から、組み合わせの異なる任意の 2 本の受信アンテナ間における双曲線をそれぞれ算出し、それらの双曲線の交点を求めることで、静電気放電の発生源の位置を特定する手法である。

【0040】

2 次元空間における放電源の座標を双曲線法で算出する場合、3 台以上の受信アンテナを使用し、3 次元空間における放電源の座標を双曲線法で算出する場合、3 台の受信アンテナに加えて、それらのアンテナ群で構成される平面とは異なる位置に最低限、1 台の受信アンテナを設置する必要がある。

【0041】

図 4 に基づいて、双曲線法による静電気放電発生源を特定する方法を説明する。

図 4 (a) に示すように、静電気放電発生源 b と、受信アンテナ 2 a、2 b、2 c とが全て同じ 2 次元空間に存在する場合、静電気放電発生源 b で発生した静電気放電に伴う電磁波を、受信アンテナ 2 a、2 b、2 c が受信すると、図 4 (b) に示すように、静電気放電発生源 b と受信アンテナ 2 a、2 b の設置場所との距離の差に応じて、受信アンテナ 2 a と受信アンテナ 2 b との到達時間差  $t(ba)$  が生じる。同様に、静電気放電発生源 b と受信アンテナ 2 a、2 c の設置場所との距離の差に応じて、受信アンテナ 2 a と受信アンテナ 2 c との到達時間差  $t(ca)$  が生じる。

【0042】

受信アンテナ 2 a、2 b に対して到達時間差が  $t(ba)$  となる点を結んだ線が、アンテナ 2 a、2 b に対する双曲線  $L(ba)$  となるが、一つの双曲線だけでは、双曲線  $L(ba)$  上のどの点が放電の発生源であるかは特定できない。そこで、もう一つの受信アンテナ 2 c を用意し、アンテナ 2 a、2 b、2 c で、電磁波を受信することによって、双曲線  $L(ba)$  と双曲線  $L(ca)$  を求め、2 つの双曲線の交点を、静電気放電発生源 b の位置として特定することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 3 】

図 4 ( c ) は、サンプリング速度が遅くなることによって、受信波形を正確に検出できない状況を説明しており、図中に白丸で示すものがサンプリングポイントである。各受信アンテナによって受信される電圧波形は、サンプリングによって離散的に検知されるため、真の時間差  $t_0$  と、サンプリングによって得られる実際に検知される時間差  $t$  とは異なっている。

## 【 0 0 4 4 】

上述した静電気放電発生源  $b$  の位置の特定を、3次元空間に適用したものを、図 5 に示す。図 5 ( a ) に示すように、静電気放電発生源  $b$  が 3次元空間に存在する場合、Z軸上に更に受信アンテナ 2 d を追加して、受信アンテナ 2 a と 2 d で得られる双曲線  $L ( d a )$  を求める。双曲線  $L ( d a )$  を、図 5 ( b ) に示すように、Z軸線を軸として 360度回転させた曲面を算出する。同様に、図 5 ( c ) に示すように、受信アンテナ 2 a と受信アンテナ 2 b による双曲線  $L ( b a )$  を、Y軸線を軸として 360度回転させた曲面を算出し、受信アンテナ 2 a と受信アンテナ 2 c による双曲線  $L ( c a )$  を、X軸線を軸として 360度回転させた曲面を算出する。

なお、双曲線  $L ( b a )$ 、双曲線  $L ( c a )$ 、双曲線  $L ( d a )$  のそれぞれを回転して得られる曲面は、それぞれの双曲線による双曲線群で形成されるものであるため、ここでは、このような双曲線群も包括的に双曲線と称する。

## 【 0 0 4 5 】

図 5 ( d ) は、上記の方法で得られた双曲線の交差についての X Y 断面を示しており、これらの 3つの曲面が一つに交わる点を求めることによって、受信アンテナ 2 a、2 b、2 c、2 d の配置を基準とした 3次元空間における静電気放電発生源  $b$  の座標を算出することができる。

## 【 0 0 4 6 】

支持体 1 に取り付ける受信アンテナの数を 4 本より、さらに増やし、既存の受信アンテナ 2 a、2 b、2 c、2 d とは異なる場所に取り付け、算出する双曲線の数を増やすことで、測定誤差が軽減され、静電気放電発生源の算出精度を向上させることもできる。

