

(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2008-202719

(P2008-202719A)

(43) 公開日 平成20年9月4日(2008.9.4)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 1 6 F 15/02 (2006.01)	F 1 6 F 15/02 A	3 F 2 0 4
B 6 6 C 13/22 (2006.01)	B 6 6 C 13/22 M	3 J 0 4 8

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願2007-40715 (P2007-40715)
 (22) 出願日 平成19年2月21日 (2007.2.21)

(71) 出願人 304027349
 国立大学法人豊橋技術科学大学
 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
 (74) 代理人 110000534
 特許業務法人しんめいセンチュリー
 (72) 発明者 寺嶋 一彦
 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
 国立大学法人豊橋技術科学大学内
 (72) 発明者 福田 高宏
 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
 国立大学法人豊橋技術科学大学内
 Fターム(参考) 3F204 AA01 CA03 EA03
 3J048 AD01 CB30 DA07 EA07

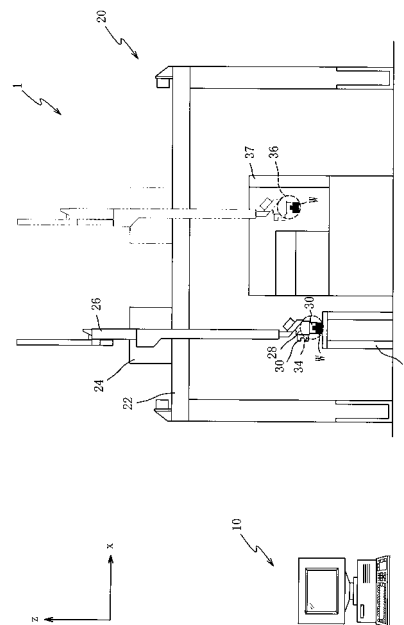
(54) 【発明の名称】 時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法、搬送システム、および時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラム

(57) 【要約】

【課題】時変形システムに対する高い制振効果を得られる振動抑制制御入力決定方法、搬送システム、および時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムを提供すること。

【解決手段】実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法によれば、アーム長変動に伴う固有振動数の変動を考慮した振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができるので、その振動抑制制御入力 $u(t)$ を X 軸サーボモータ 40 に入力することにより、アーム長の変動に拘わらず、高い制振効果を得ることができる。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を決定する時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法であって、

前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得工程と、

前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得工程と

10

、その基準振動抑制入力取得工程により取得された基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得工程により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を決定する振動抑制制御入力決定工程とを備えることを特徴とする時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 2】

前記駆動装置に所定のテスト入力を入力し、前記搬送体を移動させる間に、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さを変動させるテスト工程と、

20

そのテスト工程により、前記搬送体を移動させる間における、前記被搬送物の振動を測定する振動測定工程と、

前記テスト工程により入力されたテスト入力と、前記振動測定工程により測定された振動との関係から、前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定とした場合の固有振動数である基準固有振動数を同定するパラメータ同定工程とを備え、

前記基準振動抑制入力取得工程は、そのパラメータ同定工程により同定された基準固有振動数に基づいて、基準振動抑制入力を取得することを特徴とする請求項 1 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 3】

30

前記パラメータ同定工程により、複数のモードの基準固有振動数が同定された場合、前記基準振動抑制入力取得工程は、前記複数のモードに対応した基準振動抑制入力を取得することを特徴とする請求項 2 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 4】

前記時変形システム振動数取得工程は、前記テスト工程により入力されたテスト入力と、前記振動測定工程により測定された振動との関係から、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得するものであることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 5】

前記テスト工程は、前記被搬送物を第 1 位置から第 2 位置まで移動させる間に、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さを変動させる工程であり、

40

前記時変形システム振動数取得手段は、前記被搬送物を第 1 位置から第 2 位置まで移動させる間における、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を取得することを特徴とする請求項 2 から 4 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 6】

前記振動抑制制御入力決定工程により決定された振動抑制制御入力を、前記テスト工程におけるテスト入力として入力し、そのテスト入力に基づいて、前記時変形システム振動数取得工程と、前記パラメータ同定工程と、前記基準振動抑制入力取得工程と、前記振動抑制制御入力決定工程とを繰り返す繰り返し工程とを備えることを特徴とする請求項 2 か

50

ら 5 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 7】

前記基準振動抑制入力取得工程により取得される基準振動抑制入力は、少なくとも 1 つの入力と、その入力に起因する振動と逆位相の振動を生じさせる 1 以上の入力とを含むことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

【請求項 8】

前記振動抑制制御入力決定工程は、下記式 (1) の $u(t)$ に基づく振動抑制制御入力を決定することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法。

10

$$u(t) = B'(t) \{ [A_V - A(t)] X_V + B_V u_V \} \quad \dots (1)$$

但し

u_V : 基準振動抑制入力

X_V : 被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動装置に基準振動抑制入力 u_V を入力した場合における被搬送物の振動

【数 1】

20

$$B'(t) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{k_1(t)\omega_1(t)^2} & 0 & \frac{1}{k_2(t)\omega_2(t)^2} & \dots & 0 & \frac{1}{k_n(t)\omega_n(t)^2} \end{bmatrix}$$

$k_i(t)$ は、時間 t における i 次モードのプロセスゲイン、 $\omega_i(t)$ は時間 t における i 次モードの固有振動数

【数 2】

$$Av = \begin{pmatrix}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-\omega_{v1}^2 & -2\zeta_{v1}\omega_{v1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\omega_{v2}^2 & -2\zeta_{v2}\omega_{v2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_{vi}^2 & -2\zeta_{vi}\omega_{vi} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_{vn}^2 & -2\zeta_{vn}\omega_{vn}
\end{pmatrix}$$

10

20

【数 3】

$$B_v = \begin{pmatrix} 0 \\ K_{v1}\omega_{v1}^2 \\ 0 \\ K_{v2}\omega_{v2}^2 \\ \vdots \\ 0 \\ K_{vi}\omega_{vi}^2 \\ \vdots \\ 0 \\ K_{vn}\omega_{vn}^2 \end{pmatrix}$$

10

20

【数 4】

$$X_v = \begin{pmatrix} X_{v1} \\ X_{v2} \\ \vdots \\ X_{vi} \\ \vdots \\ X_{vn} \end{pmatrix}$$

10

20

n はモード数

30

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれかの方法により決定された振動抑制制御入力を記憶する記憶手段と、

その記憶手段に記憶された振動抑制制御入力が入力される駆動装置と、

その駆動装置により駆動されると共に、被搬送物を保持する搬送体とを備えたことを特徴とする搬送システム。

【請求項 10】

前記搬送体は、前記駆動装置により水平方向へ駆動されると共に、アームを介して前記被搬送物を吊り下げるものであり、

前記搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させるアーム長変動手段を備えることを特徴とする請求項 9 記載の搬送システム。

40

【請求項 11】

被搬送物を保持する搬送体と、

その搬送体を移動させる駆動装置と、

前記搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を決定する時変形システムに対する振動抑制制御入力決定手段とを備えた搬送システムであって、

前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得手段と、

前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として

50

、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得手段とを備え、

前記振動抑制制御入力決定手段は、その基準振動抑制入力取得手段により取得された基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得手段により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を決定するものであることを特徴とする搬送システム。

【請求項 12】

搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を、コンピュータに演算させる時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムであって、

前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得ステップと、

前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得ステップと、

その基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得ステップにより取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を演算する振動抑制制御入力演算ステップとを、コンピュータに演算させる時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法、搬送システム、および時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムに関し、特に、高い制振効果が得られる時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法、搬送システム、および時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

工場などにおいて、クレーン、ガントリローダ、ロボットアームなどの搬送システムが用いられている。これらの搬送システムは、生産効率の向上のために高速性が要求されている。

【0003】

図16は、従来の搬送システムの一例を模式的に示す図である。この搬送システムは、レール100と、そのレール100を走行する台車101と、アーム102とが設けられており、アーム102により被搬送物103を吊り下げて搬送するシステムである。この搬送システムにおいて、制振制御を行わずに台車101を高速で走行させると、台車101の加速時、または減速時に被搬送物103に大きな振動が発生する。台車101の走行時に被搬送物103が大きく振動すると周囲の作業者にとって危険である。また、停止した後、短時間で次の工程に移るために、被搬送物103の残留振動は可能な限り小さいことが望ましい。搬送システムでは、高速化と振動は相反する問題であるが、高速化と制振を同時に実現するための様々な制御法が提案されている。

【0004】

図17を参照して、制振制御の一例である逆位相入力制御(Preshaping制御)について説明する。図17(a)は、従来の逆位相入力制御においてモータに入力される入力加速度を示すグラフであり、図17(b)は、その入力加速度をモータに与えた結果、得られる制振効果を示すグラフである。

【0005】

10

20

30

40

50

図17(a)に示すように、時間 t_1 において第1入力 a_1 を加えたとする。この第1入力 a_1 に起因して、図17(b)に実線で示すような振動が生じる。そして、その振動の半周期後である時間 t_2 に、図17(a)に示すように、第2入力 a_2 を加える。すると、この第2入力 a_2 に起因して、図17(b)に波線で示すような振動が生じる。この第2入力 a_2 に起因する振動が、第1入力 a_1 に起因する振動と同じ振幅を有し、且つ逆の位相を有していれば、第1入力 a_1 に起因する振動と、第2入力 a_2 に起因する振動とが互いに相殺し合い、図17(b)の一点鎖線で示すように、振動を抑制することができる。

【0006】

このような、第1入力 a_1 と第2入力 a_2 、およびこれらの入力を加える時間 t_1 、 t_2 は、搬送システムの固有振動数に基づいて算出することができる。図16に示すような搬送システムにおいて、アーム長 L および荷物103の質量 m を常に一定に保てば、固有振動数は一定であるので、第1入力 a_1 と、第2入力 a_2 と、時間 t_1 、 t_2 を、公知の公式により求めることができ、制御入力を簡単に整形することができる。

10

【0007】

【特許文献1】米国特許第4916635号明細書

【特許文献2】米国特許第6102221号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

20

しかしながら、従来の逆位相入力制御には以下のような問題点があった。第一に、従来の逆位相入力制御は、固有振動数が一定のシステムに対しては、高い制振効果が得られるものの、固有振動数が変動するシステムに対しては、十分な効果が得られないという問題点が挙げられる。例えば、アーム長 L を一定として、荷物103を横方向のみに移動させる場合、固有振動数は一定であるから、従来の逆位相入力制御で高い制振効果を得ることができる。

【0009】

これに対し、荷物103を横方向に移動させつつ、同時にアーム長 L も変動させる場合、すなわち横方向への移動途中にアーム長 L が変動する場合には、そのアーム長 L の変動に伴って固有振動数が変動し、問題となる。

30

【0010】

図18は、図16に図示した搬送システムにおける、アーム長 L と固有振動数との関係を示すグラフである。図18に示すように、アーム長 L が長くなるほど、固有振動数が低周波となる関係がある。

【0011】

したがって、固有振動数が一定であることを前提として制御入力を決定する逆位相入力制御では、搬送中における固有振動数の変動に対応できず、十分な制振効果が得られない。また、被搬送物が液体である場合、搬送中にその液位が変化する場合も同様に、その液位の変動に伴って固有振動数が変動するから、従来の逆位相入力制御では、十分な制振効果が得られず、アーム長を変動させる場合と同様の問題が生じる。

40

【0012】

第二の問題点として、従来の逆位相入力制御は、1次モードの振動を好適に抑制することができるものの、高次モードの振動には対応できないという問題点が挙げられる。特に、近年の搬送システムにおいては、高速化および稼働エネルギー低減のために、搬送アームなどの軽量化が図られている。軽量化のために低剛性材料が用いられて構造が柔軟になると、高次モードの振動が発生しやすくなり、従来の逆位相入力制御では、十分な制振効果が得られない。

【0013】

したがって、このような固有振動数の変動が生じる搬送システムあるいは高次モードの振動が発生し得る搬送システムにおいて、好適に振動を抑制することができる制御法が、

50

各種産業界で求められている。

【0014】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、高い制振効果を得ることができる時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法、搬送システム、および時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0015】

請求項1記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を決定する方法であって、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得工程と、前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得工程と、その基準振動抑制入力取得工程により取得された基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得工程により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を決定する振動抑制制御入力決定工程とを備えることを特徴とする。

10

【0016】

請求項2記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項1記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記駆動装置に所定のテスト入力を入力し、前記搬送体を移動させる間に、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さを変動させるテスト工程と、そのテスト工程により、前記搬送体を移動させる間における、前記被搬送物の振動を測定する振動測定工程と、前記テスト工程により入力されたテスト入力と、前記振動測定工程により測定された振動との関係から、前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定とした場合の固有振動数である基準固有振動数を同定するパラメータ同定工程とを備え、前記基準振動抑制入力取得工程は、そのパラメータ同定工程により同定された基準固有振動数に基づいて、基準振動抑制入力を取得することを特徴とする。

