

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-106905

(P2011-106905A)

(43) 公開日 平成23年6月2日 (2011. 6. 2)

(51) Int. Cl.
G 0 1 N 29/26 (2006.01)F 1
G 0 1 N 29/26 5 0 1テーマコード (参考)
2 G 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-260744 (P2009-260744)
(22) 出願日 平成21年11月16日 (2009. 11. 16)(71) 出願人 000002358
新明和工業株式会社
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号
(74) 代理人 100077931
弁理士 前田 弘
(74) 代理人 100110939
弁理士 竹内 宏
(74) 代理人 100110940
弁理士 嶋田 高久
(74) 代理人 100113262
弁理士 竹内 祐二
(74) 代理人 100115059
弁理士 今江 克実
(74) 代理人 100117581
弁理士 二宮 克也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 探傷システム

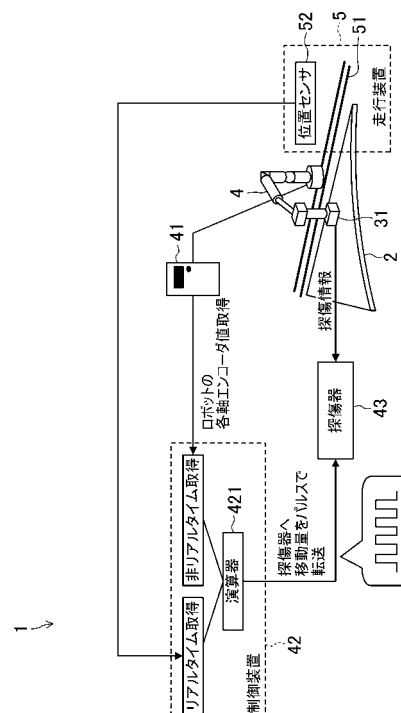
(57) 【要約】

【課題】システム 1 の簡略化を図りつつも、高精度の探傷結果が得られる探傷システムを実現する。

【解決手段】探傷システム 1 は、多関節ロボット 4 と、走行軸 5 1 上でロボット 4 を移動させる走行装置 5 と、ロボット 4 の手首に取り付けられたプローブ 3 1 と、ロボット 4 の位置に関する情報を所定周期で出力する走行装置位置情報取得器 5 2 と、プローブ 3 1 の位置に関する情報を所定周期で出力するロボット位置情報取得器 4 1 と、プローブ 3 1 の位置情報を算出して出力する制御器 4 2 と、プローブの位置情報と探傷情報とを対応付ける探傷器 4 3 と、を備える。取得したプローブの位置情報と実際の位置との許容ずれ量を D としたときに、条件式 (1) を満たすように、許容ずれ量 D、上限周期 T m a x、プローブの移動速度 V、及び、ワークの形状の走行軸に対する変化率 r、をそれぞれ設定する。

【数 1】

$$T \max^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (1)$$



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

三次元形状を有するワークの探傷検査を行う探傷システムであって、
多関節ロボットと、

所定の軸又は二軸からなる走行軸上で前記多関節ロボットを移動させることにより、
前記多関節ロボットを前記ワークに沿うように移動させる走行装置と、

前記多関節ロボットの手首に取り付けられかつ、当該多関節ロボット及び前記走行装置
の組み合わせにより前記ワークの表面を走査しながら、当該ワークの探傷情報を取得する
プローブと、

前記走行装置によって前記走行軸上を移動する多関節ロボットの位置に関する情報をリ
アルタイムに取得して出力する取得器であって、当該多関節ロボットの位置に関する情報
を、所定の動作周期で出力する走行装置位置情報取得器と、

前記多関節ロボットによって移動される前記プローブの位置に関する情報を非リアルタ
イムに取得して出力する取得器であって、当該プローブの位置に関する情報を、前記動作
周期で出力するロボット位置情報取得器と、

前記走行装置位置情報取得器からの情報を受けて、前記多関節ロボットの位置をワール
ド座標系からみたベース座標系の位置情報（第 1 位置情報）として算出すると共に、前記
ロボット位置情報取得器からの情報を受けて、前記プローブの位置をベース座標系からみ
たプローブの位置情報（第 2 位置情報）として算出し、さらに、前記第 1 及び第 2 位置情
報に基づいて、ワールド座標系からみた前記プローブの位置情報（第 3 位置情報）を算出
して、これを出力する制御器と、

前記制御器から第 3 位置情報を取得すると共に、前記プローブから前記探傷情報を取得
して、前記プローブの位置情報と前記探傷情報とを対応付ける探傷器と、を備え、

前記第 3 位置情報と、前記プローブの実際の位置との間の許容できるずれ量を D とした
ときに、条件式（1）を満たすように、前記の許容ずれ量 D 、前記動作周期の上限 T_{max} 、
前記走行装置及び多関節ロボットによる前記プローブの移動速度 V 、及び、前記ワー
クの形状の前記走行軸に対する変化率 r 、をそれぞれ設定する探傷システム。

【数 1】

$$T_{max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (1)$$

【請求項 2】

請求項 1 に記載の探傷システムにおいて、

前記制御器は、前記第 3 位置情報から算出した前記プローブの移動量を、パルス信号と
して出力し、

前記探傷器は、前記制御器からのパルス信号をトリガにして、前記プローブから探傷情
報を取得することにより、前記プローブの位置情報と前記探傷情報とを対応付ける探傷シ
ステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

ここに開示する技術は、特に三次元形状を有するワークの探傷検査を行う、探傷システ
ムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、被検査物に対する探傷検査を行うシステムの例として超音波探傷システムが
知られており、例えば特許文献 1 には、多関節ロボットが、手首に取り付けた探触子を被
検査物の表面を倣うように移動させることによって、当該被検査物の探傷情報を取得する
システムが開示されている。こうした超音波探傷検査では、被検査物のどの位置に内部欠

10

20

30

40

50

陥等が存在しているかを把握する必要があるため、探傷情報と、それを取得した位置情報とを対応付ける必要がある。そのため、前記特許文献に開示されたシステムでは、ロボット制御装置が出力する取り込みタイミング信号に基づいて、探触子の位置情報と探傷情報とをそれぞれ独立して取得する一方で、それら探触子の位置情報と探傷情報とを互いに対応付ける処理を行うようにしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平11-14610号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところが、前記特許文献に記載システムでは、取り込みタイミング信号に基づいて探触子の位置情報を取得しようとするれば、探触子の位置情報をリアルタイムで取得しなければならないが、多関節ロボット、特に汎用のロボットは、手首に取り付けた探触子の位置情報をリアルタイムに取得することができない。つまり、位置情報の取得に要する時間が変動してしまうため、所望のタイミングで位置情報を取得しようとしても、その位置情報が取得できないことが起こり得る。位置情報が取得できなかった場合には、探触子の位置情報が更新されないから、取得した探触子の位置情報と、探触子の実際の位置との間にずれが生じてしまい、結果として、ずれを含んだ位置情報と探傷情報とが対応付けられてしまう。このことは、検査結果において、内部欠陥の位置が、実際とは、ずれて示されることになり、探傷検査結果の位置精度を低下させる。

