(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
2020年1月30日(30.01.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/022430 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 13/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/029215

(22) 国際出願日： 2019年7月25日(25.07.2019)

(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 2018-141765 2018年7月27日(27.07.2018) JP

(71) 出願人: 株式会社東芝 (**KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA**) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目１番１号 Tokyo (JP). 東芝インフラシステムズ株式会社 (**TOSHIBA INFRASTRUCTURE SYSTEMS & SOLUTIONS CORPORATION**) [JP/JP]; 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町７２番地３４ Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 大西 祐太 (**ONISHI Yuuta**); 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内 Tokyo (JP). 山中 理 (**YAMANAKA Osamu**); 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内 Tokyo (JP). 小原 卓巳 (**OBARA Takumi**); 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内 Tokyo (JP). 難波 諒 (**NAMBA Ryo**); 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内 Tokyo (JP). 平岡 由紀夫 (**HIRAOKA Yukio**); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町７２番地３４ 東芝インフラシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT**

(54) **Title:** CONTROL DEVICE, CONTROL METHOD, AND COMPUTER PROGRAM

(54) 発明の名称： 制御装置、制御方法及びコンピュータプログラム

[図3]

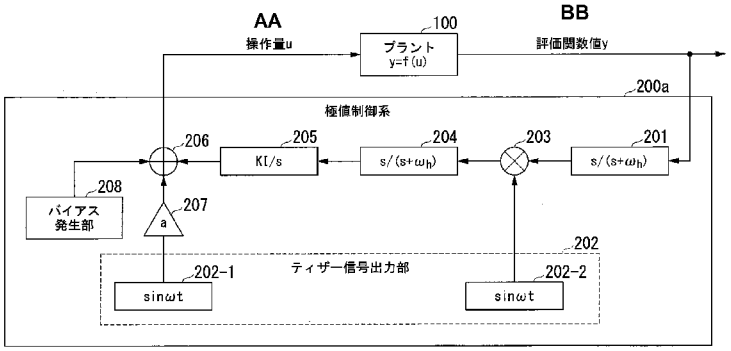


FIG. 3:
100 Plant
200a Extremal value control system
202 Dither signal output unit
208 Bias generation unit
AA Operation amount u
BB Evaluation function value y

(57) **Abstract:** Provided are a control device, a control method, and a computer program, with which a suitable operation amount can be set in accordance with a change in a control subject. A control device according to an embodiment has a bias generation unit (208) and an extremal value control unit. The bias generation unit (208) imparts a bias to the amplitude of a perturbation signal. The extremal value control unit adds the biased perturbation signal to an operation amount (u) supplied to a process to be controlled and supplies the operation amount (u) to a prescribed evaluation function (y=f(u)), thereby obtaining an evaluation function value (y) indicating an index pertaining to optimization of the process to be controlled and, on the basis of the evaluation function value (y), retrieves an optimal value for the operation amount (u) to be supplied to the process to be controlled.

WO 2020/022430 A1

[続葉有]

OFFICE); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：制御対象の変化に応じて適切な操作量を設定することができる制御装置、制御方法及びコンピュータプログラムを提供する。実施形態の制御装置は、バイアス発生部（２０８）と、極値制御部とを持つ。バイアス発生部（２０８）は、摂動信号の振幅に対してバイアスを付加する。極値制御部は、バイアスが付加された摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量（ｕ）に加え、操作量（ｕ）を所定の評価関数（ｙ＝ｆ（ｕ））に与えることによって制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値（ｙ）を取得し、評価関数値（ｙ）に基づいて制御対象プロセスに与えられる操作量（ｕ）の最適値を探索する。

明　細　書

発明の名称 ： 制御装置、制御方法及びコンピュータプログラム

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、制御装置、制御方法及びコンピュータプログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、プラント制御の方法として、極値制御と呼ばれる技術が注目されている。極値制御は、プラントを模擬する複雑なモデルを用いることなく、リアルタイムに操作量の最適値を探索することができる制御技術である。極値制御の概要は、制御対象となるプロセス（以下、「制御対象プロセス」という。）に与える操作量を強制的に変化させることにより生じる制御対象プロセスの制御量に基づいて、制御量に基づく評価量が最適値となる操作量を探索していくというものである。このような極値制御をプラント制御に適用する場合、極値制御に係る各種のパラメータ（以下、「制御パラメータ」という。）を設定する必要がある。従来、制御対象プロセスの特性に応じて適切に制御パラメータを設定するための指針がいくつか提案されている。しかし、評価関数値が局所的に最小または最大となるポイント（極値）が複数存在する系に対して、従来の指針に基づく制御パラメータの設定方法を採用した極値制御を適用させると、その系全体で評価関数値が最小又は最大となるポイント（最適値）となる操作量を適切に探索することが困難となる場合があった。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１７－２２４１７６号公報

特許文献2：特開平９－２７４５０６号公報

特許文献3：特開２０１２－１４１８６２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明が解決しようとする課題は、制御対象の変化に応じて適切な操作量を設定することができる制御装置、制御方法及びコンピュータプログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0005] 実施形態の制御装置は、バイアス発生部と、極値制御部とを持つ。バイアス発生部は、摂動信号の振幅に対してバイアスを付加する。極値制御部は、バイアスが付加された前記摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量に加え、前記操作量を所定の評価関数に与えることによって前記制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値を取得し、前記評価関数値に基づいて前記制御対象プロセスに与えられる前記操作量の最適値を探索する。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]実施形態の極値制御の動作例を示すブロック線図。

[図2]実施形態の極値を複数持つ評価関数に対する極値制御を適用した位置具体例を示す図。

[図3]実施形態の第１ディザー信号にバイアスを付加するブロック線図。

[図4A]実施形態の第１ディザー信号の時系列変化の第一の具体例を示す図である。

[図4B]実施形態の操作量の時系列変化の第一の具体例を示す図。

[図4C]実施形態の評価関数値の時系列変化の第一の具体例を示す図。

[図5]実施形態の第１ディザー信号に振幅を設定するブロック線図。

[図6A]実施形態の第１ディザー信号の振幅の時系列変化の第二の具体例を示す図。

[図6B]実施形態の操作量の時系列変化の第二の具体例を示す図。

[図6C]実施形態の評価関数値の時系列変化の第二の具体例を示す図。

[図7]実施形態の適用対象の水処理プラントの概略を示す図。

[図8]第１の実施形態の制御装置の機能構成の具体例を示す機能ブロック図。

[図9]第１の実施形態の制御装置に基づいた極値制御の一具体例を示す図。

[図10A]従来の手法で極値制御を行った場合の操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図。

[図10B]第１の実施形態の制御装置で極値制御を行った場合の操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図。

[図11]第２の実施形態の制御装置の機能構成の第一の具体例を示す機能ブロック図。

[図12]第２の実施形態の制御装置の機能構成の第二の具体例を示す機能ブロック図。

[図13]第２の実施形態の極値制御における操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図。

[図14]第３の実施形態の制御装置の機能構成の具体例を示す機能ブロック図。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、実施形態の制御装置、制御方法及びコンピュータプログラムを、図面を参照して説明する。

[0008] （第１の実施形態）

［概略］

極値制御は、制御対象プロセスの操作量と、操作量の変化に応じた評価関数値の変化に基づいて、評価関数の最適値を適応的に探索する制御手法である。評価関数値は、制御対象プロセスの操作量に基づいて決定される。評価関数値は、制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す値である。評価関数値と操作量との関係は、所定の評価関数によって表される。評価関数は、操作量に基づくものであれば任意の評価基準に基づいて設定されてよい。また評価関数値は操作量そのものであってもよい。一般に、極値制御における制御対象プロセスでは、この評価関数は操作量に対して未知の関数である。

[0009] 一般に、極値制御では、ディザー信号を作用させることによって操作量を強制的に振動させ、操作量に応じて変化する評価関数値を観測する。そして

、評価関数値が評価関数の最適値に近づくような方向に操作量を変化させていく。このような操作量の増減を繰り返すことによって、評価関数値を評価関数の最適値に近づけていこうとする手法が極値制御によるプロセス制御の概念である。なお、操作量に作用するディザー信号は正弦波で与えられる場合が多い。

[0010] 図１は、実施形態の極値制御の動作例を示すブロック線図である。図１は、制御対象のプロセスであるプラント１００と、プラント１００の極値制御を実現する極値制御系２００とを表す。極値制御系２００は、おおよそ以下のような処理の流れを繰り返すことによってプラント１００の極値制御を実現する。

[0011] 極値制御系２００から出力される操作量ｕがプラント１００に入力される（ステップＳ１０１）。以下、簡単のため、ステップＳ１０１で入力された操作量ｕを第１の操作量と記載する。プラント１００は、第１の操作量に対する応答として評価関数値ｙを出力する（ステップＳ１０２）。以下、簡単のため、ステップＳ１０２で入力された評価関数値ｙを第１の評価関数値と記載する。評価関数値ｙは極値制御系２００に入力される。

[0012] 極値制御系２００は、第１の評価関数値に基づいて、評価関数値をより最適な値に近づけるような第２の操作量を決定する。極値制御系２００は、第１の評価量に基づいて決定された第２の操作量を新たな操作量としてプラント１００に出力する（ステップＳ１０３）。プラント１００は、第２の操作量に対する応答として第２の評価関数値を出力する（ステップＳ１０４）。

[0013] このような処理の流れにより、第２の評価関数値は、第１の評価関数値よりも最適値に近い値となる。極値制御では、このような操作量に基づく評価関数値の算出と、評価関数値に基づく新たな操作量の決定とが繰り返し実行されることにより、評価関数値が最適値に収束していくようにプラント１００の操作量が制御される。

[0014] なお、第１の評価関数値に基づいて第２の操作量を決定する機能は、極値制御系２００の以下のような構成によって実現される。極値制御系２００は

、ハイパスフィルタ２０１（ＨＰＦ：High-Pass Filter）、ディザー信号出力部２０２、乗算器２０３、ローパスフィルタ２０４（ＬＰＦ：Low-Pass Filter）、積分器２０５、加算器２０６及び振幅設定部２０７を備える。図１において、ｓはラプラス演算子、ωはディザー信号の角周波数、ａはディザー信号の振幅、ｋは積分器２０５の積分係数を表す。

[0015] ハイパスフィルタ２０１は、フィードバックされた評価関数値の信号を入力し、評価関数値の信号からその極小値に応じた一定値のバイアスを除去する。ハイパスフィルタ２０１は、バイアスが除去された評価関数値の信号を乗算器２０３に出力する。

[0016] ディザー信号出力部２０２は、乗算器２０３及び加算器２０６に対してディザー信号を出力する。ディザー信号出力部２０２は、加算器２０６に対してｓｉｎωｔで表される第１ディザー信号を出力するディザー信号出力部２０２－１と、乗算器２０３に対してｓｉｎωｔ（ｔは時間を表す変数）で表される第２ディザー信号を出力するディザー信号出力部２０２－２とを備える。第１ディザー信号は、操作量に加える摂動信号に相当する。第１ディザー信号は、振幅設定部２０７によって振幅値としてａが乗算されて、加算器２０６に出力される。第２ディザー信号は、評価関数値からディザー信号の成分を抽出する役割を果たす。なお、ｓｉｎωｔ(正弦波)はディザー信号の一例であり、ディザー信号は周期的な信号であれば、どのような形状を持つものでもよい。

[0017] 乗算器２０３は、ハイパスフィルタ２０１から出力されるバイアスが除去された評価関数値の信号に対して、第２ディザー信号を乗算する。乗算器２０３は、第２ディザー信号が乗算された評価関数値の信号をローパスフィルタ２０４に出力する。

[0018] ローパスフィルタ２０４は、ディザー信号が乗算された評価関数値の信号から低周波成分を抽出する。ローパスフィルタ２０４は、評価関数値の信号の低周波成分を示す信号を積分器２０５に出力する。この評価関数値の信号の低周波成分は、ディザー信号の振動に応じて変化した評価関数値の信号の