## 【 0 0 4 7 】

図 6 は、サンプリングによる到達時間差の誤差を示す。

双曲線法に用いる、2つの受信アンテナ間での電磁波の到達時間差を求める場合、比較する 2つの受信アンテナの受信波形データの最初の電圧パルスのピークの検出時間差を正確に算出する必要がある。しかし、実際には、電磁波を検出するために用いる計測器のサンプリングレートにより、真のパルスピークを検出できない場合が多い。この場合、パルスピークの直前か直後のサンプリングポイントのうち、どちらか、よりピーク値に近い値のサンプリングポイントがサンプリング上のピークポイントとなる。

## 【 0 0 4 8 】

図 6 における丸印はサンプリングポイントを示しており、黒丸は電圧パルスのピーク値として検知されるピークポイントである。従って、2つの黒丸による時間間隔が、検知される到達時間差となる。この場合、真のパルスピークとサンプリング上のパルスピークとの時間差は、サンプリング時間間隔の半分の値以内となる。

## 【 0 0 4 9 】

図 6 ( a ) は、2つのチャンネルにおける真の受信波形パルスピークの位置が、いずれもサンプリング上のピークポイントの外側である場合を示している。この場合には、サンプリングにより検知される電磁波到達時間差は、真の電磁波到達時間差よりも短く測定される。そのため、真の電磁波到達時間差は、サンプリング上の電磁波到達時間差より、最長、サンプリング時間間隔の時間分、長い値となる。

## 【 0 0 5 0 】

従ってこの場合には、サンプリングにより検知される到達時間差  $t$  に対して、その前後に、サンプリング時間間隔の半分の時間を加算した時間間隔  $t_{max}$  内に、真のピーク値が存在していることになる。従って、サンプリングにより検知される到達時間差に、サン

10

20

30

40

50

プリング時間間隔の値を加算すると、その時間間隔内に必ず真のピークが存在する。

【0051】

逆に、図6(b)は、2つのチャンネルにおける真の受信波形パルスピークの位置が、いずれもサンプリング上のピークポイントの内側である場合を示している。この場合には、サンプリングにより検知される電磁波到達時間差は、真の電磁波到達時間差よりも長く測定される。そのため、真の電磁波到達時間差は、サンプリング上の電磁波到達時間差より、最短で、サンプリング時間間隔の時間分、短い値となる。

【0052】

従ってこの場合には、サンプリングにより検知される到達時間差  $t$  に対して、その前後に、サンプリング間隔の半分の時間を減算した時間間隔  $t_{min}$  内に、真のピーク値が存在していることになる。従って、サンプリングにより検知される到達時間差に、サンプリング時間間隔の値を減算すると、その時間間隔内に必ず真のピークが存在する。

【0053】

以上のことから、真の到達時間差は、有限のサンプリング速度を有する計測器を用いて得られる、「サンプリング上の電磁波到達時間差 - サンプリング時間間隔」から、「サンプリング上の電磁波到達時間差 + サンプリング時間間隔」の間に必ず存在する。本発明は、このことに基づいて、双曲線法により、到達時間差に対応する双曲線を用いて、静電気放電発生源を正確に検知するものであり、以下に、その方法について説明する。

【0054】

図7に基づいて、サンプリングによる誤差範囲を含んで、正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定する方法を説明する。

図7(a)は、真の静電気放電発生源  $b_0$  を示しており、真の静電気放電発生源  $b_0$  は、双曲線  $L_0(b_a)$  と双曲線  $L_0(c_a)$  の交点として、理論上求められるものである。

【0055】

図7(b)は、所定のサンプリング速度のもとで実際に検知される静電気放電発生源  $b$  と、静電気放電発生源特定用双曲線  $L(b_a)$ 、 $L(c_a)$  を示しており、静電気放電発生源  $b$  は、双曲線  $L(b_a)$  と双曲線  $L(c_a)$  の交点として求められる。

【0056】

図7(c)は、静電気放電発生源特定用双曲線  $L(b_a)$ 、 $L(c_a)$  に対して、サンプリング時間間隔の値を加算して得られる第一の双曲線と、静電気放電発生源特定用双曲線  $L(b_a)$ 、 $L(c_a)$  に対して、サンプリング時間間隔の値を減算して得られる第二の双曲線を示している。

受信アンテナ 2a と受信アンテナ 2b との時間差によって得られる第一の双曲線  $L(b_{a+1})$  と第二の双曲線  $L(b_{a-1})$ 、受信アンテナ 2a と受信アンテナ 2c との時間差によって得られる第一の双曲線  $L(c_{a+1})$  と第二の双曲線  $L(c_{a-1})$  を求める。