20

【0005】

これを解消するために、例えば位置情報をリアルタイムに取得可能な多関節ロボットを利用することが考えられる。しかしながら、位置情報をリアルタイムに取得可能な多関節ロボットは、もはや汎用ロボットではなく、システムの構築コストが大幅に増大してしまうことになると共に、汎用ロボットを利用しないことで探傷システムの開発期間も大幅に長くなってしまうという問題がある。

【0006】

ここに開示する技術は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、システムの簡略化を図りつつも、高精度の探傷結果が得られる探傷システムを実現することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願発明者らは、多関節ロボット（以下、単にロボットともいう）から得られるプローブの位置情報はリアルタイムに取得することが困難であるのに対し、予め設定した一軸又は二軸に沿ってロボットを移動させる走行装置から得られるロボットの位置情報は、リアルタイムに取得することが容易である点に鑑みて、走行装置が一軸又は二軸からなる走行軸に沿ってロボットを移動させるようにし、それによって、ロボットの手首に取り付けたプローブの移動を、当該ロボットと走行装置との組み合わせによって行うようにした。

40

【0008】

そしてこの構成において、取得したプローブの位置情報と、実際の位置とのずれ量として許容できる許容ずれ量 D 、システムの動作周期の上限 T_{max} 、走行装置及び多関節ロボットによるプローブの移動速度 V 、及び、ワークの形状の走行軸に対する変化率 r 、をそれぞれ設定する上で満たすべき条件式を見出し、発明を完成するに至ったものである。

【0009】

具体的に、ここに開示する探傷システムは、三次元形状を有するワークの探傷検査を行う探傷システムである。このシステムは、多関節ロボットと、所定の一軸又は二軸からなる走行軸上で前記多関節ロボットを移動させることにより、前記多関節ロボットを前記ワークに沿うように移動させる走行装置と、前記多関節ロボットの手首に取り付けられかつ

50

、当該多関節ロボット及び前記走行装置の組み合わせにより前記ワークの表面を走査しながら、当該ワークの探傷情報を取得するプローブと、前記走行装置によって前記走行軸上を移動する多関節ロボットの位置に関する情報をリアルタイムに取得して出力する取得器であって、当該多関節ロボットの位置に関する情報を、所定の動作周期で出力する走行装置位置情報取得器と、前記多関節ロボットによって移動される前記プローブの位置に関する情報を非リアルタイムに取得して出力する取得器であって、当該プローブの位置に関する情報を、前記動作周期で出力するロボット位置情報取得器と、前記走行装置位置情報取得器からの情報を受けて、前記多関節ロボットの位置をワールド座標系からみたベース座標系の位置情報（第１位置情報）として算出すると共に、前記ロボット位置情報取得器からの情報を受けて、前記プローブの位置をベース座標系からみたプローブの位置情報（第２位置情報）として算出し、さらに、前記第１及び第２位置情報に基づいて、ワールド座標系からみた前記プローブの位置情報（第３位置情報）を算出して、これを出力する制御器と、前記制御器から第３位置情報を取得すると共に、前記プローブから前記探傷情報を取得して、前記プローブの位置情報と前記探傷情報とを対応付ける探傷器と、を備える。

10

【００１０】

そして、前記第３位置情報と、前記プローブの実際の位置との間の許容できるずれ量を D としたときに、条件式（１）を満たすように、前記の許容ずれ量 D 、前記動作周期の上限 T_{max} 、前記走行装置及び多関節ロボットによる前記プローブの移動速度 V 、及び、前記ワークの形状の前記走行軸に対する変化率 r 、をそれぞれ設定する。

20

【００１１】

【数１】

$$T_{max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (1)$$

【００１２】

ここで、「リアルタイム」は、ＪＩＳＸ００１０では「計算機外部の別の処理と関係を持ちながら、かつ外部の処理によって定められる時間要件に従って、計算機が行うデータの処理に関する用語」と定義されている。ここにおける「リアルタイムに取得」とは、情報を所定の動作周期（例えばシステムの動作周期）で必ず取得することが可能であることを意味し、「非リアルタイムに取得」とは、情報を所定の動作周期で必ずしも取得することができずに、取得ミスが生じ得ることを意味する。

30

【００１３】

また、「プローブ」は、前記の通り、ワークの探傷情報を取得するものであり、「プローブの位置」は、プローブによって探傷情報を取得している位置、換言すればワークにおける、プローブの動作対象点の位置に相当する。

【００１４】

検査対象のワークが三次元形状を有しているため、当該ワークの表面を倣うように効率良くプローブを動かして、ワークの走査をするには、多関節ロボットが適している。そこで、この構成では、多関節ロボットの手首にプローブを取り付ける。この多関節ロボットは、汎用ロボットとしてもよく、そうした場合には、システムの構築コストが低減し得ると共に、システム開発に要する時間も短縮し得る。

40

【００１５】

多関節ロボットによって移動される前記プローブの位置に関する情報は、ロボット位置情報取得器によって取得されるが、ロボット位置情報取得器は、その情報を非リアルタイムに取得する。このため、プローブの位置に関する情報は、所定の動作周期で取得することができず、情報が更新されない場合も起こり得る。

【００１６】

この構成ではまた、走行装置によって、多関節ロボットをワークに沿うように移動させる。それによって、プローブは、走行装置と多関節ロボットとの組み合わせによって動か

50

され、ワークの表面を走査しながら探傷情報を取得することになる。ここで、走行軸上を移動する多関節ロボットの位置に関する情報は、走行装置位置情報取得器によってリアルタイムに取得可能である。

【0017】

制御器は、走行装置位置情報取得器及びロボット位置情報取得器のそれぞれからの情報を受けて、ワールド座標系からみたベース座標系の位置情報（第1位置情報）を算出すると共に、ベース座標系からみたプローブの位置情報（第2位置情報）を算出し、制御器はさらに、ワールド座標系からみた前記プローブの位置情報（第3位置情報）を算出して、これを探傷器に出力する。そうして、探傷器は、その第3位置情報とプローブから探傷情報とに基づき、プローブの位置情報と探傷情報とを対応付ける。

