

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年9月11日(11.09.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/110331 A1

- (51) 国際特許分類:  
G05D 19/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/053040
- (22) 国際出願日: 2009年2月20日(20.02.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-052752 2008年3月4日(04.03.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人九州工業大学(National University Corporation Kyushu Institute of Technology) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山川 烈 (YAMAKAWA, Takeshi) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内 Fukuoka (JP). 常盤 達司(TOKI-

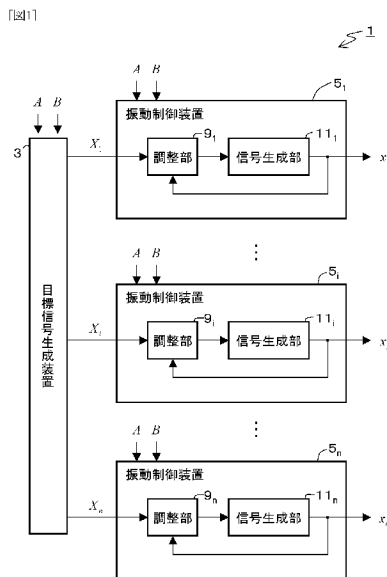
WA, Tatsuji) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内 Fukuoka (JP).

- (74) 代理人: 羽立 幸司(HADATE, Koji); 〒8140001 福岡県福岡市早良区百道浜三丁目8番33号 福岡システムLSI総合開発センター Fukuoka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ,

[続葉有]

(54) Title: CONTROL SYSTEM, OSCILLATION CONTROL DEVICE, AND CONTROL SIGNAL GENERATION METHOD

(54) 発明の名称: 制御システム、振動制御装置及び制御信号生成方法



(57) Abstract: Disclosed is a control system which can implement a CPG (Central Pattern Generator) network having an excellent controllability. The control system (1) (CPG network) is formed by a plurality of oscillation control devices 5<sub>i</sub> (CPG) and one target signal generation device (3) (rhythm generator (RG)). Each of the CPGs and the RG are expressed by using the Van der Pol equation. The output waveform of the CPG and the RG has an amplitude and a cycle which are almost independently controlled by an external signal. Furthermore, the phase difference between the CPG is controlled by temporarily controlling the cycle of each CPG through a connection between the CPG and the RG which is the only connection for each of the CPGs.

(57) 要約: 制御性に優れたCPG (Central Pattern Generator) ネットワークを実現可能な制御システム等を提案する。制御システム1 (CPGネットワーク) は、複数の振動制御装置 5<sub>i</sub> (CPG) と一つの日標信号生成装置 3 (リズムジェネレータ (RG)) から構成される。各CPGとRGは、Van der Pol方程式を用いて表現され、出力波形の振幅及び周期が外部信号によってほぼ独立に制御される。さらに、CPG間の位相差を制御するために、各CPGの唯一の結合であるCPGとRG間の結合を通して、各CPGの周期が一時的に制御される。

- 3... TARGET SIGNAL GENERATION DEVICE
- 5<sub>i</sub>... OSCILLATION CONTROL DEVICE
- 9<sub>i</sub>... ADJUSTMENT UNIT
- 11<sub>i</sub>... SIGNAL GENERATION UNIT
- 5<sub>i</sub>... OSCILLATION CONTROL DEVICE
- 9<sub>i</sub>... ADJUSTMENT UNIT
- 11<sub>i</sub>... SIGNAL GENERATION UNIT
- 5<sub>n</sub>... OSCILLATION CONTROL DEVICE
- 9<sub>n</sub>... ADJUSTMENT UNIT
- 11<sub>n</sub>... SIGNAL GENERATION UNIT

WO 2009/110331 A1

NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア  
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL,  
NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

## 明 細 書

### 制御システム、振動制御装置及び制御信号生成方法

#### 技術分野

[0001] 本願発明は、制御システム、振動制御装置及び制御信号生成方法に関し、特に目標信号を生成する目標信号生成装置と制御信号を生成する複数の振動制御装置を含む制御システム等に関する。

#### 背景技術

[0002] 動物や人間などの生物の移動運動は、脊髄に存在するといわれているパターン発生器、つまり神経振動子CPG (Central Pattern Generator) ネットワークによって生成・制御されているといわれている。なお、以下では、CPGネットワークに含まれる複数の非線形振動子をCPGと呼び、CPGネットワークとCPGを区別する。

[0003] これまで、CPGネットワークモデルとして、Matsuokaモデルなど、多くのモデルが提案され、実機(ロボット)への応用も行われている(非特許文献1、2、3参照)。Tagaは感覚入力を介してCPGネットワークと筋骨格系が相互引き込みを起こすことを証明し、二足歩行のシミュレーションを行っている。Kimuraらは、Tagaモデルを拡張し、四脚歩行ロボットを作成し、CPGネットワークの引き込み能力を利用して、不整地歩行を実現している。このように、CPGネットワークは、生物が有する不整地歩行などの能力を説明可能なパターン発生器である。

[0004] 従来のCPGネットワークモデルは、生体内の神経の構造・活動を模擬したモデルであり、各CPGが結合荷重を介して相互結合しており、一つのCPG内に神経の疲労度や内部状態を表す神経が設計されている。

[0005] これに対し、振動子同士の相互結合を用いず、位相の制御が可能な位相制御法として、Phaselock Techniquesが知られている。Phase-Locked loop(PLL)は、Phaselock Techniquesの具体例であり、Phase Detector(PD)とLow pass Filter(LF)とVoltage Controlled Oscillator(VCO)から構成される。PDでは二つの信号の位相差を検出し、VCOでは必要に応じて振動子の周期を制御する。ここで、VCOからの出力信号を制御信号、目標となる信号を目標信号とすると、PLLの動作原理は、制御信号と目

標信号の位相差をPDで検出し、PDの出力信号をLFを介してVCOに入力し、VCOの値がゼロになるまでVCOにて制御信号の周期が制御される。

- [0006] Volkovskiiらは、PLLを用いたCPGネットワークモデルを提案している(非特許文献4参照)。これは、CPGモデルとしてsin関数を用いているので、自励振動系ではないCPGネットワークモデルである。また、Hoppensteadtらは、PLLネットワークモデルを提案している(非特許文献5参照)。これは、VCOとして正弦波関数が用いられており、さらに、モデルの応用としてはパターン認識に関するものを提案している。
- [0007] また、Van der Pol(VDP)方程式は、真空管において発生する振動現象を説明可能な数理モデルである(非特許文献6参照)。VDP方程式を用いたCPGネットワークがいくつか提案されている(非特許文献7参照)。
- [0008] 非特許文献1:K. Matsuoka著, “The dynamic model of binocular rivalry,” *Biological Cybernetics*, Vol.49, pp.201-208, 1984.
- 非特許文献2:G. Taga, 外2名著, “Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment,” *Biological Cybernetics*, Vol.65, pp.147-159, 1991.
- 非特許文献3:H. Kimura, 外2名著, “Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Natural Ground Based on Biological Concepts,” *International Journal of Robotics Research*, Vol.26, pp.475-490, 2007.
- 非特許文献4:A Volkovskii, 外5名著, “Analog electronic model of the lobster pyloric central pattern generator,” *Journal of Physics, Conference Series*, Vol.23, pp.47-57, 2005.
- 非特許文献5:Frank C. Hoppensteadt, 外1名著, “Pattern Recognition Via Synchronization in Phase-Locked Loop Neural Networks,” *IEEE Transactions on neural networks*, Vol.11, No.3, 2000.
- 非特許文献6:Van der Pol著, “On relaxation oscillations,” *Phil. Mag.*, No.2, pp.987-993, 1926.
- 非特許文献7:Max S. Dutra, 外2名著, “Modeling of a bipedal locomotor using coupled nonlinear oscillators of Van der Pol,” *Biological Cybernetics*, No.88

, pp.286-292, 2003.

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0009] しかしながら、移動運動生成のためには、CPGは、引き込み能力を持つ振動子(自励振動系:二階以上の微分非線形微分方程式で表現される)であり、周期と振幅が制御可能である必要がある。CPGネットワークは、複数のCPGから構成されており、CPG間の位相差が制御される必要がある。さらに、最終的に制御された各CPGの出力値は、振幅・周期が同じでなければならない。
- [0010] 一方、非特許文献1、2、3などに記載された従来のCPGネットワークモデルは、高次の非線形微分方程式で表現されるCPGが結合荷重を介して相互結合をしたネットワーク構造をしている。そのため、各CPGの出力波形の制御が難しく、結合荷重やネットワーク構造の設計が困難であるという問題がある。例えば、従来の結合荷重の設計は、試行錯誤や遺伝的アルゴリズムなどのニューラルネットワークを用いて行われていた。しかし、いずれの場合も、計算量・時間がかかるものであった。さらに、実機(ロボット)への搭載を考慮した場合、各CPGの出力波形の振幅・周期及びCPG間の位相差は、独立に制御できるほうが望ましい。
- [0011] また、非特許文献4に記載されているように、PLLをCPGネットワークに応用する場合、VCOがCPGに対応する。ここで、所望の位相差を持つ目標信号が設計可能であると仮定し、PLLを必要な個数用意すると、任意の位相差を持つ信号が生成制御できるので、CPGネットワークが設計可能であるとも考えられる。しかしながら、PDの設計方法に関して問題が生じる。すなわち、PDの設計法には、減算法と乗算法の二つがある。減算法はVCOとしてsin関数などの正弦波が用いられるのでCPGには応用できない。乗算法はVCOとして正弦波以外に周期的な波にも使用可能であるが、各振動子の振幅がずれたまま位相が制御される場合があるので、CPGネットワークに応用することができない。
- [0012] さらに、VDPは自励振動系であり、振幅と周期がほぼ独立に制御可能なモデルである。したがって、VDPは、CPGモデルとして適していると考えられる。しかしながら、非特許文献7などに記載されたモデルは、どれもVDPの特長である、周期・振幅の

制御性を保持していないCPGネットワークである。

[0013] そこで、本願発明は、制御性に優れたCPGネットワークを実現可能な制御システム等を提案することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 請求項1に係る発明は、目標信号を生成する目標信号生成装置と制御信号を生成する複数の振動制御装置を含む制御システムであって、前記各振動制御装置は、振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて制御信号を生成する信号生成手段と、前記目標信号及び前記制御信号に基づいて、前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整する調整手段、を備えるものである。なお、「前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整する」は、前記振幅に関するパラメータ及び前記周期に関するパラメータの少なくとも一方を調整することである。以下、「又は／及び」の表現についても同様である。

[0015] 請求項2に係る発明は、請求項1記載の制御システムであって、前記各振動制御装置の調整手段が、他の振動制御装置により生成された制御信号とは独立である。

[0016] 請求項3に係る発明は、請求項1又は2に記載の制御システムであって、 $i$ 番目 ( $i$ は前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置において、前記信号生成手段は、(eq1)式に基づいて信号 $x_i$ を生成し、前記調整手段は、 $A_i$ 又は／及び $B_i$ を調整するものである。

[0017] 請求項4に係る発明は、請求項1から3のいずれか記載の制御システムであって、前記目標信号生成装置が、(eq4)式に基づいて $i$ 番目 ( $i$ は前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置に対する目標信号 $X_i$ を生成するものである。

[0018] 請求項5に係る発明は、請求項1から4のいずれかに記載の制御システムであって、前記調整手段が、前記目標信号と前記制御信号の位相差に基づき、前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整するものである。

[0019] 請求項6に係る発明は、請求項1から5のいずれかに記載の制御システムであって、前記調整手段が、前記目標信号と前記制御信号の差を計算する差分演算手段を有するものである。

- [0020] 請求項7に係る発明は、制御信号を生成する振動制御装置であって、所定の目標信号及び生成された制御信号に基づいて、新たに生成する制御信号の振幅又は／及び周期を、互いに独立に調整する調整手段、を備えるものである。
- [0021] 請求項8に係る発明は、制御信号を生成する制御信号生成方法であって、所定の目標信号及び生成された制御信号に基づいて、振幅に関するパラメータ又は／及び周期に関するパラメータが調整される調整ステップと、調整後の振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて、新たな制御信号を生成する信号生成ステップ、を含むものである。
- [0022] なお、前記目標信号は、設計者により定義された条件を満たすように生成されたものであってもよい。特に、請求項4にかかる発明において、(eq4)の定数 $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせが所定の条件を満たすように自動的に生成されたものであってもよい。
- [0023] また、ある振動制御装置の調整手段が、与えられた目標信号以外にも、例えば、外部信号や他の振動制御装置の制御信号に基づいて新たに生成する制御信号の振幅又は／及び周期を調整するものであってもよい。
- [0024] さらに、本願発明を、コンピュータにおいて各請求項に記載された発明を実現するためのプログラムやこのプログラムを記録する記録媒体などとして捉えてもよい。
- [0025] [数1]

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} - 2\varepsilon(A_i^2 - x_i^2) \frac{dx_i}{dt} + B_i^2 x_i = 0, \quad (\text{eq1})$$

$$\frac{d^2 x_R}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x_R^2) \frac{dx_R}{dt} + B^2 x_R = 0, \quad (\text{eq2})$$

$$\tau = \frac{\max(x_R)}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)} = \frac{2A}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)}, \quad (\text{eq3})$$

$$X_i = c_{i1} x_R + c_{i2} \tau \frac{dx_R}{dt}. \quad (\text{eq4})$$

ただし、

$A_i, B_i$  : パラメータ,

$\varepsilon$  : 非線形率.

$A, B$  : パラメータ,

$c_{i1}, c_{i2}$  : 定数.