20

30

【0017】

請求項3記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項2記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記パラメータ同定工程により、複数のモードの基準固有振動数が同定された場合、前記基準振動抑制入力取得工程は、前記複数のモードに対応した基準振動抑制入力を取得することを特徴とする。

【0018】

請求項4記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項2または3に記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記時変形システム振動数取得工程は、前記テスト工程により入力されたテスト入力と、前記振動測定工程により測定された振動との関係から、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得するものであることを特徴とする。

40

【0019】

請求項5記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項2から4のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記テスト工程は、前記被搬送物を第1位置から第2位置まで移動させる間に、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さを変動させる工程であり、前記時変形システム振動数取得手段は、前記被搬送物を第1位置から第2位置まで移動させる間における、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を取得することを特徴とする。

【0020】

50

請求項 6 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項 2 から 5 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記振動抑制制御入力決定工程により決定された振動抑制制御入力を、前記テスト工程におけるテスト入力として入力し、そのテスト入力に基づいて、前記時変形システム振動数取得工程と、前記パラメータ同定工程と、前記基準振動抑制入力取得工程と、前記振動抑制制御入力決定工程とを繰り返す繰り返し工程とを備えることを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

請求項 7 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記基準振動抑制入力取得工程により取得される基準振動抑制入力は、少なくとも 1 つの入力と、その入力に起因する振動と逆位相の振動を生じさせる 1 以上の入力とを含むことを特徴とする。

10

【 0 0 2 2 】

請求項 8 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法において、前記振動抑制制御入力決定工程は、下記式 (1) の $u(t)$ に基づく振動抑制制御入力を決定することを特徴とする。

$$u(t) = B'(t) \{ [A_V - A(t)] X_V + B_V u_V \} \quad (1)$$

20

但し

u_V : 基準振動抑制入力

X_V : 被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動装置に基準振動抑制入力 u_V を入力した場合における被搬送物の振動

【 数 5 】

$$B'(t) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{k_1(t)\omega_1(t)^2} & 0 & \frac{1}{k_2(t)\omega_2(t)^2} & \dots\dots & 0 & \frac{1}{k_n(t)\omega_n(t)^2} \end{bmatrix}$$

30

$k_i(t)$ は、時間 t における i 次モードのプロセスゲイン、 $\omega_i(t)$ は時間 t における i 次モードの固有振動数

【数 6】

$$Av = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_{v1}^2 & -2\zeta_{v1}\omega_{v1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\omega_{v2}^2 & -2\zeta_{v2}\omega_{v2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_{vi}^2 & -2\zeta_{vi}\omega_{vi} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_{vn}^2 & -2\zeta_{vn}\omega_{vn} \end{pmatrix}$$

10

20

【数 7】

$$B_v = \begin{pmatrix} 0 \\ K_{v1}\omega_{v1}^2 \\ 0 \\ K_{v2}\omega_{v2}^2 \\ \vdots \\ 0 \\ K_{vi}\omega_{vi}^2 \\ \vdots \\ 0 \\ K_{vn}\omega_{vn}^2 \end{pmatrix}$$

10

20

【数 8】

$$X_v = \begin{pmatrix} X_{v1} \\ X_{v2} \\ \vdots \\ X_{vi} \\ \vdots \\ X_{vn} \end{pmatrix}$$

10

20

n はモード数

30

すなわち、基準固有振動に対して、残留振動をなくす基準振動抑制入力 u_v を求め、それを用いたときの振動 X_v を求める。これを基準振動抑制出力 X_v と称することとする。そのとき、固有振動数が時間的に変動する時変形システムに対しての振動抑制制御入力 $u(t)$ は、振動波形 $X(t)$ が基準振動抑制出力 X にマッチングするように上記式(1)より求めることができる。これを「Preshaping 入力を基本とした、モデルマッチング法による時変形システムの振動抑制制御入力の決定(導出)方法」と称する。

【0023】

請求項9記載の搬送システムは、請求項1から8のいずれかの方法により決定された振動抑制制御入力を記憶する記憶手段と、その記憶手段に記憶された振動抑制制御入力が入力される駆動装置と、その駆動装置により駆動されると共に、被搬送物を保持する搬送体とを備えたことを特徴とする。

40

【0024】

請求項10記載の搬送システムは、請求項9記載の搬送システムにおいて、前記搬送体は、前記駆動装置により水平方向へ駆動されると共に、アームを介して前記被搬送物を吊り下げるものであり、前記搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させるアーム長変動手段を備えることを特徴とする。

【0025】

請求項11記載の搬送システムは、被搬送物を保持する搬送体と、その搬送体を移動させる駆動装置と、前記搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を決定する振

50

動抑制制御入力決定手段とを備えたものであって、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得手段と、前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得手段とを備え、前記振動抑制制御入力決定手段は、その基準振動抑制入力取得手段により取得された基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得手段により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を決定するものであることを特徴とする。

【0026】

なお、この請求項1記載の搬送システムには、請求項2から8に記載の各工程が、手段として設けられていても良い。

【0027】

請求項1記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムは、搬送体を駆動装置により移動させる間に、前記搬送体に保持された被搬送物の質量、液位、または搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させる場合の振動を抑制するために、前記駆動装置に加える振動抑制制御入力を、コンピュータに演算させるプログラムであって、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を取得する時変形システム振動数取得ステップと、前記被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、前記駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力を取得する基準振動抑制入力取得ステップと、その基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得ステップにより取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力を演算する振動抑制制御入力演算ステップとを、コンピュータに演算させるプログラムである。

【0028】

なお、この請求項1記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムは、請求項2から8に記載の各工程をステップとして、コンピュータに実行させるものであっても良い。

【発明の効果】

【0029】

請求項1記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、時変形システム振動数取得工程により、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係が取得される。そして、基準振動抑制入力取得工程により、被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力取得工程により取得される。そして、その基準振動抑制入力取得工程により取得された基準振動抑制入力に、時変形システム振動数取得工程により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と前記固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力が、振動抑制制御入力決定工程により決定される。

【0030】

よって、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に伴う固有振動数の変動を考慮した振動抑制制御入力を決定することができるので、その振動抑制制御入力を駆動装置に入力することにより、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に拘わらず、高い制振効果を得ることができるという効果がある。

【0031】

なお、時変形システム振動数取得工程は、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さのうち、いずれか1つの変動と、固有振動数との対応関係を取得するものであっても良いし、2以上の変動と、固有振動数との対応関係を取得するものであっても良い。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

請求項 2 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 1 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法と同様に作用する上、テスト工程により、駆動装置に所定のテスト入力が入力され、搬送体を移動させる間に、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さが変動させられる。そして、そのテスト工程により搬送体を移動させる間における、被搬送物の振動が測定される。そして、テスト工程により入力されたテスト入力と、振動測定工程により測定された振動との関係から、被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定とした場合の固有振動数である基準固有振動数が、パラメータ同定工程により同定される。そして、そのパラメータ同定工程により同定された基準固有振動数に基づいて、基準振動抑制入力取得される。

10

【 0 0 3 3 】

よって、請求項 2 に記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 1 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、振動モデルが不明のシステムについても、振動抑制制御入力を容易に決定することができるという効果がある。

【 0 0 3 4 】

請求項 3 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、パラメータ同定工程により、複数のモードの基準固有振動数が同定された場合、基準振動抑制入力取得工程は、複数のモードに対応した基準振動抑制入力取得するので、高次モードを含む振動に対応した振動抑制制御入力を決定することができる。よって、搬送システムに発生する高次モードの振動を十分に制振制御をすることができるという効果がある。またその結果、搬送システムを低剛性材料で構成して軽量化することができ、稼働エネルギー節約の効果を得られる。

20

【 0 0 3 5 】

請求項 4 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 または 3 に記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法と同様に作用する上、テスト工程により入力されたテスト入力と、振動測定工程により測定された振動との関係から、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係が取得される。

30

【 0 0 3 6 】

よって、請求項 4 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 または 3 に記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、工程数が少なく作業が容易であるという効果がある。

【 0 0 3 7 】

請求項 5 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 から 4 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法と同様に作用する上、被搬送物を第 1 位置から第 2 位置まで移動させる間における、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係が取得される。

40

【 0 0 3 8 】

よって、請求項 5 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 から 4 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、予め定められた第 1 位置から第 2 位置への搬送を繰り返し行うバッチ型の搬送において、高い制振効果が得られるという効果がある。

【 0 0 3 9 】

請求項 6 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 から 5 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法と同様に作用する上、振動抑制制御入力決定工程により決定された振動抑制制御入力が、テスト工程におけるテスト入力として入力され、そのテスト入力に基づいて、時変形システム振動数

50

取得工程と、パラメータ同定工程と、基準振動抑制入力取得工程と、振動抑制制御入力決定工程とを繰り返される。ここで、テスト入力として、振動抑制制御入力が入力されるので、パラメータ同定工程においては、振動抑制制御入力を持っている周波数帯域で、より正確な基準固有振動数を同定することができ、その正確な基準固有振動数に基づいて、基準振動抑制入力を取得することができる。その結果、全周波数を含んだ入力を加える場合に比較して、より精度の高い振動抑制制御入力を決定することができる。

【 0 0 4 0 】

よって、請求項 6 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 2 から 5 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、より高い制振効果が得られる振動抑制制御入力を決定することができるという効果がある。

10

【 0 0 4 1 】

請求項 7 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、基準振動抑制入力取得工程により取得される基準振動抑制入力は、少なくとも 1 つの入力と、その入力に起因する振動と逆位相の振動を生じさせる 1 以上の入力とを含むものであるので、基準振動抑制入力を簡単な演算で整形することができるという効果がある。

【 0 0 4 2 】

請求項 8 記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法の奏する効果に加え、予め定められた演算式に従って、振動抑制制御入力を容易に決定することができるという効果がある。

20

【 0 0 4 3 】

請求項 9 記載の搬送システムによれば、請求項 1 から 8 のいずれかの方法により決定された振動抑制制御入力が駆動装置に入力され、その駆動装置により、被搬送物を保持する搬送体が駆動されるので、高い制振効果が得られるという効果がある。また、その結果、高速搬送においても残留振動が抑制され、生産タクトタイムを短縮することができるという効果がある。

【 0 0 4 4 】

請求項 10 記載の搬送システムによれば、請求項 9 記載の搬送システムの奏する効果に加え、搬送体は、駆動装置により水平方向へ駆動されると共に、アームを介して被搬送物を吊り下げると共に、搬送体と被搬送物との間に介在するアームの長さを変動させるアーム長変動手段を備えた搬送システムにおいて、高い制振効果が得られるという効果がある。

30

【 0 0 4 5 】

請求項 11 記載の搬送システムによれば、時変形システム振動数取得手段により、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係が取得され、被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力が、基準振動抑制入力取得手段により取得される。そして、その基準振動抑制入力取得手段により取得された基準振動抑制入力に、前記時変形システム振動数取得手段により取得した、前記被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力が、振動抑制制御入力決定手段により決定される。

40

【 0 0 4 6 】

よって、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に伴う固有振動数の変動を考慮した振動抑制制御入力を決定することができるので、その振動抑制制御入力を駆動装置に入力することにより、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に拘わらず、高い制振効果を得ることができるという効果がある。また、その結果、高速搬送におい

50

ても残留振動が抑制され、生産タクトタイムを短縮することができるという効果がある。

【0047】

請求項12記載の時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラムによれば、時変形システム振動数取得ステップにより、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係が取得され、被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動装置により搬送体を移動させる場合における固有振動数に基づいて、その固有振動数の振動を抑制するための基準振動抑制入力、基準振動抑制入力取得ステップにより取得される。そして、その基準振動抑制入力に、時変形システム振動数取得ステップにより取得した、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を反映させた、振動抑制制御入力が、振動抑制制御入力演算ステップにより演算される。

10

【0048】

よって、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に伴う固有振動数の変動を考慮した振動抑制制御入力を決定することができるので、その振動抑制制御入力を駆動装置に入力することにより、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動に拘わらず、高い制振効果を得ることができるという効果がある。また、その結果、高速搬送においても残留振動が抑制され、生産タクトタイムを短縮することができるという効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0049】

以下、本発明の好ましい実施形態について、添付図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施形態が適用される搬送システム1の正面図である。図1に示すように、搬送システム1は、制御装置としてのパーソナルコンピュータ10（以下、PC10という）と、そのPC10によって制御されるガントリローダ20とが設けられている。