10

【0018】

そうして、この構成においては、第3位置情報とプローブの実際の位置とのずれ量として許容することができる許容ずれ量を D を適宜設定した上で、前記の条件式（1）を満たすように、動作周期の上限 T_{max} 、プローブの移動速度 V 、及び、ワークの形状の走行軸に対する変化率 r をそれぞれ設定する。

【0019】

ここで、条件式（1）によると、プローブの移動速度 V を低くすることによって、動作周期の上限 T_{max} を、大きくし得る。このことは、ロボット位置情報取得器が情報を取得する周期を比較的長く設定することを可能にするため、多関節ロボットを選定する際の自由度が高まることを意味する（つまり、情報の取得周期が比較的長いロボットも選定し得る）。また、例えばシステムの動作周期を、上限に対して比較的短く設定した（尚、それに応じて、情報の取得周期が比較的短いロボットを選定することになる）ときには、ロボット位置情報取得器が情報の取得ミスを複数回繰り返したとしても、第3位置情報とプローブの実際の位置とのずれ量が、許容ずれ量 D に収まり得る。このため、そうした取得ミスに耐え得るシステムとなり得る。

20

【0020】

一方で、プローブの移動速度 V を低くすることは、ワークの走査に要する時間が長くなるため、一つのワークに対する検査時間は長くなってしまふ不利益がある。プローブの移動速度 V は、所定周期の上限、及び、検査時間の双方の観点から適宜設定すればよい。

【0021】

また、条件式（1）によると、変化率 r をなるべく小さくすることによっても、動作周期の上限 T_{max} を大きくし得る。従って、前述したように、多関節ロボットを選定する際の自由度が高まったり、取得ミスに耐え得るシステムを構成し得る。

30

【0022】

変化率 r を小さくすることは、走行装置の走行軸を適宜設定することによって小さくし得る。ここで「変化率」は、走行軸に対して平行な方向についての、ワークの形状変化の最大変化率と定義することができる。つまり、変化率 r を小さくすることは、走行装置の走行軸がワークになるべく沿うように設定することによって実現可能である。このように変化率 r を小さくすれば、プローブの移動は、極力、走行装置によるものになって、ロボットによるプローブの移動はなるべく行わないこととなる。

40

【0023】

許容ずれ量 D は、所望の設計値として適宜定められるものであるから、当該許容ずれ量 D を設定した上で、動作周期の上限 T_{max} を大きくするように、移動速度 V や変化率 r を設定することが望ましい。この内、移動速度 V は、前述したように、ワークの検査に要する時間と関係することから、変化率 r をなるべく小さく設定することで、動作周期の上限 T_{max} を大きくすることが特に好ましい。

【0024】

逆に言うと、ワークに対して走行軸を適宜設定し、変化率 r をなるべく小さくすることで、プローブの移動を、極力、走行装置によるものにして、ロボットによるプローブの移動はなるべく行わないことにより、位置に関する情報をリアルタイムに取得することがで

50

きないような汎用ロボットを用いても、探傷検査結果における位置ずれ量を所定のずれ量以下に抑制することが実現し、探傷検査の精度が高まり得る。しかも、ワークの検査時間を長くすることもない。

【 0 0 2 5 】

前記制御器は、前記第 3 位置情報から算出した前記プローブの移動量を、パルス信号として出力し、前記探傷器は、前記制御器からのパルス信号をトリガにして、前記プローブから探傷情報を取得することにより、前記プローブの位置情報と前記探傷情報とを対応付ける、としてもよい。

【 0 0 2 6 】

つまり、タイミング信号に基づいてプローブの位置情報及び探傷情報をそれぞれ取得した後、それらの情報を互いに対応付けるような処理を行わなくても、プローブの位置情報（パルス信号）に基づいて探傷情報を取得することだけで、プローブの位置情報と探傷情報とが対応付けられる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 7 】

以上説明したように、前記の探傷システムは、プローブの移動を、多関節ロボットと走行装置とを組み合わせる行うようにした上で、前記の条件式（ 1 ）を満たすように、許容ずれ量 D 、動作周期の上限 T_{max} 、プローブの移動速度 V 、及び、変化率 r をそれぞれ設定する。例えば許容ずれ量 D を所望の設計値に設定した上で、動作周期の上限 T_{max} がなるべく大きくなるように、プローブの移動速度 V 、及び r 又は、変化率 r をそれぞれ設定する、特に変化率 r が小さくなるように走行装置の走行軸を設定することによって、ワークの検査時間に影響を与えることなく、動作周期の上限 T_{max} を大きくすることができ、このことにより、例えば汎用の多関節ロボットを利用した簡易なシステムで、検査結果の位置精度を高め得るシステムを構築し得る。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 超音波探傷システムの構成を示す概略図である。

【 図 2 】 探触子（動作対象点）の位置情報の定義を示す図である。

【 図 3 】 ワークに対する探触子の移動を説明する説明図である。

【 図 4 】 探触子の移動速度を説明する説明図である。

【 図 5 】 走行装置が一軸構成のときの探触子の移動を示す図である。

【 図 6 】 走行装置が一軸構成のときの探触子の移動速度を示す図である。

【 図 7 】 走行装置が二軸構成のときの探触子の移動を示す図である。

【 図 8 】 走行装置が二軸構成のときの探触子の移動速度を示す図である。

【 図 9 】 超音波探傷システムの探傷に係る動作フローを示すフローチャートである。

【 図 10 】 取得し得る位置情報と実際の位置とのずれを示す説明図であり、（ a ）はワールド座標系から見たベース座標系の位置情報、（ b ）はベース座標系から見た動作対象点の位置情報である。

【 図 11 】 条件式に従って決定される各パラメータの数値範囲の例示である。

【 図 12 】 図 11 とは異なる数値範囲の例示である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 9 】

以下、探傷システムの実施形態を図面に基づいて説明する。尚、以下の好ましい実施形態の説明は、本質的に例示に過ぎない。図 1 は、探傷システムの全体構成を示している。この探傷システム 1（以下、単にシステム 1 ともいう）は、ここでは、ワーク 2 に対して超音波を送信すると共に、その反射波を受信することによって、ワーク 2 の内部欠陥等の有無を検査する超音波探傷システムとして構成されている。ここでワークとしては、特に限定されるものではないが、例えば C F R P（Carbon Fiber Reinforced Plastics）等の複合材料製の航空機部品等を例として挙げることができる。ここで、このシステム 1 の検査対象としてのワーク 2 は、三次元形状を有している（尚、図 3 等では、理解容易のため