【0057】

図7(d)は、上述した4つの双曲線が交差することによって得られる4つの交点  $Q$  を示しており、第一の双曲線による交点が1つ、第二の双曲線による交点が1つ、第一の双曲線と第二の双曲線との交点が2つ形成される。これにより、第一の双曲線による交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって形成される領域  $R$  が、平面上に得られる。この領域  $R$  内には必ず真の静電気放電発生源  $b_0$  が含まれており、この領域  $R$  を、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定する。

【0058】

上記の説明に対して、受信アンテナ 2d を加えて3次元での検知を行うと、第一の双曲線による交点が1つ、第二の双曲線による交点が1つ、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交点が6つ形成される。これにより、第一の双曲線による交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって形成される領域  $R$  が、3次元空間内に得られる。この領域  $R$  内には必ず真の静電気放電発生源  $b_0$  が含まれており、この領域  $R$  を、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な

静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定する。

【 0 0 5 9 】

以下に、3次元空間を対象とした、具体的な一例を示す。

受信アンテナを4本使用する。受信アンテナの設置座標は、アンテナ1が(X: 0 cm、Y: 0 cm、Z: 0 cm)、アンテナ2が(X: 0 cm、Y: 100 cm、Z: 0 cm)、アンテナ3が(X: 100 cm、Y: 0 cm、Z: 0 cm)、アンテナ4が(X: 0 cm、Y: 0 cm、Z: 100 cm)とする。

【 0 0 6 0 】

サンプリング上の電磁波到達時間差は、アンテナ1とアンテナ2との電磁波到達時間差が2 ns (アンテナ1よりアンテナ2に電磁波が到達する時刻が2 ns 早い)、アンテナ1とアンテナ3との電磁波到達時間差が2 ns (アンテナ1よりアンテナ3に電磁波が到達する時刻が2 ns 早い)、アンテナ1とアンテナ4との電磁波到達時間差が0.5 ns (アンテナ1よりアンテナ4に電磁波が到達する時刻が0.5 ns 遅い)とする。

【 0 0 6 1 】

使用する計測器のサンプリングレートが10 GS / s (サンプリング時間間隔が0.1 ns)である場合、真の放電発生源が存在すると推定される領域を特定するには、上述した各受信アンテナ間のサンプリング上の電磁波到達時間差に対して、サンプリング時間間隔の値を加算または減算して得られる、8通りの電磁波到達時間差の組み合わせから双曲線法で3次元座標が算出される。その算出結果を、表1に示す。

なお、GS / s (ギガサンプリング/セック)とは、計測機器のサンプリング速度を示すもので、1 GS / sとは、1秒間に10の9乗回サンプリングを行うことを意味する。ns (ナノセック)とは時間の単位で、1 nsとは、0.000000001秒のことを意味する。

【 0 0 6 2 】

【表1】

識別コード	到達時間差値への+-組合せ			電磁波到達時間差 (ns)			算出結果				
	t (ba)	t (ca)	t (da)	t (ba)	t (ca)	t (da)	座標 (cm)			角度 (°)	
							X	Y	Z	方位	仰角
Real				2.0	2.0	-0.5	211.4	211.4	4	45	0.8
A	+	+	+	2.1	2.1	-0.4	276.6	276.6	2.3	45	0.3
B	+	+	-	2.1	2.1	-0.6	280.4	280.4	-23.1	45	-3.3
C	+	-	+	2.1	1.9	-0.4	205.5	220	13.1	43.1	2.5
D	+	-	-	2.1	1.9	-0.6	204.7	219.1	-5.6	43.1	-1.1
E	-	+	+	1.9	2.1	-0.4	220	205.5	13.1	46.9	2.5
F	-	+	-	1.9	2.1	-0.6	219.1	204.7	-5.6	46.9	-1.1
G	-	-	+	1.9	1.9	-0.4	176.3	176.3	19.3	45	4.4
H	-	-	-	1.9	1.9	-0.6	174.2	174.2	4	45	0.9

【 0 0 6 3 】

上記の手法により、3次元空間において、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域として特定することができる。

【 0 0 6 4 】

図8に、誤差範囲の算出例と表示例を示す。

図8は、上記の4つの受信アンテナによって受信された到達時間差をもとに、サンプリングによる誤差を考慮して得られた双曲線の交点と、これらの双曲線の交差によって形成される領域である、静電気放電発生源推定領域を表示している。