周波数成分を表すと考えられる。そのため、評価関数値の信号の低周波成分から、操作量の変化に対して評価関数値が増加したのか、又は減少したのかを判断することができる。

[0019] 積分器２０５は、ローパスフィルタ２０４から出力される評価関数値の信号の低周波成分に基づいて、評価関数値を最適値に近づけるために動かすべき操作量の方向を推定する推定器として機能する。具体的には、積分器２０５は、評価関数値の信号の低周波成分を積分し、低周波成分の積分信号を出力する。ここで出力される積分信号は、現在の操作量に対して動かすべき方向（増加方向又は減少方向）を与える。

[0020] 加算器２０６は、現在の操作量信号と、積分器２０５から出力される積分信号とに基づいてプラント１００に対して次に入力すべき操作量信号を生成する。加算器２０６は、生成した操作量信号に対して、操作量信号を振動させるための第１ディザー信号（ａ×ｓｉｎωｔ）を足し合わせてプラント１００に出力する。

[0021] 極値制御系２００が備える機能の中で、操作量に振動を与える役割を果たす第１ディザー信号は、評価関数の最適値探索性能に影響を及ぼす機能である。特に、評価関数が特殊な場合、十分な最適値探索性能を発揮できない可能性がある。第１ディザー信号には正弦波が用いられることが一般的である。第１ディザー信号のパラメータである振幅aは、操作量の範囲内（例えば、プラント１００の運転条件等による制約範囲内）で設定されてもよい。

[0022] 図２は、実施形態の極値を複数持つ評価関数に対する極値制御を適用した位置具体例を示す図である。極値制御系２００は、操作量の初期値U_{α}から徐々に操作量を大きくしていくように探索を行うと第１極値に収束する場合がある。また、極値制御系２００は、操作量初期値U_{β}から徐々に操作量を小さくしていくように探索を行うと第２極値に収束する場合がある。すなわち、極値制御系２００には、設定されたディザー信号で操作量をふった場合でも、評価関数値が第１極値よりも低減する第２極値付近の評価関数値の変化を捉えることができない場合があることが想定される。

[0023] このような課題を解決するため、実施形態の制御装置は以下に示す２つの機能を備える。１つは、第１ディザー信号にバイアスとなる信号を付加する機能である。もう１つは、第１ディザー信号の振幅ａを経時的に変化させる機能である。このような機能を備えることにより、実施形態の制御装置は、操作量を適切な値に保つことができる。

[0024] ［第１の機能の詳細］

図３は、実施形態の第１ディザー信号にバイアスを付加するブロック線図である。図３における極値制御系２００ａは、バイアス発生部２０８をさらに備える点で極値制御系２００とは異なるが、それ以外の構成は同じである。以下、極値制御系２００と異なる点について説明する。

[0025] バイアス発生部２０８は、第１ディザー信号の振幅に対して正負のバイアスを付加する。例えば、バイアス発生部２０８は、Ｒｅｃｔ関数等の矩形波信号を加算器２０６に出力することで第１ディザー信号に対してバイアスを付加してもよい。なお、バイアスの大きさは操作量の制約条件を守るように設定されてもよい。制約条件はユーザによってあらかじめ指定されてもよい。ユーザとは、例えばプラント１００の運用者であってもよいし、どのような者であってもよい。バイアス発生部２０８は、バイアスが制約条件の限界値に到達する等の理由によって、極値の探索ができなくなった場合、第１ディザー信号へのバイアスの付加を停止するように駆動してもよい。バイアス発生部２０８は、バイアスを付加する方法を任意に変更されてもよい。バイアス発生部２０８は、プラントの制約条件を受け付けてもよい。例えば、バイアス発生部２０８は、正又は負の一方向のバイアスを付加するように制約条件を受け付けてもよい。バイアス発生部２０８は、付加するバイアス信号として矩形波に限らず任意の波形を用いてよく、周期的ではない不規則な信号を用いてもよい。バイアス発生部２０８は、プラントの特性によって突発的な操作量の変化がプラントに反映されるのに時間を要する場合は、変化を捉えられる時間と同期させてもよい。

[0026] 図２の評価関数に極値制御系２００ａを適用して、初期操作量U_{α}から探索

をスタートさせる場合について説明する。図４Ａは、実施形態の第１ディザー信号の時系列変化の第一の具体例を示す図である。図４Ｂは、実施形態の操作量の時系列変化の第一の具体例を示す図である。図４Ｃは、実施形態の評価関数値の時系列変化の第一の具体例を示す図である。

[0027] 図４Ｂに示される通り、開始直後、操作量は第１極値の操作量U_1へ一定の割合で近づく。その後、操作量は、U_1に到達して安定化する。これは、探索が操作量U_αからスタートした際に、スタート時点の評価関数値よりもより評価関数値が低減する方向に操作量を変化させていく極値制御技術の働きによる挙動である。ただし、一旦操作量がU_1に到達した場合、その部分は局所的にみた“最適点”であるため、制御が安定化する。したがって、より評価関数値が低い第２極値の操作量へ到達することが難しい場合があった。

[0028] 極値制御系２００ａは、バイアス発生部２０８を備えることで、第１ディザー信号に正又は負のバイアスを付加し、強制的にディザー信号を正又は負側にシフトできる。これにより、操作量の挙動は、負側又は正側にシフトするため、極値制御系２００ａは、探索範囲を広げることができる。これに伴い、極値制御系２００ａは、より評価関数値が低い領域を見つけることができる。極値制御系２００ａは、第１極値よりも評価関数値が低い第２極値となる操作量U_2を探索できる。

[0029] ［第２の機能の詳細］

図５は、実施形態の第１ディザー信号に振幅を設定するブロック線図である。図５における極値制御系２００ｂは、振幅決定部２０９及び乗算器２１０をさらに備える点で極値制御系２００とは異なるが、それ以外の構成は同じである。以下、極値制御系２００と異なる点について説明する。

[0030] 振幅決定部２０９は、第１ディザー信号に設定される振幅ａを決定する。振幅決定部２０９は、第１ディザー信号の振幅ａを経時的に変化させる。例えば、振幅決定部２０９は、第１ディザー信号の振幅が線形に増加するように振幅ａを決定してもよい。また、振幅ａは、操作量の値の上下限、変化率の上下限又はプラントの制約条件等を考慮して、上限値を予め設定されても

よい。振幅aの初期値又は増加関数は任意に設定されてもよい。

[0031] 図２の評価関数に極値制御系２００ｂを適用して、初期操作量U_{α}から探索をスタートさせる場合について説明する。図６Ａは、実施形態の第１ディザー信号の振幅の時系列変化の第二の具体例を示す図である。図６Ｂは、実施形態の操作量の時系列変化の第二の具体例を示す図である。図６Ｃは、実施形態の評価関数値の時系列変化の第二の具体例を示す図である。

[0032] 図６Ａに示されるように、第１ディザー信号の振幅は徐々に大きくなり、極値制御系２００ｂは、操作量の探索範囲を広げることができる。操作量の初期値をU_{α}とした場合、極値制御系２００ｂは、探索開始直後では、第１ディザー信号の振幅が小さいため、第１極値の操作量U_1にて安定化する挙動を示す。しかし、操作量の変動幅がさらに大きくなり、第２極値の操作量U_2へ到達する。このように、極値制御系２００ｂは、評価関数値をさらに低減することができ、最適値の探索が可能となる。

[0033] なお、第１の機能と第２の機能とは、それぞれ組み合わされて極値制御系が構成されてもよい。組み合わされることで、極値制御系はより安定して最適値の探索が可能となる。

[0034] 図７は、実施形態の適用対象の水処理プラント３００の概略を示す図である。なお、制御対象プロセスは水処理プラント３００に限定されず、最適化されるべき評価関数値を持つ任意のプロセスであってよい。以下、生物学的廃水処理プロセスを実現する水処理プラント３００を例に、リアルタイム最適値探索制御装置の機能について詳細に説明する。水処理プラント３００は、制御対象プロセスの一態様である。

[0035] 図７における白抜き矢印は、処理対象の下水の流れを表す。図７における実線矢印は下水から分離された汚泥の流れを表す。水処理プラント３００の概略について説明する。水処理プラント３００は、流入渠・沈砂池等３０１、最初沈殿池３０２、生物反応槽３０３、最終沈殿池３０４、ろ過池３０５及び余剰汚泥貯留槽３０７の各貯留設備を備える。また、水処理プラント３００は、汚泥処理ポンプ３０８、汚泥引き抜きポンプ３２１、ブロワ３３１

、余剰汚泥引き抜きポンプ３４１及び返送汚泥ポンプ３４２を備える。汚泥引き抜きポンプ３２１は、各貯留設備間で被処理水又は汚泥を配送する。ブロワ３３１は、生物反応槽３０３内の下水を曝気する。余剰汚泥引き抜きポンプ３４１は、最終沈殿池３０４から過剰な汚泥を引き抜くポンプである。余剰汚泥引き抜きポンプ３４１によって引き抜かれた汚泥は、最初沈殿池３０２によって引き抜かれた汚泥とともに、余剰汚泥貯留槽３０７に貯められる。余剰汚泥貯留槽３０７に貯められた汚泥は、汚泥処理ポンプ３０８で運ばれて処理される。流入してきた下水は、図７の白抜き矢印に沿って流れ、流入渠・沈砂池等３０１、最初沈殿池３０２、生物反応槽３０３、最終沈殿池３０４、ろ過池３０５を経て放流される。

[0036] 流入渠・沈砂池等３０１を流れた下水は、最初沈殿池３０２に蓄えられる。最初沈殿池３０２では、比較的比重の大きな不要物が重力によって沈降し沈殿する。最初沈殿池３０２に沈殿した汚泥は、汚泥引き抜きポンプ３２１によって引き抜かれ、余剰汚泥貯留槽３０７に送られる。一方で、上澄みの被処理水は生物反応槽３０３に送られる。

[0037] 生物反応槽３０３では、下水に微生物が投入される。下水に投入された微生物は、ブロワ３３１による下水の曝気によって活性化され、下水中の有機物を分解するとともに、下水中のリンの除去、アンモニアの硝化、窒素の除去が行われる。微生物の働きによって、窒素成分及びリン成分が下水から分離される。生物反応槽３０３を経た被処理水は最終沈殿池３０４に送られる。

[0038] 最終沈殿池３０４では、下水中の活性汚泥が重力によって沈降し沈殿する。最終沈殿池３０４に沈殿した活性汚泥は、余剰汚泥引き抜きポンプ３４１によって引き抜かれ、余剰汚泥貯留槽３０７に送られる。なお、ここで一部の活性汚泥は返送汚泥ポンプ３４２によって生物反応槽３０３に返送され、上記の生物反応槽における反応を促すために再利用される。一方で、上澄みの下水はろ過池３０５に送られる。

[0039] ろ過池３０５では、ろ過による小さな不要物の除去や消毒など、下水に対

する最終段階の浄化処理が行われる。ろ過池３０５における浄化処理を経た下水は、処理済みの水として河川等に放流される。

[0040] 余剰汚泥貯留槽３０７は、生物学的排水処理プロセスにおいて発生した不要な汚泥を一時貯留する施設である。余剰汚泥貯留槽３０７に貯留された汚泥は、汚泥処理ポンプ３０８によって汚泥処理工程に配送される。

[0041] このような生物学的廃水処理プロセスでは、操作量は返送汚泥の曝気風量であり、制御量は放流水に含まれる窒素及びリンの濃度（以下、それぞれ「放流窒素濃度」及び「放流リン濃度」という。）である。放流窒素濃度及び放流リン濃度は、ろ過池消毒設備を経た後計測される。なお、制御量を、放流水に含まれる窒素及びリンの量（以下、それぞれ「放流窒素量」及び「放流リン量」という。）としてもよい。この場合、放流窒素量及び放流リン量は、それぞれ放流窒素濃度及び放流リン濃度に放流量を乗算することにより得られる。