発明の効果

- [0026] 本願の各請求項に係る発明(以下、「本願発明」という。)によれば、各振動制御装置が独立に振動系を持ち、ネットワーク構造により各振動制御装置を制御可能となり、制御性に優れたCPGネットワークが実現可能となる。
- [0027] さらに、本願発明により実現されるCPGネットワークは、各CPG同士が荷重結合を介して相互結合をしておらず、例えばCPGネットワークの結合構造は歩様遷移図などをもとに一意に設計可能であり、結合荷重の設計を簡略化することができる。
- [0028] さらに、請求項3にあるように、VDP方程式を用いて、VDP方程式の特徴を保持したCPGネットワークが構築可能となる。そのため、各CPGから出力される信号の振幅・周期・位相差をほぼ独立に制御可能となり、これらの設計・制御が容易な、制御性に優れたCPGネットワークが実現可能となる。
- [0029] さらに、請求項6にあるように、出力値の減算処理を用いて目標信号(目標とする信号)と制御信号(制御する信号)の振幅・周期・位相を揃えることにより、CPGネットワークを実現可能となる。
- [0030] 本願発明の応用としては、例えば、制御性が重要視されるロボットなどが考えられる。

#### 図面の簡単な説明

- [0031] [図1]本願発明の実施の形態に係る制御システム1の概略ブロック図である。
- [図2]VDP方程式の出力波形の振幅と周期を測定したシミュレーション結果を示す。
- [図3]提案するCPGモデルであるCPG<sub>21</sub>(図1の振動制御装置<sub>5<sub>1</sub></sub>、 $\dots$ 、<sub>5<sub>n</sub></sub>に対応)のブロック図である。
- [図4]四脚歩行動物の代表的な歩様の遷移図である。
- [図5]提案するリズムジェネレータであるRG31(図1の目標信号生成装置3に対応)のブロック図である。
- [図6]四種類の歩様生成のためのCPGネットワークの構造の一例である。
- [図7]本願発明の他の実施例に係る制御システム41の概略ブロック図である。
- [図8]walkモードにおける各CPGの出力信号 $x_i$ と $b_i$ の遷移を示す。
- [図9](a)はtrotモード、(b)はboundモード、(c)はgallopモードにおける各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移を示す図である。



[図10]walkモードにおけるパラメータAとBを調整させた場合の各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移を示す図である。

[図11]図4に記載されたwalk、trot、bound、gallopモードより設定された条件と、生物の歩様により得られる拘束に基づき得られる条件を同時に満たす歩様のうち、walk、trot、bound、gallopモード以外の歩様の遷移図である。

[図12]自動的に生成された $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせによる、(a)各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移及び(b) $b_i$ の遷移を示す。

[図13]本願発明の他の実施例に係る振動制御装置 $51_i$ ( $i$ は $n$ 以下の自然数)の概略ブロック図である。

[図14]1500ステップまではRGを用いて位相差制御を行い、1500ステップ以降は外部信号を利用した場合の(a)各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移及び(b) $b_i$ の遷移を示す。

[図15]1500ステップまではRGを用いて位相差制御を行い、1500ステップ以降は制御信号 $x_2$ 以外の制御信号 $x_i$ の総和がゼロとなるように $b_i$ を制御した場合の(a)各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移及び(b) $b_i$ の遷移を示す図である。

### 符号の説明

[0032] 1 制御システム、3 目標信号生成装置、 $5_1, \dots, 5_n$  振動制御装置、 $9_1, \dots, 9_n$  調整部、 $11_1, \dots, 11_n$  信号生成部、21 CPG $_i$ 、23 調整部、25 VDP $_i$ 、31 RG、33 VDP $_R$ 、43 目標信号生成装置、 $47_1, \dots, 47_n$  振動制御装置、 $51_i$  振動制御装置、 $53_i$  調整部、 $55_i$  信号生成部

### 発明を実施するための最良の形態

[0033] 以下では、図面を参照して、本願発明の実施の形態について説明する。

#### 実施例 1

[0034] 図1は、本願発明の実施の形態に係る制御システム1の概略ブロック図である。

[0035] 制御システム1には、目標信号を生成する目標信号生成装置3と、制御信号を生成する $n$ 個の振動制御装置 $5_1, \dots, 5_n$ が含まれる。

[0036] 本実施例においては、目標信号生成装置3及び振動制御装置 $5_1, \dots, 5_n$ は、VDP方程式を用いて設計される。そこで、まず、VDP方程式について説明する。

[0037] VDP方程式は、1926年にVan der Polによって提案された、真空管内で起こる振

動現象を説明する方程式である(非特許文献6参照)。VDP方程式は自励振動系(Limit cycleを持つ)である最も単純なモデルの一つであり、(1)式によって表わされる。

[0038] ここで、A、Bはそれぞれパラメータである。 $\varepsilon$  は非線形率を表し、この値が小さい範囲( $0 < \varepsilon \ll 1$ )では、VDPは正弦波振動を行う。 $\varepsilon = 0$ の場合、VDPは調和振動子になり、KryloffとBogoliuboffが提案した近似法(Luis A. Pipes、外1名著、“Mathematics for engineers and physicists”, McGrawHill Education, Third Edition, 1970 参照)によると、調和振動子の解は、 $a$ と $\phi$ を用いて、(2)式で表現できる。さらに、KryloffとBogoliuboffの解法を用いて(3)式及び(4)式が得られる。

[0039] (3)式より、VDPの出力値の振幅は、 $da/dt=0$ のときに安定状態に落ち着き、その値は $a=2A$ になることがわかる。なお、実際のシミュレーションでは、振幅は正確に $2A$ になるとは限らない。これは、この解析が近似を用いた解法であるからである。

[0040] また、(4)式より、VDPの出力値の位相は時間に依存せず一定であることがわかる。

[0041] さらに、 $a$ と $\phi$ が定数のとき、(2)式より、VDPの出力波形の周期はパラメータBで制御できることがわかる。

[0042] 以上より、任意定数 $a$ 及び $\phi$ に対して、(2)式と(3)式より、VDPの出力値の振幅と周期は、それぞれAとBによって独立に制御可能であり、周期はBに反比例し、振幅は $2A$ になる。

[0043] 図2は、VDP方程式の出力波形の振幅と周期を測定したシミュレーション結果を示す図である。 $\varepsilon = 0.2$ 、初期値として、 $x=0.5$ 、 $dx/dt=0.1$ を用いた。A=0では、VDPは減衰振動を示し、 $A < B$ の範囲でVDPは振動を続けた。図2より、VDPの出力波形の振幅と周期は、パラメータA及びBによってそれぞれほぼ独立に制御可能であることが確認できる。以上のように、VDPは自励振動系であり、振幅と周期の独立制御性を持っているので、制御性に優れたCPGネットワークの設計のために有用であると考えられる。

[0044] 図1を参照して、目標信号生成装置3は、外部より与えられるパラメータA及びBに基づいて、VDP方程式を利用して、振動制御装置5<sub>i</sub>( $i$ は $n$ 以下の自然数)に対する目標信号 $X_i$ を生成する。各振動制御装置5<sub>i</sub>の振幅・周期を揃えるために、目標信号 $X_i$ によって、各VDPの振幅・周期制御項を一律に制御する。この処理により、外界の

変化に応じて波形を一律に制御可能なCPGネットワークの設計が可能となる。

[0045] 振動制御装置 $5_i$ は、外部よりパラメータA及びBが与えられ、これらを調整して得られるパラメータ $A_i$ 及び $B_i$ に基づいて、(5)式により制御信号 $x_i$ を生成する。信号制御装置 $5_i$ は、目標信号 $X_i$ 及び生成された制御信号 $x_i$ に基づいて、パラメータ $A_i$ 及び $B_i$ の少なくとも一方を調整する調整部 $9_i$ と、調整部 $9_i$ による調整後のパラメータに基づいて新たに制御信号 $x_i$ を生成する信号生成部 $11_i$ を備える。

[0046] 図1において、振動制御装置 $5_1$ 、 $\dots$ 、 $5_n$ は互いに独立であり、それぞれ、目標信号生成装置3により生成された目標信号 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ を用いて制御信号を生成する。さらに、各振動制御装置 $5_1$ 、 $\dots$ 、 $5_n$ において、生成される制御信号の振幅及び周期はほぼ独立に調整可能である。そのため、例えば歩様を実現するにあたり、振動制御装置を各脚に対応して設けることにより、各脚は互いに独立に制御可能となり、さらに、二脚、三脚など、任意の脚数に対応可能となる。このように、例えば振動制御装置の数の変化にも対応可能であり、本願発明によりロバストなシステムを実現可能である。このようなシステムは、歩様などの動作の本質に着目したことにより実現しえたものである。

[0047] [数2]

$$\frac{d^2x}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x^2)\frac{dx}{dt} + B^2x = 0, \quad (1)$$

$$x = a \sin(Bt + \phi), \quad (2)$$

$$\frac{da}{dt} = a\varepsilon\left(A^2 - \frac{a^2}{4}\right), \quad (3)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{d^2x_i}{dt^2} - 2\varepsilon(A_i^2 - x_i^2)\frac{dx_i}{dt} + B_i^2x_i = 0. \quad (5)$$

[0048] 続いて、VDPを用いた振動制御装置 $5_i$ の設計について具体的に説明する。ただし、より一般的に、VDPを用いた、CPGネットワーク(図1の制御システム1に対応)を構成するn個のCPG(図1の振動制御装置 $5_i$ に対応)の設計について、周期に関するパラメータBのみを調整する場合について具体的に説明する。すなわち、以下の説明では、各CPGにおける振幅に関するパラメータAは調整せず、外部より与えられる

パラメータAと等しいものとする。このように、本願発明は、少なくとも周期に関するパラメータを調整するものであってもよい。

[0049] 図3は、提案するCPGモデルであるCPG<sub>i</sub> 21のブロック図である。CPG<sub>i</sub> 21は、図1の調整部9<sub>i</sub>に対応する調整部23と、図1の信号生成部11<sub>i</sub>に対応するVDP<sub>i</sub> 25を備える。

[0050] i番目のCPG<sub>i</sub>のVDP方程式(VDP<sub>i</sub>)は、(6)式で表現される。

[0051] 本実施例では、VDPの特徴である振幅と周期の制御性を保持したままCPG間の位相差を制御するために、以下の方法を用いる。まず、各CPGの出力値 $x_i$ に対する所望の位相差を持つ信号を目標信号 $X_i$ とし、 $X_i$ が既知であると仮定する。そして、 $x_i$ と $X_i$ の位相差がゼロになるようにCPG<sub>i</sub>の周期を一時的に制御することで、CPG間の位相差を制御する方法を考察する。

[0052]  $x_i$ と $X_i$ の差を取り、その値がゼロになるように各CPGの周期のみを制御する。この操作は(7)式のように表現できる。ここで、 $b_i$ はi番目のCPG<sub>i</sub>の出力波形の周期を一時的に制御するパラメータであり、 $k$ は $x_i$ と $X_i$ の差を周期制御にどのくらい反映させるかを決定するための係数である。以下では、常に $k=1$ とする。

[0053] 次に、 $b_i$ を用いて、(6)式で表現されるCPG<sub>i</sub>のパラメータ $B_i$ (周期に関するパラメータ)を、(8)式を用いて制御する。(8)式の物理的意味は、パラメータ $B_i$ が各CPGの自然周波数を表し、 $b_i$ がi番目のCPG<sub>i</sub>の出力波形 $x_i$ に対する目標信号 $X_i$ の位相のずれを表現している。

[0054] (7)式及び(8)式により表現される処理を $x_i$ と $X_i$ の差がなくなるまで繰り返す。この処理により、目標信号 $X_i$ が既知の状態では、各CPGの出力値 $x_i$ は目標信号 $X_i$ と同位相の信号を生成することが可能になり、結果的にCPG間の位相を制御することが可能になる。

[0055] [数3]

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x_i^2) \frac{dx_i}{dt} + B_i^2 x_i = 0, \quad (6)$$

$$b_i = k(x_i - X_i), \quad (7)$$

$$B_i = B + b_i. \quad (8)$$

[0056] 続いて、VDPを用いた目標信号生成装置3(目標信号を生成する振動子であり、

以下ではリズムジェネレータ(RGという。)の設計について具体的に説明する。

- [0057] 各CPGに固有の目標信号を設定するためには、設計する歩様を定義する必要がある。本実施例では、図4に示す四脚歩行動物の代表的な歩様信号を生成する。図4は、四脚歩行動物の代表的な歩様の遷移図である。(a)はwalkモード、(b)はtrotモード、(c)はboundモード、(d)はgallopモードである。図4において、LF、RF、LH、RHは、それぞれ左前脚、右前脚、左後脚、右後脚を表す。矢印は、位相遷移方向を表し、イコールは位相が同期していることを示す。
- [0058] 図4より、制御すべきCPG間の位相差は、 $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ の四種類のみであることが確認できる。これらの位相差を表現するための目標信号を生成する方法を考察する。
- [0059] (7)式に関して述べたとおり、目標信号の条件として、各CPGの出力値 $x_i$ と目標信号 $X_i$ の位相差がゼロになった後 $x_i - X_i = 0$ になる必要がある。さらに、目標信号は、一つの波形を基準として $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ の四種類の位相差を持つ波形を生成する必要がある。
- [0060] リズムジェネレータを、VDP方程式を用いて設計する方法を考察する。
- [0061] 図5は、提案するリズムジェネレータであるRG31のブロック図である。図5において、VDP<sub>R</sub>33はRGを構成するVDPであり、出力信号は添え字のRを用いて表現する。VDP方程式を用いてRGを設計することで、VDP内で計算処理されている $x_R$ 、 $\tau dx_R/dt$ に±を付加し、目標信号 $X_i$ とすることができる。これにより、 $x_R$ を基準波形として上述の四種類の位相差が表現可能となる。一例として、 $X_1 = x_R$ 、 $X_2 = \tau dx_R/dt$ とすると、制御後の $x_1$ と $x_2$ の位相差は $\pi/2$ となる。ただし、これはVDPが安定解を持つ範囲内で使用されることを前提条件とする。
- [0062] 図5において、目標信号選択部35は、n個のCPGそれぞれについて、図4の歩様遷移図に基づき、入力された4つの信号から1つの出力値 $X_i$ を選択する。各CPGには、パラメータAとBと同じ値が入力され、目標信号 $X_i$ として、目標信号選択部35により選択された $\pm \tau dx_R/dt$ と $\pm x_R$ のどれか一つが用いられる。(9)式は、これを数式で表現したものである。
- [0063] ここで、本実施例においては、 $c_{i1}$ 、 $c_{i2}$ は $0$ 、 $-1$ 、 $1$ のどれかの値をとる。加えて、 $c_{i1}$ と

$c_{i2}$  は必ずどちらかがゼロであり、同時にゼロになることはないという条件を持つ。式中の  $\tau$  は二つの役割を持つ。一つは、時定数であり  $x_R$  と  $dx_R/dt$  のどちらかで表わされる  $X_i$  の次元を常に  $x_R$  の次元に合わせるためである。二つ目は、 $x_R$  と  $dx_R/dt$  の出力波形の振幅を常に一定に保つためである。これは、パラメータAとBの値によっては、 $x_R$  と  $dx_R/dt$  の出力波形の振幅が異なる場合があり、この状況に対処するためである。よって、 $\tau$  は(10)式によって計算される。max関数は、出力波形  $x_R$  と  $\tau dx_R/dt$  の振幅を表現している。出力波形  $x_R$  の振幅は、理論上、 $2A$ となる。

