

(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.

GO1N 29/26

(2006.01)

F 1

GO1N 29/26

501

テーマコード(参考)

2GO47

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

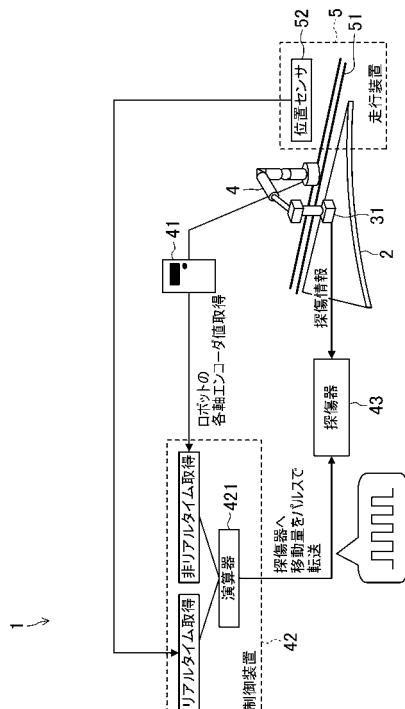
(57) 【要約】

【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51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31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52と、プローブ31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41と、プローブ31の位置情報を算出して出力する制御器42と、プローブの位置情報と探傷情報を対応付ける探傷器43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Tm、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、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、これに出力する制御器と、

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

10

【発明の概要】

【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、そ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を対応付ける探傷器と、を備える。

【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。

【0011】

【数1】

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

【0012】

ここで、「リアルタイム」は、JIS X 0010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、計算機の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できる事を意味し、「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。

【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。

【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

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、こ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う不利益がある。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。

30

【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、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つたり、取得ミスに耐え得るシステムを構成し得る。

【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。

【0025】

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。

【0026】

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に、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】

【0027】

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て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／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】

【0028】

【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】

【0029】

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CFRP（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31と、探触子31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に電気的に接続されて、ロボット4の動作制御を行うロボットコントローラ41と、ロボットコントローラ41に対して接続されて、後述するように、探触子31（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42と、前記探触子31及び制御装置42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43と、を備えて構成されている。10

【0031】

探触子31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31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31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31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31を自在に移動させることができる。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41に出力する。30

【0033】

ロボットコントローラ41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31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31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41はまた、前記の各軸のエンコーダ値を制御装置42に出力する。

【0034】

ここで、制御装置42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31の位置情報を取得しようとしても、取得ミスが起こり得ることになる。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）51を有しており、この走行レール51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51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

率という)が小さくなるように、走行レール51は配設されている。このことについての詳細は、後述する。

【0036】

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52を有しており、この位置センサ52は、走行レール51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42に出力する。これにより制御装置42は、この位置センサ52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。

【0037】

制御装置42は、前述したように、ロボットコントローラ41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421が、ロボット4による探触子31(つまり、探触子31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42はまた、走行装置5の位置センサ52からの検出値を取得し、これに基づいて、その演算器421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421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421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42は、動作対象点の移動量を、パルス信号として前記探傷器43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。

10

20

30

40

50

【0038】

探傷器43は、前述したように制御装置42に接続されており、この制御装置42からのパルス信号を取得する。探傷器43はまた、探触子31に接続されており、この探触子31からの探傷情報を取得する。より詳細に、探傷器43は、制御装置42からのパルス信号をトリガにして、探触子31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31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31からの探傷情報を取得する。このことによって探触子31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31が1mm移動することに対応しているときに、10mm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43は、10パルス毎に、探触子31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31の移動量に基づいて探触子31からの探傷情報を取得することにより、探触子31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。

【0039】

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31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31(以下、探触子31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42が算出した位置)を取ったグラフであり、t1, t2, t3, t4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52に取得されたロボット4の位置情報Bは、リアル

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t2, t3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て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。

【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、移動させるようとする。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できない場合に限って、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ということができる。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r₁は、式(1-1)で示される。

【0045】

10

20

30

40

【数2】

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

【0046】

ここで、 r_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、式（1-2）で表すことができる。

【0047】

【数3】

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

10

【0048】

V_{rt} はさらに、 r_1 を用いて、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、式（1-4）の関係が成立する。

【0051】

【数5】

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

30

【0052】

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。

【0055】

一方で、探触子31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31の移動速度Vは、上限周期Tmax、及び、検査時間の双方の観点から適宜設定すればよい。

【0056】

変化率r₁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r₁をなるべく小さく設定することはまた、探触子31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31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r₁をなるべく小さくすることが、上限周期Tmaxを大きくする上で有利になる。

【0057】

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Tmaxを大きくするように、移動速度Vや変化率r₁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r₁をなるべく小さく設定することで、上限周期Tmaxを大きくすることが特に好ましい。

【0058】

(2軸構成の場合)

図7は、走行装置5の走行レール51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51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。