[0042] 図７に記載される評価関数は、操作量に対する未知の値を、制御量の関数として定義したものである。図７の場合、評価関数は、放流窒素濃度及び放流リン濃度と評価量との関係を表す関数である。評価関数は、操作量（曝気風量）上限での制御量と、操作量下限での制御量との間で極値をとるように設定される。評価関数を設定する方法の一例として、評価量を排水賦課金の考え方に基づく水質コストと、返送汚泥ポンプ３４２の電力コストと、ブロワ３３１の電力コストの総和（以下、「総コスト」という。）として表す方法がある。

[0043] 返送汚泥ポンプ３４２及びブロワ３３１の電力コストは、返送汚泥流量と返送汚泥ポンプ３４２とブロワ３３１の定格電力などから算出できる。また、返送率又はブロワ３３１を変えることによって大きく変化するものは窒素濃度及びリン濃度であることが知られている。このため、水質コストは、放流窒素をＴＮ、放流リンをＴＰとして、以下の数式（１）で表される。

[0044] [数1]

$$\text{水質コスト} = \text{単位時間当たりの TN 負荷量} \times \text{TN コスト換算係数} + \text{単位時間当たりの TP 負荷量} \times \text{TP コスト換算係数} \quad \cdots \text{式（1）}$$

[0045] なお、曝気風量を増加させると窒素の除去率が高まるため、ＴＮに関する水質コストが減少する。一方で、曝気風量を減少させるとリンの除去率が高まるため、ＴＰに関する水質コストが減少する。このような場合、水質コストに基づいて評価関数が設定されても良い。ただし、リンと窒素とのようにトレードオフの関係を持たない水質同士のコストを指標とする場合、評価量に運転コスト（電力コスト）を加味した総コストとして表すことによって、評価関数が、操作量（曝気風量）上限での制御量と操作量下限での制御量との間で極値をとるように設定する。

[0046] また、評価関数には放流水質制約を満たすような制約条件を組み入れてもよい。例えば、放流水質の規制値を設け、規制値を超えた際に総コストが増大するような関数を組み込む。このような評価関数を用いた場合、規制値を超えると評価量が急上昇する。そのため、評価量を規制値以内に抑えるように極値制御が機能することが期待できる。

[0047] 操作量に加える摂動信号に相当する第１ディザー信号の周期及び評価関数値からディザー信号の成分を抽出する役割を果たす第２ディザー信号の周期は、プラントの時定数より十分遅く設定する。これにより、ディザー信号に伴う操作量の変化によって、評価関数の変化を捉えることができる。

[0048] 以上、水処理プラント３００における極値制御の適用例について説明したが、極値制御の対象となるプロセスは、生物学的排水処理プロセスに限定されるものではない。極値制御は、最適化されるべき評価量を持つ任意のプロセスに適用可能である。

[0049] 図８は、第１の実施形態の制御装置１の機能構成の具体例を示す機能ブロック図である。制御装置１は、バスで接続されたＣＰＵ（Central Processing Unit）やメモリや補助記憶装置などを備え、制御プログラムを実行する。制御装置１は、制御プログラムの実行によって、極値制御部２０、バイアス発生部２０８及びバイアス調整部２１１を備える装置として機能する。なお、制御装置１の各機能の全て又は一部は、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）やＰＬＤ（Programmable Logic Device）やＦＰＧＡ（

Field Programmable Gate Array）等のハードウェアを用いて実現されてもよい。制御プログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置である。制御プログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

[0050] 制御装置１の極値制御部２０は、入力された評価関数値に基づいて、評価関数値をより最適値に近づける操作量を出力する。このような極値制御部２０の機能は、図３に示した極値制御系２００ａと同様の構成を含むことで実現される。そのため、図３と同様の符号を付すことにより、極値制御系２００ａと同等の構成についての説明を省略する。

[0051] バイアス調整部２１１は、バイアス発生部２０８によって付加されるバイアスを制御する。例えば、バイアス調整部２１１は、バイアスが付加された操作量信号の大きさが曝気風量の上限値未満となるようにバイアスの大きさを設定する。バイアス調整部２１１は、ディザー信号に対するバイアスの発生タイミング又はバイアスの付加を停止させる指示をバイアス発生部２０８に出力する。バイアス調整部２１１は、評価関数値を入力として、評価関数値の周期平均を計算して、計算結果の履歴を残しておき、バイアスの前後で周期平均値の比較を行う。バイアス調整部２１１は、バイアスを与えても、評価関数値の周期平均値に変化がなくなれば、第１ディザー信号に対するバイアスの付加を停止させる指示を出力する。バイアス調整部２１１は、水処理プラント３００が不安定な状況にある場合、第１ディザー信号に対するバイアスの付加を停止する指示を出力する。水処理プラント３００が不安定な状況とは、例えば、短時間で評価関数値が大きく変移したり、不連続に遷移したり、する状況であってもよい。バイアス調整部２１１の評価関数値の周期平均の記録タイミングは任意に設定されてもよい。記録タイミングは、水処理プラント３００を安定的に動かすことを前提とし、ディザー信号の周波数と同期させてもよい。

[0052] バイアス調整部２１１は、バイアス発生部２０８に対して、矩形波に限らず任意の波形でバイアスを与えるように指示してもよい。バイアス調整部２１１は、例えば、水処理プラント３００の安定的な動作を確保することを前提に、確率信号のような非周期信号又は他の制御対象における制御量と同期した信号でバイアスを与えるように指示してもよい。

例えば図７に示すような水処理プラント３００の場合、ブロワ３３１によってコントロールされる曝気風量、汚泥引抜きポンプ３２１によって引き抜かれる汚泥の量、返送汚泥ポンプ３４２によって返送される汚泥の量、下水の流入量、流入する下水の水質、等の様々な情報によって水処理に掛る電力及び放流水の水質が変わるため、総コストの最適値も変化する場合がある。このような状況においても、制御装置１は適用できる。

[0053] バイアス調整部２１１は、操作量が最適値へ収束した後に評価関数値の周期平均値が増加する挙動が発生した場合には、再度バイアスの付加を開始する指示を出力する。なお、バイアス調整部２１１は、操作量が最適地へ収束した場合、すなわち、評価関数値が一定値となることを確認した場合、バイアスの付加を停止させる指示を出力する。バイアス調整部２１１は、評価関数値の増加又は減少を確認したが、バイアス付加によって評価関数値の低減傾向が認められない場合、評価関数値が全対的に一様に増加している状況であり、最適値が変わっていないと判断し、バイアスの付加を停止させる指示を出力する。一方、バイアスの付加は、操作量の変動が大きいため、水質に悪影響を及ぼす場合がある。したがって、バイアス調整部２１１は、操作量の大幅な変更によって水質が悪化した場合、元の水質に戻すためにバイアスの付加を停止させる場合がある。バイアス調整部２１１は、このような状況をなるべく避けるために、付加するバイアスの関数として徐々に絶対値が増大していくような矩形波を用いるような指示を出力してもよい。

[0054] 制御装置１は、徐々に絶対値が増大していくような矩形波を用いることで、水質の規制値が超えない範囲で、水処理プラント３００を運用することが可能となる。バイアス調整部２１１は、矩形波の値の履歴を取得しておくこ

ともできる。なお、バイアスの絶対値の調整は、評価関数値。放流水質又は制御項目の運転状況等の傾向に基づいて、行われてもよい。バイアス調整部２１１は、極値制御以外の要因で水質の悪化が引き起こされた場合にも、バイアス付加の停止を行う指示を出力する。

[0055] 図９は、第１の実施形態の制御装置１に基づいた極値制御の一具体例を示す図である。図９では、操作量は曝気風量を表す。図９では、評価関数値は総コストを表す。図９のグラフは、操作量（曝気風量）と評価関数値（総コスト）との関係を表す。図１０Ａは、従来の手法で極値制御を行った場合の操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図である。図１０Ｂは、第１の実施形態の制御装置１で極値制御を行った場合の操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図である。

[0056] 図９では、操作量の初期値が０付近にある場合、従来の手法で極値制御を行った場合、図１０Ａに示されるように操作量が０に収束し安定化する。これに対して、図８の構成を持つ制御装置１で極値制御を行った場合、第１ディザー信号に正のバイアスが付加されるため、操作量が最適な操作量付近へ近づき、その点から評価関数値がより低減する操作量（操作量の最適値）へ収束していく挙動が得られる。さらに、操作量にはバイアスが付加されるため、操作量は増加する方向にシフトするが、それに伴い評価関数値も増加するため、極値制御の働きにより操作量が戻るように遷移する。このとき、バイアス調整部２１１は、バイアスを付加する前後で、評価関数値の周期平均を比較し、次にバイアスを付加させる必要が無いと判断し、バイアスの付加を停止させる指示を出力する。このように、第１の実施形態における極値制御を適用すると、図９に示すような特殊な形状を持つ評価関数に対しても、最適な操作量（制御パラメータ）を探索することができる。

[0057] このように構成された第１の実施形態の制御装置１は、バイアス発生部２０８を備えることにより、第１ディザー信号に対して正負のバイアスを付加する。第１ディザー信号にバイアスが付加されることで、より最適な操作量へ収束させることができるため、特殊な形状を持つ評価関数に対しても、最

適な操作量（制御パラメータ）を探索することができる。また、バイアス調整部２１１を備えることによって、バイアスが付加される前後で、評価関数値の周期平均を比較し、次にバイアスを付加させる必要が無いと判断した場合、バイアスの付加を停止させることができる。したがって、制御対象の変化に応じて適切な操作量を設定及び維持することが可能になる。

[0058]（第２の実施形態）

図１１は、第２の実施形態の制御装置１ａの機能構成の第一の具体例を示す機能ブロック図である。制御装置１ａは、バスで接続されたＣＰＵやメモリや補助記憶装置などを備え、制御プログラムを実行する。制御装置１ａは、制御プログラムの実行によって、極値制御部２０ａ、振幅決定部２０９a及び振幅調整部２１２を備える装置として機能する。

[0059] 極値制御部２０ａは、入力された評価関数値に基づいて、評価関数値をより最適値に近づける操作量を出力する。このような極値制御部２０ａの機能は、図５に示した極値制御系２００ｂと同様の構成を含むことで実現される。そのため、図５と同様の符号を付すことにより、極値制御系２００ｂと同等の構成についての説明を省略する。

[0060] 振幅決定部２０９ａは、第１ディザー信号に設定される振幅ａを時間に基づいて決定する。例えば、振幅決定部２０９ａは、第１ディザー信号の振幅ａを時間的に増加させる。

振幅決定部２０９ａは、第１ディザー信号の振幅ａとして、振幅の初期値a_0から変化率a_1で時間的に線形増加する関数として構成されてもよい。制御装置１ａは、振幅決定部２０９ａを備えることで、振幅ａは時間の経過とともに徐々に増加し、操作量の探索範囲を広げることができる。振幅決定部２０９ａは、線形増加関数に限らず、単調増加関数であれば任意の関数で振幅ａを決定してもよい。

[0061] 振幅調整部２１２は、評価関数値に基づいて、第１ディザー信号の振幅を調整する信号を出力する。例えば、振幅調整部２１２は、入力された操作量に基づいて、第１ディザー信号の振幅aの増加を停止させ、第１ディザー信号

の振幅aが一定値の信号とする指示を出力してもよい。振幅調整部２１２は、積分器２０５の出力として第１ディザー信号（a×sinωt）を足し合わせた操作量信号が操作量の上限値に到達した場合、振幅aの値を増加させず一定値を取るようにする信号を出力してもよい。このように構成されることで、振幅調整部２１２は、第１ディザー信号の振幅を増加させる過程で、許容できる操作量の上限値を超えてしまうことで、プラントの応答が不安定となるのを防ぐことができる。

[0062] 図１２は、第２の実施形態の制御装置１ｂの機能構成の第二の具体例を示す機能ブロック図である。制御装置１ｂは、バスで接続されたＣＰＵやメモリや補助記憶装置などを備え、制御プログラムを実行する。制御装置１ｂは、制御プログラムの実行によって、極値制御部２０ｂ、振幅決定部２０９a及び振幅調整部２１２ｂを備える装置として機能する。以下、第一の具体例と異なる点について説明する。