20

【0050】

ガントリローダ20は、水平方向に設けられた架設レール22と、架設レール22上を走行する走行台24と、鉛直方向に昇降可能な昇降ロッド26とが設けられており、昇降ロッド26の下端にローダヘッド28が取り付けられている。ローダヘッド28には、2個のローダチャック30が横向きと下向き姿勢とに設けられている。また、ローダチャック30によって把持されるワークWまたはローダヘッド28のいずれかに、ワークWの振動を測定するための加速度センサ49（図2参照）が取り付けられる。

30

【0051】

走行台24は、後述するX軸サーボモータ40（図2参照）により架設レール22に沿って水平方向へ駆動されると共に、昇降ロッド26を介してワークWを吊り下げ、搬送する。なお、以下の説明では、架設レール22の長手方向をx方向と称し、昇降ロッド26の昇降方向をz方向と称する。また、架設レール22の上端からローダチャック30までの長さを、アーム長と称する。

【0052】

ガントリローダ20によれば、まず、第1位置34において、下向きのローダチャック30でワーク供給台35上のワークWを把持し、X軸方向サーボモータ（図2参照）により走行台24をx方向に移動させる。このx方向への移動の間に、Z軸方向サーボモータ（図2参照）により昇降ロッド26をz方向に上昇させる。これにより、ローダチャック30に把持されたワークWを、第1位置34から第2位置36まで搬送し、工作機械37にワークWをセットまたは回収することができる。

40

【0053】

本実施形態では、ガントリローダ20により、ワークWを第1位置34から第2位置36まで搬送する際には、走行台24をx方向へ移動させる間に、昇降ロッド26を上昇させることにより、ワークWを搬送する。これに対し、走行台24をx方向へ移動させた後に昇降ロッド26を上昇させる、或いは、昇降ロッド26を目的とする高さまで上昇させた後に走行台24をx方向へ移動させることとしても、第2位置36までワークWを搬送することができるが、走行台24の移動と昇降ロッド26の上昇とを並行して行った方が

50

、搬送が短時間で済むからである。

【 0 0 5 4 】

ワークW搬送の際、ローダチャック30は、慣性力や固有振動数により振動しようとする。振動が大きいと工作機械37への挿入ミスなどが発生するため、振動が減衰するのを待って挿入することになるが、本実施形態では、PC10により、振動を起こし難い入力（以下、振動抑制制御入力という）を決定し、ガントリローダ20に入力することにより、振動が抑制された動作を行わせることができるので、短時間で次の工程に移ることができる。

【 0 0 5 5 】

以下、PC10における時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法について、詳細に説明する。ここで説明する、時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法は、1次モードだけでなく、高次モードの振動まで適用可能であるが、理解を容易にするために、まずは、第1実施形態として、1次モードの振動のみを考慮した振動抑制制御入力の決定方法について説明し、その後、高次モードの振動までを考慮した振動抑制制御入力の決定方法について説明する。

10

【 0 0 5 6 】

図2は、搬送システム1の電氣的な構成を示すブロック図である。PC10は、CPU11と、ROM12と、RAM13と、ハードディスクドライブ14（以下、HDD14と称する）と、入出力ポート15とを備えている。

【 0 0 5 7 】

CPU11は、このPC10を総括的に制御する中央演算処理であり、図10のフローチャートで示す処理を実行するプログラムなどの各種プログラムを実行する。

20

【 0 0 5 8 】

ROM12は、CPU11により実行される各種制御プログラムや、それらの制御プログラムをCPU11により実行する上で必要なデータなどを格納した書き換え不能なメモリである。

【 0 0 5 9 】

RAM13は、CPU11により実行される各種処理に必要なデータやプログラムを一時的に記憶するためのメモリである。このRAM13は、テスト入力U記憶エリア13aと、振動X記憶エリア13bと、パラメータ（ ω , γ , k）記憶エリア13cと、時変形システム振動数（ ω ）記憶エリア13dと、基準振動抑制入力 u_v 記憶エリア13eと、基準振動抑制出力 X_v 記憶エリア13fとを備えている。

30

【 0 0 6 0 】

テスト入力U記憶エリア13aは、ワークWを第1位置34から第2位置36（図1参照）まで搬送するテスト走行を行うときに、X軸サーボモータ40に入力されるテスト入力Uを記憶するエリアである。なお、このテスト入力Uは、全周波数を含むランダム入力または広範囲な帯域の周波数を含む入力である。

【 0 0 6 1 】

振動X記憶エリア13bは、ワークWを第1位置34から第2位置36（図1参照）まで搬送するとき、加速度センサ49によって測定されるワークWの振動Xを記憶するエリアである。

40

【 0 0 6 2 】

図3を参照して、テスト入力Uと振動Xとについて説明する。図3(a)は、時間とテスト入力Uとの関係を示すグラフである。図3(b)は、図3(a)に示すテスト入力Uが、X軸サーボモータ40に入力された場合の走行台24の速度を示すグラフである。このようなテスト入力UがX軸サーボモータ40に入力されると、走行台24は、例えば1秒間加速された後、2秒間の定速走行を行い、1秒間の減速を経て、停止する。

【 0 0 6 3 】

図3(c)は、テスト入力Uが入力された場合における、時間と、x方向の移動距離との関係を示すグラフである。図3(c)に示すグラフは、第1位置34から第2位置36

50

までの搬送において、走行台 2 4 は、x 方向へ 3 m 移動し、その移動は 4 秒間で行われることを示している。

【 0 0 6 4 】

図 3 (d) は、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 までの移動における、時間とアーム長との関係を示すグラフである。上述したように、テスト入力 X 軸サーボモータ 4 0 に入力されることにより、走行台 2 4 は x 方向へ移動するが、その移動が行われる 4 秒の間に、Z 軸サーボモータ 4 4 を定速回転させることにより、昇降ロッド 2 6 が上昇し、図 3 (d) に示したように、アーム長を l_1 から l_2 まで一定速度で短くする。

【 0 0 6 5 】

図 3 (e) は、図 3 (a) に示すテスト入力 U に基づく x 方向への移動と、図 3 (d) に示すようアーム長の変動とが並行して行われる搬送において、加速度センサ 4 9 により測定された、ワーク W の振動 X を示すグラフである。図 3 (e) に示すように、0 秒から 1 秒における加速時、および 3 秒から 4 秒における減速時に、大きな振幅の振動が発生することが分かる。また搬送中に生じる大きな振動のため、搬送終了後も、残留振動が表れていることが分かる。この加速度センサ 4 9 により測定された振動 X が、振動 X 記憶エリア 1 3 b に記憶される。

10

【 0 0 6 6 】

図 2 に戻り説明する。パラメータ (, , k) 記憶エリア 1 3 c は、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 までの搬送において生じる振動のパラメータを記憶するエリアである。ここでは、パラメータとして、固有振動数 と、減衰係数 と、プロセスゲイン k とが記憶される。これらパラメータの同定は、以下の手順で行われる。まず、図 3 (a) に示すような時系列のテスト入力 U と、図 3 (e) に示すような時系列の振動 X とを、ショートタイムフーリエ解析することにより、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 への搬送における、各サンプリングタイム毎の周波数応答を求め伝達関数 G を決定する。なお、伝達関数 G は、下記 (2) 式のように表される関数である。

20

$$G = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{k \omega^2}{s^2 + 2\zeta \omega s + \omega^2} \quad (2)$$

30

【 0 0 6 7 】

そして、周波数応答に (2) 式の伝達関数がフィッティングするように、作成された伝達関数 G に従って、各サンプリングタイム毎に、固有振動数 、減衰係数 、プロセスゲイン k を最小二乗法により同定する。

【 0 0 6 8 】

図 4 は、一例として、時間 $t = 2$ における振動モデルを示す周波数 - ゲイン線図であって、横軸に振動数を取り、縦軸に伝達関数 G のゲインをとって示すグラフである。図 4 に示す周波数 - ゲイン線図において、固有振動数 は、伝達関数 G のゲインがピークを示す振動数に相当するパラメータである。また、減衰係数 は、半値幅 $\omega_2 - \omega_1$ に基づき求まるパラメータである。また、プロセスゲイン k は、ピーク値に基づいて求まるパラメータである。

40

【 0 0 6 9 】

図 2 に戻り説明する。時変形システム振動数 (t) 記憶エリア 1 3 d は、時変形システム振動数 (t) を記憶するエリアである。

【 0 0 7 0 】

図 5 を参照して、時変形システム振動数 (t) について説明する。図 5 は、時変形シ

50

システム振動数 (t) を示すグラフである。図 5 に示すように、時変形システム振動数 (t) は、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 までの搬送における、時間と固有振動数 との対応関係である。アーム長が短いほど、固有振動数は高くなるので、図 3 (c) に示すように、時間の経過と共にアーム長が次第に短くなる搬送を行うと、それに伴い、図 5 に示すように、固有振動数が増大する。このアーム長の変動と、固有振動数との対応関係が、時変形システム振動数 (t) として、時変形システム振動数 (t) 記憶エリア 1 3 d に記憶される。

【0071】

ここで、図 5 に示すように、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 への搬送において、固有振動数は、2 [Hz] から 3 [Hz] まで変動している。したがって、この変化幅における中間の値、例えば 2.5 [Hz] が、基準固有振動数 ν として定めるものとする。換言すれば、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 までの搬送においてアーム長を l_1 から l_2 に変動させる場合、その変動における平均のアーム長 $(l_1 + l_2) / 2$ に対応する固有振動数を、基準固有振動数 ν として定める。

10

【0072】

図 2 に戻り説明する。基準振動抑制入力 u_v 記憶エリア 1 3 e は、基準振動抑制入力 u_v を記憶するためのエリアである。基準振動抑制入力 u_v は、基準固有振動数 ν と、その基準固有振動数 ν の減衰係数 ν に基づき定まる入力である。この基準振動抑制入力 u_v は、逆位相法により、振動を抑制するための入力である。

20

【0073】

図 6 を参照して、基準振動抑制入力 u_v について説明する。図 6 は、基準振動抑制入力 u_v に含まれる第 1 の入力 A_1 と、第 2 の入力 A_2 とを模式的に示す図である。ここで、第 1 の入力 A_1 と第 2 の入力 A_2 とは、図 6 に示すように、第 1 の入力 A_1 の大きさを「1」としたとき、第 2 の入力 A_2 の大きさが K で表される関係にある。また、第 1 の入力 A_1 を加えた後、時間 T 後に、第 2 の入力 A_2 が加えられる関係にある。このような第 1 の入力 A_1 と第 2 の入力 A_2 とを含む基準振動抑制入力 u_v を用いれば、第 1 の入力 A_1 に基づく振動と第 2 の入力 A_2 に基づく振動とが逆位相となって互いに相殺し合い、固有振動数が ν の振動を好適に抑制することができるのである。なお、第 2 の入力 A_2 の大きさ K 、第 2 の入力 A_2 を加えるタイミング T は、図 6 に示す演算式により算出されるが、1 次モードの振動抑制入力算出のための公知の式であるため、詳細な説明は省略する。

30

【0074】

図 2 に戻り説明する。基準振動抑制出力 X_v 記憶エリア 1 3 f は、基準振動抑制出力 X_v を記憶するエリアである。この基準振動抑制出力 X_v は、アーム長を一定の $(l_1 + l_2) / 2$ として、基準振動抑制入力 u_v を X 軸サーボモータ 40 に入力した場合の振動出力である。上述したように、基準振動抑制入力 u_v は基準固有振動数 ν の振動を好適に抑制することができる入力であるから、この基準振動抑制出力 X_v は、振動が抑制された出力であり、下記の状態方程式 (3) を用いて算出することができる。

$$\dot{X}_v = A_v X_v + B_v u_v \quad (3)$$

40

但し、

$$\dot{X}_v = \begin{bmatrix} \dot{X}_{v1} \\ \dot{X}_{v2} \end{bmatrix} \quad X_v = \begin{bmatrix} X_{v1} \\ X_{v2} \end{bmatrix}$$

$$A_v = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_v^2 & -2\zeta_v\omega_v \end{bmatrix} \quad B_v = \begin{bmatrix} 0 \\ k_v\omega_v^2 \end{bmatrix}$$

X_{v1} : 基準振動抑制出力 X_v の振れ角

X_{v2} : 基準振動抑制出力 X_v の振れ角速度

10

【0075】

ここで、第1位置34から第2位置36への搬送では、x方向への移動の間にアーム長が l_1 から l_2 に変動するので、固有振動数が時々刻々と変動し、基準振動抑制入力 u_v をそのまま入力したとしても、基準振動抑制出力 X_v のような振動が抑制された出力とはならない。