10

20

30

40

50

に、ワーク 2 を三次元形状を有するようには図示していない)。またワーク 2 は、所定の方向(例えば図 1 における概ね左右方向)に延びる長尺形状を有していて、その長手方向に対して反っていたり、ねじれていたりとすることで、三次元形状を有することになる。

【0030】

このシステム 1 は、前記ワーク 2 の探傷情報を取得する探触子 3 1 と、探触子 3 1 がその手首に取り付けられる多関節ロボット(ロボット)4 と、ロボット 4 をワーク 2 の長手方向に沿うように往復移動させる走行装置 5 と、ロボット 4 に電氣的に接続されて、ロボット 4 の動作制御を行うロボットコントローラ 4 1 と、ロボットコントローラ 4 1 に対して接続されて、後述するように、探触子 3 1 (その動作対象点)の位置情報を算出する、例えばパーソナルコンピュータからなる制御装置 4 2 と、前記探触子 3 1 及び制御装置 4 2 のそれぞれに接続されて、位置情報及び探傷情報を取得する探傷器 4 3 と、を備えて構成されている。

10

【0031】

探触子 3 1 は、その詳細な図示は省略するが、ワーク 2 に対して超音波を送信する送信器と、ワーク 2 からの反射波を受信する受信器とを含んで構成され、その反射波に基づいて探傷情報を取得する超音波探触子である。探触子 3 1 は、ワーク 2 の表面に対して所定の角度となるように、ロボット 4 によってその向きを調節されながら、前記ロボット 4 及び走行装置 5 によって、ワークの表面を倣うようにその表面の全体に亘って順次走査される。尚、図示は省略するが、探触子 3 1 及びワーク 2 は、水槽内で、超音波の伝播媒質としての水に浸漬された状態にされ、この状態で探傷検査を実施する。

20

【0032】

多関節ロボット 4 は、図 1 等に概略を示すように、垂直多関節ロボットであって、例えば 4 , 5 又は 6 軸に構成されている。ここで、この探傷システム 1 においては、後述するように、多関節ロボット 4 として汎用ロボットを用いることが可能である。ここで言う「汎用ロボット」は、位置情報の取得がリアルタイムに行い得ないロボットである。汎用ロボットの採用は、探傷システム 1 の構成を簡易にする上で有利であると共に、システム 1 の開発期間を短縮する上でも有利である。前述したように、多関節ロボット 4 の手首には、探触子 3 1 が取り付けられ、多関節ロボット 4 は、その作動領域内において、探触子 3 1 を自在に移動させることが可能である。尚、図示は省略するが、このロボット 4 は、その各軸にエンコーダを有しており、ロボット 4 は、各軸のエンコーダ値をロボットコントローラ 4 1 に出力する。

30

【0033】

ロボットコントローラ 4 1 は、前記ロボット 4 から、各軸のエンコーダ値を取得しつつ、そのロボット 4 に対して制御信号を出力することにより、このロボット 4 を制御し、それによって前記探触子 3 1 を、予め設定した所定の軌跡で移動させる(より正確には、ロボット 4 と走行装置 5 との組み合わせによって、探触子 3 1 は予め設定した所定の軌跡で移動する)。ロボットコントローラ 4 1 はまた、前記の各軸のエンコーダ値を制御装置 4 2 に出力する。

【0034】

ここで、制御装置 4 2 は、ロボット 4 の各軸のエンコーダ値をリアルタイムに取得することができない。その結果、後述するように、予め設定された当該システム 1 の動作周期で、ロボット 4 による探触子 3 1 の位置情報を取得しようとしても、取得ミスが起り得ることになる。

40

【0035】

走行装置 5 は、ロボット 4 のベースを移動させるための走行レール(走行軸)5 1 を有しており、この走行レール 5 1 は、長尺のワーク 2 と平行になるように配置され、それによってロボット 4 が、ワーク 2 の長手方向に沿って往復移動するようにされている。ここで、走行レール 5 1 は、図 1 , 5 に示すような一軸構成(X 軸)、又は、図 7 に示すような互いに直交する二軸構成(X , Y 軸)とされている。いずれの構成においても、走行レールに対して平行な方向についての、ワーク 2 の形状変化の最大変化率(以下、単に変化

50

率という)が小さくなるように、走行レール 5 1 は配設されている。このことについての詳細は、後述する。

【 0 0 3 6 】

走行装置 5 はまた、例えばリニアエンコーダや、ロータリエンコーダ等からなる位置センサ 5 2 を有しており、この位置センサ 5 2 は、走行レール 5 1 上のロボット 4 の位置を検出して、その情報を前記制御装置 4 2 に出力する。これにより制御装置 4 2 は、この位置センサ 5 2 の検出値をリアルタイムに取得することが可能であり、走行装置 5 によるロボット 4 の位置情報は、予め設定された当該システム 1 の動作周期で確実に取得することが可能である。

【 0 0 3 7 】

制御装置 4 2 は、前述したように、ロボットコントローラ 4 1 からの各軸のエンコーダ値を取得し、これに基づいて、その演算器 4 2 1 が、ロボット 4 による探触子 3 1 (つまり、探触子 3 1 が探触情報を取得している動作対象点)の位置情報を算出する。この位置情報は、ベース座標系(図 2 に示すように、ロボット 4 のベースに設定した座標系)から見た動作対象点の位置情報(位置情報 C)である。制御装置 4 2 はまた、走行装置 5 の位置センサ 5 2 からの検出値を取得し、これに基づいて、その演算器 4 2 1 が、走行装置 5 によるロボット 4 の位置情報を算出する。この位置情報は、ワールド座標系(図 2 に示すように、地面に設定した座標系)から見たベース座標系の位置情報(位置情報 B)に対応する。演算器 4 2 1 はさらに、位置情報 B 及び位置情報 C に基づいて、ワールド座標系から見た動作対象点の位置情報 A を算出する。こうして演算器 4 2 1 は、システム 1 の動作周期で位置情報 A を算出し、それによって、動作対象点の移動量を算出する。制御装置 4 2 は、動作対象点の移動量を、パルス信号として前記探傷器 4 3 に出力する。パルス信号は、1 パルスが、動作対象点の所定の移動量に対応する。