[0063] 制御装置１ｂは、入力された評価関数値に基づいて、評価関数値をより最適値に近づける操作量を出力する。このような制御装置１ｂの機能は、図５に示した極値制御系２００ｂと同様の構成を含むことで実現される。そのため、図５と同様の符号を付すことにより、極値制御系２００ｂと同等の構成についての説明を省略する。

[0064] 振幅調整部２１２ｂは、水処理プラント３００の応答に基づいて、第１ディザー信号の振幅ａの増加を停止させる信号を出力してもよい。振幅調整部２１２ｂは、入力された評価関数値に基づいて、その周期平均を演算する。振幅調整部２１２ｂは、周期平均値の傾向を履歴として記録する。振幅調整部２１２ｂは、周期平均値の遷移に不連続な異常が見受けられた場合、第１ディザー信号の振幅ａの増加を停止する指示を出力する。このように構成されることで、振幅調整部２１２ｂは、水処理プラント３００が安定的に動作する状況下で振幅ａを調整できる。また、図１２の構成では、振幅調整部２１２ｂは、水処理プラント３００が安定に動作している状況下で、記録している評価関数値の平均値の傾向から、評価関数値が低減する傾向が見られな

くなることを判断した際に、第１ディザー信号の振幅ａの増加を停止させる信号を出力してもよい。

[0065] 振幅調整部２１２ｂは、制御の途中で振幅決定部２０９ａに設定された振幅aを決定する関数を任意に変更してもよい。例えば、水処理プラント３００は、下水処理制御において操作量の変化に対して厳しい水質規制がある場合、水質規制を越えない範囲での運転を行う。この時、ブロワ３３１に対する曝気風量の操作値を変更すると、水質の悪化が著しくなる可能性がある。振幅調整部２１２ｂは、このような場合に対応できるように、水質の応答を取得しつつ、第１ディザー信号の振幅aの関数を少しずつ変更させてもよい。振幅調整部２１２ｂは、第１ディザー信号の振幅a以外のその他のパラメータの設定指針に振幅ａの値が影響している場合、その他のパラメータに振幅aの変更情報が反映されるようにする。例えば、振幅調整部２１２ｂは、積分ゲインＫＩの調整に第１ディザー信号の振幅情報が必要となる場合には、振幅ａの変更情報を積分器２０５に反映させる。

[0066] 図９で表される評価関数に対して第２の実施形態の構成をもつ極値制御を適用した場合の効果について説明する。図１３は、第２の実施形態の極値制御における操作量及び評価関数値の経時変化の一具体例を示す図である。図１３に示すように第１ディザー信号の振幅ａの増加に合わせて、操作量の振動幅が拡大していくことがわかる。操作量の振動幅の拡大に伴い、評価関数値の変動幅も大きくなり、評価関数値が低減する方向を特定することが可能となる。振幅調整部２１２ｂは、評価関数値の周期平均の履歴を取得し、評価関数値の平均周期の履歴の値が変化しなくなったことを判断して、第１ディザー信号の振幅の増加を停止させ、振幅aの値が一定値信号となる指示を出力する。操作量が、最適値へ収束した後は操作量や評価関数値の振動幅は一定となる。

[0067] このように構成された第２の実施形態の制御装置１ａは、振幅決定部２０９ａを備えることによって、第１ディザー信号に付加される振幅の値を決定できる。振幅の値は、時間の経過とともに増加するため、操作量の探索範囲

を広げることができる。また、振幅調整部２１２を備えることによって、操作量信号が操作量の上限値に到達した場合、振幅aの値を増加させず一定値を取るようにする信号を出力することで、振幅の値が大きくなりすぎて、操作量の探索範囲が広がりすぎることを防ぐことができる。したがって、プラントの応答が不安定となることを防ぐことができ、プラントの変化に応じて適切な操作量を設定及び維持することでプラントを安定稼働させることが可能になる。また、第２の実施形態の制御装置１ｂは、振幅調整部２１２ｂを備えることによって、第１ディザー信号に付加される振幅が決定される関数を任意に変更できる。このように構成されることで、プラントからの評価関数値に基づいて、関数を少しずつ変更させることができる。したがって、プラントに所定の規制が設けられている場合であっても、当該規制を超えないようにしつつ、より簡単にプラントを運用することができる。

[0068] （第３の実施形態）

第３の形態は、第１の実施形態及び第２の実施形態を組み合わせた実施形態である。第３の実施形態を採用することで、第１の実施形態及び第２の実施形態よりも、より広範囲の操作量変動に伴う評価関数値の変動を習得することができ、素早い最適値の探索が可能となる。

[0069] 図１４は、第３の実施形態の制御装置１ｃの機能構成の具体例を示す機能ブロック図である。制御装置１ｃは、バスで接続されたＣＰＵやメモリや補助記憶装置などを備え、制御プログラムを実行する。制御装置１ｃは、制御プログラムの実行によって、極値制御部２０ｃ、バイアス発生部２０８、振幅決定部２０９a及び振幅調整部２１２ｃを備える装置として機能する。以下、第１の実施形態及び第２の実施形態と異なる点について説明する。

[0070] 振幅調整部２１２ｃは、評価関数値の周期平均値の履歴に基づいて水処理プラント３００の状態を判断する。例えば、振幅調整部２１２ｃは、操作量が上限値に到達した場合又は評価関数値が異常となった場合、バイアス発生部２０８に対して第１ディザー信号に対するバイアス付加の停止の指示を出力したり、振幅決定部２０９ａに対して第１ディザー信号の振幅設定の変更

の指示を出力する。

[0071] このように構成された制御装置１ｃは、振幅調整部２１２を備えることによって、評価関数値の周期平均値の履歴に基づいてプラントの状態を判断できる。振幅調整部２１２は、プラントの状態に応じて、第１ディザー信号に対するバイアス付加の停止を指示したり、第１ディザー信号の振幅の変更を指示したりできる。したがって、制御対象の変化に応じて適切な制御パラメータを設定することができ、より簡単かつ安定してプラントを運用することができる。

[0072] 上記実施形態における制御装置１は、表示部と入力部とを備えるように構成されてもよい。この場合、表示部は、バイアス発生部又は振幅決定部の駆動波形を出力してもよいし、操作量に付加される摂動信号を表示してもよいし、操作量又は評価関数値の時系列変化を表示してもよい。入力部は、摂動信号の波形を定める設定値を受け付ける。極値制御部は、受け付けた設定値（例えば、振幅）に基づいて摂動信号の波形を制御するように構成されてもよい。具体的には極値制御部は、受け付けた設定値をバイアス発生部又は振幅決定部に出力することで、受け付けた設定値を摂動信号の波形を制御する。

[0073] 表示部は、ＣＲＴ（Cathode Ray Tube）ディスプレイ、液晶ディスプレイ、有機ＥＬ（Electro Luminescence）ディスプレイ等の出力装置である。表示部は、出力装置を制御装置１に接続するためのインタフェースであってもよい。この場合、表示部は、映像データから映像信号を生成し自身に接続されている映像出力装置に映像信号を出力する。

[0074] 入力部は、タッチパネル、マウス及びキーボード等の入力装置を用いて構成される。入力部は、入力装置を制御装置１に接続するためのインタフェースであってもよい。この場合、入力部は、入力装置において入力された入力信号から入力データ（例えば、制御装置１に対する指示を示す指示情報）を生成し、制御装置１に入力する。

[0075] 上記各実施形態では、極値制御部、バイアス発生部、振幅決定部及び振幅

調整部はソフトウェア機能部であるものとしたが、ＬＳＩ等のハードウェア機能部であってもよい。

[0076] 以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、極値制御部、バイアス発生部、振幅決定部及び振幅調整部を持つことにより、制御対象の変化に応じて適切な制御パラメータを設定することができる。

[0077] 本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

請求の範囲

[請求項1] 摂動信号の振幅に対してバイアスを付加するバイアス発生部と、

バイアスが付加された前記摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量に加え、前記操作量を所定の評価関数に与えることによって前記制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値を取得し、前記評価関数値に基づいて前記制御対象プロセスに与えられる前記操作量の最適値を探索する極値制御部と、

を備える、制御装置。

[請求項2] 前記評価関数値に応じて、前記バイアス発生部が行う前記バイアスの付加を停止させるバイアス調整部をさらに備える請求項１に記載の制御装置。

[請求項3] 前記制御対象プロセスの状態又は制御量に応じて、前記摂動信号に付加される前記バイアスの値を前記バイアス発生部に変更させるバイアス調整部をさらに備える請求項１に記載の制御装置。

[請求項4] 摂動信号の振幅を時間に基づいて決定する振幅決定部と、

振幅が決定された前記摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量に加え、前記操作量を所定の評価関数に与えることによって前記制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値を取得し、前記評価関数値に基づいて前記制御対象プロセスに与えられる前記操作量の最適値を探索する極値制御部と、

を備える制御装置。

[請求項5] 前記評価関数値に応じて、前記振幅決定部が行う前記摂動信号の振幅の決定を停止させる振幅調整部をさらに備える請求項４に記載の制御装置。

[請求項6] 前記操作量に応じて、前記摂動信号の振幅を決定する関数を前記振幅決定部に変更させる振幅調整部をさらに備える、請求項４に記載の制御装置。

[請求項7] 前記制御対象プロセスの状態又は制御量に基づいて、前記摂動信号

の振幅を決定する関数を前記振幅決定部に変更させる振幅調整部をさらに備える請求項４に記載の制御装置。

[請求項8] 摂動信号のに対してバイアスを付加するバイアス発生部と、

摂動信号の振幅を時間に基づいて決定する振幅決定部と、

前記振幅が決定され、前記バイアスが付加された摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量に加え、前記操作量を所定の評価関数に与えることによって前記制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値を取得し、前記評価関数値に基づいて前記制御対象プロセスに与えられる前記操作量の最適値を探索する極値制御部と、

を備える、制御装置。

[請求項9] 前記操作量に付加される摂動信号を表示する表示部と、

ユーザから前記摂動信号の波形を定める設定値を受け付ける入力部と、

をさらに備え、

前記極値制御部は、前記設定値に基づいて前記摂動信号の波形を制御する請求項１から８のいずれか一項に記載の制御装置。

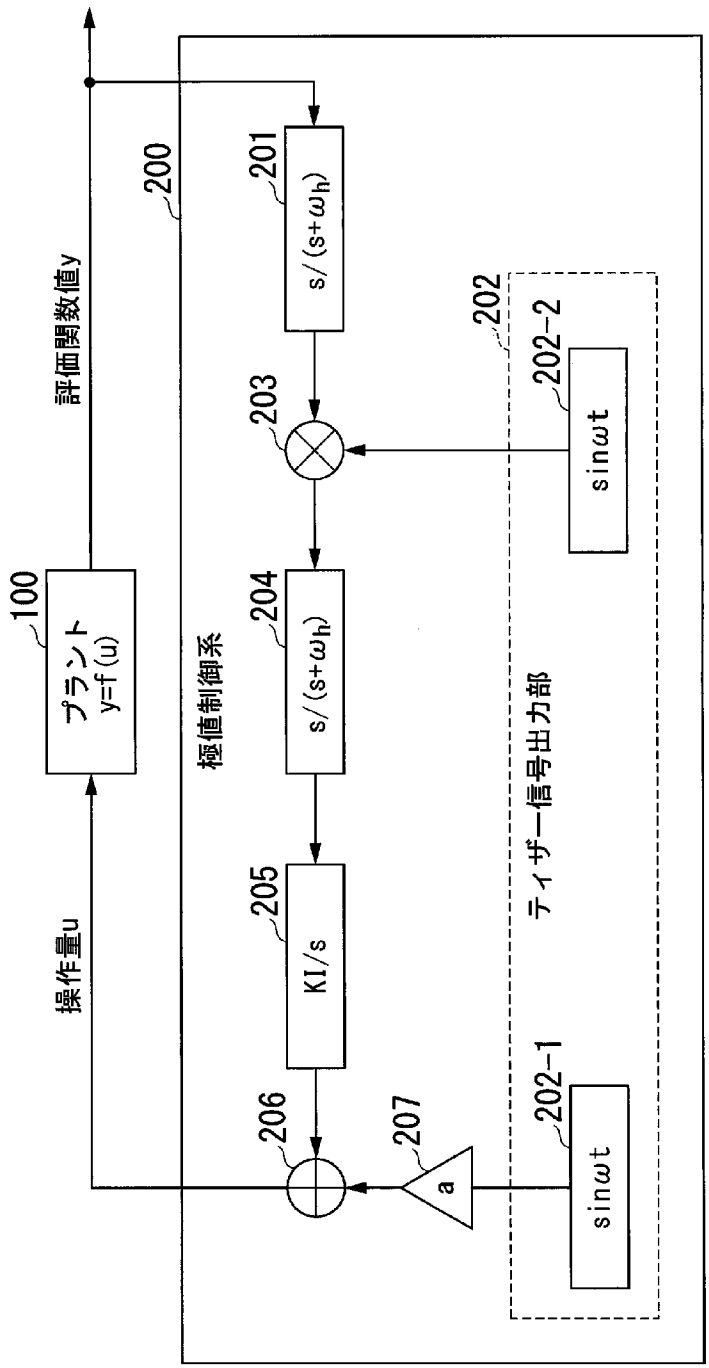
[請求項10] 制御装置が、摂動信号の振幅に対してバイアスを付加するバイアス発生ステップと、