【0059】

この構成において、ワーク2の、走行レール51に対する変化率r₂は、数式(2-1)で表される。

【0060】

【数7】

$$r_2 = \frac{Vrt}{\sqrt{Vx^2 + Vy^2}} = \tan \theta_2 \quad \dots \quad (2-1)$$

【0061】

ここで、図8に示すように、r₂は変化率r₂が表す角度である。ロボット動作速度Vrtは、数式(2-2)で表される。

【0062】

【数8】

$$Vrt = Vz \quad \dots \quad (2-2)$$

【0063】

またVrtは、前記と同様に、r₂を用いて数式(2-3)のように表される。

【0064】

【数9】

$$Vrt = V \sin \theta_2 \quad \dots \quad (2-3)$$

【0065】

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

10

20

30

40

50

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】

$$T_{\max} \leq \frac{D}{Vrt} \quad \cdots (2-4)$$

【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】

$$T_{\max}^2 \cdot V^2 \leq \left(\frac{1}{r_2^2} + 1 \right) D^2 \quad \cdots (2-5)$$

【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 20 各変数V, r₂, T_{max}, Dを適宜設定すればよい。

【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】

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

【0072】

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(second)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】

30

40

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S1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S2)。

【0074】

ステップS3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S4で、走行装置5の位置センサ52から位置情報Bを取得する。続くステップS5では、ロボット4から位置情報Cを取得し、制御装置42は、ステップS6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43に出力する(前述したように、探触子31の移動量をパルス信号として出力する)。探傷器43は、位置情報Aに基づいて探触子31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を対応付ける(ステップS7)。ステップS8では、ワーク2における、探触子31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S2に戻って、前記ステップS3~7を繰り返す。一方、ステップS8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S9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とを組み合わせて探触子31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51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31を移動させる割合を多くし、ロボット4によって探触子31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31)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、許容範囲に收めることができ可能になる。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31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31の位置情報と探傷情報を対応付けていが、例えば所定のタイミング信号に基づいて、探触子31の位置情報と探傷情報を取得して、これらを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31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。

10

20

30

40

50

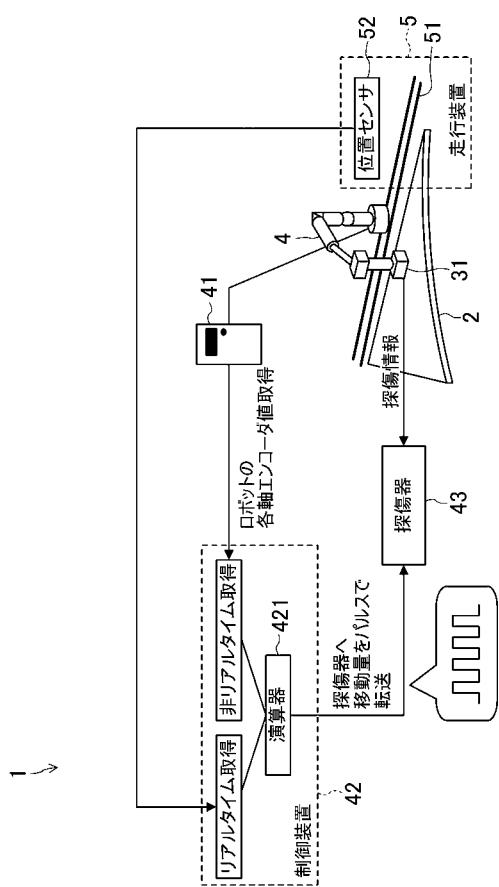
【符号の説明】

【0081】

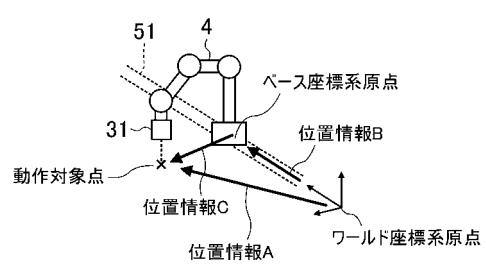
- 1 探傷システム
 2 ワーク
 3 1 探触子（プローブ）
 4 多関節ロボット
 4 1 ロボットコントローラ（ロボット位置情報取得器）
 4 2 制御装置（制御器）
 4 3 探傷器
 5 走行装置
 5 1 走行レール（走行軸）
 5 2 位置センサ（走行装置位置情報取得器）