【0076】

図7は、基準振動抑制入力 u_v を入力した場合の、第1位置34から第2位置36までの搬送をシュミレーションした結果を示すグラフである。図7(a)は、基準振動抑制入力 u_v を示すグラフである。上述したように、基準振動抑制入力 u_v によれば第1の入力 A_1 の後に、その入力に起因する振動を相殺するための第2の入力 A_2 を加えるので、図7(a)に示すように、加速度の上昇および低下は、いずれも2段階で行われる。図7(b)は、基準振動抑制入力 u_v をX軸サーボモータ40に加えたときの、走行台24の速度を表すグラフである。図7(b)に示すように、基準振動抑制入力 u_v を入力した場合は、図3(b)に示した台形速度に比較すると、定速走行に入る直前の速度上昇が緩やかであり、また定速走行直後の減速が緩やかに行われることが分かる。

20

【0077】

図7(c)は、第1位置34から第2位置36への搬送の間におけるワークWの振動を示すグラフである。図7(c)に示すように、制振制御を行わない場合の振動 X (図3(e)参照)に比較すると、振動は抑制されているものの、十分な制振効果は得られておらず、搬送終了後において残留振動が観察される。

30

【0078】

よって、本実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法では、基準振動抑制入力 u_v と、基準振動抑制出力 X_v と、時変形システム振動数 $\omega(t)$ を用いて、アーム長の変動を反映した振動抑制制御入力 $u(t)$ を演算する。発明者は、鋭意研究の結果、アーム長の変動がある搬送においても、高い制振効果を得ることができる振動抑制制御入力 $u(t)$ を算出するための、下記(4)式を導出した。なお、下記(4)式は、請求の範囲に記載した(1)式に対応する式である。

$$u(t) = B'(t) \{ [A_v - A(t)] X_v + B_v u_v \} \quad (4)$$

40

但し

u_v : 基準振動抑制入力

X_v : 基準振動抑制出力

$$A_v = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_v^2 & -2\zeta_v\omega_v \end{bmatrix} \quad B_v = \begin{bmatrix} 0 \\ k_v\omega_v^2 \end{bmatrix}$$

$$A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega(t)^2 & -2\zeta(t)\omega(t) \end{bmatrix}$$

$$B'(t) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{k(t)\omega(t)^2} \end{bmatrix}$$

10

【 0 0 7 9 】

上記(4)式は、振動抑制制御入力 $u(t)$ の決定方法を方程式で表したものである。また、図8は、(4)式に示される振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定のアルゴリズムをブロック線図で示した図である。

【 0 0 8 0 】

以下、上記(4)式の導出までの流れについて説明する。

20

【 0 0 8 1 】

第1位置34から第2位置36への搬送において、各時間 t の固有振動数は、時変形システム振動数 $\omega(t)$ で表されるから(図5参照)、振動抑制制御入力 $u(t)$ を入力したときの出力 X は、時変形システム振動数 $\omega(t)$ を用いて、下記(5)の状態方程式により表される。

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{X} + \mathbf{B}(t)u(t) \quad (5)$$

30

但し、

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{X}}_1 \\ \dot{\mathbf{X}}_2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \mathbf{X}_2 \end{bmatrix}$$

40

$$A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega(t)^2 & -2\zeta(t)\omega(t) \end{bmatrix} \quad B(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ k(t)\omega(t)^2 \end{bmatrix}$$

X_1 : 振動抑制制御入力 $u(t)$ を入力したときの振れ角

X_2 : 振動抑制制御入力 $u(t)$ を入力したときの振れ角速度

上述した(3)式で求まる基準振動抑制出力 X_v は、振動が抑制された出力であるから、上記(5)式の状態方程式の出力 X が基準振動抑制出力 X_v と等しければ、振動が抑制

50

されることとなる。よって、(5)式における出力 X を(3)式の基準振動抑制出力 X_v とおく。すなわち、下記(6)式が成立する。

$$\dot{X}_v = A(t)X_v + B(t)u(t) \quad (6)$$

そして、(3)式と(6)式より、下記(7)式が成立する。

$$A_V X_V + B_V u_V = A(t)X_V + B(t)u(t) \quad (7)$$

10

この(7)式を整理することにより、振動抑制制御入力 $u(t)$ を求めることができる。上記(4)式が導出されるのである。

【0082】

図9は、上記(4)式に従って決定された振動抑制制御入力 $u(t)$ と、その振動抑制制御入力 $u(t)$ を入力した場合の、第1位置34から第2位置36までのワーク W の搬送をシミュレーションした結果とを示すグラフである。図9(a)は、振動抑制制御入力 $u(t)$ を示すグラフである。図9(a)に示すように、振動抑制制御入力 $u(t)$ は、図7(a)に示した基準振動抑制入力 u_v よりもさらに滑らかに変化する。

20

【0083】

図9(b)は、振動抑制制御入力 $u(t)$ を、 X 軸サーボモータ40に加えたときの、走行台24の速度を表すグラフである。図9(c)は、第1位置34から第2位置36への搬送の間におけるワーク W の振動を示すグラフである。図9(c)から、振動抑制制御入力 $u(t)$ により、高い制振効果が得られていることが分かる。特に、図7(c)と比較すると、搬送終了後、短時間で残留振動が消滅していることが観察される。

【0084】

図2に戻り説明する。HDD14は、ハードディスクドライブであり、振動抑制制御入力演算プログラム14aが記憶される。この振動抑制制御入力演算プログラム14aは、図10のフローチャートで示す処理を実行するプログラムである。なお、図10に示す処理によって決定された振動抑制制御入力 $u(t)$ は、このHDD14に記憶され、必要に応じて読み出されて、ガントリロード20に出力される。

30

【0085】

入出力ポート15は、PC10とガントリロード20との間における信号の入出力制御を行うものである。これらCPU11と、ROM12と、RAM13と、HDD14と、入出力ポート15とは、バスを介して互いに接続されている。

【0086】

ガントリロード20は、 X 軸サーボコントローラ38と、 X 軸サーボモータ40と、 Z 軸サーボコントローラ42と、 Z 軸サーボモータ44と、 X 軸ロータリーエンコーダ46と、 Z 軸ロータリーエンコーダ48と、加速度センサ49とが設けられている。

40

【0087】

X 軸サーボコントローラ38は、PC10からの指令を受けて、 X 軸サーボモータ40に駆動指令信号を出力するものである。 X 軸サーボモータ40は、 X 軸サーボコントローラ38からの駆動指令信号を受けて、走行台24を駆動する。

【0088】

Z 軸サーボコントローラ42は、PC10からの指令を受けて、 Z 軸サーボモータ44に駆動指令信号を出力するものである。 Z 軸サーボモータ44は、 Z 軸サーボコントローラ42からの駆動指令信号を受けて、昇降ロッド26を昇降させる。

【0089】

50

X軸ロータリーエンコーダ46は、X軸サーボモータ40の加速度および走行台24の速度を測定し、PC10に入力するためのものである。Z軸ロータリーエンコーダ48は、アーム長を測定し、PC10に入力するためのものである。加速度センサ49は、ローダチャック30に設けられており、ローダチャック30に把持されたワークWの振動を測定し、PC10に入力するためのものである。

【0090】

図10は、PC10において実行される振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定処理を示すフローチャートである。この振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定処理は、PC10において、オペレータが第1位置34と第2位置36とを指定し、振動抑制制御入力 $u(t)$ の決定処理の開始を指示すると、起動する処理である。

10

【0091】

まず、第1位置34と第2位置36との間のx方向距離に基づいて、テスト入力Uが決定され、テスト入力U記憶エリア13a(図2参照)に記憶される(S1)。具体的には、図3(b)に示すような台形速度で走行台24が駆動されるように、テスト入力Uが決定される。

【0092】

次に、第1位置34のアーム長 l_1 と第2位置36のアーム長 l_2 とに基づいて、Z軸サーボモータ44への入力を決定する(S2)。この入力は、テスト入力Uにより走行台24がx方向に移動する間、アーム長が一定速度で l_1 から l_2 まで変動するように決定される入力である。

20

【0093】

次に、S1により決定されたテスト入力UをX軸サーボモータ40に出力して走行台24をx方向へ走行させると共に、そのx方向への移動の間に、S2により決定された入力によりZ軸サーボモータ44を駆動し、アーム長を l_1 から l_2 まで変動させることにより、テスト走行を行う(S3)。なお、このテスト走行は、ローダチャック30によりワークWを把持した状態で行う。

【0094】

次に、加速度センサ49により取得された、ワークWの振動Xを振動X記憶エリア13b(図2参照)に記憶する(S4)。そして、テスト入力Uと振動Xとを、それぞれショートタイムフーリエ変換し、周波数応答に変換する(S6)。

30

【0095】

次に、周波数応答から伝達関数を求め、各時間毎の固有振動数 ω_n 、減衰係数 ζ 、プロセスゲインkを最小二乗法により同定し、パラメータ記憶メモリ13c(図2参照)に記憶する(S8)。そして、同定された各時間毎の固有振動数 ω_n に基づいて、アーム長の変動と固有振動数 ω_n との対応関係を表す、時変形システム振動数 $\omega_n(t)$ (図5参照)を取得する(S10)。

【0096】

次に、時変形システム振動数 $\omega_n(t)$ に基づいて、基準固有振動数 ω_{n0} を決定する(S12)。そして、基準固有振動数 ω_{n0} の振動を抑制することができる基準振動抑制入力 u_{v0} を取得し、基準振動抑制入力 u_{v0} 記憶エリア13eに記憶する(S14)。

40

【0097】

次に、その基準振動抑制入力 u_{v0} に基づいて、状態方程式を用いて、シミュレーションにより基準振動抑制出力 X_v を決定する(S16)。そして、基準振動抑制入力 u_{v0} と、基準振動抑制出力 X_v と、時変形システム振動数 $\omega_n(t)$ とに基づいて、上記(4)式で示される振動抑制制御入力 $u(t)$ が決定され、HDD14に記憶される(S18)。

【0098】

第1実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法によれば、アーム長変動に伴う固有振動数 ω_n の変動を考慮した振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができるので、その振動抑制制御入力 $u(t)$ をX軸サーボモータ40に入力することにより、アーム長の変動に拘わらず、高い制振効果を得ることができる。

50

【 0 0 9 9 】

また、テスト走行において測定された振動 X とテスト入力 U との関係から、テスト走行（実験）により、固有振動数、減衰係数、プロセスゲイン k を同定するので、理論的な振動モデルが、元々不明であったシステムについても、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができる。

【 0 1 0 0 】

また、テスト走行時におけるテスト入力 U と振動 X との関係から時変形システム振動数 (t) を取得しているので、時変形システム振動数 (t) 取得のための再度のテスト走行を行う必要がなく、作業が容易である。

【 0 1 0 1 】

また、決定された振動抑制制御入力 $u(t)$ は、HDD 14 に記憶されるので、第 1 位置 34 から第 2 位置 36 への搬送を繰り返し行うバッチ型の搬送において、繰り返し用いられ、簡単な処理で高い制振効果が得られる。

【 0 1 0 2 】

また、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定するために必要な基準振動抑制入力 u_v は、公知の逆位相入力制御と同様の演算で、簡単に整形することができる。よって、振動抑制制御入力 $u(t)$ を容易に決定することができる。

【 0 1 0 3 】

なお、第 1 実施形態では、図 6 を参照して説明した第 1 の入力 A_1 と第 2 の入力 A_2 とに基づいて、基準振動抑制入力 u_v を整形するものとして説明したが、基準振動抑制入力 u_v を求める演算方法はこれに限られない。

【 0 1 0 4 】

図 11 を参照して、基準振動抑制入力 u_v を求める他の演算方法について説明する。図 11 は、基準振動抑制入力 u_v に含まれる入力を模式的に示す図であり、図 6 に相当する図である。図 6 に示した演算方法によれば、第 1 の入力 A_1 の後、 T 後に振動抑制のための第 2 の入力 A_2 が加えられていた。これに対し、図 11 に示す演算方法によれば、第 1 の入力 A_1 の後、その第 1 の入力 A_1 による振動を抑制するための、第 2 の入力 A_2 と第 3 の入力 A_3 とが加えられる。なお、第 2 の入力 A_2 の大きさ $2K$ と、その第 2 の入力 A_2 を加えるタイミング T 、および第 3 の入力 A_3 の大きさ K^2 と、その第 3 の入力 A_3 を加えるタイミング $2T$ を求める演算式は、図 11 に記載している通りである。

【 0 1 0 5 】

図 11 に示すように、第 1 の入力 A_1 に起因する振動を、第 2 の入力 A_2 と第 3 の入力 A_3 とで抑制する基準振動抑制入力 u_v を整形した場合、ロバスト性が高い振動抑制制御入力 $u(t)$ を求めることができる。すなわち、このようにして求められた振動抑制制御入力 $u(t)$ を用いると、経時的な摩耗、電圧の変動、アーム長の計測誤差や、ワーク W の質量のバラツキなどに関わらず、安定して高い制振効果が得られるのである。なお、図 11 に示す演算式の導出までの流れは、後に詳細に説明する。