制御装置が、バイアスが付加された前記摂動信号を制御対象プロセスに与えられる操作量に加え、前記操作量を所定の評価関数に与えることによって前記制御対象プロセスの最適化に関する指標を示す評価関数値を取得し、前記評価関数値に基づいて前記制御対象プロセスに与えられる前記操作量の最適値を探索する極値制御ステップと、

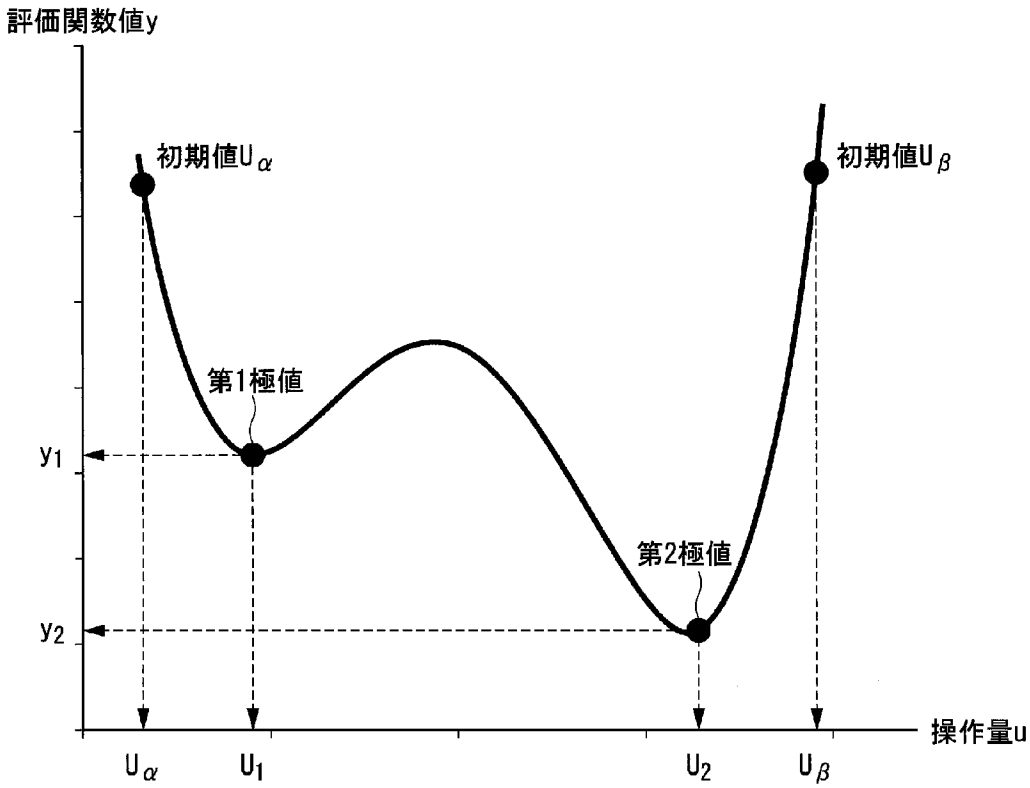
を有する、制御方法。

[請求項11] 請求項１から９のいずれか一項に記載の制御装置としてコンピュータを機能させるためのコンピュータプログラム。

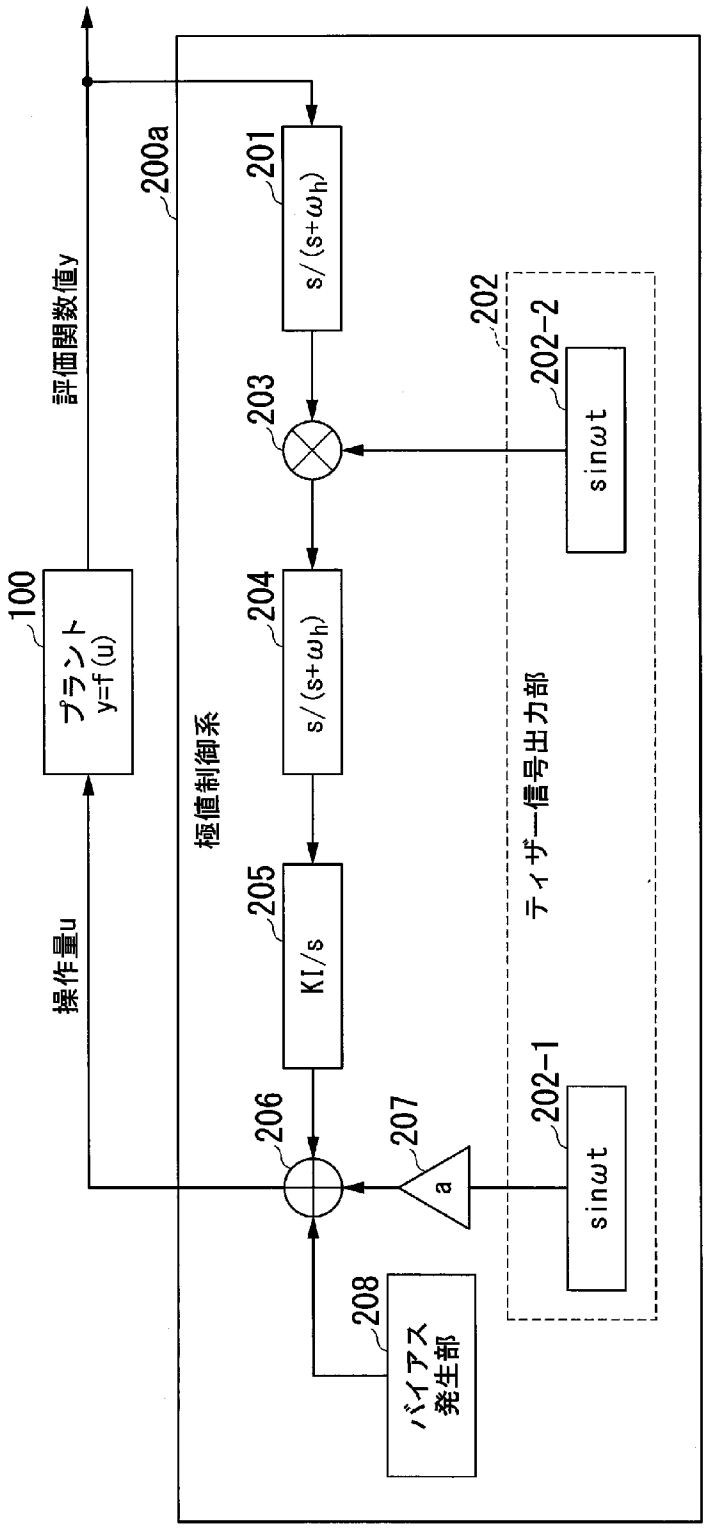
[図1]


100
プラント
y=f(u)
評価関数値y
操作量u
200
極値制御系
201
s/(s+ωh)
202
ディザー信号出力部
202-1
sinωt
202-2
sinωt
203
204
s/(s+ωh)
205
KI/s
206
207
a

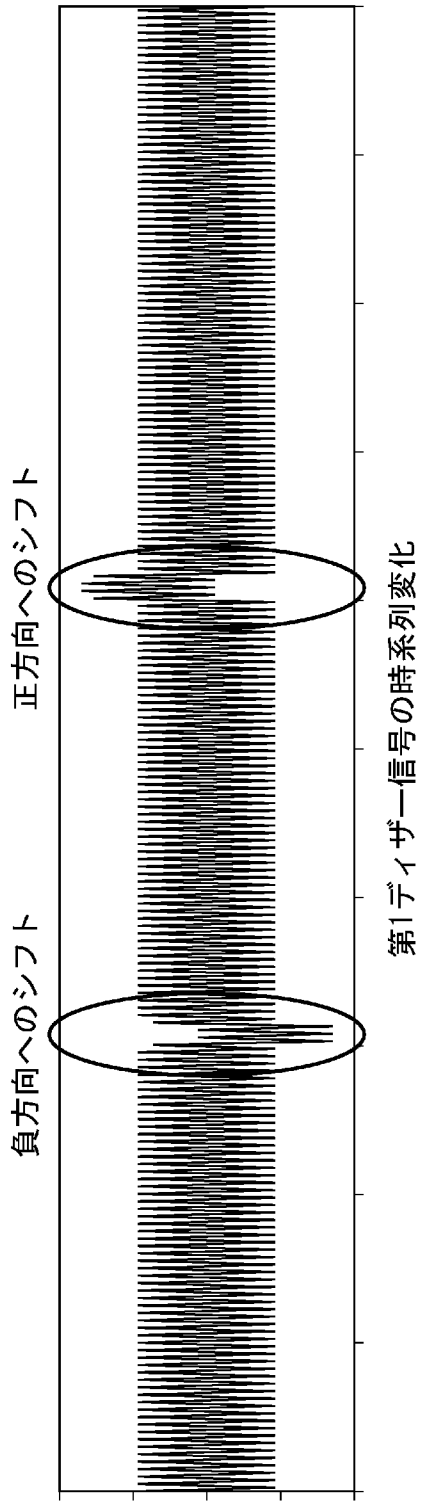
[図2]


評価関数値y
初期値U_α
初期値U_β
第1極値
第2極値
y_1
y_2
操作量u
U_α
U_1
U_2
U_β

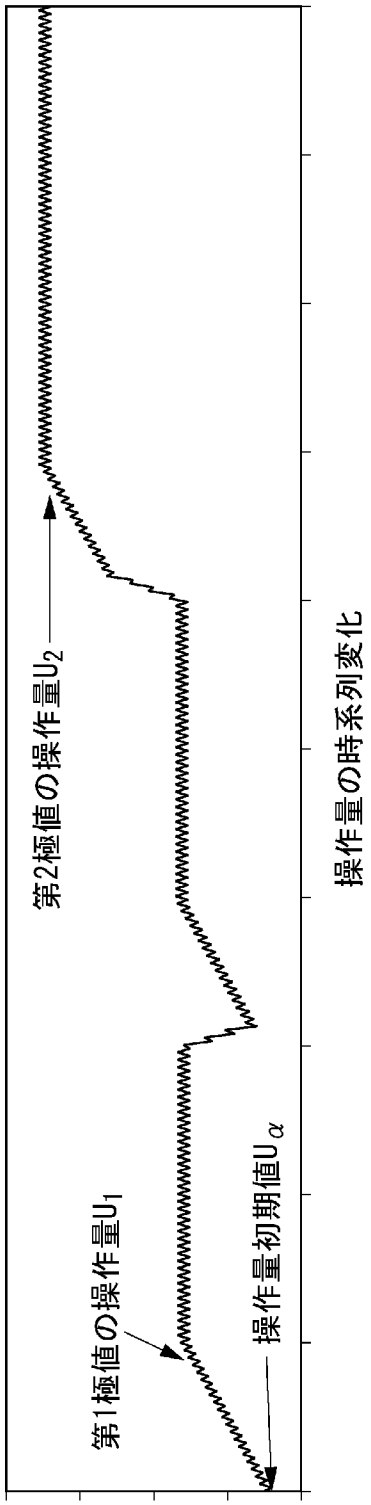
[図3]