10

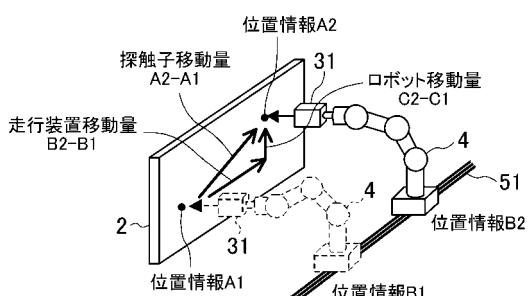
【図1】



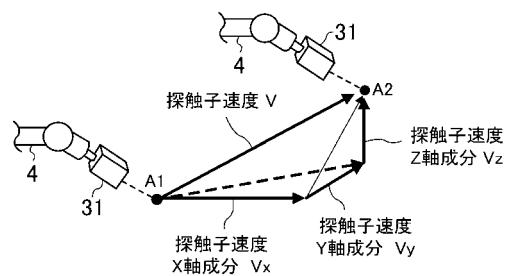
【図2】



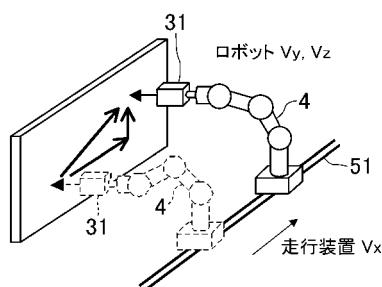
【図3】



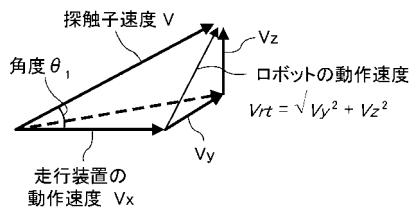
【図4】



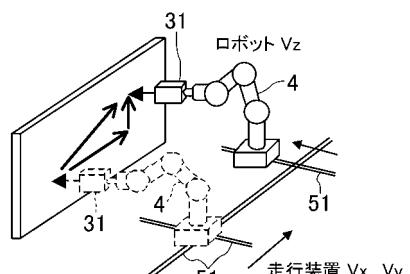
【図5】



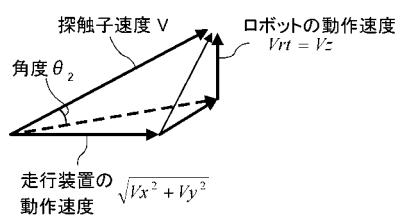
【図6】



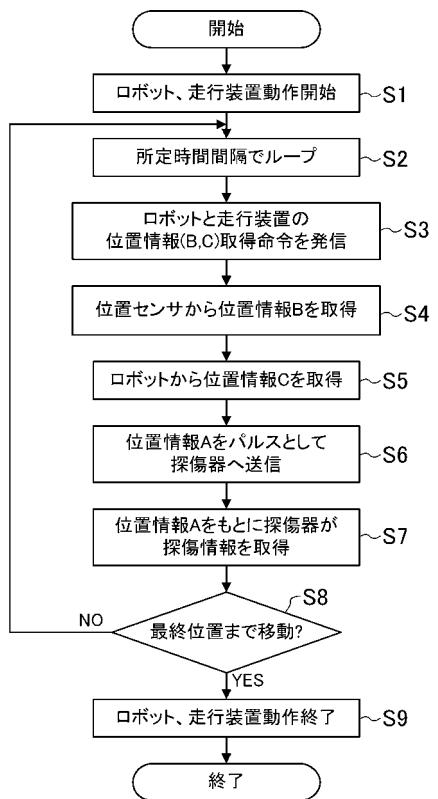
【図7】



【図8】

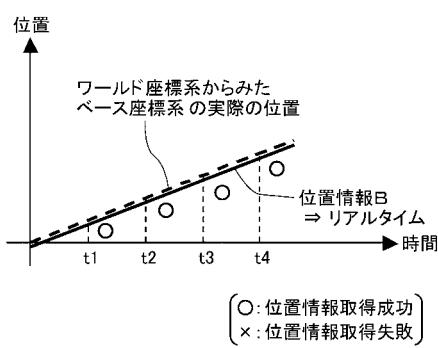


【図9】

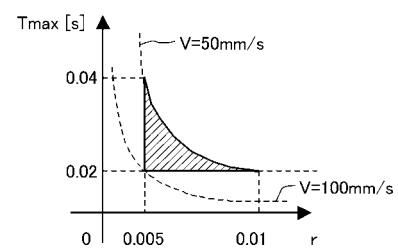


【図 1 0】

(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)

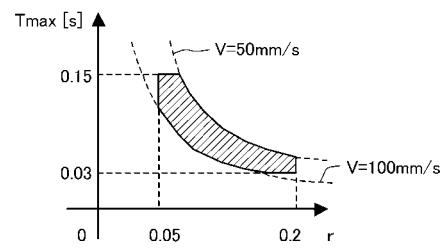
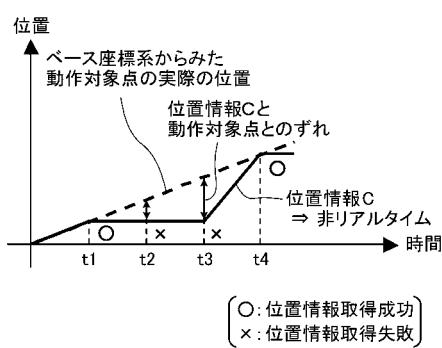


【図 1 1】



【図 1 2】

(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)



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