【 0 0 6 5 】

図8 ( a ) は、その上面図 ( X Y 面 ) であり、図8 ( b ) は、その側面図 ( X Z 面 ) である。図中のA点、B点、C点、D点、E点、F点、G点、H点が、第一の双曲線による

交差と、第二の双曲線による交差と、第一の双曲線と第二の双曲線との組み合わせによる交差とによって得られる交点である。また、図8(c)に示すように、受信アンテナ群で構成される3次元空間に校正されたビデオカメラで撮影した画像へのマーキングを行うと、6つの交点によって形成される画像領域内に、2つの交点が含まれた画像として表示され認識される。

なお、ここでは、ビデオカメラの撮影基準点は $X: 0 \text{ cm}$ 、 $Y: 0 \text{ cm}$ 、 $Z: 0 \text{ cm}$ にあり、カメラの撮影角度は、ピッチング角度(=方位):  $+45 \text{ 度}$ 、ローリング角度(=仰角):  $0 \text{ 度}$ 、ヨーイング角度:  $0 \text{ 度}$ ( $XY$ 水平面に平行)という条件で撮影しているとする。

#### 【0066】

図9は、図8に示すものと同一条件で、サンプリングレートが $20 \text{ GS/s}$ 、 $10 \text{ GS/s}$ 、 $5 \text{ GS/s}$ の場合の静電気放電発生源推定領域を、画像へマーキングしたものである。図9からわかるように、サンプリングレートが遅い程、静電気放電発生源推定領域が広がっている。このように、静電気放電発生源検知を行う際に用いる計測器のサンプリング性能に応じて、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定できる点に、本発明の大きな特徴がある。

#### 【0067】

静電気放電発生源推定領域の形状は、受信アンテナの配置や放電源の位置によって変化する。図10は、前記のものと同一条件で、サンプリングレートが $10 \text{ GS/s}$ で、サンプリング上の電磁波到達時間差が、アンテナ1とアンテナ2との差が $0.6 \text{ ns}$ 、アンテナ1とアンテナ3との差が $2.6 \text{ ns}$ 、アンテナ1とアンテナ4との差が $1.5 \text{ ns}$ である場合の画像へのマーキング例である。この場合には、サンプリング上の放電発生源が、方位: $+19.8^\circ$ 、仰角: $15, 0^\circ$ となっている、

#### 【0068】

本装置では、図1に示すように、受信アンテナ群によって、静電気放電の発生を監視することと並行して、ビデオカメラ4で、被測定物aで静電気放電が発生する様子をビデオ画像で撮影する。

#### 【0069】

ビデオカメラ4で撮影されるビデオ画像には、ビデオカメラ4の撮像素子の焦点の中心である撮影基準点dを基点とした、ある方位と仰角の範囲に存在する被測定物aの領域が映り、ビデオ画像上の個々の画素には、その領域内の、ある特定の方位と仰角に存在する被測定物aの部位が映る。

#### 【0070】

そこで、撮影基準点dに対する静電気放電源bの方位と仰角を算出し、ビデオカメラ4で撮影したビデオ画像において、その方位と仰角が該当する画素の部分にマ - キング表示をすることで、静電気放電源bの場所をビデオ画像上で可視化する。

#### 【0071】

撮影に用いるビデオカメラ4については、撮影に使用するカメラの撮影画角や撮影基準点の位置、撮影された画像における個々の画素が対応する角度(方位、仰角)を予め調べて、その結果を撮影画像角度データベースとして記録する。さらに、受信アンテナ群で構成される3次元空間における、ビデオカメラの撮影基準点(撮影画角に対する焦点位置)の設置座標や撮影角度(ピッチング・ヨーイング・ローリング)も予め明らかにしておく。

カメラの撮影角度において、ピッチングとは、受信アンテナ群で構成される3次元空間における方位の角度を意味し、ローリングは、受信アンテナ群で構成される3次元空間における仰角の角度を意味し、ヨーイングとは、受信アンテナ群で構成される3次元空間の $XY$ 平面に対する回転角を意味する。図2において、ピッチング、ローリング、ヨーイングを図示している。