評価関数値y
200a
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
203
100
プラント
y=f(u)
204
s/(s+ωh)
極値制御系
ディザー信号出力部
操作量u
205
KI/s
202-1
206
207
a
sinωt
208
バイアス
発生部

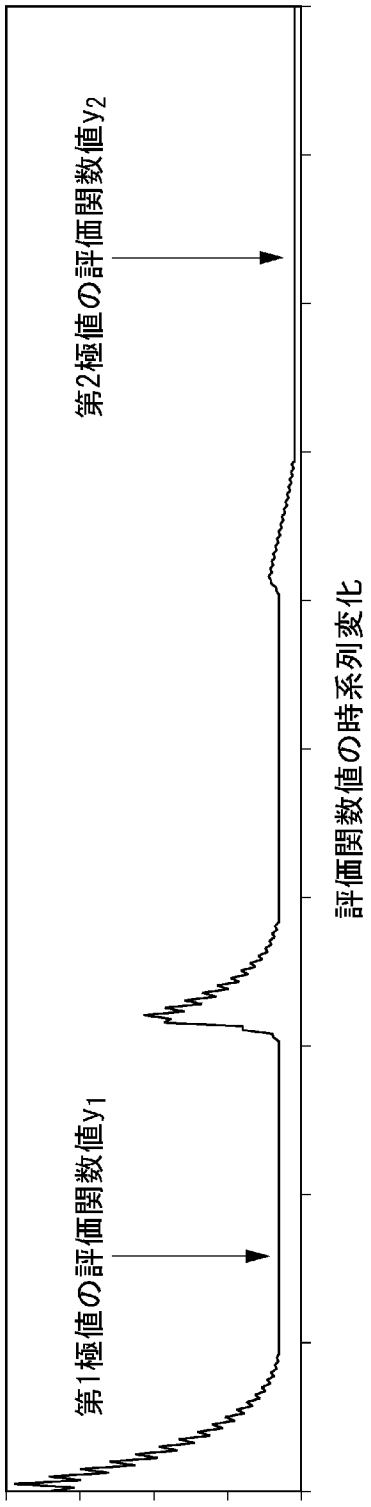
[図4A]



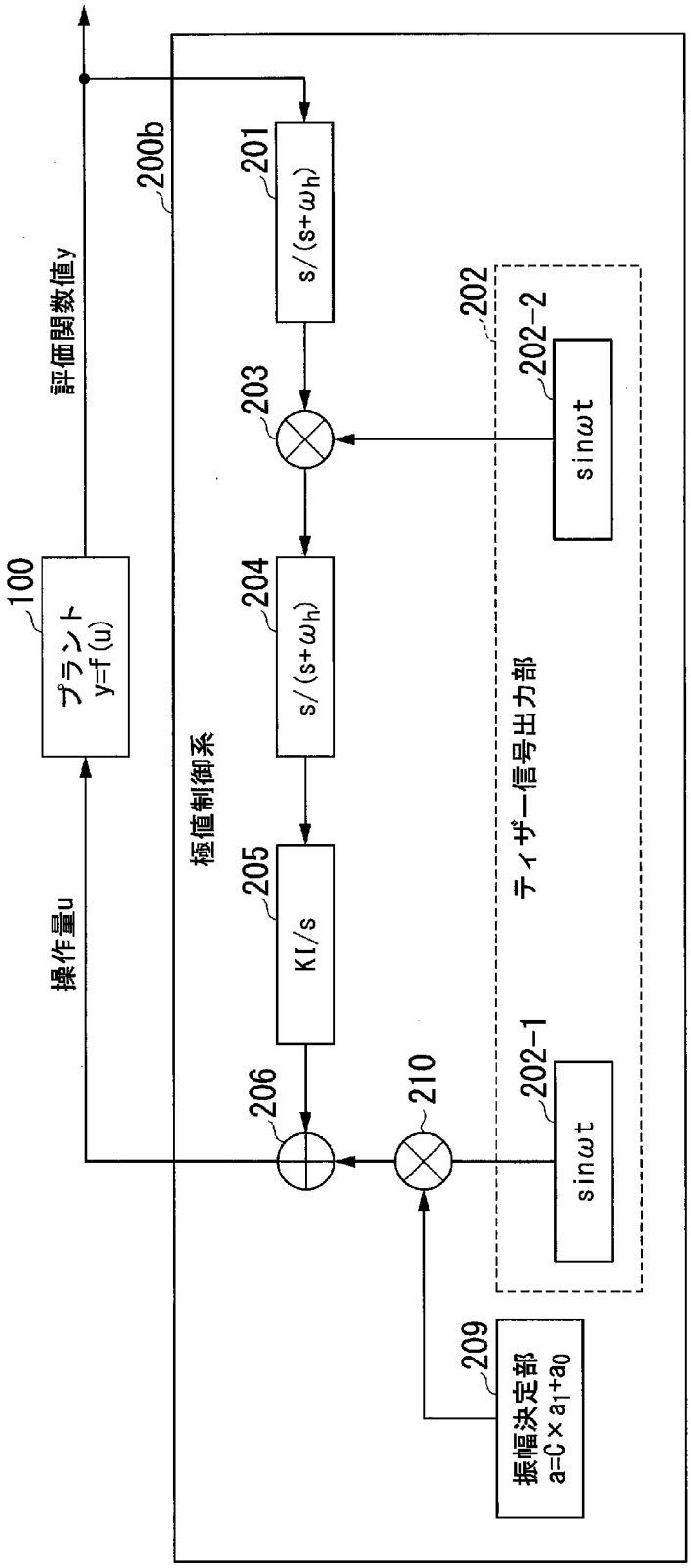
[図4B]



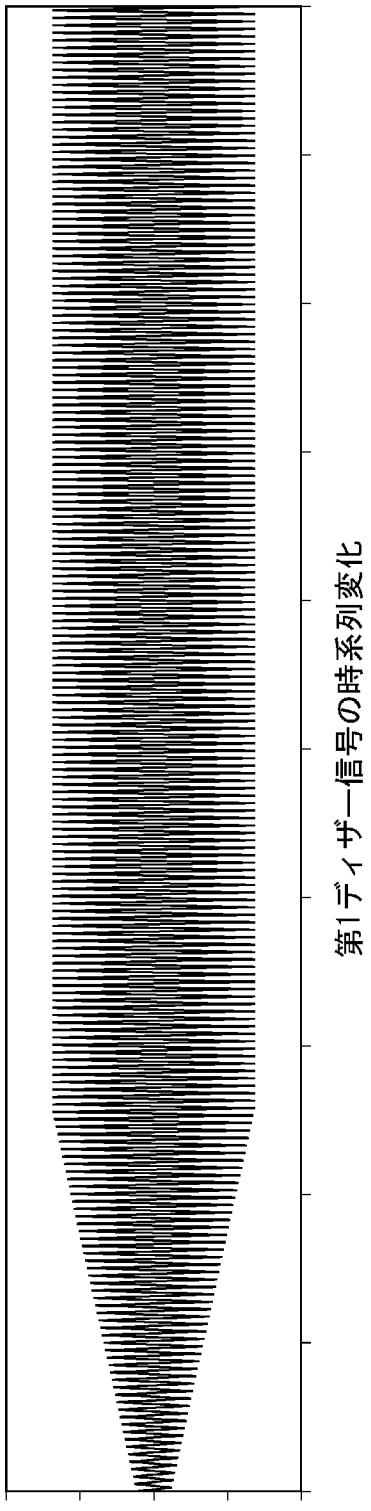
[図4C]



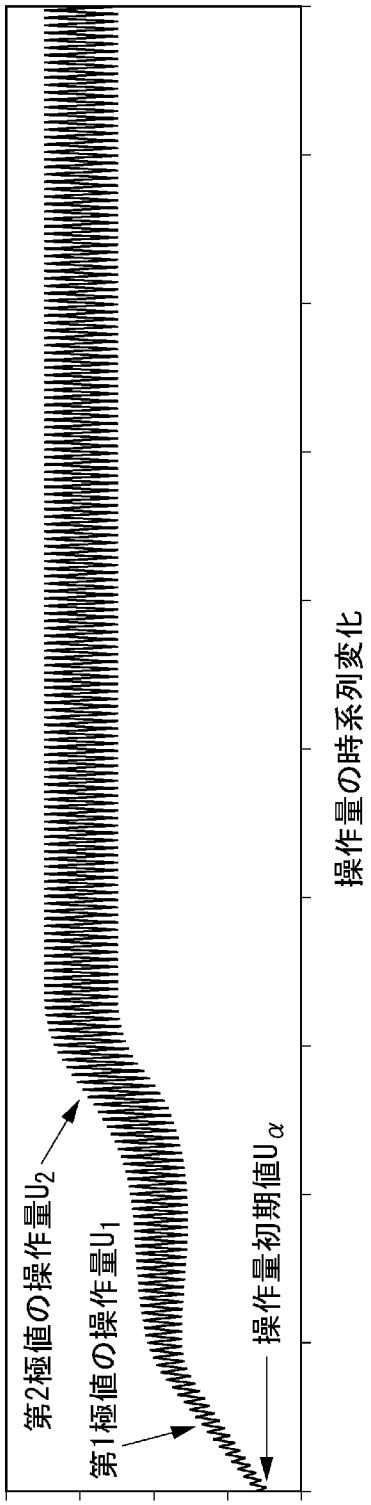
[図5]


評価関数値y
200b
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
203
100
プラント
y=f(u)
204
s/(s+ωh)
極値制御系
ディザー信号出力部
205
KI/s
操作量u
206
210
202-1
sinωt
209
振幅決定部
a=C×a1+a0

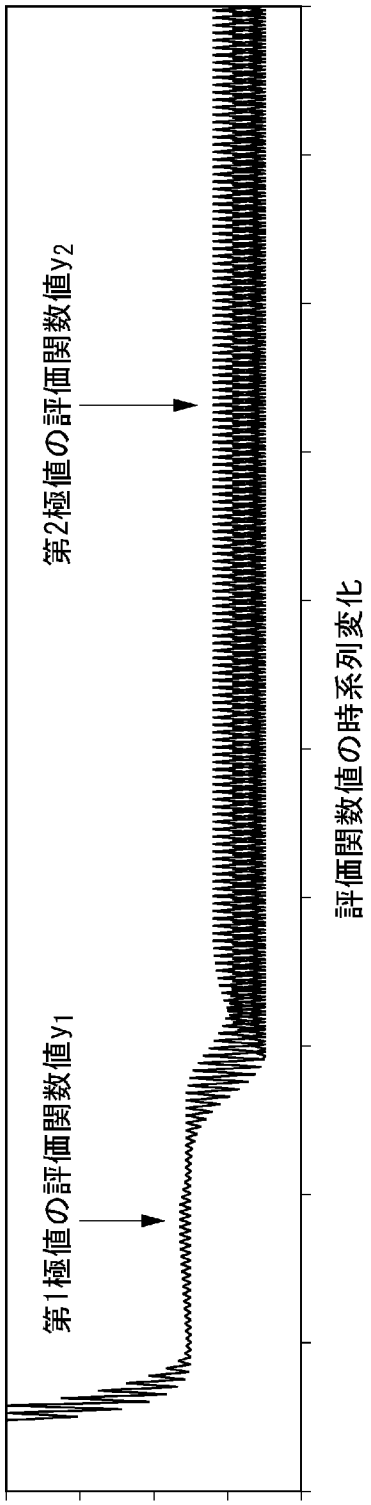
[図6A]