[0064] [数4]

$$X_i = c_{i1} x_R + c_{i2} \tau \frac{dx_R}{dt}, \quad (9)$$

$$\tau = \frac{\max(x_R)}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)} = \frac{2A}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)}. \quad (10)$$

[0065] RGと各CPGはどちらもVDPを用いて設計されるが、各CPGは実際のロボットへ搭載するセンサからのフィードバック信号や、目標信号  $X_i$  が入力される点でRGと構造が異なる。

[0066] なお、本実施例は、従来のCPGネットワークの相互結合・結合荷重の問題を解決するために、Phaselock Techniquesに注目してはいるものの、本実施例では、二つの振動子の振幅・位相を揃えるために、二つの振動子の出力値の減算を行う処理を用いている。減算処理の出力値は、目標信号と制御信号の振幅、位相が同じ場合にはゼロになるが、必ずしも二つの振動子の位相差に比例していない。そのため、PDではない。つまり、減算処理を用いたPhaselock TechniquesはPLLではないといえる。

[0067] 続いて、図3のCPG及び図5のRGを用いて、四脚歩行動物のためのCPGネットワークの設計について説明する。

[0068] 図6は、四種類の歩様生成のためのCPGネットワークの構造の一例を示す図である。(a)はwalkモード、(b)はtrotモード、(c)はboundモード、(d)はgallopモードである。

[0069] まず、RGを一個と、必要な個数(n個)のCPGを用意する。本実施例では四脚歩行のための移動運動信号の生成・制御を行うので、CPGは4個(n=4)必要となる。RGと各CPGには、振幅と周期を決定するパラメータA及びBをそれぞれ入力する。

[0070] 各CPGは、各脚に対応させる。本実施例では、CPG<sub>1</sub>、CPG<sub>2</sub>、CPG<sub>3</sub>、CPG<sub>4</sub>を、それぞれLF、RF、LH、RHとする。

[0071] 各CPGの目標信号X<sub>i</sub>は、図4に示す歩様遷移図をもとに決定する。以下では、walkモードにおけるX<sub>i</sub> (1 ≤ i ≤ n)の決定法を説明する。

[0072] x<sub>1</sub>はLFに対応し、CPG間の位相を考慮する場合、四つの足の基本波形になるので、目標信号X<sub>1</sub>としてx<sub>R</sub>を入力する。

[0073] x<sub>2</sub>、x<sub>3</sub>、x<sub>4</sub>は、それぞれRF、LF、RHに対応し、LFに比べて位相差がそれぞれπ、3π/2、π/2であるので、それぞれ、目標信号X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub>として-x<sub>R</sub>、τ dx<sub>R</sub>/dt、-τ dx<sub>R</sub>/dtを入力する。

[0074] walkモードにおけるCPGネットワークを(9)式と対応させると、c<sub>11</sub> = 1、c<sub>21</sub> = -1、c<sub>31</sub> = 0、c<sub>41</sub> = 0、c<sub>12</sub> = 0、c<sub>22</sub> = 0、c<sub>32</sub> = 1、c<sub>42</sub> = -1となる。同様に、trot、bound、gallopモードに関しても、歩様遷移図をもとに一意にネットワークが設計できる。さらに、それぞれの歩様におけるc<sub>i1</sub>とc<sub>i2</sub>の値をまとめると、表1に示す通りになる。

[0075] [表1]

i	x <sub>i</sub>	walk		trot		bound		gallop	
		c <sub>i1</sub>	c <sub>i2</sub>	c <sub>i1</sub>	c <sub>i2</sub>	c <sub>i1</sub>	c <sub>i2</sub>	c <sub>i1</sub>	c <sub>i2</sub>
1	x <sub>1</sub>	1	0	1	0	1	0	1	0
2	x <sub>2</sub>	-1	0	-1	0	1	0	0	-1
3	x <sub>3</sub>	0	1	-1	0	-1	0	0	1
4	x <sub>4</sub>	0	-1	1	0	-1	0	-1	0

[0076] なお、図7は、本願発明の他の実施例に係る制御システム41の概略ブロック図であるが、例えば図10にあるように、目標信号生成装置43はVDR方程式に基づいて基本的な信号x<sub>R</sub>、τ dx<sub>R</sub>/dtを生成し、目標信号選択装置45<sub>i</sub>は、信号x<sub>R</sub>、τ dx<sub>R</sub>/dtに対して、係数c<sub>i1</sub>、c<sub>i2</sub>を用いて(9)式にあるようにして計算を行い、n個の振動制御装置47<sub>i</sub>は、それぞれ、目標信号選択装置45<sub>i</sub>により選択された信号に基づいて出力信号x<sub>i</sub>を生成するようにしてもよい。

[0077] また、さらに他の実施例として、図7を参照して、目標信号生成装置43は、各振動制御装置47<sub>i</sub>に必要な信号(例えば4つの信号x<sub>R</sub>、-x<sub>R</sub>、τ dx<sub>R</sub>/dt、-τ dx<sub>R</sub>/dt)を生成し、目標信号選択装置45<sub>i</sub>はこれらの信号から必要に応じて1つの信号を選択

するものであってもよい。

- [0078] このように、目標信号生成装置(リズムジェネレータ)は、図7にあるように、基本的な信号を生成するものとして捉えてもよく(上記実施例では $x_R$ 及び $\tau dx_R/dt$ という2信号型)、これらの信号に対して-1倍等の演算を行い、必要な信号を生成する部分も含めて捉えてもよく(上記実施例では4信号型)、さらに、図5にあるように、各振動制御装置(CPG)に与える信号を特定する部分も含めて捉えてもよい(上記実施例ではn信号型)。

## 実施例 2

- [0079] 続いて、図8、9、10を参照して、Matlabを用いたシミュレーションにより、提案モデルの有効性を示す。非線形微分方程式の解法として、4次のルンゲクッタ法を用いた。
- [0080] 図8は、walkモードにおける各CPGの出力信号 $x_i$ と $b_i$ の遷移を示す図である。(a)は各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移を示し、(b)は $b_i$ の遷移を示す。 $\epsilon = 0.2$ 、 $k=1$ 、初期値として、 $x_R=0.1$ 、 $x_1=0.1$ 、 $x_2=-0.5$ 、 $x_3=0.3$ 、 $x_4=0.7$ 、 $dx_R/dt=0.1$ 、 $dx_1/dt=0.1$ 、 $dx_2/dt=0.3$ 、 $dx_3/dt=0.3$ 、 $dx_4/dt=0.2$ を用いた。さらに、振幅と周波数を決定するパラメータは、 $A=0.5$ 、 $B=1$ とした。 $b_i$ は $x_i$ の目標信号 $X_i$ との位相のずれを表している。本実験では、 $b_i < 0.3$ 以下をゼロとして処理した。この処理は、 $A$ 、 $B$ のパラメータによっては、 $x_i$ と $X_i$ の位相が同期した後でも、(8)式中の $b_i$ が完全にゼロにならない場合があるからである。出力結果より、各CPGの出力波形の位相差が $\pi/2$ となるように、各CPGの周期が $b_i$ により制御されていることがわかる。また、各CPGの出力値が各目標信号に制御された後は、 $b_i$ は0になっていることが確認できる。
- [0081] 図9は、trot、bound、gallopモードにおける各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移を示す図である。図9において、(a)はtrotモードの、(b)はboundモードの、(c)はgallopモードのシミュレーション結果を表す。 $\epsilon$ 、 $k$ 、 $A$ 、 $B$ 、初期値として、 $x_R$ 、 $dx_R/dt$ 、 $x_i$ と $dx_i/dt$ はwalkモードでのシミュレーション条件と同じものを用いている。図9より、図4に示す歩様遷移図と同じ位相差を持つ信号が生成・制御されていることが確認できる。また、図8(a)、図9(a)、(b)、(c)の出力結果は、それぞれ同じパラメータ $A$ と $B$ を用いているので、各歩様において振幅と周期がそれぞれ同一の値をとっていることが確認で



きる。また、各モードの出力値は、CPG<sub>1</sub>の出力値である $x_1$ を基準として所望の位相差を持つ波形( $x_2, x_3, x_4$ )が生成制御されていることが確認できる。

[0082] 図10は、walkモードにおけるパラメータAとBを調整させた場合の実験結果である。(a)はA=0.5、B=0.6のとき、(b)はA=0.5、B=1のとき、(c)はA=0.8、B=1のときである。 $\varepsilon$ 、k、初期値として、 $x_R$ 、 $dx_R/dt$ 、 $x_i$ と $dx_i/dt$ は、上述の値をそのまま用いた。図10より、ネットワーク構造においても、各CPGの出力波形の振幅・周期がそれぞれ独立に制御可能であることが確認できる。さらに、既述のとおり、VDPの出力波形の振幅はパラメータAの2倍、振幅はBに反比例していることが確認できる。このように、パラメータAとBによって出力波形の振幅と周期がそれぞれ独立に制御可能であることが確認できる。また、各信号の周期Tの測定結果は、(a)が105(steps)、(b)が62(steps)、(c)が63(steps)であった。

[0083] 以上のように、本実施例では、CPGネットワークを構成する各CPGがLimit cycleを持っており、RGによってCPG間の位相差のみが制御される。さらに、各CPGは出力値の振幅と周波数がほぼ独立に制御可能な非線形微分方程式であるVDPを用いて表現される。そのため、制御性の高いCPGネットワークの設計が可能となる。

### 実施例 3

[0084] 続いて、目標信号選択装置(図5の目標信号選択部35、図7の目標信号選択装置45、・・・、45参照)につき、他の実施例を説明する。

[0085] (9)式の係数 $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせを、ある条件の下で自由に選ぶことにより、条件を満たす歩様を自由に切り替えることが可能となる。そこで、代表的な歩様(例えば、図4及び表1参照)の $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせから、規則を見つけ、それを条件とする。

[0086] 表1を参照して規則の例を説明する。 $x_1$ は、基本波形として固定する( $c_{i1}=1$ 、 $c_{i2}=0$ )。表1より、 $c_{i1}$ の総和及び $c_{i2}$ の総和はゼロである( $\sum c_{i1} = \sum c_{i2} = 0$ )。また、 $c_{i1}$ と $c_{i2}$ の和は1又は-1である( $c_{i1} + c_{i2} = 1$ 又は $-1$ )。このことから、以下に説明するように、CPGネットワークにおける拘束(下記条件1及び条件2)及び生物の歩様における拘束(条件3)に基づいて3つの条件を作成し、目標信号選択装置は、その条件のもとで、 $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせを決定する。

[0087] 第1の条件(条件1)は、すべての生成波形の総和はゼロであることである( $\sum c_{i1} = \sum c_{i2} = 0$ )。第2の条件(条件2)は、 $x_i$ と $dx_i/dt$ は同時に結合されないことである( $c_{i1} + c_{i2} = 1$ 又は $-1$ )。第3の条件(条件3)は、同側の前足と後足は同位相になることはないことである( $c_{21} \neq c_{41}$ 、かつ、 $c_{31} \neq 1$ )。

[0088] 上記の3つの条件を全て同時に満たす歩様は、walk、trot、bound、gallopモード(図4、表1参照)以外に、4つ存在する。表2は、walk、trot、bound、gallopモード以外の4つの歩様の $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせを示す表である。また、図11は、図4に記載されたwalk、trot、bound、gallopモード以外の歩様の遷移図である。

[0089] これより、上記の3つの条件を満たすパラメータセットは8種類であり、設計者が定義した条件歩様を満たす歩様の獲得が可能となる。

[0090] [表2]

$i$	$x_i$	歩様 1		歩様 2		歩様 3		歩様 4	
		$c_{i1}$	$c_{i2}$	$c_{i1}$	$c_{i2}$	$c_{i1}$	$c_{i2}$	$c_{i1}$	$c_{i2}$
1	$x_1$	1	0	1	0	1	0	1	0
2	$x_2$	-1	0	0	-1	0	1	0	1
3	$x_3$	0	-1	-1	0	-1	0	0	-1
4	$x_4$	0	1	0	1	0	-1	-1	0

[0091] 図12を参照して、シミュレーションにより、提案モデルの有効性を示す。実験及びシミュレーション条件は、上記の条件1・2・3を全て同時に満たす $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせを乱数で生成することである。ただし、乱数がとり得る値は、 $-1$ 、 $0$ 、 $1$ の三種類の中から選択される。CPGネットワーク構造は、1500ステップごとに乱数を発生させて変更される。

[0092] 図12は、自動的に生成された $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせによる、(a)各CPGの出力信号 $x_i$ の遷移及び(b) $b_i$ の遷移を示す図である。横軸はステップ数を表す。自動生成された $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ の組み合わせは、1500ステップまではgallopモード、1501~3000ステップは歩様4モード、3001~4500ステップはtrotモードである。図12より、指定された条件を満たす歩様を自動的に生成可能であることが分かる。この条件のもと生成される8種類の信号は、一つの脚が動いている間、常に他の三本脚が地面に着地しているので、安定した移動が期待できる。よって、これらの位相関係で制御される信号は、

歩様信号と考えることができる。

#### 実施例 4

[0093] 続いて、図13～図15を参照して、多様な位相差を生成する機構について、他の実施例を説明する。以下に説明するように、このような位相差の生成を行うことにより、リズムジェネレータRGで生成された基本的な信号による位相差を微調整したり、脚数の変化に対応したりすることが可能となる。

[0094] 図13は、本願発明の他の実施例に係る振動制御装置51<sub>i</sub> (iはシステムにおける振動制御装置の個数n以下の自然数)の概略ブロック図である。振動制御装置51<sub>i</sub>は、図1の振動制御装置5と同様に外部のリズムジェネレータより目標信号X<sub>i</sub>が入力される。図13において、調整部53<sub>i</sub>には外部からの信号(外部信号)e<sub>i</sub>が入力される。また、調整部53<sub>i</sub>には、他の振動制御装置から制御信号x<sub>1</sub>、・・・、x<sub>i-1</sub>、x<sub>i+1</sub>、・・・、x<sub>n</sub>が入力される。