#### 【0072】

双曲線法で得られた放電発生源の位置を撮影画像にマーキングする際は、算出された放

10

20

30

40

50

電発生源の座標が、上述した方法により明らかにしたカメラの設置条件下で、撮影された画像のどの画素に位置づけられるかを計算し、その場所にマーキングする。

【0073】

受信アンテナ群とビデオカメラ4とを支持体1で一体化すると、様々な場所に移動して監視する際に、ビデオカメラと受信アンテナ群との位置関係や撮影角度を校正(明らかに)する必要がないというメリットがあるが、例えば、部屋全体を常時監視するため、部屋の壁にビデオカメラと受信アンテナ群を固定して運用する場合などは、設置する際に、ビデオカメラと受信アンテナ群との位置関係や撮影角度を校正(明らかに)にすれば、一体化治具を用いなくても良い。

【0074】

ビデオカメラ4を用いて無限ループ撮影する場合、カメラ内部もしくは外部の画像記録媒体を用いる。撮影条件として、撮影速度(fps)、トリガ発生前記録枚数、トリガ発生後記録枚数、付与するファイル名の開始番号などを設定する。

無限ループ撮影を開始し、計測器の放電検知トリガ信号を検知したら、予め設定していたトリガ発生後記録枚数分の撮影後に無限ループ撮影を終了する。

【0075】

その後、デジタルオシロスコープ6から受信波形データを読み込み、映像撮影機器が撮影していた画像の中から、静電気放電が発生した瞬間の画像に対して、静電気放電発生源推定領域をマーキング表示して、静電気放電発生源推定領域を表示することで静電気放電発生源を可視化する。

【0076】

映像撮影機器で撮影した画像を任意の時間分、無限ループ記録し続け、受信アンテナ群が静電気放電現象を検出すると、検出した瞬間に撮影していた静止画像に静電気放電発生時基準番号を付与して、無限ループ記録した画像を静電気放電発生前後画像群として保存し、保存した個々の静止画像に静電気放電発生源推定領域を示すマーキング表示を加えた後、静止画像を時系列に表示して、被試験体で静電気放電が発生する前後の被測定物の状況を表示し確認することで、被試験体で静電気放電が発生する様子を可視化することもできる。

【0077】

なお、デジタルオシロスコープ6で放電を検知したタイミングと、ビデオカメラ4で静電気放電の発生した瞬間の画像のタイミングを合わせる方法として、以下の方法を用いることができる。

第一の方法は、デジタルオシロスコープ6を制御する制御用コンピュータ9の内部メモリを用いてビデオカメラ4の無限ループ撮影を行いながら、デジタルオシロスコープ6で放電検出を示すフラグがたっていないかモニタリングし続け、デジタルオシロスコープ6で放電検出を示すフラグがたったことを検出したら、その瞬間に記録していた画像の管理番号を記録する方法である。

【0078】

また、第二の方法は、デジタルオシロスコープ6のトリガ出力端子と、ビデオカメラ4のトリガ入力端子を接続し、ビデオカメラ4の内部メモリを用いて無限ループ撮影を行い、デジタルオシロスコープ6で放電を検出した際のトリガ信号を、ビデオカメラ4のトリガ入力端子を介して伝達する方法である。

【0079】

放電検出を知らせるトリガ信号やフラグを検知したら、予め設定されていた、トリガ発生後記録枚数分の撮影後に無限ループ撮影を終了する。

制御コンピュータ9の内部メモリで無限ループ記録していた場合、放電発生時の画像ビデオカメラ4の内部メモリで画像を記録していた場合、制御コンピュータ9にトリガ発生前後の指定枚数の画像を転送する。

【0080】

上記の第二の方法に基づく、本発明の第二実施形態についてより詳細に説明する。

10

20

30

40

50

本発明の第二実施形態は、第一実施形態で用いたビデオカメラ4の代わりに、TTL信号でトリガがかかる入力端子を有し、撮影画像を内部メモリに無限ループでデジタル記録できるビデオカメラを用いる方法である。

【0081】

デジタルオシロスコープ6のトリガ出力端子と、ビデオカメラ4のトリガ入力端子を接続し、静電気放電検出でデジタルオシロスコープ6にトリガがかかったら、ビデオカメラにトリガがかかるようにする。ビデオカメラは予め、無限ループ撮影状態にしておき、トリガがかかった時点から、予め設定されていた枚数分の画像を記録した後、撮影を終了する。撮影が終了したら、制御用コンピュータ9に、無限ループで記録した全ての静止画像を読み込み、デジタル記録媒体に記録する。場合によっては、一部の画像だけ限定して保存する場合もある。