【 0 1 0 6 】

次に、第 2 実施形態について説明する。上述した第 1 実施形態では、1 次モードの振動のみが発生する場合について説明したが、第 2 実施形態では、高次モードの振動が発生する場合について説明する。なお、本第 2 実施形態において、上述した第 1 実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 1 0 7 】

第 2 実施形態においても、第 1 実施形態と同様に、まず、図 3 (a) に示すような時系列のテスト入力 U と、図 3 (e) に示すような時系列の振動 X とを、ショートタイムフーリエ解析することにより、第 1 位置 34 から第 2 位置 36 への搬送において、各サンプリングタイム毎に、振動モデルを表す伝達関数 G が作成される。

【 0 1 0 8 】

ここで、振動が 2 次モードまで発生する場合について説明する。図 12 (a) は、時間 $t = 2$ における振動モデルを示す周波数 - ゲイン線図であって、図 4 に対応する図である

10

20

30

40

50

。図12(a)に示す周波数 - ゲイン線図では、2つのピークが表れている。低周波側の振動数が1次モードの固有振動数として同定され、高周波側の振動数が2次モードの固有振動数として同定される。

【0109】

2次モードまでの振動が発生する場合も、第1実施形態と同様に、第1位置34から第2位置36までの搬送においてアーム長を l_1 から l_2 に変動させる場合の平均のアーム長 $(l_1 + l_2) / 2$ に対応する基準固有振動数 ν を定める。この場合、基準固有振動数 ν は、1次モードの固有振動数 ν_1 と2次モードの固有振動数 ν_2 とからなるから、下記(8)式で表すことができる。なお、1次モードの固有振動数 ν_1 の振動と2次モードの固有振動数 ν_2 の振動との合成波が、加速度センサ49によって測定される振動に相当する。

10

$$\omega_{\nu} = \begin{bmatrix} \omega_{\nu 1} \\ \omega_{\nu 2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

【0110】

次に、第1実施形態と同様に、基準固有振動数 ν を抑制するための基準振動抑制入力 u_{ν} を求める。

20

【0111】

図12(b)を参照して、2次モードまでを考慮した場合の基準振動抑制入力 u_{ν} について説明する。図12(b)は、2次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_{ν} に含まれる第1の入力 A_1 と、第2の入力 A_2 と、第3の入力 A_3 と、第4の入力 A_4 とを模式的に示す図である。図12(b)に示すように、第1の入力 A_1 の大きさを「1」としたとき、第2の入力 A_2 は大きさが K_1 で表され、第3の入力 A_3 は大きさが K_2 で表され、第4の入力 A_4 は大きさが $K_1 K_2$ で表される関係にある。

【0112】

そして、第1の入力 A_1 を加えた後、時間 T_1 後に、第2の入力 A_2 が加えられ、時間 T_2 後に第3の入力 A_3 が加えられ、時間 $T_1 + T_2$ 後に第4の入力 A_4 が加えられる。このような第1の入力 A_1 、第2の入力 A_2 、第3の入力 A_3 、第4の入力 A_4 を含む基準振動抑制入力 u_{ν} を用いれば、第1の入力 A_1 に基づく振動とそれ以降の入力に基づく振動とが互いに相殺し合い、2次モードまで含む振動であっても好適に抑制することができる。

30

【0113】

なお、 T_1 、 T_2 、 K_1 、 K_2 は、図12(b)に示す演算式により算出される。この図12(b)に示す演算式は、2次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_{ν} を整形するために、本発明者が鋭意研究の結果、導出した新規の式である。この演算式導出までの過程は、後に詳述する。また、本発明者は、3次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_{ν} を整形するための演算式も導出したので、これについても後に詳述する。

40

【0114】

このようにして基準振動抑制入力 u_{ν} が整形されると、第1実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力の決定方法と同様に、基準振動抑制入力 u_{ν} と、基準振動抑制出力 X_{ν} と、時変形システム振動数 (t) を用いて、アーム長の変動を反映した振動抑制制御入力 $u(t)$ を下記(9)式により演算する。なお、下記(9)式は、上述した第1実施形態で説明した(4)式を、 n 次モード(n は正の整数)まで展開した式であり、請求の範囲に記載した(1)式に対応する式である。

$$u(t) = B'(t) \{ [A_v - A(t)] X_v + B_v u_v \} \quad (9)$$

但し

u_v : 基準振動抑制入力

X_v : 被搬送物の質量、液位、およびアームが介在するときはアームの長さを一定として、駆動

装置に基準振動抑制入力 u_v を入力した場合における被搬送物の振動

10

$B'(t)$: 上記「数5」で示した通りである

A_v : 上記「数6」で示した通りである

B_v : 上記「数7」で示した通りである

X_v : 上記「数8」で示した通りである

n はモード数

【0115】

第2実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法によれば、複数のモードの基準固有振動数 ν が同定された場合、その複数のモードに対応した基準振動抑制入力 u_v を取得し、その複数のモードに対応した基準振動抑制入力 u_v に基づいて、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができる。よって、その振動抑制制御入力 $u(t)$ を X 軸サーボモータ 40 に入力することにより、高次モードを含む振動についても、高い制振効果を得ることができる。

20

【0116】

上述した第2実施形態では説明を分かりやすくするために、まず、2次モードまでを考慮して説明したが、第2実施形態の時変形システムに対する振動抑制制御入力決定方法は、3以上のモードにも適用可能である。したがって、以下に、3次モードまでを考慮する場合について説明する。3次モードまで振動が発生する場合も、同様に、第1位置34から第2位置36までの搬送においてアーム長を l_1 から l_2 に変動させる場合の平均のアーム長 $(l_1 + l_2) / 2$ に対応する基準固有振動数 ν を定めるが、この場合の基準固有振動数 ν は、1次モードの固有振動数 ν_1 と、2次モードの固有振動数 ν_2 と、3次モードの固有振動数 ν_3 からなる。

30

【0117】

図13は、3次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_v に含まれる第1の入力 A_1 から第8の入力 A_8 までを模式的に示す図である。図13に示すように、第1の入力 A_1 の大きさを「1」としたとき、第2の入力 A_2 は大きさが K_1 で表され、第3の入力 A_3 は大きさが K_2 で表され、第4の入力 A_4 は大きさが $K_1 K_2$ で表される関係にある。

【0118】

さらに、第5の入力 A_5 は大きさが K_3 で表され、第6の入力 A_6 は大きさが $K_1 K_3$ で表され、第7の入力 A_7 は大きさが $K_2 K_3$ で表され、第8の入力 A_8 は大きさが $K_1 K_2 K_3$ で表される関係にある。

40

【0119】

そして、第1の入力 A_1 を加えた後、時間 T_1 後に、第2の入力 A_2 が加えられ、時間 T_2 後に第3の入力 A_3 が加えられ、時間 $T_1 + T_2$ 後に第4の入力 A_4 が加えられる。また、時間 T_3 後に、第5の入力 A_5 が加えられ、時間 $T_1 + T_3$ 後に第6の入力 A_6 が加えられ、時間 $T_2 + T_3$ 後に第7の入力 A_7 が加えられ、時間 $T_1 + T_2 + T_3$ 後に第8の入力 A_8 が加えられる。

【0120】

このような第1の入力 A_1 から第8の入力 A_8 を含む基準振動抑制入力 u_v を用いれば、第1の入力 A_1 に基づく振動とそれ以降の入力に基づく振動とが互いに相殺し合い、3次モードまで含む振動であっても好適に抑制することができる。

50

【0121】

そして、このようにして決定された基準振動抑制入力 u_v と、基準振動抑制出力 X_v と、時変形システム振動数 $\omega(t)$ を用いて、アーム長の変動を反映した振動抑制制御入力 $u(t)$ を上記(9)式により演算する。このようにすれば、3次モードを含む振動についても、高い制振効果を得ることができる振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができる。

【0122】

なお、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 K_1 、 K_2 、 K_3 は、図13に示す演算式により算出される。この図13に示す演算式は、3次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_v を整形するために、本発明者が鋭意研究の結果、導出した式であるから、この演算式導出までの過程は、後に詳述する。

10

【0123】

次に、第3実施形態について説明する。上述した第1実施形態および第2実施形態は、テスト走行を1回のみ行い、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定する形態であったが、第3実施形態は、テスト走行を繰り返すことにより、さらに高精度な振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定しようとする形態である。なお、本第2実施形態において、上述した第1実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。

【0124】

図14を参照して、繰り返し同定処理について説明する。図14は、第3実施形態のPC10において実行される繰り返し同定処理を示すフローチャートである。この繰り返し同定処理は、PC10において、オペレータが、繰り返し同定処理の開始を指示すると、起動する処理である。なお、この繰り返し同定処理は、振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定処理(図10参照)により、既に振動抑制制御入力 $u(t)$ が決定され、その決定された値がHDD14に記憶されている場合に実行される。

20

【0125】

まず、HDD14に記憶されている、振動抑制制御入力 $u(t)$ を読み出して、X軸サーボモータ40に出力することにより、走行台24をx方向へ走行させると共に、そのx方向への移動の間に、Z軸サーボモータ44を駆動し、アーム長 l_1 から l_2 まで変動させて、テスト走行を行う(S20)。なお、このテスト走行は、前回の振動抑制制御入力決定処理(図10参照)の実行時にローダチャック30により把持されていたワークWと同一質量のワークWを、ローダチャック30に把持させた状態で行うものとする。

30

【0126】

次に、テスト走行の間に加速度センサ49により取得された振動 X を、PC10のモニターに表示する(S22)。そして、振動出力結果に満足か否かをオペレータに問い合わせる(S24)。モニターを見たオペレータが振動出力結果に満足した場合(S24: Yes)、S20の処理で読み出した振動抑制制御入力 $u(t)$ を、再びHDD14に記憶し(S26)、処理を終了する。前回までに決定された振動抑制制御入力 $u(t)$ で十分な制振効果が得られることが明らかとなったからである。

【0127】

一方、モニターを見たオペレータが振動出力結果に不満足であった場合(S24: No)、振動抑制制御入力 $u(t)$ を再決定する処理を行う。

40

【0128】

すなわち、S20の処理において、テスト入力として入力された振動抑制制御入力 $u(t)$ と、測定された振動 X とを、それぞれショートタイムフーリエ変換し、周波数応答に変換する(S28)。

【0129】

そして、周波数応答から伝達関数を求め、各時間毎の固有振動数、減衰係数、プロセsgain k を最小二乗法により同定し、パラメータ記憶メモリ13c(図2参照)に記憶する(S30)。ここでは、より高精度のパラメータを得ることができる。すなわち、上述した振動抑制制御入力決定処理(図10参照)では、全周波数成分を調べるために、

50

全周波数を含むランダム入力または広範囲な帯域の周波数を含むテスト入力を入力していたので、全周波数帯域にエネルギーが分散し、注目帯域においてそれほど強い信号成分が得られない。よって、条件によっては、ノイズの影響を受け易く、パラメータを正確に同定できない可能性があった。これに対し、この繰り返し同定処理では、テスト入力として振動抑制制御入力 $u(t)$ を入力することから、注目帯域においてより強い信号成分を得ることができ、高精度にパラメータを同定できるのである。

【0130】

そして、以下のステップでは、より高精度なパラメータに基づいて、時変形システム振動数 $\omega_v(t)$ が取得され (S32)、また、基準固有振動数 ω_v が決定され (S34)、かつ、基準振動抑制入力 u_v が決定される (S36)。

10

【0131】

そして、その基準振動抑制入力 u_v に基づいて、基準振動抑制出力 X_v が決定され (S38)、基準振動抑制入力 u_v と、基準振動抑制出力 X_v と、時変形システム振動数 $\omega_v(t)$ とに基づいて、上記 (4) 式または (9) 式で示される振動抑制制御入力 $u(t)$ が決定される (S40)。したがって、前回決定時よりも、より制振効果の高い振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができるのである。

【0132】

そして、S20の処理に戻り、決定した振動抑制制御入力 $u(t)$ を X 軸サーボモータ 40 に出力することにより、走行台 24 を x 方向へ走行させると共に、その x 方向への移動の間に、Z 軸サーボモータ 44 を駆動し、アーム長 l_1 から l_2 までを変動させることにより、再度のテスト走行を行う (S20)。そして、テスト走行の間に加速度センサ 49 により取得された振動 X を、PC10のモニターに表示し (S22)、振動出力結果に満足か否かをオペレータに問い合わせる (S24)。このようにして、オペレータが振動出力結果に満足するまでの間、処理を繰り返す。