【 0 0 3 8 】

探傷器 4 3 は、前述したように制御装置 4 2 に接続されており、この制御装置 4 2 からのパルス信号を取得する。探傷器 4 3 はまた、探触子 3 1 に接続されており、この探触子 3 1 からの探傷情報を取得する。より詳細に、探傷器 4 3 は、制御装置 4 2 からのパルス信号をトリガにして、探触子 3 1 からの探傷情報を取得する。具体的には、探傷情報を取得するワーク上での間隔が予め設定されていると共に、前述したように、1 パルス当たりの動作対象点の移動量が定まっているため、探触子 3 1 は、設定された前記間隔に相当する数のパルス信号を受けたときに、探触子 3 1 からの探傷情報を取得する。このことによって探触子 3 1 の位置情報と探傷情報とを互いに対応付ける。例えば 1 パルスが、探触子 3 1 が 1 mm 移動することに対応しているときに、10 mm 間隔でワーク 2 の探傷情報を取得すると設定されている場合は、探傷器 4 3 は、10 パルス毎に、探触子 3 1 からの探傷情報を取得することになる。このように、探触子 3 1 の移動量に基づいて探触子 3 1 からの探傷情報を取得することにより、探触子 3 1 の位置情報と探傷情報との対応付けの処理を、別途行うようなことが不要になる。このことは、システムの簡略化の上で有利である。

【 0 0 3 9 】

この探傷システム 1 においては、前述したように、ワーク 2 に対する探触子 3 1 の移動を、ロボット 4 及び走行装置 5 の組み合わせによって行うが、走行装置 5 から得られるロボット 4 の位置情報はリアルタイムに取得することができる一方で、ロボット 4 から得られる探触子 3 1 (以下、探触子 3 1 と動作対象点とは、ほぼ同義に用いる)の位置情報はリアルタイムに取得することができない。このようにリアルタイムに取得できないことによって、所望のタイミングで位置情報を取得しようとしても、取得ミスが生じ得ることになり、このことに起因して、取得(算出)した動作対象点の位置情報 A と、動作対象点の実際の位置との間にずれが生じる虞がある。このことについて図 10 を参照しながら説明する。図 10 (a) (b) はそれぞれ、横軸に時間を、縦軸に位置(制御装置 4 2 が算出した位置)を取ったグラフであり、 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 は、システム 1 の動作周期に対応する。走行装置 5 の位置センサ 5 2 に取得されたロボット 4 の位置情報 B は、リアル

10

20

30

40

50

タイムに取得可能であって取得ミスが生じないため、ロボット 4 が等速移動をしているときには、その取得位置は時間に対して直線状になる（図 10（a）参照）。これに対し、ロボット 4 から得られる探触子 31 の位置情報 C はリアルタイムに取得不可能であり、例えば t_2 、 t_3 のように取得ミスが生じ得る（図 10（b）参照）。このとき取得位置は、時間に対して折れ線状になる。つまり、位置情報を取得できないときには位置情報が更新されずに、前回値が保持されることになる。一方で、ベース座標系からみた動作対象点が等速に移動しているときには、図 10（b）に破線で示すように、その動作対象点の位置は、実際には時間に対して直線状になることから、位置情報 C と、ベース座標系からみた動作対象点の実際の位置との間には、例えば図 10（b）に矢印で示すだけの位置ずれ量が発生することになる。またこの位置ずれ量は、位置情報 B と位置情報 C から算出される位置情報 A にも当然生じることとなり、位置情報 A とワールド座標系からみた動作対象点との位置ずれ量となる。この位置ずれ量は、探傷器 43 において、動作対象点の位置情報と探傷情報とを対応付ける際に、実際の位置からずれた位置の探傷情報と対応付けることになるから、探傷検査の結果上では、ワークの内部欠陥の位置が、実際とは、ずれて示されることになり、探傷検査結果の位置精度を低下させる。

10

20

30

40

【0040】

そこで、この探傷システム 1 では、探傷検査結果の位置精度を向上させるべく、リアルタイムに位置情報を取得することができないロボット 4 による探触子 31 の移動動作をなるべく減らして、探触子 31 を、リアルタイムに位置情報の検出が可能な走行装置によって、極力、移動させるようにする。すなわち、探触子 31 のワーク 2 に対する走査は、主に走行装置 5 がロボット 4 を移動させることによって行い、ロボット 4 は、例えば探触子 31 の向きを、ワーク 2 の表面に沿うように変更したり、走行装置 5 によるロボット 4 の移動のみでは移動させることが不可能な場合に限って、探触子 31 を移動させたりする。このことを言い換えると、走行装置 5 の走行レール 51 を、ワーク 2 に沿うように配設することができる。こうして、ロボット 4 による探触子 31 の移動を極力減らすことによって、位置情報の取得がリアルタイムに行えないことに起因する、位置情報のずれを抑制し、そのずれ量を、許容できるずれ量の範囲内に収めるようにする。この点について、図面を参照しながら、さらに詳細に説明する。

【0041】

図 3 は、探触子 31（動作対象点）の移動を定義している。すなわち、走行装置 5 によってロボット 4 が、位置情報 B1 から位置情報 B2 へと移動すると共に、ロボット 4 によって動作対象点が、位置情報 C1 から位置情報 C2 へと移動する結果、動作対象点が、ワーク 2 に対して位置情報 A1 から位置情報 A2 へと移動するとする。従って、探触子 31（動作対象点）の移動量は $A2 - A1$ で示され、走行装置 5 の移動量は $B2 - B1$ で示され、ロボット 4 の移動量は $C2 - C1$ で示される。尚、図 3 では、理解容易のために、ワーク 2 が平板で、さらに図 1 とは異なり、当該ワーク 2 を起立した状態で描いている。

【0042】

図 4 は、探触子 31 の移動により生じる速度 V を定義している。探触子 31 の移動速度 V は、X 軸方向成分 V_x 、Y 軸方向成分 V_y 、及び Z 軸方向成分 V_z によって表される。

【0043】

（走行装置が一軸構成の場合）

図 5 に示すように、ワーク 2 が概ね X 軸方向に沿うように配置され、走行レール 51 が X 軸方向に延びているとする。つまり、走行装置 5 が一軸構成とする。この場合、走行装置 5 が、探触子 31 の移動速度 V のうち、その X 軸方向成分 V_x 、を担い、ロボット 4 が、Y 軸方向成分 V_y 及び Z 軸方向成分 V_z を担うことになる。

【0044】

先ず、ワーク 2 の、走行レール 51 に対する変化率 r_1 は、数式（1 - 1）で示される。

【0045】

【数 2】

$$r_1 = \frac{V_{rt}}{V_x} = \tan \theta_1 \quad \dots (1-1)$$

【0046】

ここで、 θ_1 は、変化率 r_1 が表す角度であり、 V_{rt} は、ロボット 4 の動作速度である（図 6 参照）。 V_{rt} はまた、数式（1-2）で表すことができる。

【0047】

【数 3】

10

$$V_{rt} = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} \quad \dots (1-2)$$