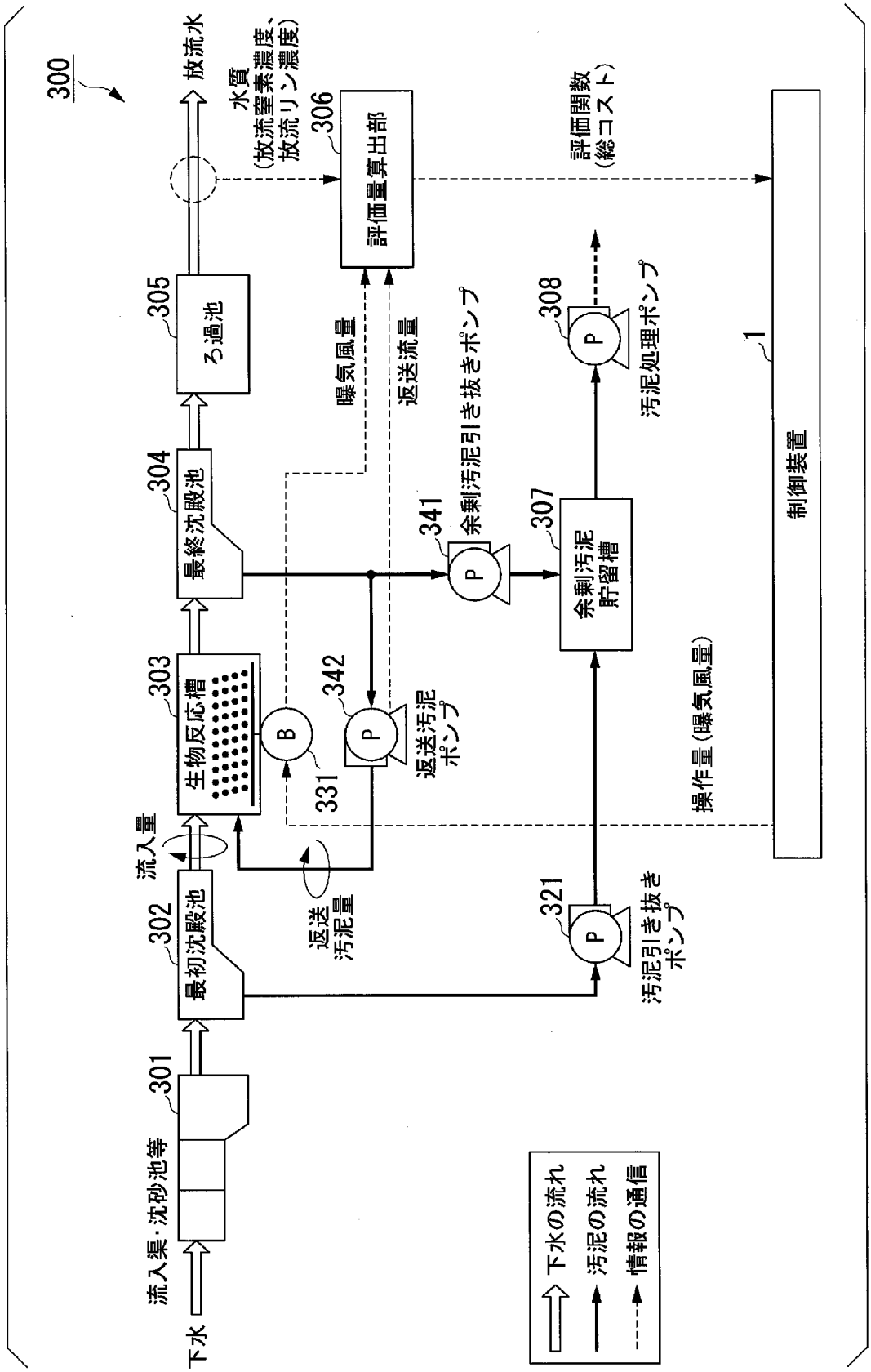
[図6B]



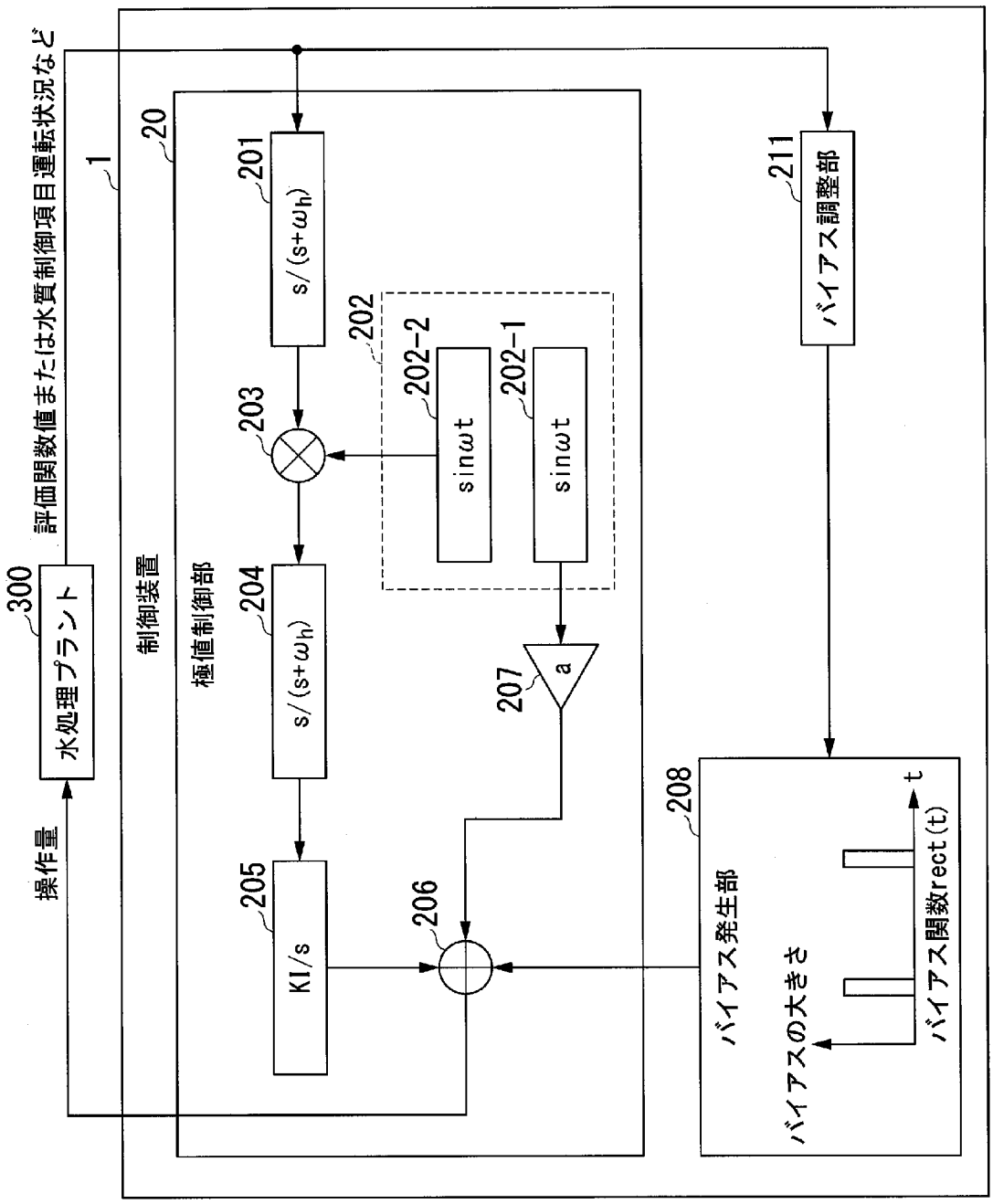
[図6C]



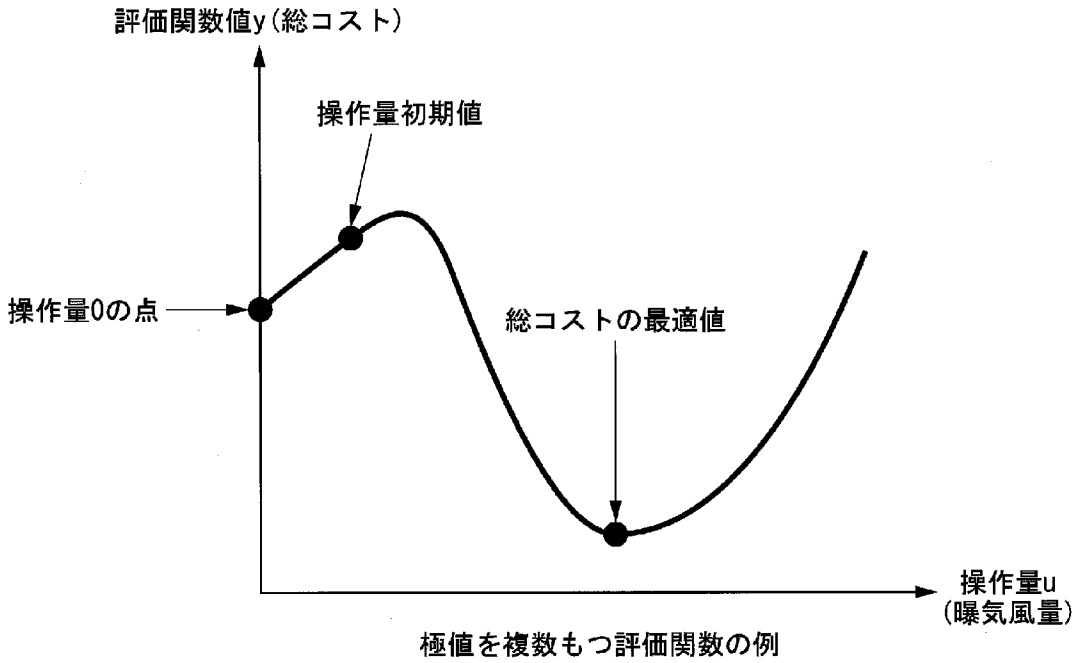
[図7]


300
放流水
水質
(放流窒素濃度、
放流リン濃度)
306
評価量算出部
評価関数
(総コスト)
305
ろ過池
曝気風量
返送流量
304
最終沈殿池
341
余剰汚泥引き抜きポンプ
307
余剰汚泥
貯留槽
308
汚泥処理ポンプ
1
制御装置
303
生物反応槽
342
返送汚泥
ポンプ
331
流入量
返送
汚泥量
302
最初沈殿池
321
汚泥引き抜き
ポンプ
操作量(曝気風量)
301
流入渠・沈砂池等
下水
下水の流れ
汚泥の流れ
情報の通信

[図8]