20

【0133】

第3実施形態の繰り返し同定処理によれば、テスト走行の際に、前回までに決定された振動抑制制御入力 $u(t)$ が入力されるので、より精度の高い振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定することができる。なお、本発明者は、シミュレーションを重ねた結果、繰り返し同定処理の繰り返し回数を多くすればするほど、より高精度のパラメータを同定ことができ、その結果、より制振効果が高い振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定できることを知見した。

30

【0134】

以上、実施形態に基づき本発明を説明したが、本発明は上述した実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で種々の改良変更が可能であることは容易に推察できるものである。

【0135】

例えば、上記実施形態では、振動抑制制御入力 $u(t)$ を、ガントリローダ 20 に入力していたが、制御対象はガントリローダ 20 に限られず、クレーンや、工場で用いられるロボットアームなど、各種搬送装置に適用することができる。

【0136】

図15を参照して、振動抑制制御入力 $u(t)$ による制御対象の変形例について説明する。図15は、実施形態のガントリローダ 20 に替えて用いられる、液体搬送装置 50 を示す図である。この液体搬送装置 50 は、液体 52 を容器 54 に収容して走行台 56 により搬送するための装置であり、その搬送過程において、走行台 56 と並進する滴下装置 58 から液体が滴下されるシステムである。また、容器 54 には、液面の振動を測定するための液面センサ 60 が設けられている。このような搬送システムによれば、走行台 56 の移動の過程において、被搬送物である液体 52 の質量および液位 (液面高さ) が変動する。

40

【0137】

このような搬送システムにおいても、搬送中、液体 52 の液位の変動のために固有振動

50

数 が変動するが、実施形態で説明した方法で決定した振動抑制制御入力 $u(t)$ を、走行台 5 6 の駆動装置に入力することにより、高い制振効果を得ることができる。よって、走行台 5 6 を高速で走行させても、液体 5 2 のあふれや飛び散りを抑制すると共に高速搬送することができる。なお、容器 5 4 から液体 5 2 を流出させながら搬送する場合も、液位の変動のために固有振動数 が変動するが、同様に、振動抑制制御入力 $u(t)$ を走行台 5 6 の駆動装置に入力することにより高い制振効果を得ることができる。

【 0 1 3 8 】

また、上述した実施形態では、時間と固有振動数との対応関係である、時変形システム振動数 (t) を用いて、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定していたが、被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と、固有振動数との対応関係を表すものであれば、時変形システム振動数 (t) 以外のものが用いられても良い。たとえば、アーム長毎の固有振動数 (l) を用いて、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定するように、振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定処理 (図 10 参照) または繰り返し同定処理 (図 14 参照) を変形しても良い。また、被搬送物の液位 h 毎の固有振動数 (h) を用いて、振動抑制制御入力 $u(t)$ を決定するように構成しても良い。

10

【 0 1 3 9 】

また、上述した実施形態では、変動の過程における平均のアーム長 $(l_1 + l_2) / 2$ に対応する固有振動数 を、基準固有振動数 v として定めていたが、基準固有振動数 v の決定法はこれに限られず、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 までの搬送におけるいずれかの時点の固有振動数 を基準固有振動数 v として定めてもよい。

20

【 0 1 4 0 】

また、上述した実施形態では、第 1 位置 3 4 から第 2 位置 3 6 への搬送のみを行うものとして説明したが、 x 方向への移動距離が同一であり、その x 方向への移動の間におけるアーム長の変動が同一である搬送については、同じ振動抑制制御入力 $u(t)$ を用いて制振効果を得ることができる。

【 0 1 4 1 】

また、上述した実施形態では、(4) 式または (9) 式を用いて決定した振動抑制制御入力 $u(t)$ をそのまま用いるものとして説明したが、(4) 式または (9) 式を用いて決定した振動抑制制御入力 $u(t)$ に基づいて、駆動装置に対する制御入力を求めるように構成しても良い。

30

【 0 1 4 2 】

上述の説明で用いた各演算式を導出するまでの流れを、以下にまとめて説明する。

< 1 次モードに対する入力の大きさとタイミング (図 6 に対応) >

N 個のインパルス入力による振動の振幅は、式 (18) で与えられる。

$$A_{amp} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^N B_j \cos \phi_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N B_j \sin \phi_j\right)^2} \quad (18)$$

40

ここで

$$\phi_j = \omega_v \sqrt{1 - \zeta_v^2} t_j$$

振動を抑制するには $A_{amp} = 0$ となる必要がある。よって式 (18) は、

$$A_{amp} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^N B_j \cos \phi_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N B_j \sin \phi_j\right)^2} = 0 \quad (19)$$

となる．ここで

$$B_j = \frac{A_j \omega_v}{\sqrt{1 - \zeta_v^2}} e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \quad 10$$

式(19)となるには

$$\begin{cases} B_1 \cos \phi_1 + B_2 \cos \phi_2 + \dots + B_N \cos \phi_N = 0 \\ B_1 \sin \phi_1 + B_2 \sin \phi_2 + \dots + B_N \sin \phi_N = 0 \end{cases} \quad (20) \quad 20$$

となり，式(20)は式(21)のようにまとめられる．

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \sin(t_j \omega_v \sqrt{1 - \zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^N A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \cos(t_j \omega_v \sqrt{1 - \zeta_v^2}) = 0 \end{cases} \quad (21) \quad 30$$

インパルス入力が2個の場合，式(21)は式(22)となる．

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^2 A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_2 - t_j)} \sin(t_j \omega_v \sqrt{1 - \zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^2 A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_2 - t_j)} \cos(t_j \omega_v \sqrt{1 - \zeta_v^2}) = 0 \end{cases} \quad (22) \quad 40$$

初期入力を $t_1 = 0, A_1 = 1$ とすることによって，式(22)の解は，

$$A_2 = K = e^{-\frac{\zeta_v \pi}{\sqrt{1-\zeta_v^2}}}$$

$$t_2 = \Delta T = \frac{\pi}{\omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}} \quad (23)$$

10

となる。すなわち、1次モードに対する入力（インパルス入力）の大きさとタイミングは、図6に示したようになる。

【0143】

<入力が3個の場合の大きさとタイミング（図11に対応）>

システムの固有振動数のばらつきによるモデル誤差に対して、入力のロバスト性を増すために新たに制約を追加する。追加する式を式(24)に示す。これは式(24)を振動数で微分したものである。

20

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N A_j t_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \sin(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^N A_j t_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \cos(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \end{cases} \quad (24)$$

インパルス入力を2個から3個に増やし、3個の入力を式(25)よりもとめる。

30

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^3 A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_2 - t_j)} \sin(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^3 A_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_2 - t_j)} \cos(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^3 A_j t_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \sin(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \\ \sum_{j=1}^3 A_j t_j e^{-\zeta_v \omega_v (t_N - t_j)} \cos(t_j \omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}) = 0 \end{cases} \quad (25)$$

40

初期入力 $t_1 = 0, A_1 = 1$ とすることによって式(25)の解は、

$$\left\{ \begin{array}{l} A_2 = 2K = 2e^{-\frac{\zeta_v \pi}{\sqrt{1-\zeta_v^2}}} \\ t_2 = \Delta T = \frac{\pi}{\omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}} \\ A_3 = K^2 = \left(e^{-\frac{\zeta_v \pi}{\sqrt{1-\zeta_v^2}}} \right)^2 \\ t_3 = 2\Delta T = 2 \frac{\pi}{\omega_v \sqrt{1-\zeta_v^2}} \end{array} \right. \quad (26)$$

10

20

となる。よって、入力（インパルス入力）が3個の場合の大きさとタイミングは、図11に示したようになる。

【0144】

< 2次モードに対する入力の大きさとタイミング（図12（b）に対応） >

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega_{v1}^2}{s^2 + 2\zeta_{v1}\omega_{v1}s + \omega_{v1}^2} \\ \frac{\omega_{v2}^2}{s^2 + 2\zeta_{v2}\omega_{v2}s + \omega_{v2}^2} \end{array} \right. \quad (27)$$

30

システムの振動を2次モードまで考慮し，システムの伝達関数が式(27)で表される場合，インパルス入力は式(28)～式(30)を解くことによって求められる。

$$\begin{cases} A_1 e^{-\zeta_{v1} \omega_{v1} (t_2 - t_1)} \sin(t_1 \omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}) + A_2 e^{-\zeta_{v1} \omega_{v1} (t_2 - t_2)} \sin(t_2 \omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}) = 0 \\ A_1 e^{-\zeta_{v1} \omega_{v1} (t_2 - t_1)} \cos(t_1 \omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}) + A_2 e^{-\zeta_{v1} \omega_{v1} (t_2 - t_2)} \cos(t_2 \omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}) = 0 \end{cases}$$

• • • (28)

$$\begin{cases} A_1 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_3 - t_1)} \sin(t_1 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) + A_3 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_3 - t_3)} \sin(t_3 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) = 0 \\ A_1 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_3 - t_1)} \cos(t_1 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) + A_3 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_3 - t_3)} \cos(t_3 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) = 0 \end{cases} \quad 10$$

• • • (29)

$$\begin{cases} A_2 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_4 - t_2)} \sin(t_2 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) + A_4 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_4 - t_4)} \sin(t_4 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) = 0 \\ A_2 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_4 - t_2)} \cos(t_2 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) + A_4 e^{-\zeta_{v2} \omega_{v2} (t_4 - t_4)} \cos(t_4 \omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}) = 0 \end{cases}$$

• • • (30)

20

初期入力 $t_1 = 0, A_1 = 1$ とすることにより式(28)の解は,

$$A_2 = K_1 = e^{-\frac{\zeta_{v1} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}}}$$

$$t_2 = \Delta T_1 = \frac{\pi}{\omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}} \quad (31)$$

30

式(29)の解は,

$$A_3 = K_2 = e^{-\frac{\zeta_{v2} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}}}$$

$$t_3 = \Delta T_2 = \frac{\pi}{\omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}} \quad (32)$$

40

式(30)の解は,

$$A_4 = K_1 K_2 = e^{-\left(\frac{\zeta_{v1}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\zeta_{v2}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}}\right)}$$

$$t_4 = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \frac{\pi}{\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}} \quad (33)$$

となる。すなわち、2次モードに対する入力（インパルス入力）の大きさとタイミングは 10
 、図12(b)に示したようになる。

【0145】

< 3次モードに対する入力の大きさとタイミング（図13に対応） >

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega_{v1}^2}{s^2 + 2\zeta_{v1}\omega_{v1}s + \omega_{v1}^2} \\ \frac{\omega_{v2}^2}{s^2 + 2\zeta_{v2}\omega_{v2}s + \omega_{v2}^2} \\ \frac{\omega_{v3}^2}{s^2 + 2\zeta_{v3}\omega_{v3}s + \omega_{v3}^2} \end{array} \right. \quad (34)$$

20

30

システムの振動を3次モードまで考慮し、システムの伝達関数が式(34)で表される場合、インパルス入力は式(35)～式(41)を解くことによって求められる。

$$\begin{cases} A_1 e^{-\zeta_{v1}\omega_{v1}(t_2-t_1)} \sin(t_1\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}) + A_2 e^{-\zeta_{v1}\omega_{v1}(t_2-t_2)} \sin(t_2\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}) = 0 \\ A_1 e^{-\zeta_{v1}\omega_{v1}(t_2-t_1)} \cos(t_1\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}) + A_2 e^{-\zeta_{v1}\omega_{v1}(t_2-t_2)} \cos(t_2\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}) = 0 \end{cases}$$

... (35)

$$\begin{cases} A_1 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_3-t_1)} \sin(t_1\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) + A_3 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_3-t_3)} \sin(t_3\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) = 0 \\ A_1 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_3-t_1)} \cos(t_1\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) + A_3 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_3-t_3)} \cos(t_3\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) = 0 \end{cases}$$

10

... (36)

$$\begin{cases} A_2 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_4-t_2)} \sin(t_2\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) + A_4 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_4-t_4)} \sin(t_4\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) = 0 \\ A_2 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_4-t_2)} \cos(t_2\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) + A_4 e^{-\zeta_{v2}\omega_{v2}(t_4-t_4)} \cos(t_4\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}) = 0 \end{cases}$$

20

... (37)

$$\begin{cases} A_1 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_5-t_1)} \sin(t_1\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_5 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_5-t_5)} \sin(t_5\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \\ A_1 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_5-t_1)} \cos(t_1\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_5 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_5-t_5)} \cos(t_5\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \end{cases}$$

30

... (38)

$$\begin{cases} A_2 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_6-t_2)} \sin(t_2\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_6 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_6-t_6)} \sin(t_6\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \\ A_2 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_6-t_2)} \cos(t_2\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_6 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_6-t_6)} \cos(t_6\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \end{cases}$$