【0048】

V_{rt} はさらに、 θ_1 を用いて、数式（1-3）で表すことができる。

【0049】

【数 4】

$$V_{rt} = V \sin \theta_1 \quad \dots (1-3)$$

20

【0050】

ここで、前述したように、ロボット 4 による位置情報の取得が失敗したときには、そのロボット 4 による位置情報の取得が成功するまでの時間 T_{max} （システムの動作周期の上限）の間にロボット 4 の動作によって探触子 31 が移動するから、その時間 T_{max} と、ロボット 4 の動作速度 V_{rt} で表現されるずれ（ $T_{max} \times V_{rt}$ ）が生じる。ここで設計者が許容できるずれ量を D とすると、数式（1-4）の関係が成立する。

【0051】

【数 5】

30

$$T_{max} \leq \frac{D}{V_{rt}} \quad \dots (1-4)$$

【0052】

数式（1-1）（1-3）（1-4）から、次の条件式（1-5）を導くことができる。

【0053】

【数 6】

$$T_{max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r_1^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (1-5)$$

40

【0054】

従って、この条件式（1-5）を満たすように、各変数 V 、 r_1 、 T_{max} 、 D を適宜設定すればよい。この内、探触子 31 の移動速度 V を低くすることによって、上限周期 T_{max} は大きくし得る。このことは、システム 1 の動作周期を比較的長く設定することを可能にし、選定可能なロボットの自由度が大きくなることを意味する（位置情報の取得周期が比較的長いロボットも選定し得る）。逆に、上限周期 T_{max} を大きく設定しつつも、システム 1 の動作周期を比較的短く設定した（それに伴い位置情報の取得周期が比較的短いロボットを選定した）ときには、仮にそのロボット 4 が位置情報の取得ミスを複数回繰り返したとしても、取得した位置情報と実際の位置とのずれ量が許容ずれ量 D に収まり

50

得るため、そうした取得ミスに耐え得るシステムとなる。

【 0 0 5 5 】

一方で、探触子 3 1 の移動速度 V を低くすることは、ワーク 2 全体の走査に要する時間が長くなるため、一つのワーク 2 に対する検査時間は長くなってしまう不利益がある。探触子 3 1 の移動速度 V は、上限周期 T_{max} 、及び、検査時間の双方の観点から適宜設定すればよい。

【 0 0 5 6 】

変化率 r_1 は、走行装置 5 の走行レールの配置を適宜設定することによって小さくし得る。変化率 r_1 をなるべく小さく設定することはまた、探触子 3 1 の移動を、極力、走行装置 5 によるものにして、ロボット 4 による探触子 3 1 の移動はなるべく行わないこと等価である。そうして、変化率 r_1 をなるべく小さくすることが、上限周期 T_{max} を大きくする上で有利になる。

【 0 0 5 7 】

許容ずれ量 D は、所望の設計値として適宜定められるものであるから、当該許容ずれ量 D を設定した上で、上限周期 T_{max} を大きくするように、移動速度 V や変化率 r_1 を設定することが望ましい。この内、移動速度 V は、前述したように、一つのワークの検査時間に関係することから、変化率 r_1 をなるべく小さく設定することで、上限周期 T_{max} を大きくことが特に好ましい。

【 0 0 5 8 】

(2 軸構成の場合)

図 7 は、走行装置 5 の走行レール 5 1 が 2 軸構成の場合の図を示している。ここでは、走行レール 5 1 が、X 軸及び Y 軸のそれぞれに対応しているとする。この場合は、走行装置 5 が移動速度の X 軸方向成分 V_x 及び Y 軸方向成分 V_y を担い、Z 軸方向成分 V_z はロボット 4 が担うことになる。

【 0 0 5 9 】

この構成において、ワーク 2 の、走行レール 5 1 に対する変化率 r_2 は、数式 (2 - 1) で表される。

【 0 0 6 0 】

【 数 7 】

$$r_2 = \frac{V_{rt}}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} = \tan \theta_2 \quad \dots (2-1)$$

【 0 0 6 1 】

ここで、図 8 に示すように、 θ_2 は変化率 r_2 が表す角度である。ロボット動作速度 V_{rt} は、数式 (2 - 2) で表される。

【 0 0 6 2 】

【 数 8 】

$$V_{rt} = V_z \quad \dots (2-2)$$

【 0 0 6 3 】

また V_{rt} は、前記と同様に、 θ_2 を用いて数式 (2 - 3) のように表される。

【 0 0 6 4 】

【 数 9 】

$$V_{rt} = V \sin \theta_2 \quad \dots (2-3)$$

【 0 0 6 5 】

前述のように、ロボット 4 による位置情報の取得に失敗したときには、その上限周期 T

maxとロボット4による移動速度とに基づくずれが生じることから、許容できるずれ量をDとしたときに、数式(2-4)の関係が成立する。

【0066】

【数10】

$$T_{\max} \leq \frac{D}{Vr} \quad \dots (2-4)$$

【0067】

よって、数式(2-1)(2-3)(2-4)に基づいて、次の条件式(2-5)が導かれる。

10

【0068】

【数11】

$$T_{\max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (2-5)$$

【0069】

従って、走行装置5が二軸構成であるときには、この条件式(2-5)を満たすように、各変数V, r, T_{max}, Dを適宜設定すればよい。

20

【0070】

以上の検討から、条件式は以下の数式(1)のように表記することができる。

【0071】

【数1】

$$T_{\max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r^2} + 1 \right) D^2 \quad \dots (1)$$

【0072】

30

ここで、走行装置5が一軸構成の場合に、具体的な数値を挙げて検討する。許容ずれ量Dを0.5mm、探触子31の移動速度を50mm/sにし、変化率rを1/10となるように走行装置5の走行レール51を設定する。このときに、上限周期T_{max}は、条件式(1)より、およそ0.10s(尚、ここでの「s」は秒(sec)である)以下となる。従って、ロボット4としては、この0.1s以内に、位置情報を取得し得る能力を有するロボット4を選定すればよい。これは、汎用ロボットで十分に対応可能である。また、このケースにおいて、システムの動作周期を5msに設定すれば、20回の取得ミスにも耐え得るシステムとなる。尚、実用上では、システム1の上限周期に余裕を持たせることが好ましい(例えば前記の0.1sのときには、10msや、20ms等)。ここで、前記の条件式に従って、探触子31の移動速度V、上限周期T_{max}及び変化率rのとり得る範囲の一例について説明する。例えば図11に範囲を示すように、探触子31の移動速度Vは、50~100mm/s程度に設定すればよく、上限周期T_{max}は、0.02~0.04s程度に設定すればよく、変化率rは、0.005~0.01程度に設定すればよい。こうすることによって、許容ずれ量Dは、0.01mm程度に設定することが可能になる。またこれとは別の例として、図12に示す範囲を満たすように、探触子31の移動速度Vは、50~100mm/s程度に設定すればよく、上限周期T_{max}は、0.03~0.15s程度に設定すればよく、変化率rは、0.05~0.2程度に設定すればよい。こうすることによって、許容ずれ量Dは、0.5mm程度に設定することが可能になる。