[0095] まず、調整部53<sub>i</sub>が外部信号e<sub>i</sub>を用いて位相差を調整する場合について説明する。本実施例では、(8)式に代えて $B_i = B + b_i + e_i$ を用いる。図14は、1500ステップまではRGを用いて位相差制御を行い、1500ステップ以降は外部信号を利用した場合の(a)各CPGの出力信号x<sub>i</sub>の遷移及び(b)b<sub>i</sub>の遷移を示す図である。800～1500ステップは、boundモードである。調整部53<sub>i</sub>は、外部信号e<sub>i</sub> (1500～1550ステップにおいて外部信号e<sub>2</sub> = 0.2であり、他の部分ではe<sub>i</sub> = 0である。)に基づき、B<sub>i</sub>を調整する。図14より、位相差が変更されていることが分かる。以上より、図14により、外部信号を利用することで、任意の位相差を持つ波形を生成可能であることが分かる。

[0096] 次に、調整部53<sub>i</sub>が、例えば振動制御装置の数が変更した場合などに、他の振動制御装置の制御信号を用いて位相差を調整する場合について説明する。(一周期×1/n)ずれ波形は、x<sub>i</sub>の総和がゼロ( $\sum x_i = 0$ )という関係が必ず成り立つ。これにより、(一周期×1/n)ずれの位相差を持つ波形を生成制御することが可能となる。図15は、1500ステップまではRGを用いて位相差制御を行い、1501ステップ以降は制御信号x<sub>i</sub>の総和がゼロとなるようにb<sub>i</sub>を制御した場合の(a)各CPGの出力信号x<sub>i</sub>の遷移及び(b)b<sub>i</sub>の遷移を示す図である。1000～1500ステップは、walkモードであり、位相差は $2\pi/4$ である。ここで、右前脚(x<sub>2</sub>)への信号出力部が壊れたと仮定する。

この場合、制御信号を生成可能なものは、左前脚( $x_1$ )、左後脚( $x_3$ )、右後脚( $x_4$ )である。そこで、1500ステップ以降は、RGを用いず、 $x_2=0$ として、 $x_i$ の総和がゼロとなるように $b_i$ を制御する。これにより、位相差を $2\pi/3$ とすることができる。図15により、脚数変化にも適応可能であることが分かる。

- [0097] なお、例えば、特開2006-289602号公報には、引き込み特性を持つ振動子を用いて可動部の周期運動の制御を行うロボット装置が記載されている。これは、位相差を揃えるものではあるが、本願発明とは、振幅と周期の独立制御性を有さない点、振動子の引き込みを利用している点(本願発明は、周期を直接制御可能)、Matsuokaモデルを信号生成部で利用している点で異なるものである。
- [0098] 本実施例のCPGネットワークに用いられるVDPは、安定解を持つ範囲内でのみ使用される。つまり、提案モデルで表現できる正弦波振動の振幅と振幅は制限されることになる。しかし、実際の四脚歩行ロボットの各脚の移動範囲は機構的に決まっており、その範囲を超えて動かす必要はないので、一つのVDPで表現可能な出力波形の出力範囲と各脚の挙動範囲を対応させることでこの問題を解決できると考えられる。
- [0099] また、四脚歩行動物は、walk、trot、bound、gallopモードと歩様が遷移するに従って、歩行スピードが速くなる。これに対し、本提案手法は、歩様が変化しても歩行スピード(周期)は一定なので、歩様遷移が行われた場合、さらに歩行スピードを決定するためにVDP内のパラメータBを制御する必要がある。
- [0100] しかし、本実施例は、振幅と周期がほぼ独立に制御可能であり、位相差、振幅を固定したまま、歩行スピード(周期)を制御可能であるので、歩様遷移に対処可能である。
- [0101] さらに、実際の歩行動物は、一つの脚が何かに躓いたりすると、他の脚は躓いた脚に影響をうけて巧みに動きを変えながら安定した歩行を続ける。本実施例では、各CPGは相互結合をしていないが、例えば、センサーフィードバックを利用する方法が有効であると考えられる。体のバランスをセンサする信号を各CPGにフィードバックさせ、体のバランスに応じて各CPGが、影響を及ぼしあうCPGネットワークは有効であると考えられる。センサ等の外部装置を付加することで、例えば、歩様は一定のまま

歩行周期を調節可能(移動運動の速さを調節可能)となったり、歩様は一定のまま、例えば歩幅を広くするなど歩幅を変更し、設計者が任意にエネルギー関数を設定することで、設計者の好みに応じた歩様を生成可能となったり、一部の脚の歩幅を変更したり、脚数の変化に対応した歩行運動生成のための信号を生成したりすることができる。このようなことは、従来のCPGネットワークでは実現が困難であったものである。

## 請求の範囲

- [1] 目標信号を生成する目標信号生成装置と制御信号を生成する複数の振動制御装置を含む制御システムであって、  
前記各振動制御装置は、  
振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて制御信号を生成する信号生成手段と、  
前記目標信号及び前記制御信号に基づいて、前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整する調整手段、  
を備える制御システム。
- [2] 前記各振動制御装置の調整手段は、他の振動制御装置により生成された制御信号とは独立である、請求項1記載の制御システム。
- [3]  $i$ 番目 ( $i$ は前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置において、  
前記信号生成手段は、(eq1)式に基づいて信号 $x_i$ を生成し、  
前記調整手段は、 $A_i$ 又は／及び $B_i$ を調整する、  
請求項1又は2に記載の制御システム。

[数1]

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} - 2\varepsilon(A_i^2 - x_i^2) \frac{dx_i}{dt} + B_i^2 x_i = 0. \quad (\text{eq1})$$

ただし、

$A_i, B_i$  : パラメータ,  
 $\varepsilon$  : 非線形率.

- [4] 前記目標信号生成装置は、(eq4)式に基づいて $i$ 番目 ( $i$ は前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置に対する目標信号 $X_i$ を生成する、請求項1から3のいずれか記載の制御システム。

[数2]

$$\frac{d^2 x_R}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x_R^2) \frac{dx_R}{dt} + B^2 x_R = 0, \quad (\text{eq2})$$

$$\tau = \frac{\max(x_R)}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)} = \frac{2A}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)}, \quad (\text{eq3})$$

$$X_i = c_{i1} x_R + c_{i2} \tau \frac{dx_R}{dt}. \quad (\text{eq4})$$

ただし、

$A, B$  : パラメータ、

$c_{i1}, c_{i2}$  : 定数.

- [5] 前記調整手段は、前記目標信号と前記制御信号の位相差に基づき、前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整する、請求項1から4のいずれかに記載の制御システム。
- [6] 前記調整手段は、前記目標信号と前記制御信号の差を計算する差分演算手段を有する、請求項1から5のいずれかに記載の制御システム。
- [7] 制御信号を生成する振動制御装置であって、  
所定の目標信号及び生成された制御信号に基づいて、新たに生成する制御信号の振幅又は／及び周期を、互いに独立に調整する調整手段、  
を備える振動制御装置。
- [8] 制御信号を生成する制御信号生成方法であって、  
所定の目標信号及び生成された制御信号に基づいて、振幅に関するパラメータ又は／及び周期に関するパラメータが調整される調整ステップと、  
調整後の振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて、新たな制御信号を生成する信号生成ステップ、  
を含む制御信号生成方法。

## 補正された請求の範囲

[2009年7月2日 (02.07.2009) 国際事務局受理]

- [1] (補正後)制御信号を生成する複数の振動制御装置と前記各振動制御装置に対して目標信号を生成する目標信号生成装置を含む制御システムであって、  
前記各振動制御装置は、自励振動系であり、  
生成する制御信号の振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて制御信号を生成する信号生成手段と、  
前記目標信号及び前記制御信号に基づいて、前記振幅に関するパラメータ又は／及び前記周期に関するパラメータを調整する調整手段、  
を備えることにより、前記振動制御装置が生成する制御信号の振幅と周期が個別に制御可能であることを特徴とする制御システム。
- [2] (補正後)i番目(iは前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置に対する目標信号を $X_i$ とし、生成する制御信号を $x_i$ とすると、  
前記目標信号生成装置は、i番目の振動制御装置に対して(eq3)式に基づいて目標信号 $X_i$ を生成する、  
請求項1記載の制御システム。

[数1]

$$\frac{d^2 x_R}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x_R^2) \frac{dx_R}{dt} + B^2 x_R = 0, \quad (\text{eq1})$$

$$\tau = \frac{\max(x_R)}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)} = \frac{2A}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)}, \quad (\text{eq2})$$

$$X_i = c_{i1} x_R + c_{i2} \tau \frac{dx_R}{dt}. \quad (\text{eq3})$$

ただし、

 $A, B$  : パラメータ、 $\varepsilon$  : 非線形率、 $c_{i1}, c_{i2}$  : 定数。

- [3] (補正後)前記信号生成手段は、前記振幅に関するパラメータであるパラメータ $A_i$ 及び前記周期に関するパラメータであるパラメータ $B_i$ に基づいて、(eq4)式により制御信号 $x_i$ を生成し、  
前記調整手段は、前記目標信号 $X_i$ と前記制御信号 $x_i$ に基づき、前記振幅に関する



るパラメータ $A_i$ 又は/及び前記周期に関するパラメータ $B_i$ を調整する、  
請求項2に記載の制御システム。

[数2]

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} - 2\varepsilon(A_i^2 - x_i^2) \frac{dx_i}{dt} + B_i^2 x_i = 0. \quad (\text{eq4})$$

ただし、

$A_i, B_i$  : パラメータ.

[4] (補正後)  $i$ 番目の振動制御装置の調整手段は、

(eq5)により前記振幅に関するパラメータ $A_i$ を外部より与えられたパラメータ $A$ とし、  
前記制御信号 $x_i$ と前記目標信号 $X_i$ の差を計算する差分演算手段を有し、(eq6)に  
基づいて前記差分演算手段により計算された差分 $x_i - X_i$ に係数 $k$ を乗算することによ  
りパラメータ $b_i$ を計算し、(eq7)に基づいて外部より与えられたパラメータ $B$ と $b_i$ を加算す  
ることにより前記周期に関するパラメータ $B_i$ を計算する、  
請求項3に記載の制御システム。

[数3]

$$A_i = A, \quad (\text{eq5})$$

$$b_i = k(x_i - X_i), \quad (\text{eq6})$$

$$B_i = B + b_i. \quad (\text{eq7})$$

ただし、

$k$  : 係数.

[5] (補正後) 前記複数の振動制御装置の数は、ロボットの複数の脚の数であり、

前記複数の振動制御装置は、それぞれ、前記ロボットの複数の脚に対応し、前記  
各振動制御装置が生成する制御信号は前記ロボットの各脚の動作を制御して歩様  
を実現するためのものであり、

前記各振動制御装置の調整手段は、他の振動制御装置により生成された制御信  
号とは独立に調整処理を行う、請求項2から4のいずれかに記載の制御システム。

[6] (補正後) 前記ロボットの脚数は4であり、進行方向に対して左前脚、右前脚、左後  
脚及び右後脚は、それぞれ、 $x_1, x_2, x_3$ 及び $x_4$ に対応し、

定数 $c_{i1}$ 及び $c_{i2}$ は、3つの条件、すなわち、第1の条件として $\sum c_{i1} = \sum c_{i2} = 0$ 、第2の

条件として $c_{i1} + c_{i2} = 1$ 又は $-1$ 、第3の条件として $c_{21} \neq c_{41}$  かつ  $c_{11} \neq c_{31}$  を満たすものである、請求項5記載の制御システム。

[7] (削除)

[8] (補正後)それぞれ自励振動系であり制御信号を生成する複数の振動制御装置と、前記複数の振動制御装置のそれぞれに対して目標信号を生成する目標信号生成装置を含む制御システムにおける制御信号生成方法であつて、

前記目標信号生成装置が、(eq10)式に基づいて $i$ 番目 ( $i$ は前記振動制御装置の個数以下の自然数)の振動制御装置に対する目標信号 $X_i$ を生成し、 $i$ 番目の前記振動制御装置の信号生成手段が、生成する制御信号の振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて制御信号 $x_i$ を生成するステップと、

前記 $i$ 番目の振動生成装置の調整手段が、前記目標信号 $X_i$ 及び制御信号 $x_i$ に基づいて、前記振幅に関するパラメータ又は/及び前記周期に関するパラメータを調整する調整ステップと、

$i$ 番目の前記振動制御装置の信号生成手段が、調整後の前記振幅に関するパラメータ及び前記周期に関するパラメータに基づいて新たな制御信号 $x_i$ を生成する信号生成ステップ、