10

【0082】

上記のいずれの実施形態においても、全ての静止画像ファイルには、撮影された順番に通し番号が付与され、トリガが発生した瞬間に撮影した画像であることが分かるようにファイル名が付与される。

例えば、「撮影モード：無限ループ、画像記録形式：JPG、撮影速度：30fps、記録枚数：トリガ発生前2秒分(60枚)・トリガ発生後1秒分(30枚)、開始ファイル番号：f000、ファイル名は撮影順に連番で付与」の条件である場合、ファイル名「f060」がトリガ発生時の画像であることが分かる。

【0083】

読み込んだ全ての静止画像に、静電気放電発生源を示す枠をマーキング表示して保存する。マーキング表示に用いる色は、特に限定されないが、トリガ発生時の静止画像には、トリガ発生時の画像であることが識別できるように、トリガ発生時以外のマーキング表示の色とは異なる色を用いる。

20

【産業上の利用可能性】

【0084】

本発明は、静電気放電発生源検知を行う際に用いる計測器のサンプリング性能に応じて、サンプリングによる誤差範囲を含んで正確な静電気放電発生源が存在する領域である静電気放電発生源推定領域を特定することが可能な静電気放電発生源検知方法および静電気放電発生源可視化方法として、広く利用することができる。

30

【符号の説明】

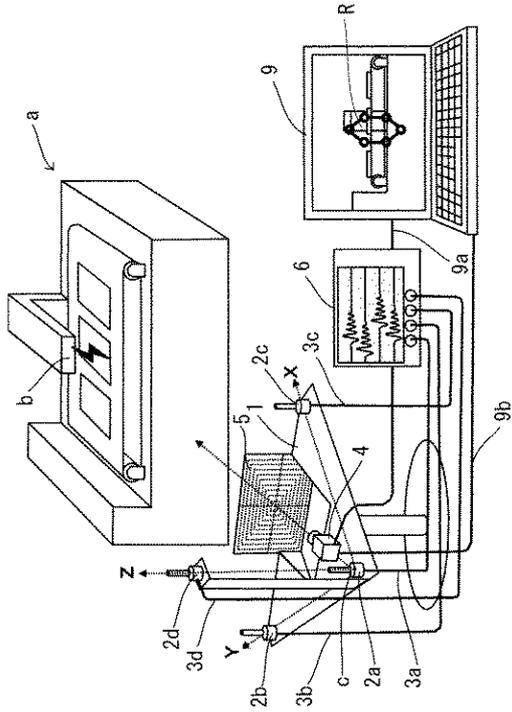
【0085】

- 1 支持体
- 2 a、2 b、2 c、2 d 受信アンテナ
- 3 a、3 b、3 c、3 d 同軸ケーブル
- 4 ビデオカメラ
- 5 方位・仰角基準板
- 6 デジタルオシロスコープ
- 9 制御用コンピュータ
- 9 a、9 b デジタルインターフェースケーブル
- a 被測定物
- b 静電気放電発生源
- c 測定基準点
- d 撮影基準点
- P 電磁波到達基準点
- t 到達時間差
- L 双曲線
- Q 交点
- R 静電気放電発生源推定領域