40

【0073】

50

最後に、この探傷システム 1 の動作フローについて、図 9 を参照しながら説明する。先ず、ステップ S 1 でロボット 4 及び走行装置 5 の動作が開始されれば、以下の各ステップを、所定の時間間隔、つまり、予め設定されたシステム 1 の動作周期でループする（ステップ S 2）。

【0074】

ステップ S 3 では、ロボット 4 と走行装置 5 とのそれぞれの位置情報（位置情報 B 及び位置情報 C）の取得命令を発信し、ステップ S 4 で、走行装置 5 の位置センサ 5 2 から位置情報 B を取得する。続くステップ S 5 では、ロボット 4 から位置情報 C を取得し、制御装置 4 2 は、ステップ S 6 で、位置情報 B 及び位置情報 C に基づいて、位置情報 A を算出し、それをパルス信号として探傷器 4 3 に出力する（前述したように、探触子 3 1 の移動量をパルス信号として出力する）。探傷器 4 3 は、位置情報 A に基づいて探触子 3 1 から探傷情報を取得することで、位置情報 A、つまり動作対象点の位置情報と探傷情報とを対応付ける（ステップ S 7）。ステップ S 8 では、ワーク 2 における、探触子 3 1 の走査の最終位置まで移動したか否かを判定し、最終位置まで移動していない、つまり未だワーク 2 の検査が完了していない NO のときにはステップ S 2 に戻って、前記ステップ S 3 ~ 7 を繰り返す。一方、ステップ S 8 で最終位置まで移動した、つまりワーク 2 の検査が完了した YES のときにはステップ S 9 に移行して、ロボット 4 及び走行装置 5 の動作を終了する。

【0075】

以上説明したように、この探傷システム 1 では、ロボット 4 と走行装置 5 とを組み合わせ探触子 3 1 を移動させ、それによって、三次元形状を有するワーク 2 の探傷検査を実現しており、その際に、前述した条件式（1）を満たすように、各変数 V , r , T_{max} , D を設定している。

【0076】

特にこのシステム 1 では、走行装置 5 の走行レール 5 1 の配置を適切にすることによって、変化率 r を小さくすることにより、走行装置 5 によって探触子 3 1 を移動させる割合を多くし、ロボット 4 によって探触子 3 1 を移動させる割合を少なくしている。このことにより、ロボット 4 による動作対象点（探触子 3 1）の位置情報は、リアルタイムに取得することができないものの、それに起因する実際の位置情報とのずれ量を小さくして、許容範囲に収めることが可能になる。つまり、この探傷システム 1 では、探傷結果における位置精度が向上し得る。

【0077】

しかも、このシステム 1 では、位置情報をリアルタイムに取得可能なロボット 4 は不要であり、ロボット 4 としては汎用の多関節ロボットを採用することが可能である。このことは、探傷システム 1 の構築に要するコストの低減化、及び、その開発に要する時間を短縮する点で有利である。

【0078】

尚、この実施形態では、パルス信号として出力される、探触子 3 1 の移動量に基づいて、探傷情報を取得し、これによって、探触子 3 1 の位置情報と探傷情報とを対応付けているが、例えば所定のタイミング信号に基づいて、探触子 3 1 の位置情報と探傷情報とを取得して、これらに対応付けるようにしてもよい。

【0079】

また、前記の実施形態では、探傷システム 1 を、超音波探触子 3 1 を備えた超音波探傷システム 1 としているが、これに限定されず、ワーク 2 の探傷情報を取得するプローブを、多関節ロボット 4 の手首に取り付けたシステムであれば、種々のシステムに対して、ここに開示した技術を適用することが可能である。

【産業上の利用可能性】

【0080】

以上説明したように、ここに開示した探傷システムは、三次元形状を有するワークの探傷検査を、簡易なシステム構成で、精度良く行い得る点で有用である。

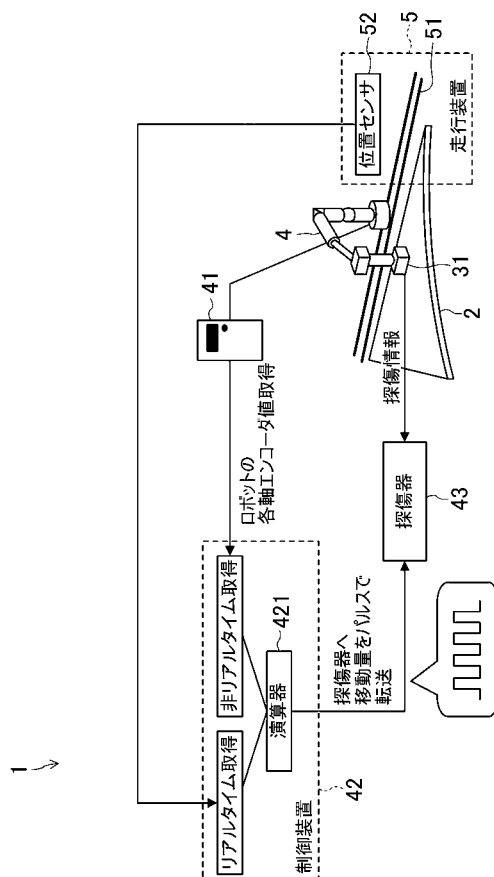
【符号の説明】

【0081】

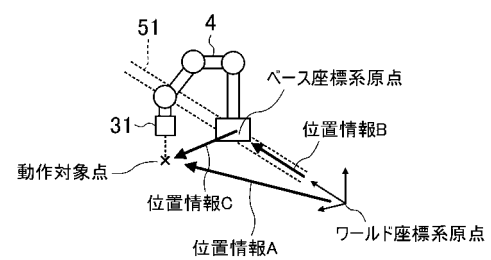
- 1 探傷システム
- 2 ワーク
- 3 1 探触子（プローブ）
- 4 多関節ロボット
- 4 1 ロボットコントローラ（ロボット位置情報取得器）
- 4 2 制御装置（制御器）
- 4 3 探傷器
- 5 走行装置
- 5 1 走行レール（走行軸）
- 5 2 位置センサ（走行装置位置情報取得器）