を含むことにより、前記振動制御装置が生成する制御信号 $x_i$ の振幅と周期が個別に制御可能であることを特徴とする制御信号生成方法。

[数4]

$$\frac{d^2 x_R}{dt^2} - 2\varepsilon(A^2 - x_R^2) \frac{dx_R}{dt} + B^2 x_R = 0, \quad (\text{eq8})$$

$$\tau = \frac{\max(x_R)}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)} = \frac{2A}{\max\left(\frac{dx_R}{dt}\right)}, \quad (\text{eq9})$$

$$X_i = c_{i1} x_R + c_{i2} \tau \frac{dx_R}{dt}. \quad (\text{eq10})$$

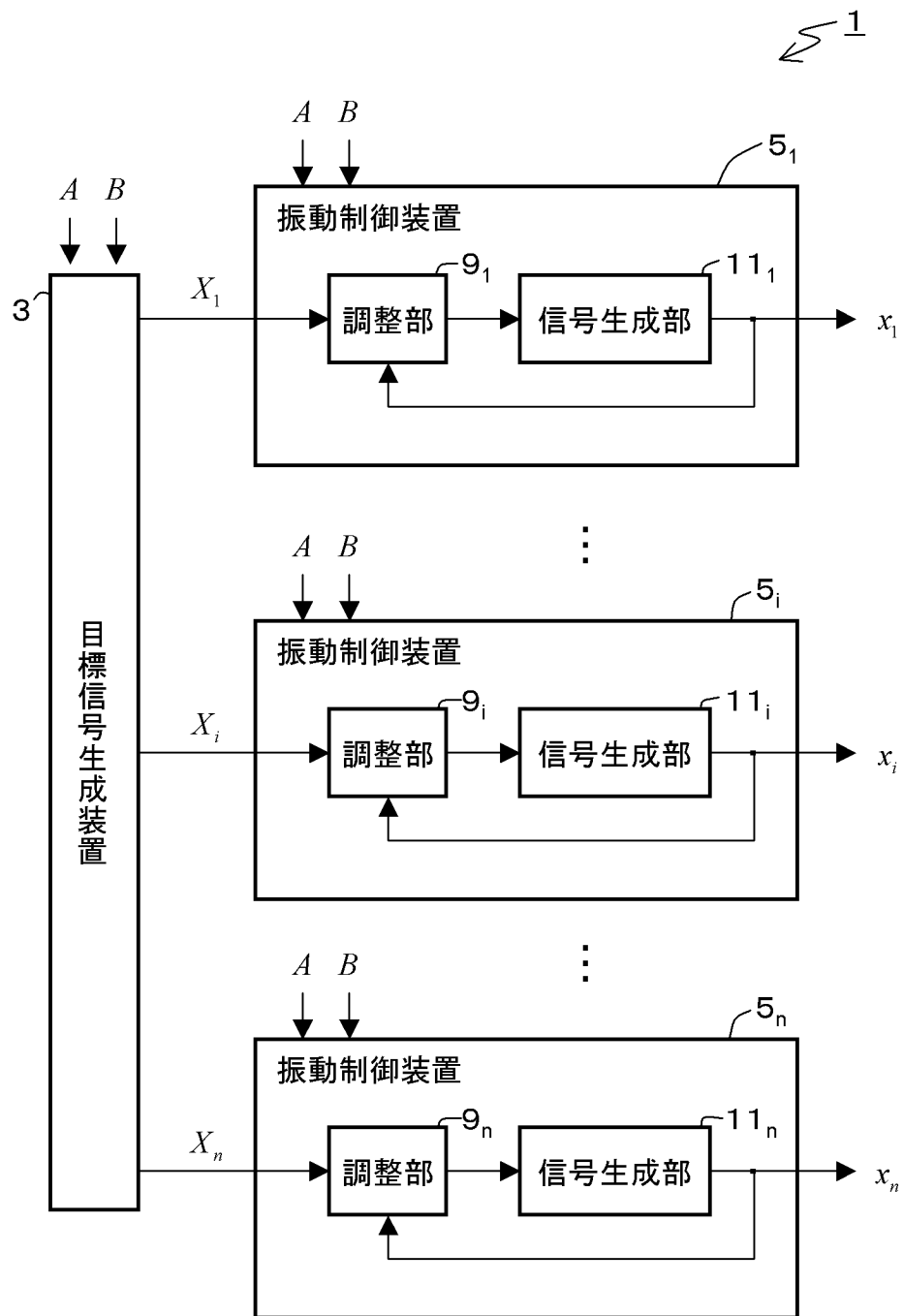
ただし、

$A, B$  : パラメータ,

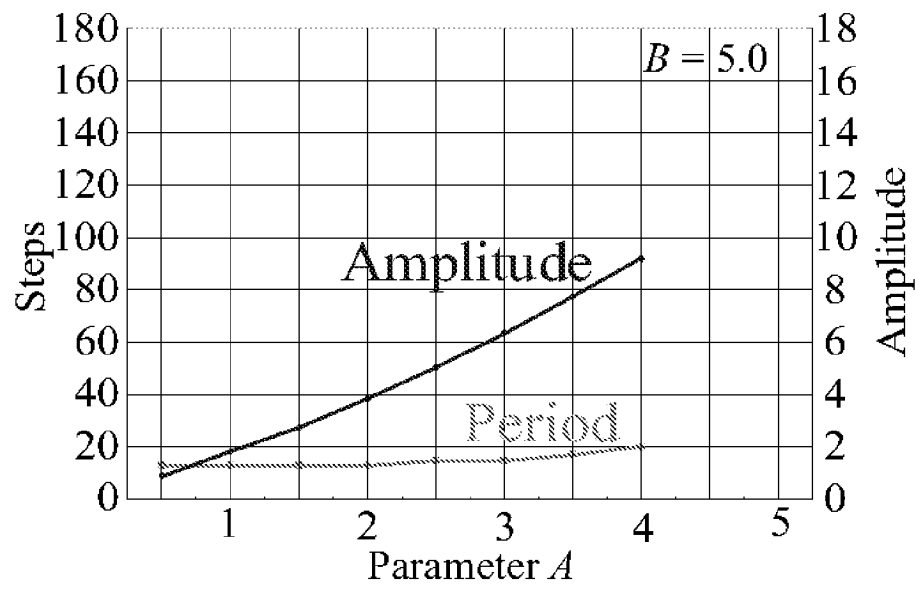
$\varepsilon$  : 非線形率,

$c_{i1}, c_{i2}$  : 定数.

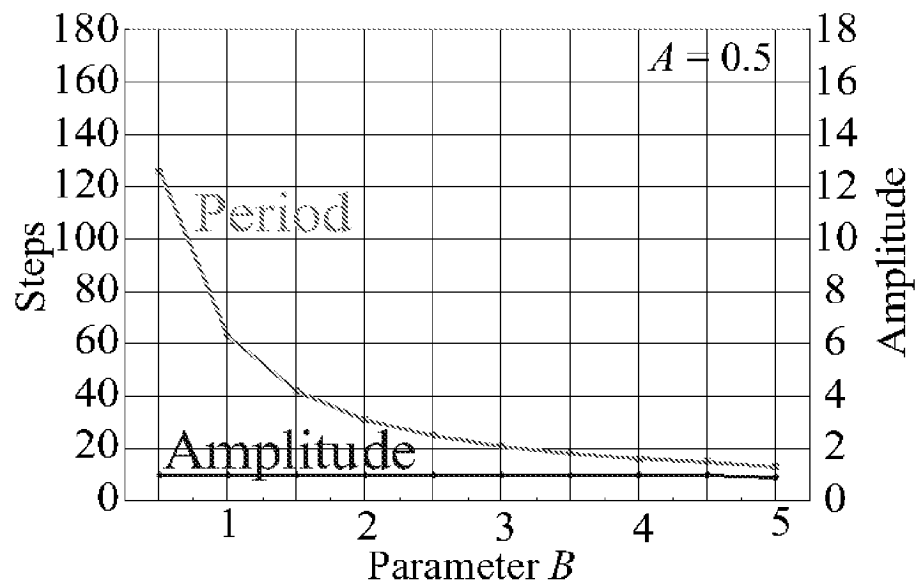
[図1]



[図2]

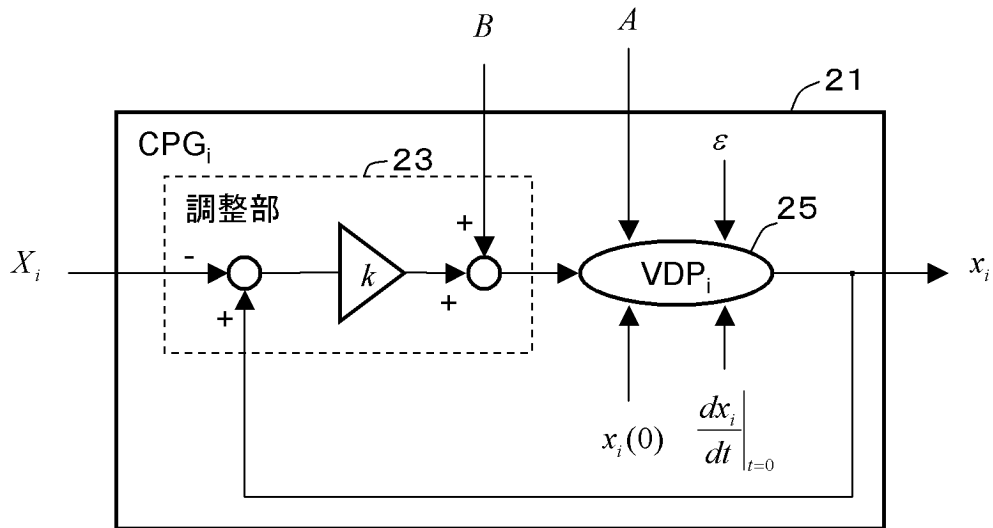


(a)

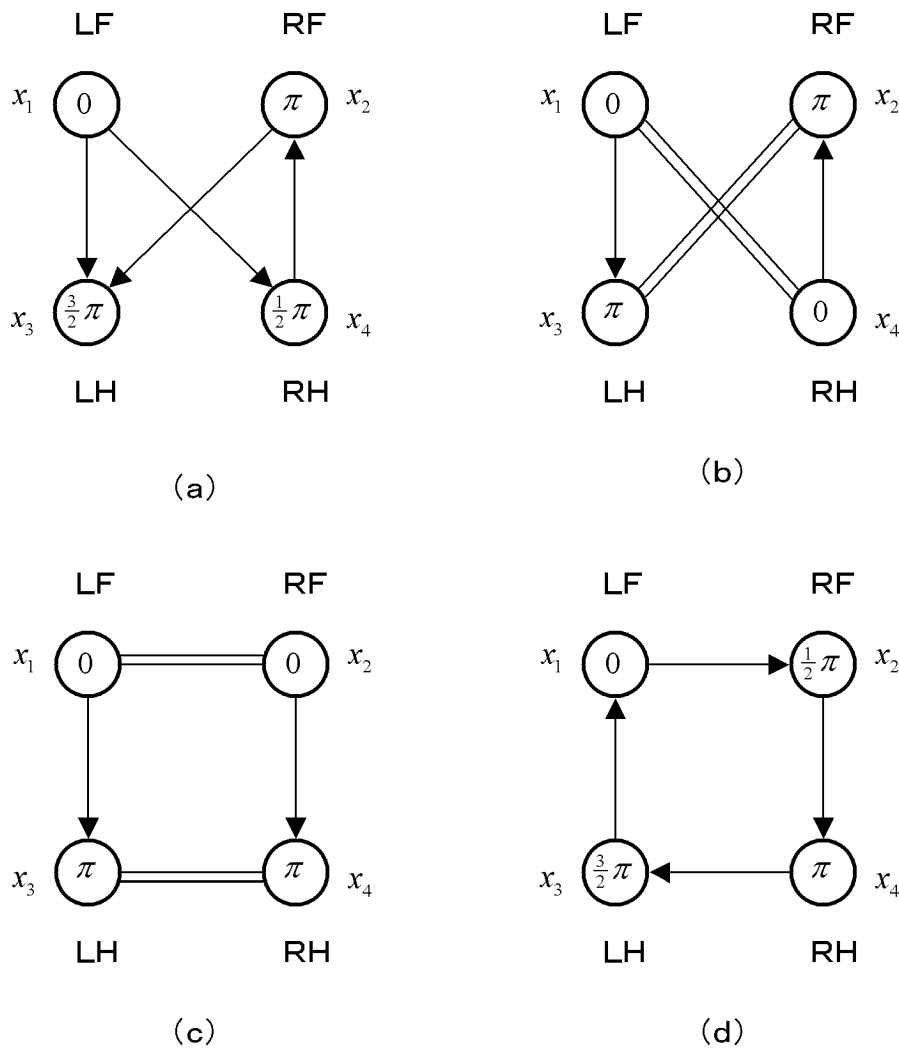


(b)

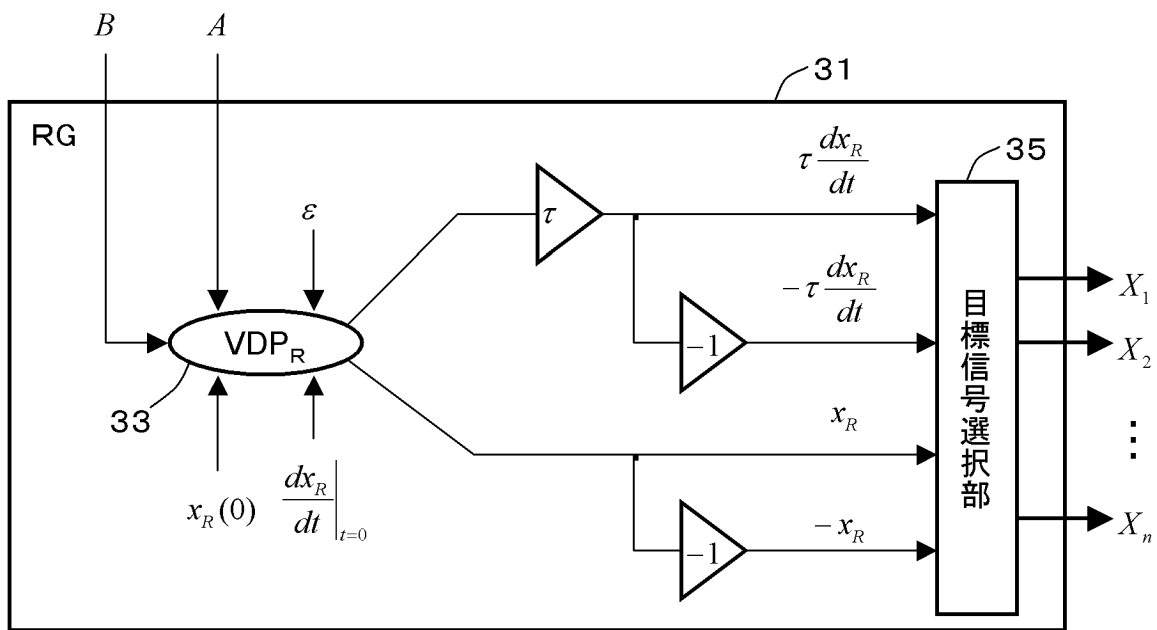
[図3]