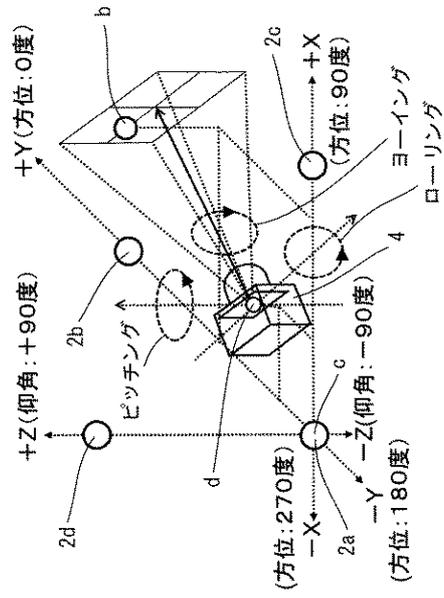
40

50

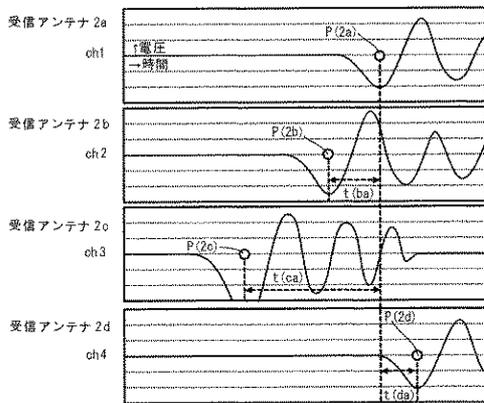
【図1】



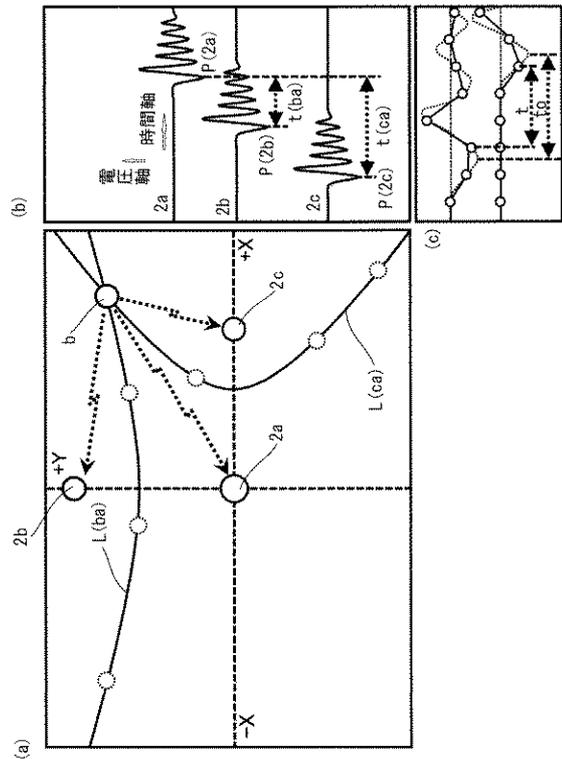
【図2】



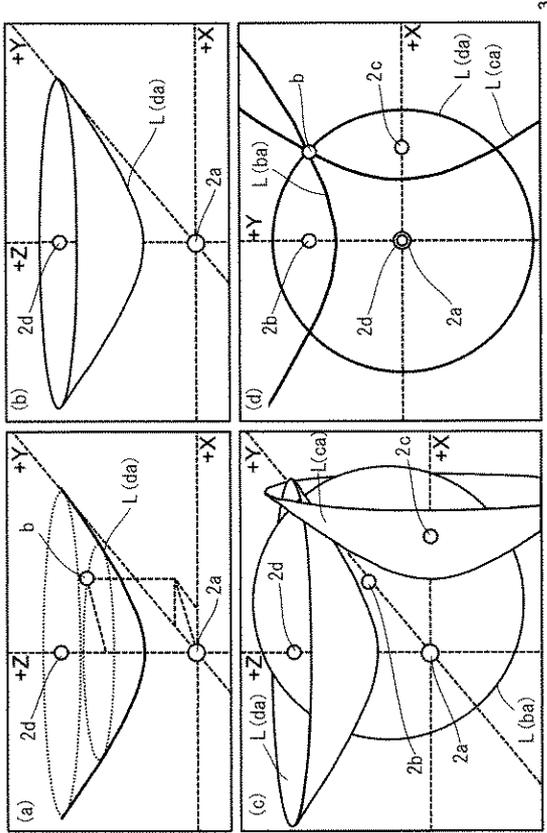
【図3】



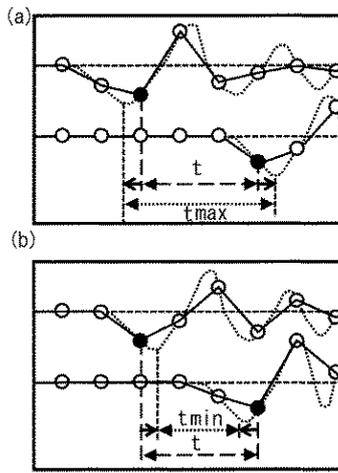
【図4】



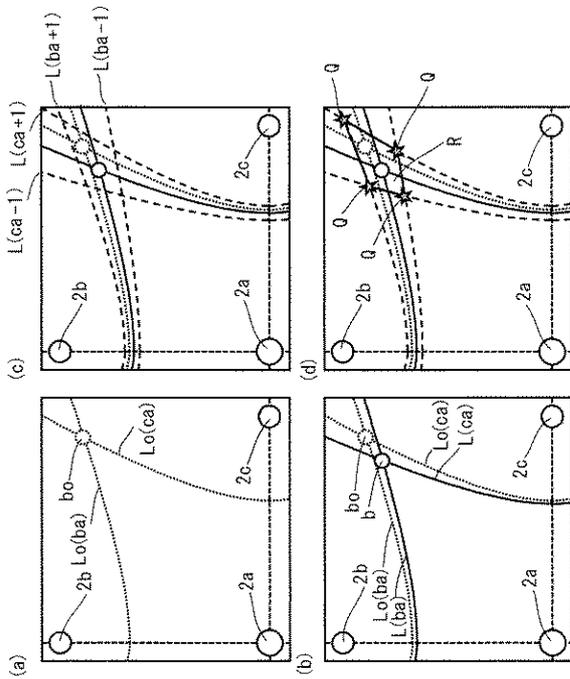
【 図 5 】



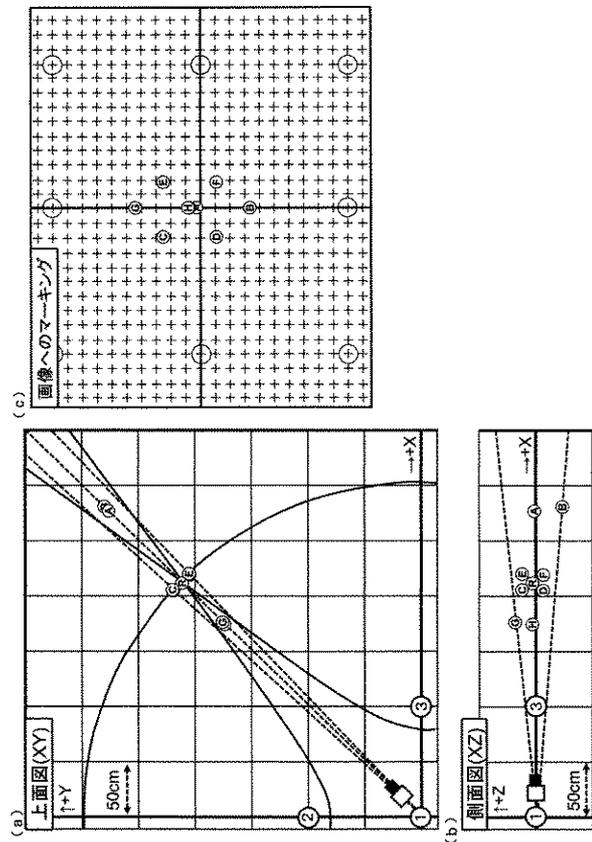
【 図 6 】



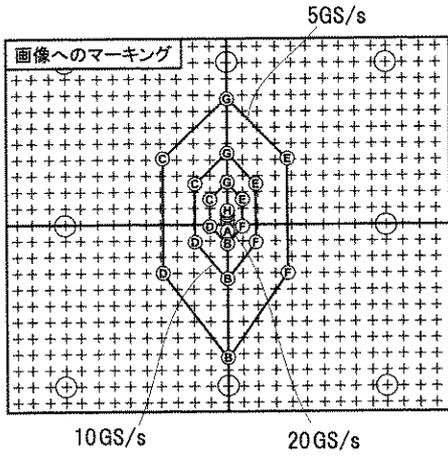
【 図 7 】



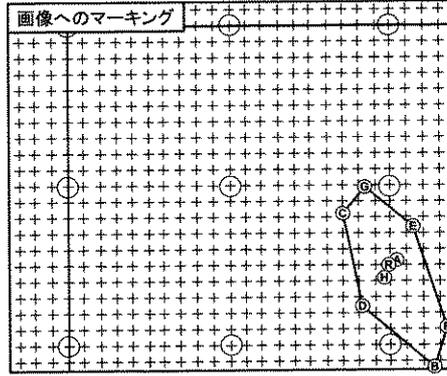
【 図 8 】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開2010-236918(JP,A)  
特開平10-170589(JP,A)  
特開2005-055190(JP,A)  
特開2008-271016(JP,A)  
特開平03-120460(JP,A)  
特開2014-016291(JP,A)  
米国特許出願公開第2015/0035699(US,A1)  
特開2007-327956(JP,A)  
特開2003-215225(JP,A)  
特開2006-339982(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 29/08  
G01R 31/12