10

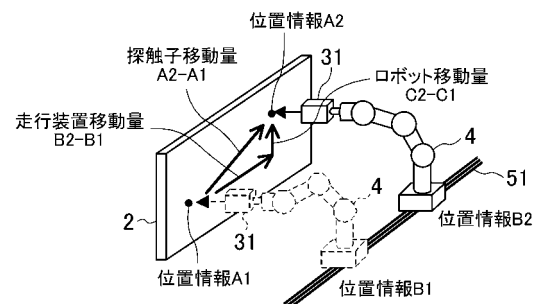
【図1】



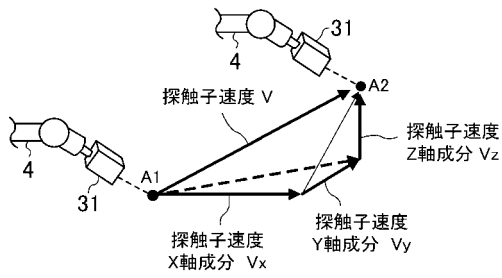
【図2】



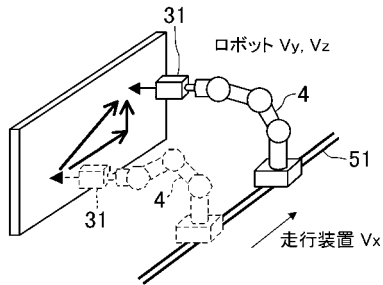
【図3】



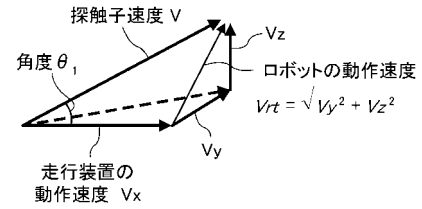
【図4】



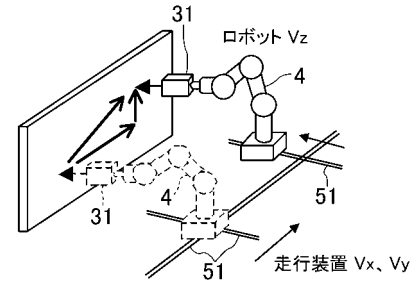
【図5】



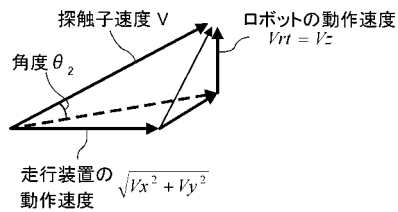
【図6】



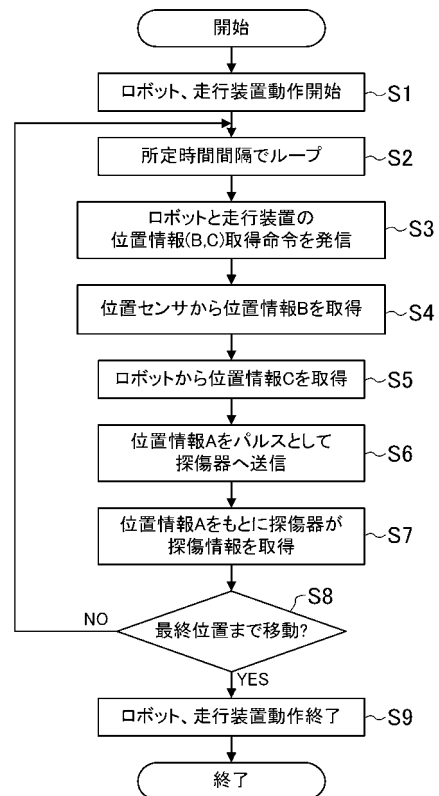
【図7】



【図8】

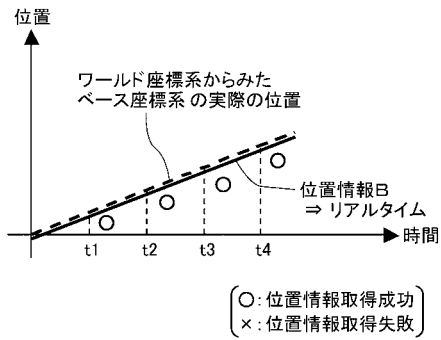


【図9】

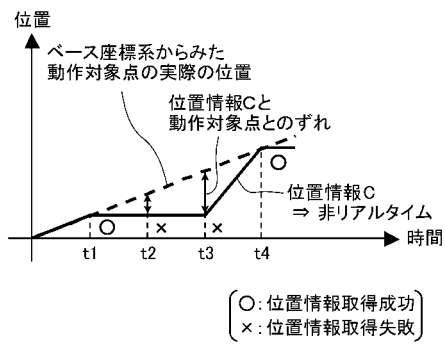


【図 10】

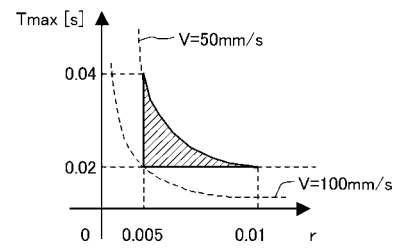
(a) 位置情報Bについて
(ワールド座標系からみたベース座標系の位置情報)



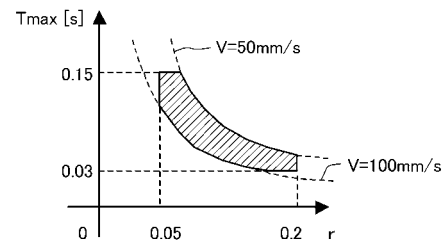
(b) 位置情報Cについて
(ベース座標系からみた動作対象点の位置情報)



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(74)代理人 100117710
弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121728
弁理士 井関 勝守

(74)代理人 100124671
弁理士 関 啓

(74)代理人 100131060
弁理士 杉浦 靖也

(72)発明者 物延 孝幸
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号 新明和工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 亀井 均
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号 新明和工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 足立 修一
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号 新明和工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 加藤 淳志
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号 新明和工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 國武 隆
兵庫県宝塚市新明和町 1 番 1 号 新明和工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 田中 勝之
兵庫県神戸市東灘区青木 1 丁目 1 番 1 号 新明和工業株式会社航空機事業部内

F ターム(参考) 2G047 AA05 AC05 BA03 BC07 CA01 DB03 DB07 DB14 DB16 EA10
EA14 GA03 GA19 GG27 GJ02

【要約の続き】

【選択図】図 1