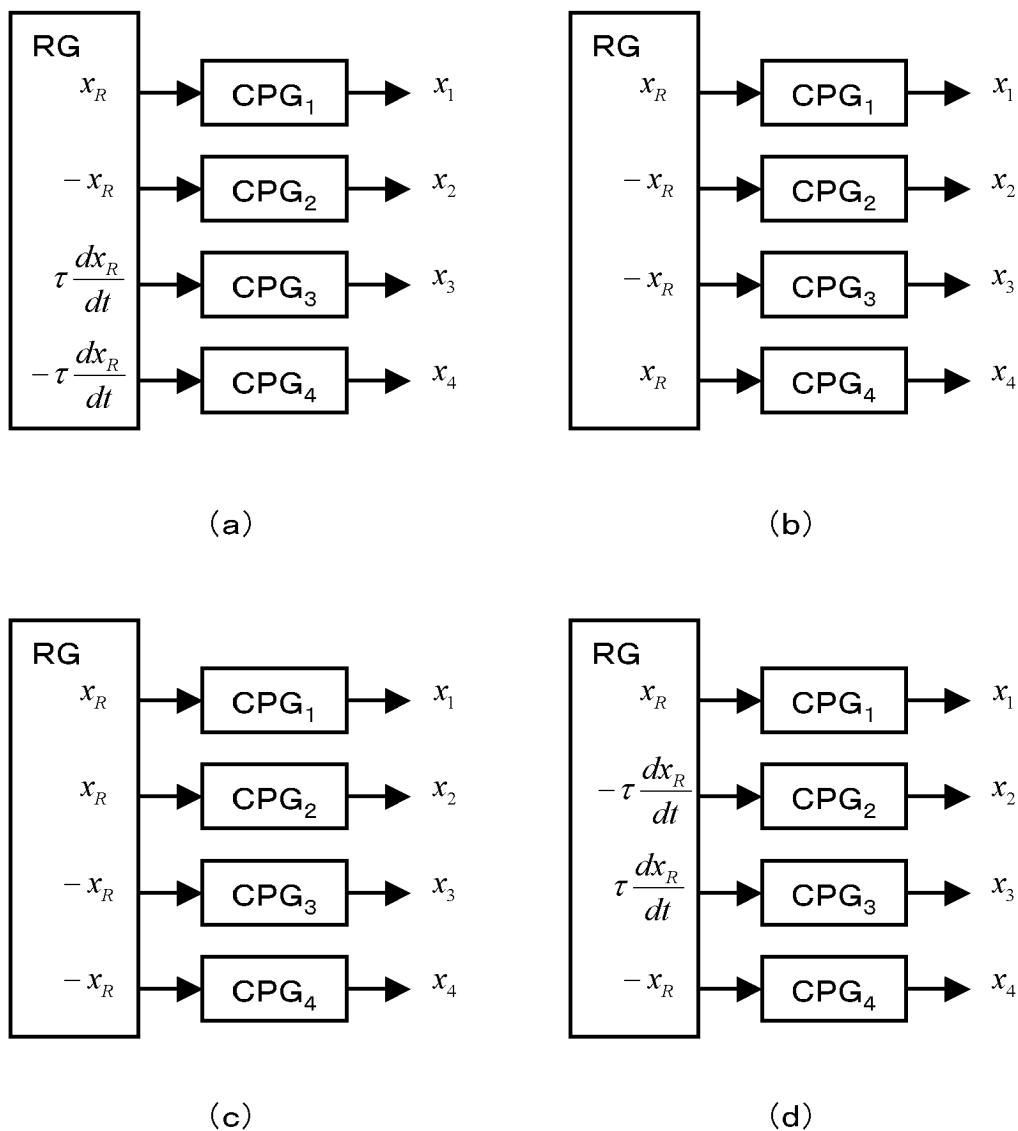
[図4]



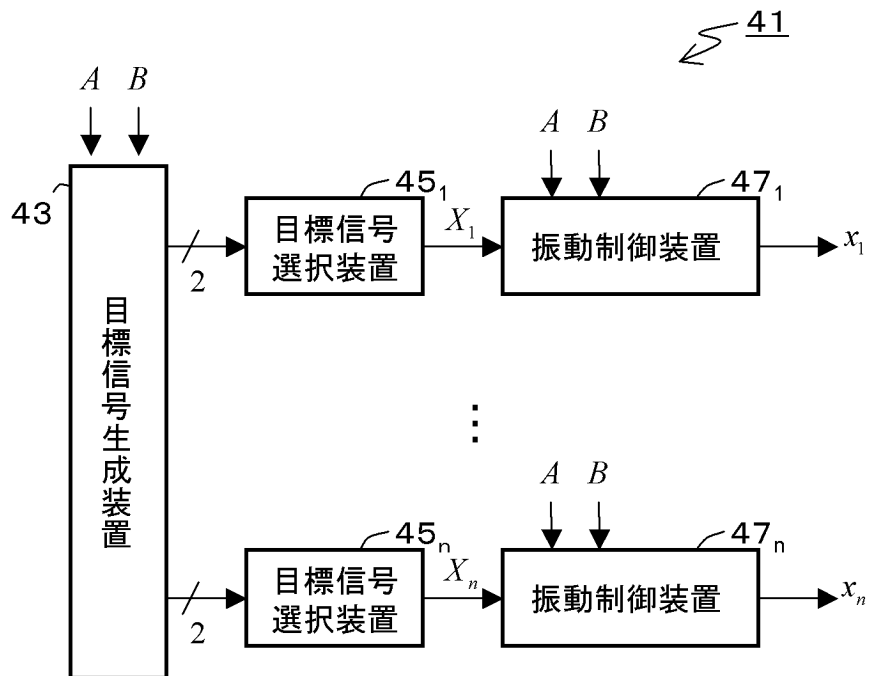
[図5]



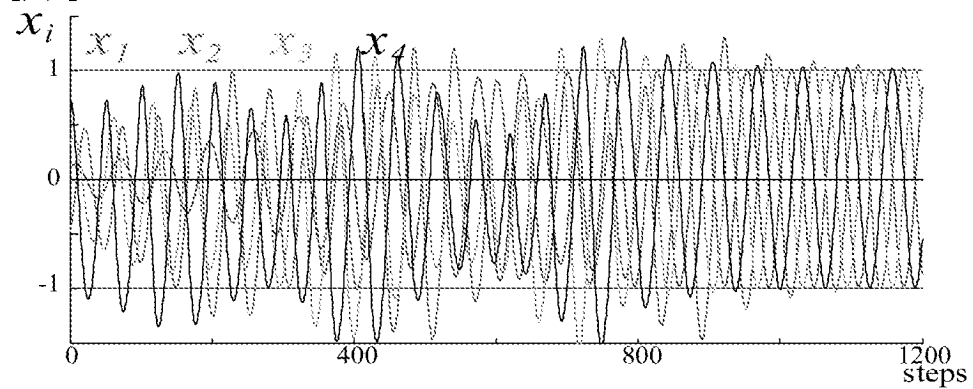
[図6]



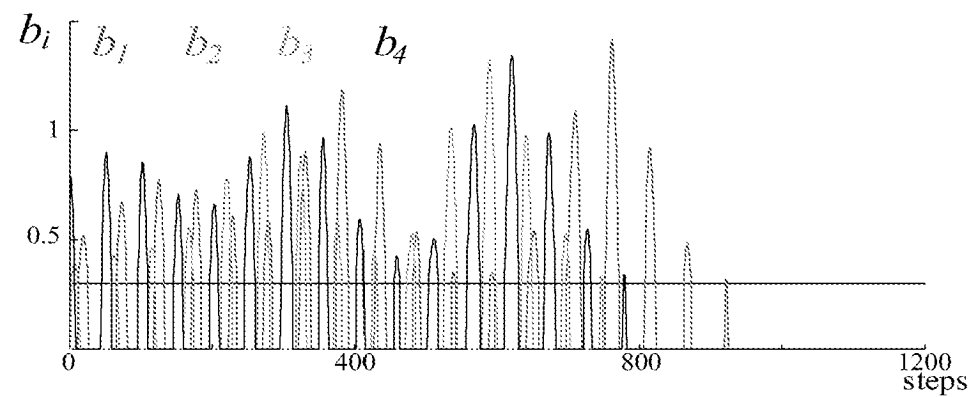
[図7]



[図8]

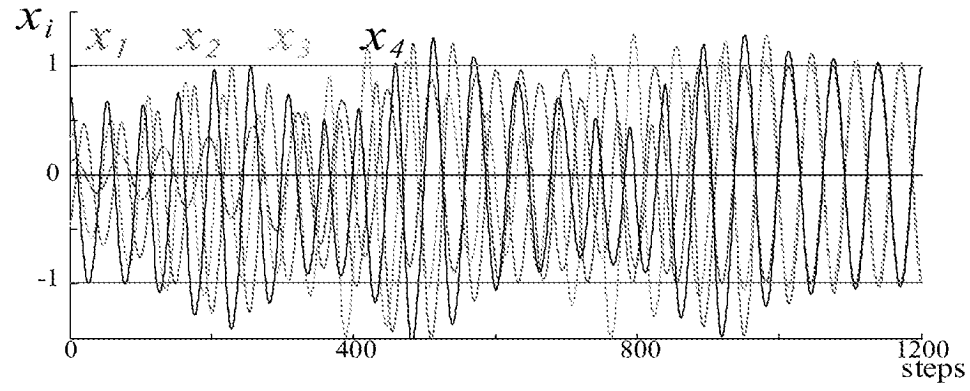


(a)

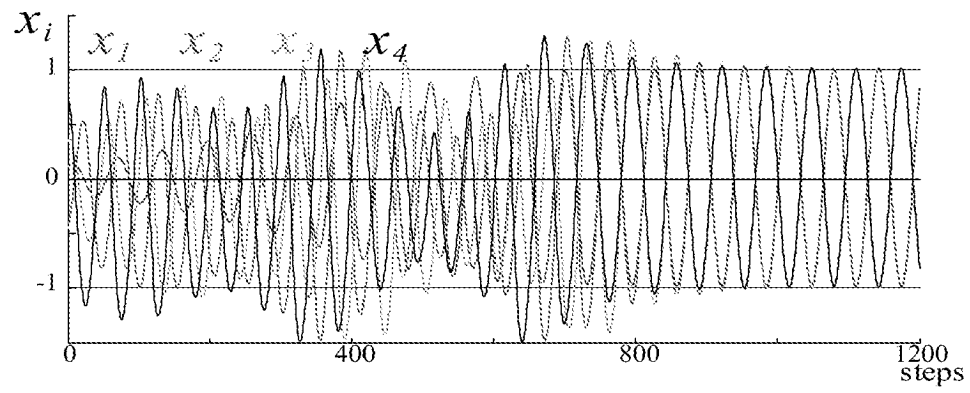


(b)

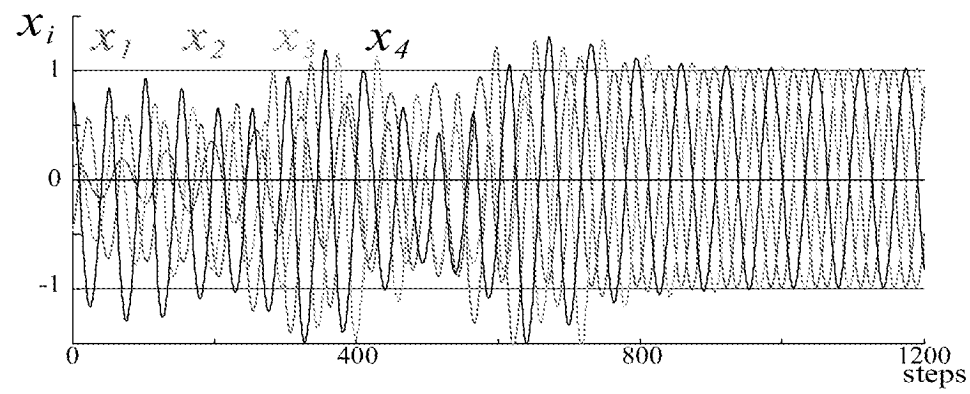
[[図9]



(a)



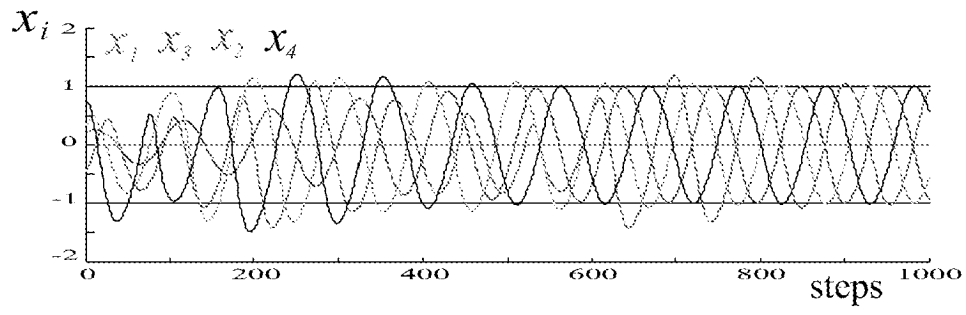
(b)



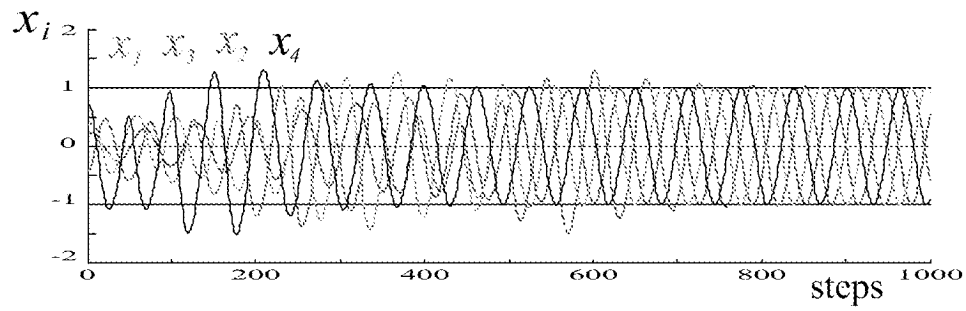
(c)



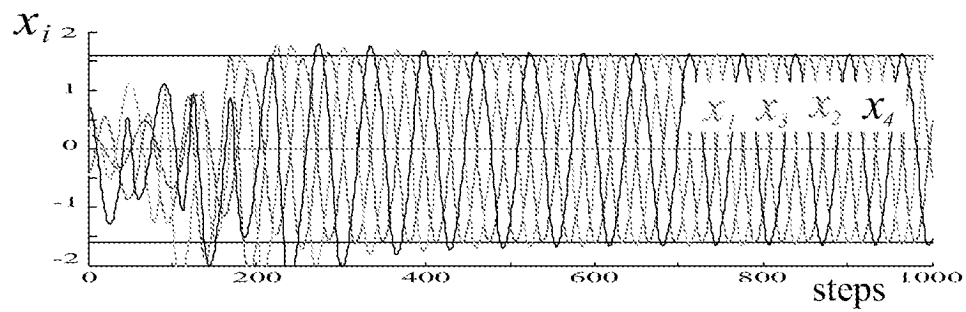
[図10]



(a)