... (39)

$$\begin{cases} A_3 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_7-t_3)} \sin(t_3\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_7 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_7-t_7)} \sin(t_7\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \\ A_3 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_7-t_3)} \cos(t_3\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) + A_7 e^{-\zeta_{v3}\omega_{v3}(t_7-t_7)} \cos(t_7\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}) = 0 \end{cases}$$

40

... (40)

$$\begin{cases} A_4 e^{-\zeta_{v3} \omega_{v3} (t_8 - t_4)} \sin(t_4 \omega_{v3} \sqrt{1 - \zeta_{v3}^2}) + A_8 e^{-\zeta_{v3} \omega_{v3} (t_8 - t_8)} \sin(t_8 \omega_{v3} \sqrt{1 - \zeta_{v3}^2}) = 0 \\ A_4 e^{-\zeta_{v3} \omega_{v3} (t_8 - t_4)} \cos(t_4 \omega_{v3} \sqrt{1 - \zeta_{v3}^2}) + A_8 e^{-\zeta_{v3} \omega_{v3} (t_8 - t_8)} \cos(t_8 \omega_{v3} \sqrt{1 - \zeta_{v3}^2}) = 0 \end{cases}$$

・・・(41)

初期入力 $t_1 = 0, A_1 = 1$ とすることにより式(35)の解は,

10

$$A_2 = K_1 = e^{-\frac{\zeta_{v1} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}}}$$

$$t_2 = \Delta T_1 = \frac{\pi}{\omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}} \quad (42)$$

20

となる.式(36)の解は,

$$A_3 = K_2 = e^{-\frac{\zeta_{v2} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}}}$$

$$t_3 = \Delta T_2 = \frac{\pi}{\omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}} \quad (43)$$

30

式(37)の解は,

$$A_4 = K_1 K_2 = e^{-\left(\frac{\zeta_{v1} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}} + \frac{\zeta_{v2} \pi}{\sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}} \right)}$$

$$t_4 = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \frac{\pi}{\omega_{v1} \sqrt{1 - \zeta_{v1}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v2} \sqrt{1 - \zeta_{v2}^2}} \quad (44)$$

40

式(38)の解は,

$$A_5 = K_3 = e^{-\frac{\zeta_{v3}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}}}$$

$$t_5 = \Delta T_3 = \frac{\pi}{\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}} \quad (45)$$

式(39)の解は、

10

$$A_6 = K_1 K_3 = e^{-\left(\frac{\zeta_{v1}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\zeta_{v3}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}}\right)}$$

$$t_6 = \Delta T_1 + \Delta T_3 = \frac{\pi}{\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}} \quad (46)$$

式(40)の解は、

20

$$A_7 = K_2 K_3 = e^{-\left(\frac{\zeta_{v2}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}} + \frac{\zeta_{v3}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}}\right)}$$

$$t_7 = \Delta T_2 + \Delta T_3 = \frac{\pi}{\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}} \quad (47)$$

式(41)の解は、

30

$$A_8 = K_1 K_2 K_3 = e^{-\left(\frac{\zeta_{v1}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\zeta_{v2}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}} + \frac{\zeta_{v3}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}}\right)}$$

$$t_8 = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = \frac{\pi}{\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v2}\sqrt{1-\zeta_{v2}^2}} + \frac{\pi}{\omega_{v3}\sqrt{1-\zeta_{v3}^2}} \quad (48)$$

となる。すなわち、3次モードに対する入力（インパルス入力）の大きさとタイミングは、図13に示したようになる。 40

【図面の簡単な説明】

【0146】

【図1】本発明の実施形態が適用される搬送システムの正面図である。

【図2】図1に示す搬送システムの電氣的な構成を示すブロック図である。

【図3】(a)は、時間とテスト入力Uとの関係を示すグラフである。(b)は、(a)に示すテスト入力Uが、X軸サーボモータに入力された場合の走行台の速度を示すグラフである。(c)は、テスト入力Uが入力された場合における、時間と、x方向の移動距離との関係を示すグラフである。(d)は、第1位置から第2位置までの移動における、時間とアーム長との関係を示すグラフである。(e)は、加速度センサにより測定された、 50

ワークWの振動Xを示すグラフである。

【図4】時間 $t = 2$ における振動モデルを示す周波数 - ゲイン線図である。

【図5】時変形システム振動数 $\omega(t)$ を示すグラフである。

【図6】基準振動抑制入力 u_v に含まれる第1の入力 A_1 と、第2の入力 A_2 とを模式的に示す図である。

【図7】(a)は、基準振動抑制入力 u_v を示すグラフである。(b)は、基準振動抑制入力 u_v を、X軸サーボモータに加えたときの、走行台の速度を表すグラフである。(c)は、第1位置から第2位置への搬送の間におけるワークWの振動を示すグラフである。

【図8】振動抑制制御入力 $u(t)$ を求めるアルゴリズムをブロック線図で示した図である。

【図9】(a)は、振動抑制制御入力 $u(t)$ を示すグラフである。(b)は、振動抑制制御入力 $u(t)$ を、X軸サーボモータに加えたときの、走行台の速度を表すグラフである。(c)は、第1位置から第2位置への搬送の間におけるワークWの振動を示すグラフである。

【図10】PCにおいて実行される振動抑制制御入力 $u(t)$ 決定処理を示すフローチャートである。

【図11】基準振動抑制入力 u_v に含まれる3つの入力を模式的に示す図であり、図6に相当する図である。

【図12】(a)は、時間 $t = 2$ における振動モデルを示す周波数 - ゲイン線図であって、図4に対応する図である。(b)は、2次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_v に含まれる第1の入力 A_1 と、第2の入力 A_2 と、第3の入力 A_3 と、第4の入力 A_4 とを模式的に示す図である。

【図13】3次モードまでを考慮した基準振動抑制入力 u_v に含まれる第1の入力 A_1 から第8の入力 A_8 までを模式的に示す図である。

【図14】第3実施形態のPCにおいて実行される繰り返し同定処理を示すフローチャートである。

【図15】実施形態のガントリローダに替えて用いられる、液体搬送装置を示す図である。

【図16】従来の搬送システムの一例を模式的に示す図である。

【図17】(a)は、従来の逆位相入力制御においてモータに与えられる入力加速度を示すグラフであり、(b)は、その入力加速度をモータに与えた結果、得られる制振効果を示すグラフである。

【図18】図16に図示した搬送システムにおける、アーム長 L と固有振動数 ω_n との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

【0147】

1	搬送システム	
10	PC (コンピュータの一例)	
14	HDD (記憶手段の一例)	
14a	時変形システムに対する振動抑制制御入力演算プログラム	40
24	走行台 (搬送体の一例)	
34	第1位置	
36	第2位置	
40	X軸サーボモータ (駆動装置の一例)	
44	Z軸サーボモータ (アーム長変動手段)	
W	ワーク (被搬送物の一例)	
l_1, l_2	アームの長さ	
$u(t)$	振動抑制制御入力	
u_v	基準振動抑制入力	
(t)	被搬送物の質量、液位、またはアームの長さの変動と固有振動数との対応関	50

10

20

30

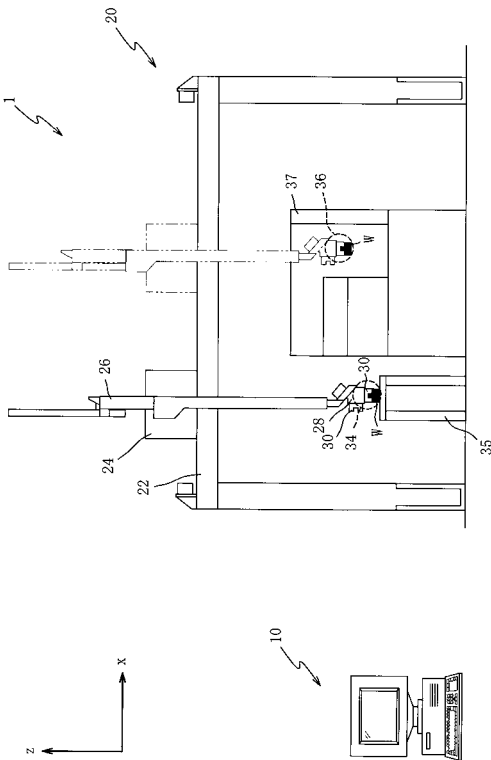
40

50

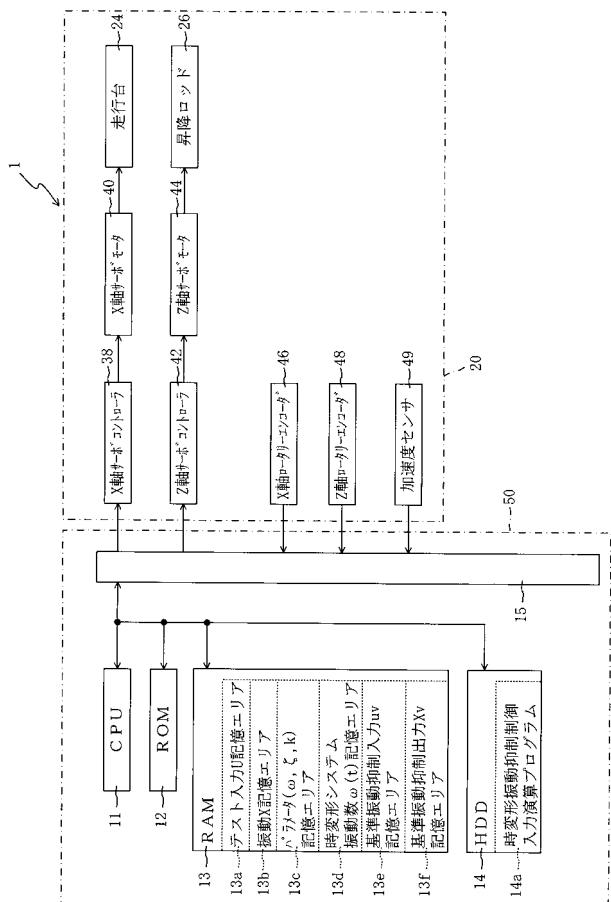
係

- S 1 0 , S 3 2 時変形システム振動数取得工程, 時変形システム振動数取得手段, 時変形システム振動数取得ステップ
- S 1 4 , S 3 6 基準振動抑制入力取得工程, 基準振動抑制入力取得手段, 基準振動抑制入力取得ステップ
- S 1 8 , S 4 0 振動抑制制御入力決定工程, 振動抑制制御入力決定手段、振動抑制制御入力決定ステップ
- S 3 , S 2 0 テスト工程
- S 4 , S 2 2 振動測定工程
- S 8 , S 3 0 パラメータ同定工程
- S 2 0 ~ S 4 0 繰り返し工程

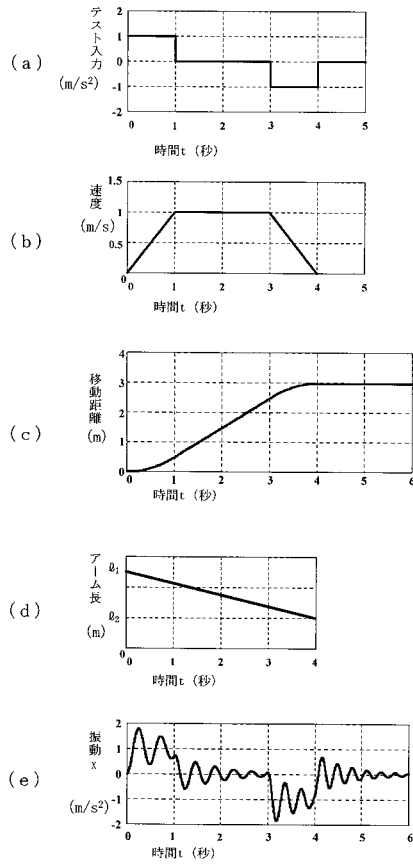
【 図 1 】



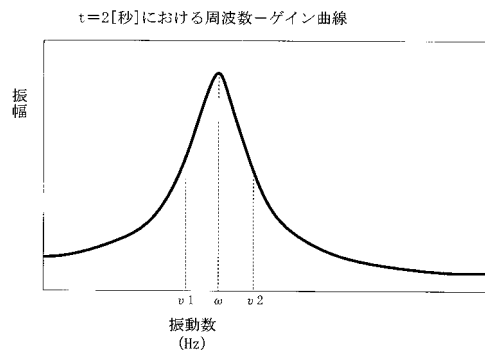
【 図 2 】



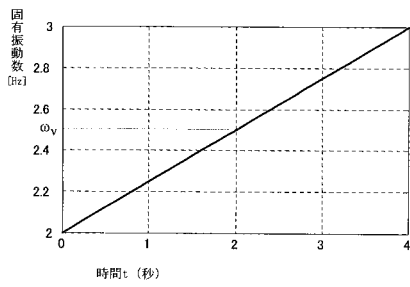
【 図 3 】



【 図 4 】



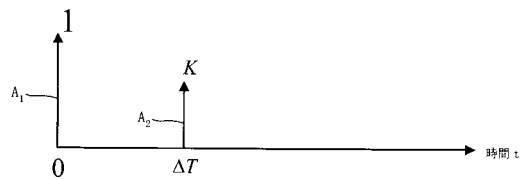
【 図 5 】



【 図 6 】

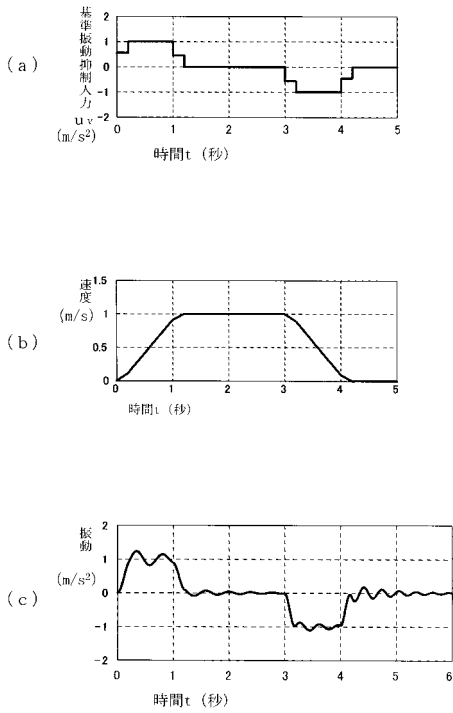
$$A_2 = K_1 = e^{-\frac{\zeta_{v1}\pi}{\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}}}$$