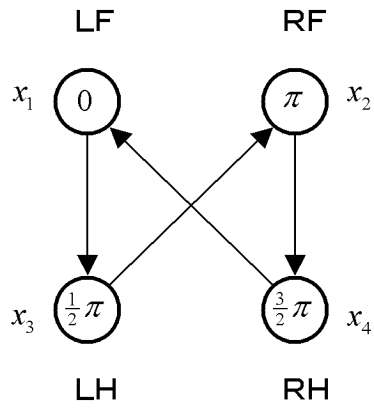


(b)

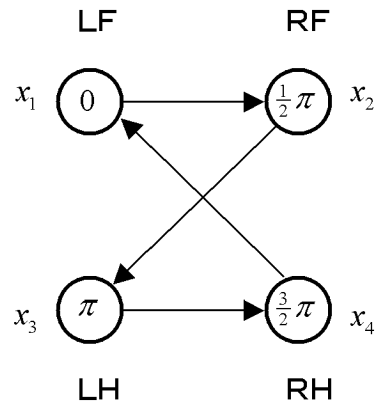


(c)

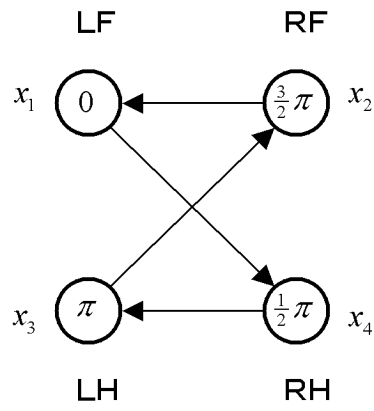
[図11]



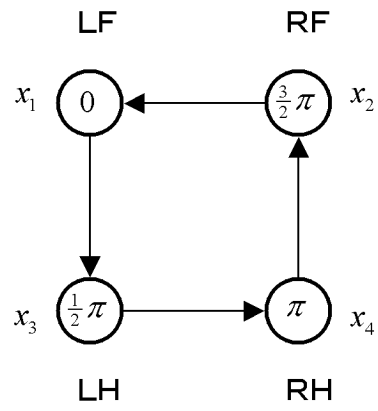
(a)



(b)

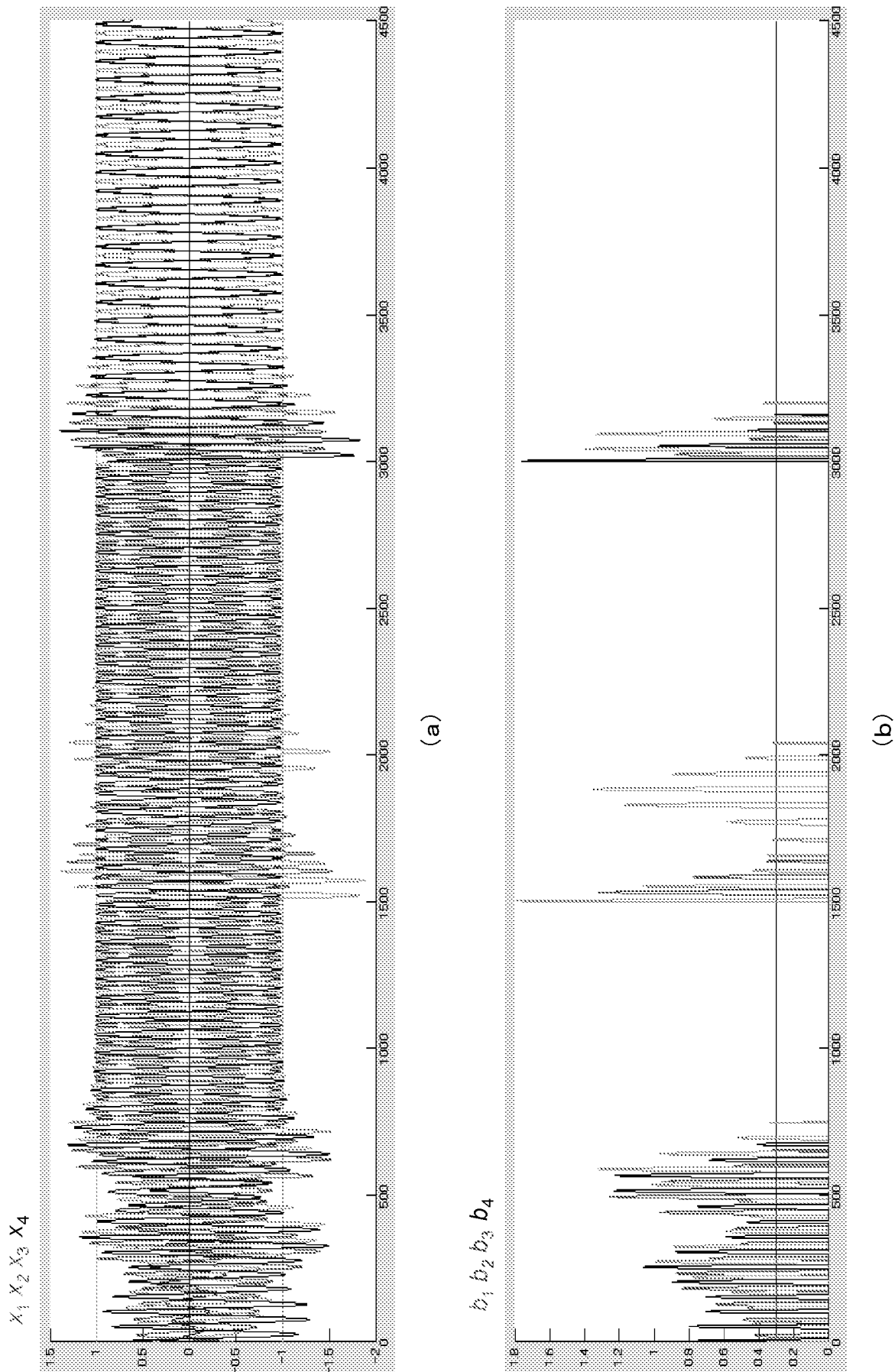


(c)

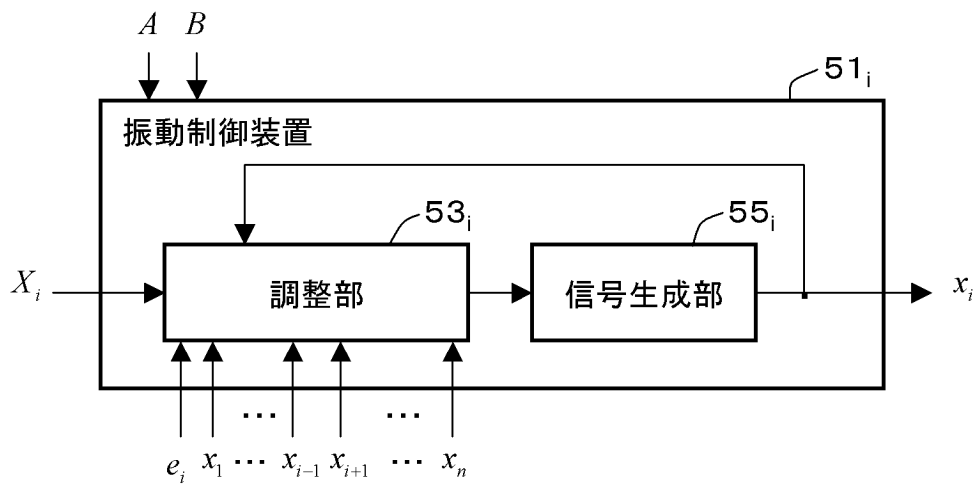


(d)

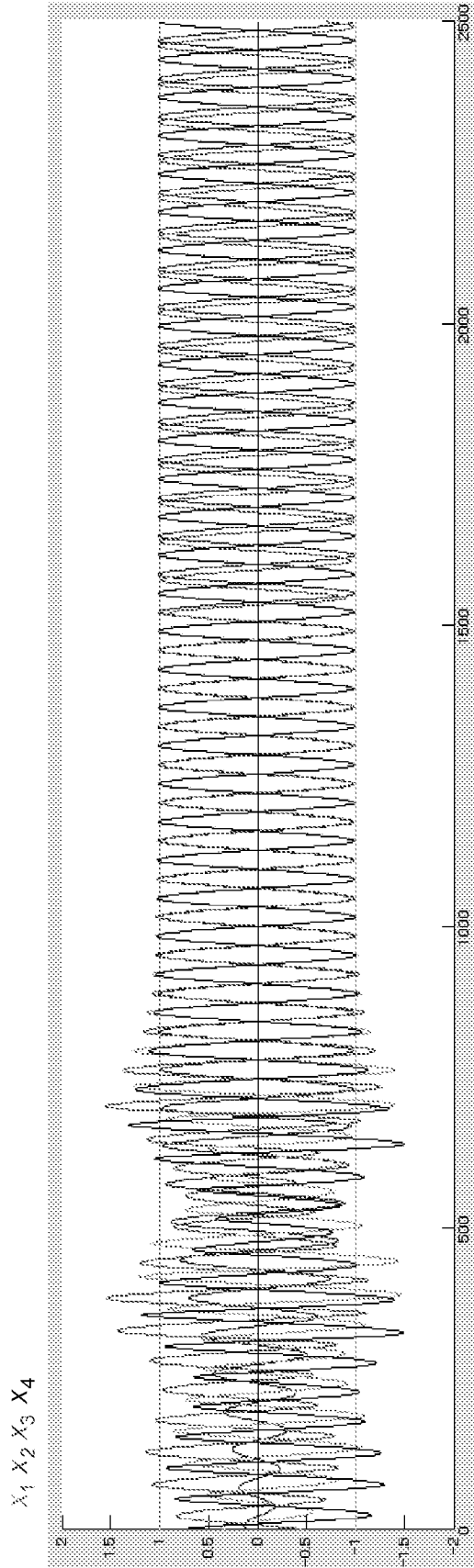
[図12]



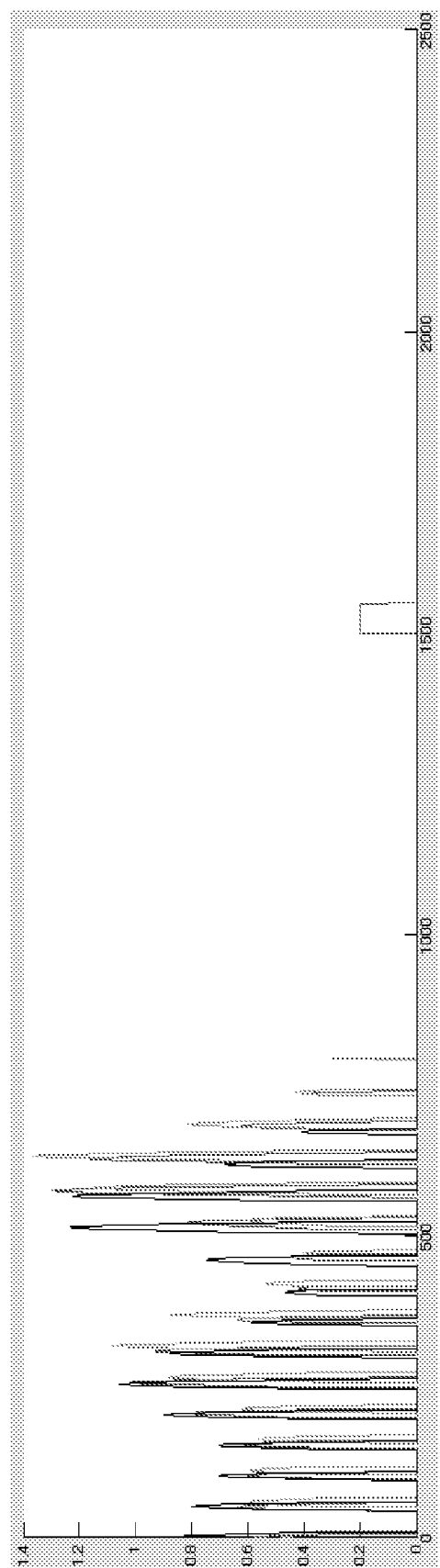
[図13]



[図14]

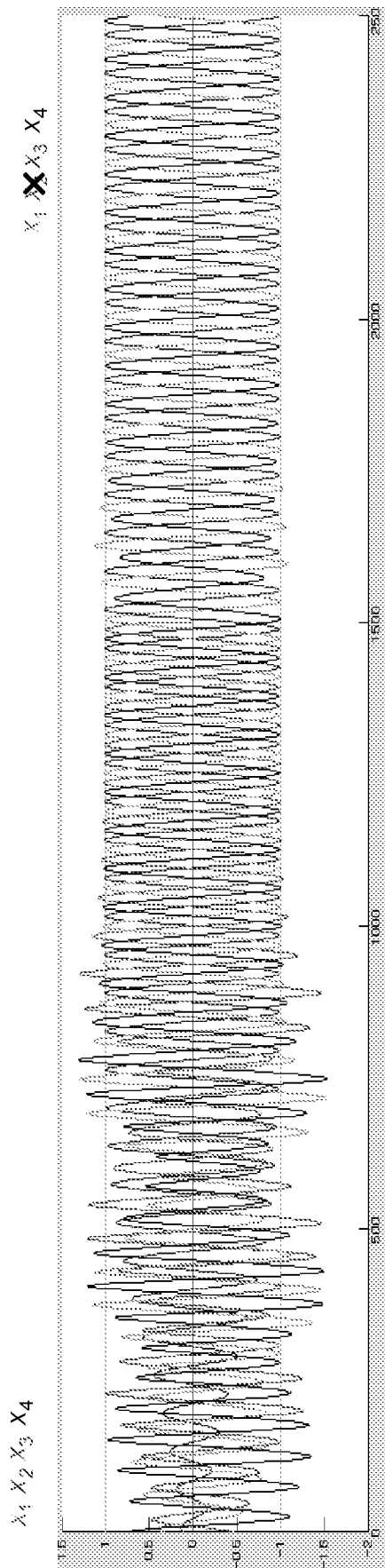


(a)

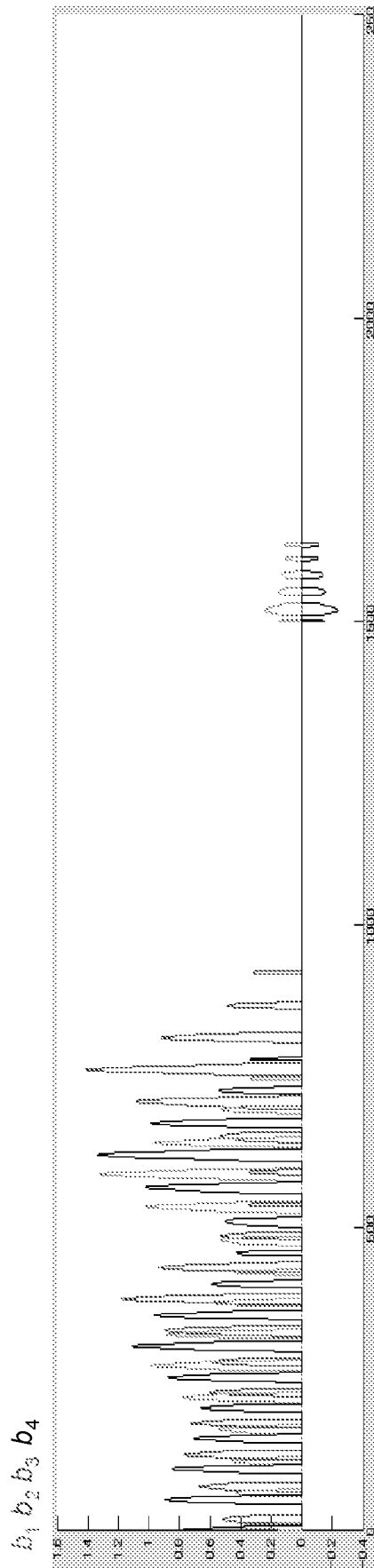


(b)

[図15]



(a)



(b)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2009/053040

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
G05D19/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G05D19/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006-289602 A (Sony Corp., Japan Science and Technology Agency, Kabushiki Kaisha Advanced Telecommunications Research Institute International), 26 October, 2006 (26.10.06), Par. Nos. [0111] to [0115], [0132], Figs. 7, 8, 11 (Family: none)	1, 8

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

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 March, 2009 (10.03.09)	Date of mailing of the international search report 17 March, 2009 (17.03.09)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/053040

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.: 2 - 7  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:  
  
See extra sheet
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**  
the

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.



Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet(2)

Because of the reasons given below, the description of claim 1 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[1] In general, a term "system" means an assembly having a plurality of elements which cooperate each other to exhibit a certain function as a whole. "A control system" in claim 1 also should be interpreted as an assembly having a plurality of elements required for controlling a control object which elements cooperate to exhibit a certain function as a whole. However, claim 1 does not define any concrete object to be controlled or any technical relationship between "the target signal generation device" and "the oscillation control device." That is, it is unclear how the target signal generation device cooperates with the oscillation control device. Consequently, it is impossible to identify a function to be exhibited by "the control system."

[2] The description of "the control system including a target signal generation device which generates a target signal and a plurality of oscillation control devices which generate control signals" cannot define any concrete technical meaning since it is unclear what is to be controlled by "the oscillation control device" as has been indicated in [1].

[3] The description of "the adjustment means which adjusts a parameter associated with the amplitude and/or a parameter associated with the cycle according to the target signal and the control signal" cannot identify what kind of adjustment is to be made and any purpose of the adjustment.

Because of the reasons given below, the description of claim 1 is not supported by the Description within the meaning of PCT Article 6. The Description does not disclose the invention of claim 1 within the meaning of PCT Article 5.

[4] The description of claim 1 relates to a technical feature that a parameter associated with the amplitude and/or a parameter associated with the cycle is adjusted according to the target signal and the control signal.

On the other hand, paragraphs [0048] to [0055] of the Description describe that control is performed to make the phase difference between the target signal  $X_i$  and the control signal  $x_i$  to be zero by repeating the processes expressed by Expression (7) and Expression (8) including the parameter associated with the cycle of the output waveform of  $CPG_i$  as the oscillation control device. However, the description does not explain how to control the phase difference between the target signal  $X_i$  and the control signal  $x_i$  (i.e., how to adjust the parameter associated with the cycle).

As for the adjustment of the parameter associated with the amplitude according to the target signal and the control signal, paragraphs [0042], [0047], and [0082] of the Description only make an analysis that "the cycle is reversely proportional to B and the amplitude is 2A" according to Expression (2) and Expression (3).

(Continued to next sheet)

Accordingly, as for claim 1, the search was made on the range supported by and disclosed in the Description, i.e., what is specifically described in the description: "a control system including a target signal generation device which generates a target signal and an oscillation control device which generates a control signal by inputting the target signal into the oscillation control device, wherein the oscillation control device is signal generation means which generates a control signal according to a parameter concerning the amplitude and a parameter concerning the cycle."

Because of the reasons given below, the description of claim 2 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[5] As has been described above, in the description of claim 1, it is impossible to find a technical meaning of that "the control system" includes "a plurality of oscillation control devices." The invention of claim 1 may be defined as has been described above. Accordingly, it is impossible to identify a technical meaning of the description in the phrase "independent of" in claim 2 referring to claim 1.

Consequently, it is impossible to make a significant search on the invention of claim 2.

Because of the reasons given below, the description of claim 3 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[6] Claim 3 describes that a signal  $x_i$  is generated according to Expression (eq1). However, it is unclear how "the signal  $x_i$ " is generated from "Expression (eq1)." Moreover, it is impossible to specify technical meanings of "parameter," " $A_i$ ,  $B_i$ ," "non-linearity", and " $\varepsilon$ ."

Consequently, it is impossible to make a significant search on the invention of claim 3.

Because of the reasons given below, the description of claim 4 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[7] Claim 4 describes that a signal  $x_i$  is generated according to Expression (eq4). However, it is impossible to specify technical meanings of " $x_R$ ," " $\tau$ ," "constant," " $C_{i1}$ ," " $C_{i2}$ ," "parameter," and " $A_i$ ,  $B_i$ ," in "Expression (eq4)." Moreover, it is impossible to understand how to obtain " $x_R$ ," and accordingly, it is impossible to understand how to obtain " $X_i$ ."

Consequently, it is impossible to make a significant search on the invention of claim 4.

(Continued to next sheet)

Because of the reasons given below, the descriptions of claim 5 and 7 do not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[8] As has been explained in [3], it is unclear what is controlled by "the oscillation control device." Accordingly, it is impossible to specify how and what is controlled by "the adjustment means."

Consequently, it is impossible to make a significant search on the inventions of claims 5 and 7.

Because of the reasons given below, the description of claim 6 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[9] As has been explained in [3], it is unclear what is controlled by "the oscillation control device." Moreover, it is impossible to specify a technical meaning of that "the adjustment means" "calculates a difference" between "a target signal" and a control signal" since the technical relationship between the calculation and other functions of "the control system" is unclear.

Consequently, it is impossible to make a significant search on the invention of claims 6.

Because of the reasons given below, the description of claim 8 does not satisfy the requirement of clarity within the meaning of PCT Article 6.

[10] "The parameter concerning the amplitude" and "the parameter concerning the cycle" do not specify "the amplitude" of what or "the cycle" of what. Accordingly, it is impossible to specify a technical meaning of "the adjustment step" and "the signal generation step."

[11] It is unclear what is controlled by "the control signal" in "the control signal generation method." Accordingly, it is impossible to specify for what "adjustment step" "adjusts" "... parameter". Moreover, it is impossible to specify for what "the signal generation step" "generates" "a new control signal."

Because of the same reasons indicated in [4], the description of claim 8 is not supported by the Description within the meaning of PCT Article 6. Moreover, the Description does not disclose the invention of claim 8 within the meaning of PCT Article 5.

Consequently, as for claim 8, the search was made only on the range supported by and disclosed in the Description, i.e., the technical feature relating to "the control signal generation method for generating a control signal."

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G05D19/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G05D19/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2006-289602 A (ソニー株式会社, 独立行政法人科学技術振興機構, 株式会社国際電気通信基礎技術研究所) 2006.10.26, 段落【0111】-【0115】, 【0132】, 第7, 8及び11図 (ファミリーなし)	1, 8

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.03.2009

国際調査報告の発送日

17.03.2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

二階堂 恭弘

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

3U

4480

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
  
2.  請求の範囲 2-7 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、  
特別ページを参照。
  
3.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

## 第II欄2. について

請求の範囲1の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(1) 一般的に、「システム」という記載は、複数の要素が協働することによって、全体としてある機能を発揮する集合体を意味することから、請求の範囲1における「制御システム」という記載は、制御対象を制御するために必要な複数の要素が協働することによって、全体としてある機能を発揮する集合体であると解釈すべきところ、請求の範囲1には、制御対象が何であつて、何を制御するかさえ明確でなく、また、「目標信号生成装置」と「振動制御装置」との技術的關係も把握することができず、どのように協働するか明確でないことから、当該「制御システム」という記載が一体どのような機能を有するか特定することができない。

(2) 「目標信号を生成する目標信号生成装置と制御信号を生成する複数の振動制御装置を含む制御システム」という記載は、前記(1)に示したとおり、「振動制御装置」によって何を制御するか明確でないことから、請求の範囲1の記載において、「制御システム」が「振動制御装置」を「複数」含むことがどのような技術的意味を有するか把握することができない。

(3) 「前記目標信号及び前記制御信号に基づいて、前記振幅に関するパラメータ又は/及び前記周期に関するパラメータを調整する調整手段」という記載は、前記(1)に示したとおり、「振動制御装置」によって何を制御するか明確でないことから、「調整手段」が、「・・・に基づいて」、何を目的としてどのように「調整する」か特定することができない。

下記の理由により、請求の範囲1の記載は、PCT第6条の意味での裏付けを欠くものであり、また、明細書は、PCT第5条の意味において請求項1に係る発明を開示していない。

(4) 請求の範囲1の記載からは、目標信号及び前記制御信号に基づいて、振幅に関するパラメータ又は/及び周期に関するパラメータを調整するという技術的事項が認められる。

一方、明細書の段落【0048】－【0055】には、振動制御装置であるCPG<sub>i</sub>の出力波形の周期に関するパラメータを含む(7)式及び(8)式により表現される処理を目標信号 $X_i$ と制御信号 $x_i$ との差がなくなるまで繰り返すことで、 $X_i$ と $x_i$ との位相差がゼロになるように制御することが記載されているところ、当該記載を見ても、(7)式及び(8)式から、どのように $X_i$ と $x_i$ との位相差を制御するか(どのように周期に関するパラメータを調整することで $X_i$ と $x_i$ との位相差を制御するか)把握することができない。

また、目標信号及び制御信号に基づいて、振幅に関するパラメータを調整する点については、明細書の段落【0042】、【0047】及び【0082】の記載から、「周期がBに反比例し、振幅は2A」となることを(2)式と(3)式から解析していることが認められるのみであつて、目標信号及び制御信号に基づいて、振幅に関するパラメータを調整する点は認められない。

したがって、請求の範囲1については、明細書に裏付けられ、開示されている範囲、すなわち、明細書に具体的に記載されている、「目標信号を生成する目標信号生成装置と」、前記目標信号を前記振動制御装置へ入力することで「制御信号を生成する」「振動制御装置とを含む制御システムであつて、前記」「振動制御装置は、振幅に関するパラメータ及び周期に関するパラメータに基づいて制御信号を生成する信号生成手段」という事項について調査を行った。

請求の範囲2の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(5) 上述のとおり、請求の範囲1の記載において、「制御システム」が「振動制御装置」を「複数」含むことの技術的意味を見出すことができず、請求の範囲1に係る発明を上記のとおり認めることから、当該請求の範囲1を引用する請求の範囲2において、「・・・とは独立である」という記載がどのような技術的意味を有するか特定することができない。

したがって、請求の範囲2に係る発明について有意義な調査をすることができない。

請求の範囲3の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(6) 請求の範囲3の記載からは、(eq 1)式に基づいて信号 $x_i$ を生成する点が認められるところ、「(eq 1)式」からどのように「信号 $x_i$ 」を生成するか明確でなく、また、「パラメータ」「 $A_i$ 」「 $B_i$ 」及び「非線形率」「 $\varepsilon$ 」という記載がどのような技術的意味を有するか特定することができない。

したがって、請求の範囲3に係る発明について有意義な調査をすることができない。

請求の範囲4の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(7) 請求の範囲4の記載からは、(eq 4)式に基づいて信号 $x_i$ を生成する点が認められるところ、「(eq 4)式」における「 $x_R$ 」、「 $\tau$ 」、「定数」「 $c_{i1}$ 」及び「 $c_{i2}$ 」、「パラメータ」「 $A_i$ 」「 $B_i$ 」という記載がどのような技術的意味を有するか特定することができず、また、「 $x_R$ 」をどのように求めるか把握することができないことから、「 $X_i$ 」をどのように求めるか把握することができない。

したがって、請求の範囲4に係る発明について有意義な調査をすることができない。

請求の範囲5及び7の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(8) 前記(3)に示したと同様、「振動制御装置」によって何を制御するか明確でないことから、「調整手段」が、「・・・基づいて、何を目的としてどのように「・・・調整する」か特定することができない。

したがって、請求の範囲5及び7に係る発明について有意義な調査をすることができない。

請求の範囲6の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(9) 前記(3)に示したと同様、「振動制御装置」によって何を制御するか明確でなく、「調整手段」という記載が「目標信号」と「制御信号」との「差を計算すること」と「制御システム」が有するその他の機能との技術的関係が明確でないことから、当該「差を計算すること」がどのような技術的意味を有するか把握することができない。

したがって、請求の範囲6に係る発明について有意義な調査をすることができない。

請求の範囲8の記載は、下記の理由により、PCT第6条の意味における明確性の要件を欠いている。

(10)「振幅に関するパラメータ」及び「周期に関するパラメータ」という記載が何の「振幅」及び「周期」に関するパラメータであるか明確でないことから、「調整ステップ」及び「信号生成ステップ」がどのような技術的意味を有するか特定することができない。

(11)「制御信号生成方法」という記載は、何を制御するための「制御信号」を生成するか明確でないことから、「調整ステップ」が何を目的としてどのように「・・・パラメータ」を「調整」するか特定することができず、また、「信号生成ステップ」が何を目的としてどのように「新たな制御信号」を「生成する」か特定することができない。

前記(4)に示した理由と同様の理由により、請求の範囲8の記載は、PCT第6条の意味での裏付けを欠くものであり、また、明細書は、PCT第5条の意味において請求項8に係る発明を開示していない。

したがって、請求の範囲8については、明細書に裏付けられ、開示されている範囲、すなわち、「制御信号を生成する制御信号生成方法」という事項についてのみ調査を行った。