$$t_2 = \Delta T_1 = \frac{\pi}{\omega_{v1}\sqrt{1-\zeta_{v1}^2}}$$

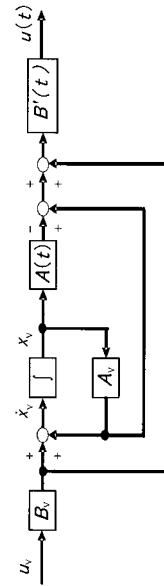


1次モードに対する入力の大きさとタイミング

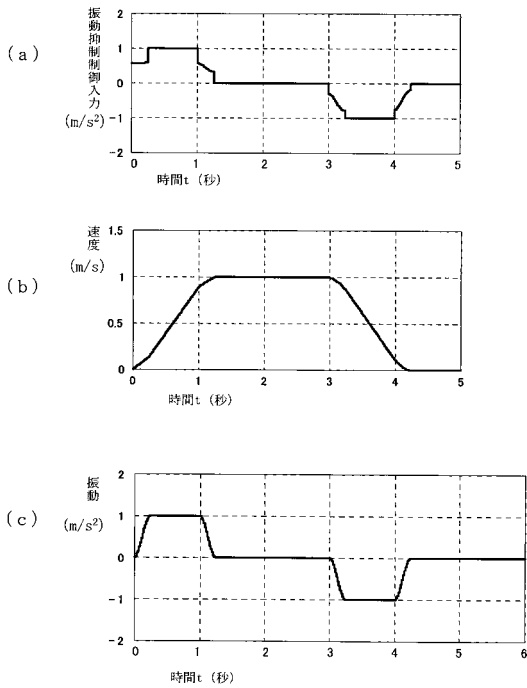
【 図 7 】



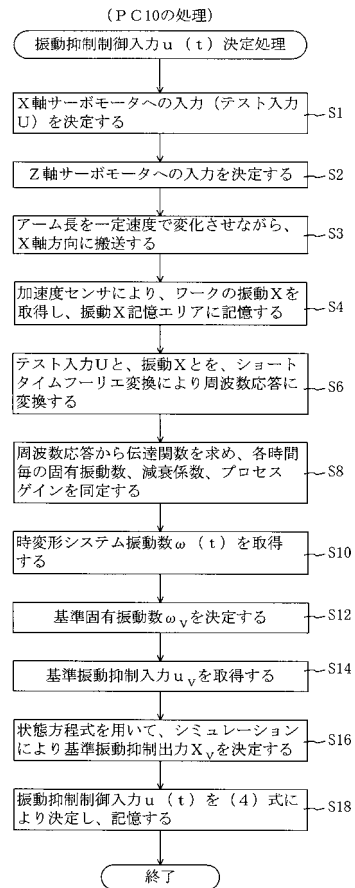
【 図 8 】



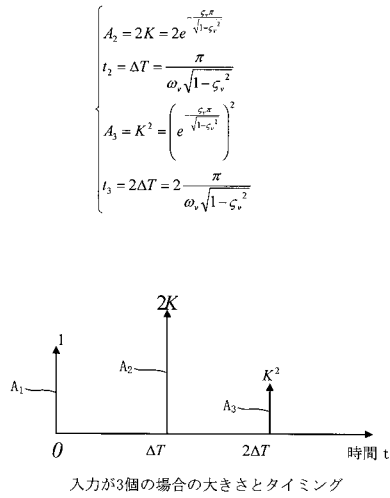
【 図 9 】



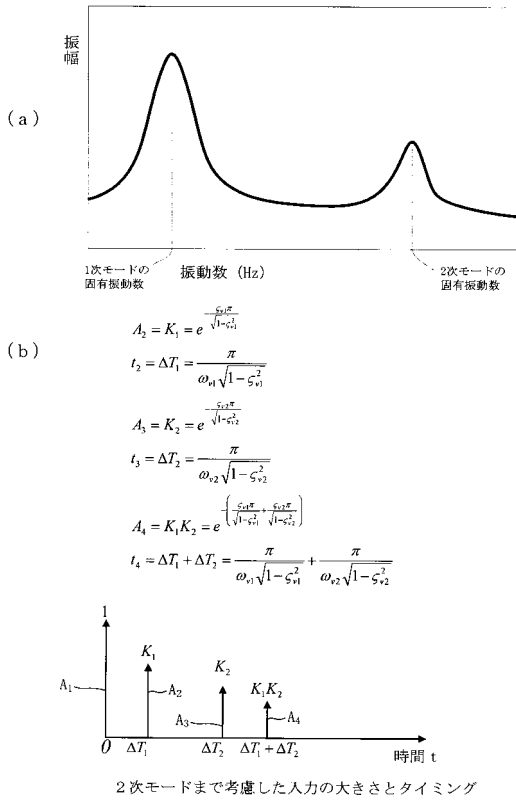
【 図 10 】



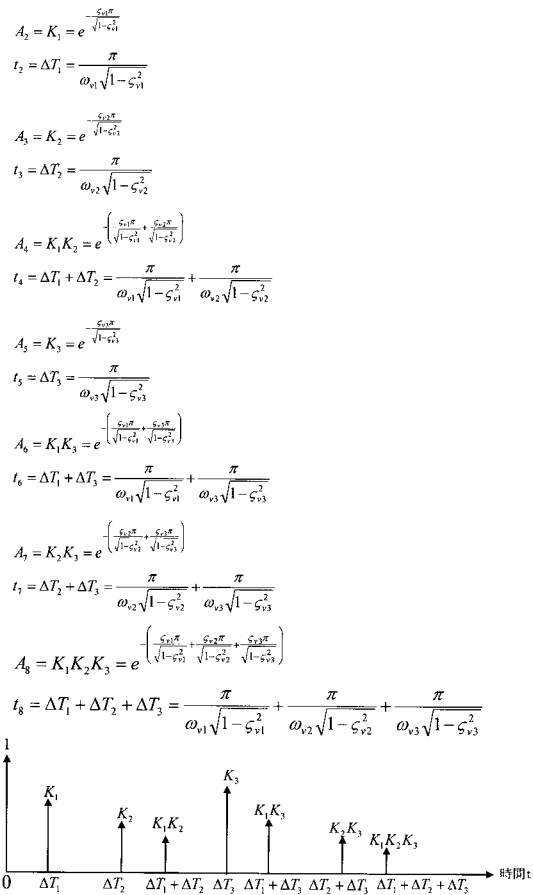
【図 1 1】



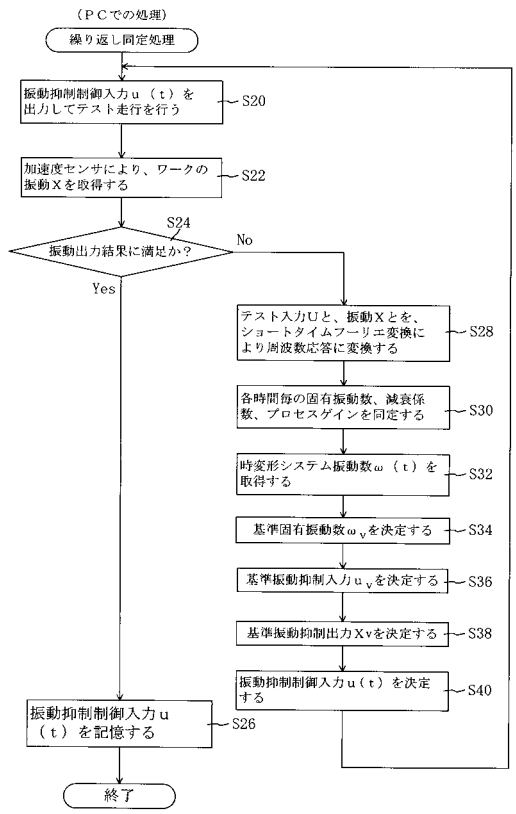
【図 1 2】



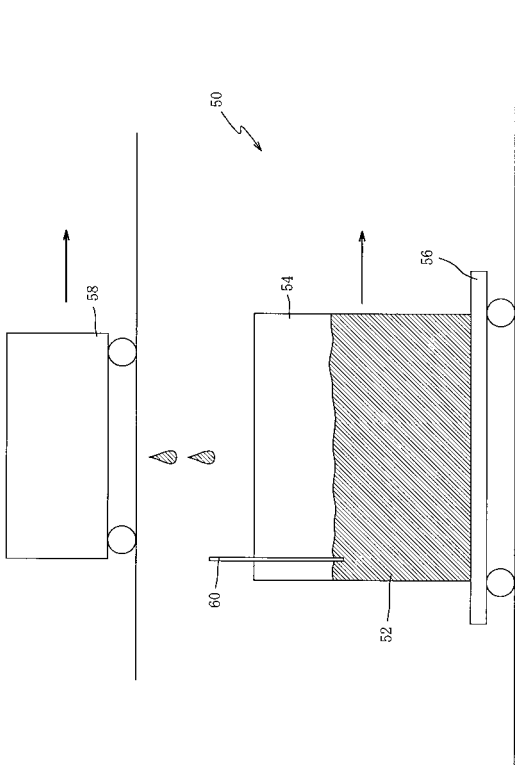
【図 1 3】



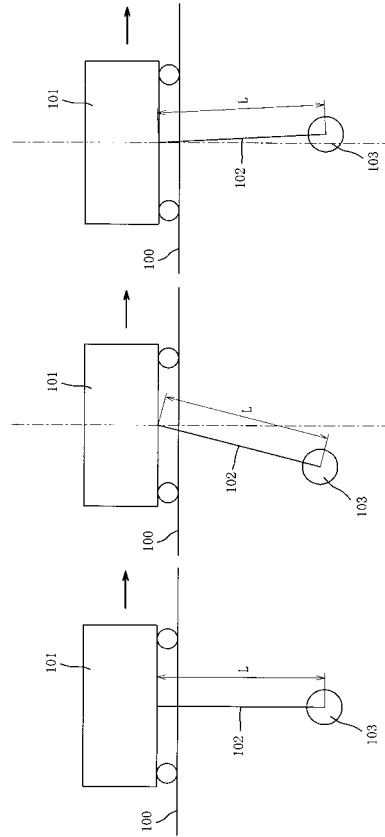
【図 1 4】



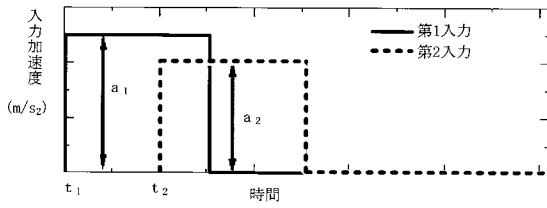
【図 15】



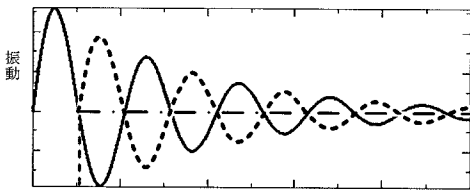
【図 16】



【図 17】



(a)



(b)

【図 18】