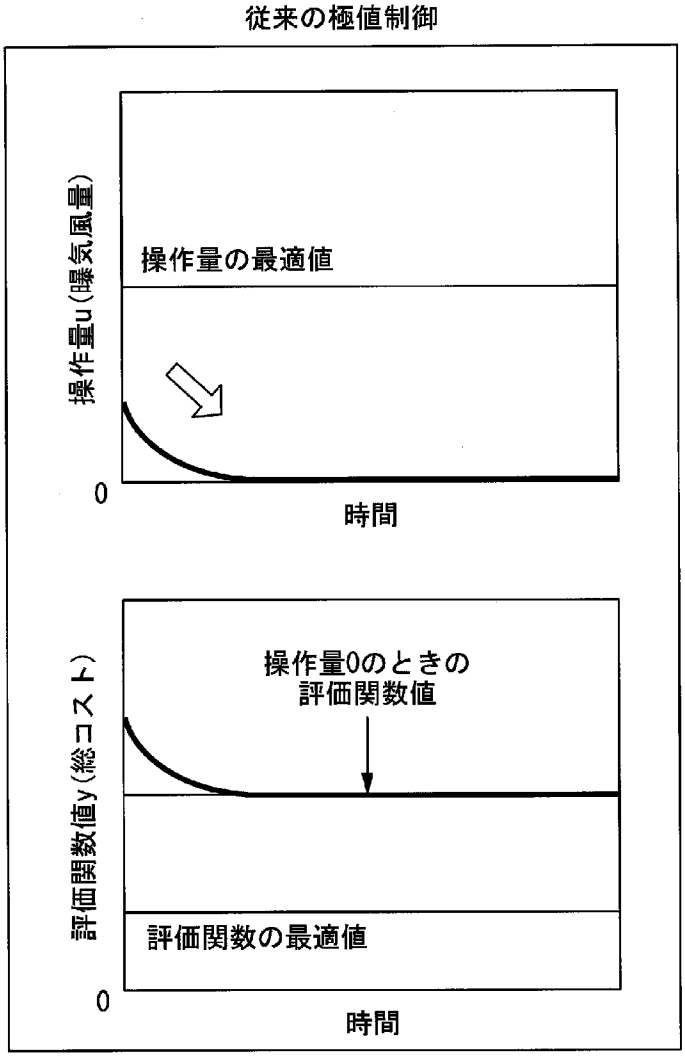

評価関数値または水質制御項目運転状況など
操作量
300
水処理プラント
1
制御装置
20
極値制御部
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
202-1
sinωt
203
204
s/(s+ωh)
205
KI/s
206
207
a
208
バイアス発生部
バイアスの大きさ
t
バイアス関数rect(t)
211
バイアス調整部

[図9]

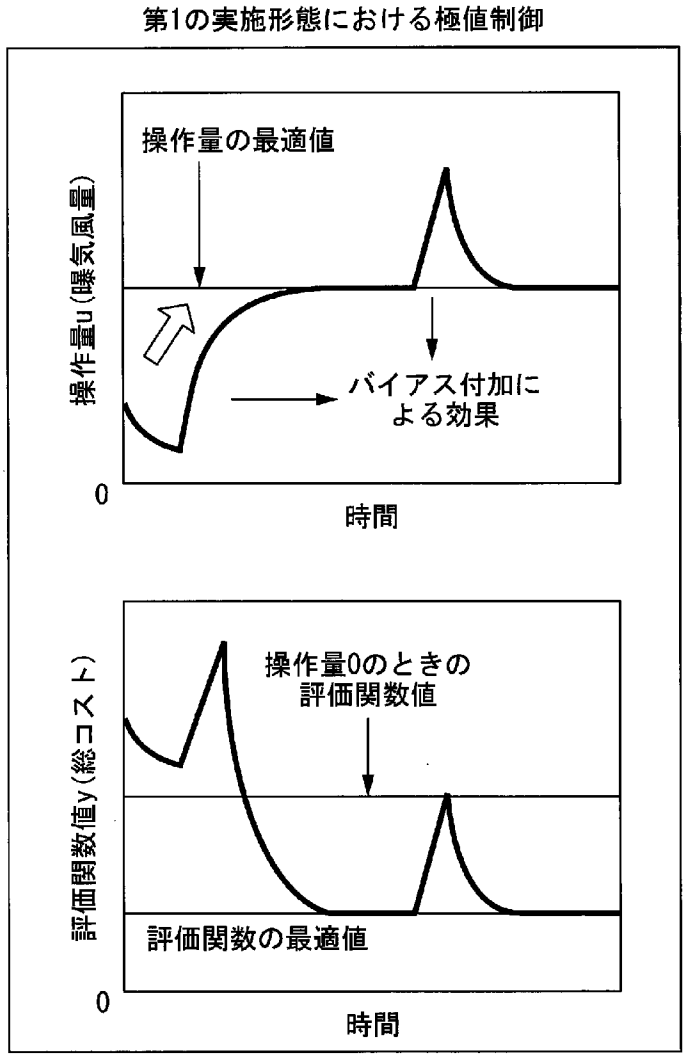


極値を複数もつ評価関数の例

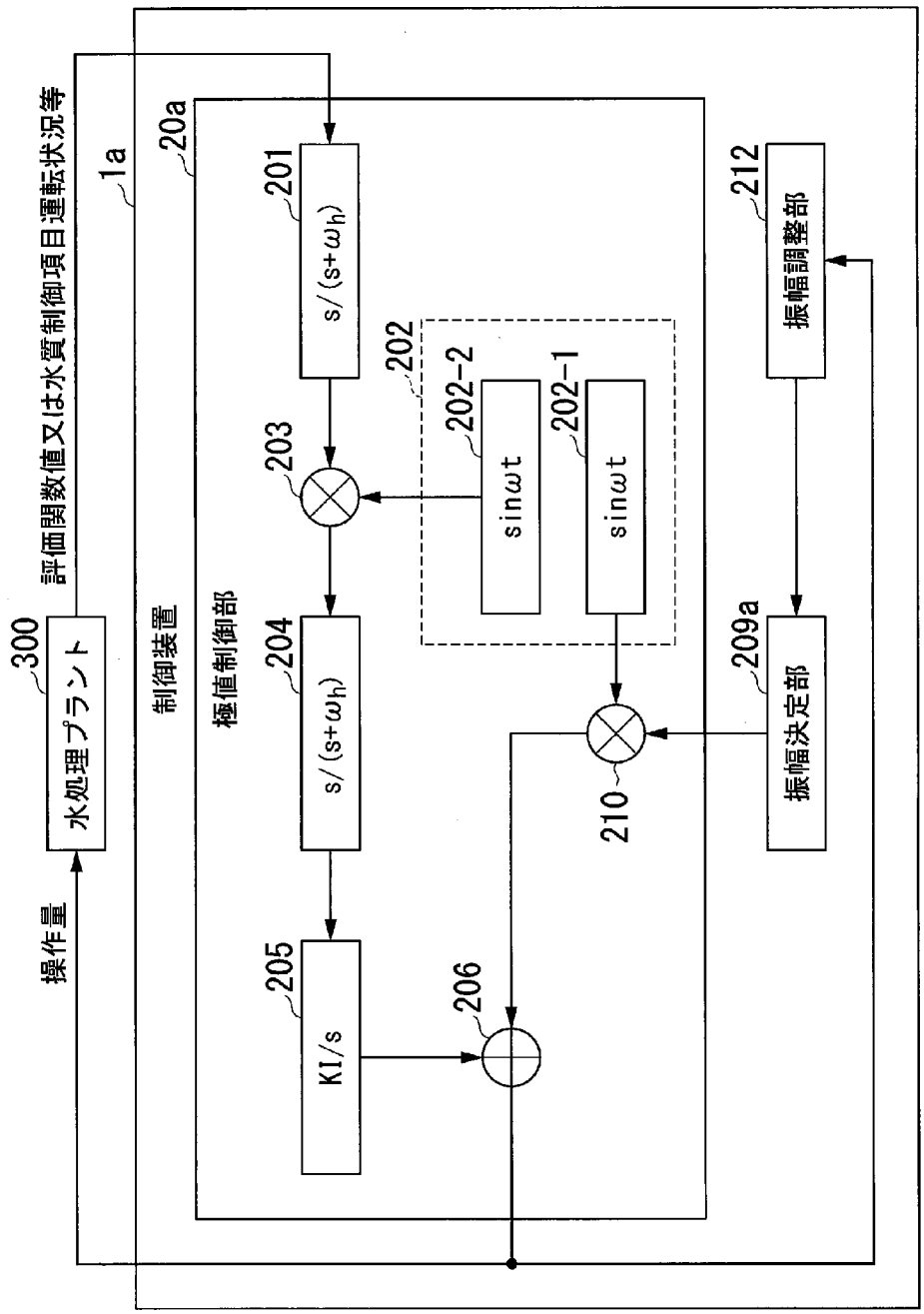
[図10A]


従来の極値制御
操作量u(曝気風量)
操作量の最適値
0
時間
評価関数値y(総コスト)
操作量0のときの
評価関数値
評価関数の最適値
0
時間

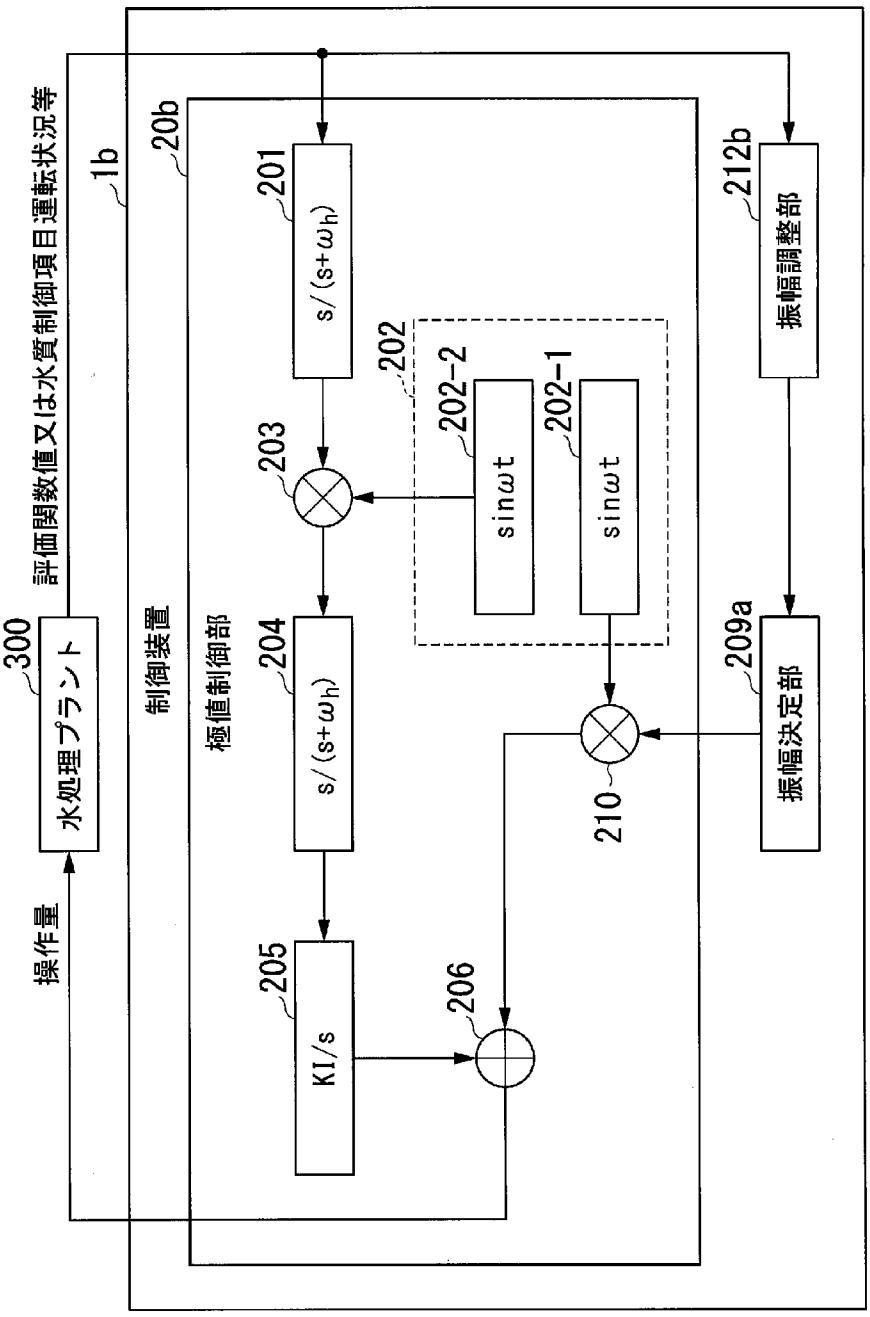
[図10B]


第1の実施形態における極値制御
操作量の最適値
操作量u(曝気風量)
バイアス付加に
よる効果
0
時間
操作量0のときの
評価関数値
評価関数値y(総コスト)
評価関数の最適値
0
時間

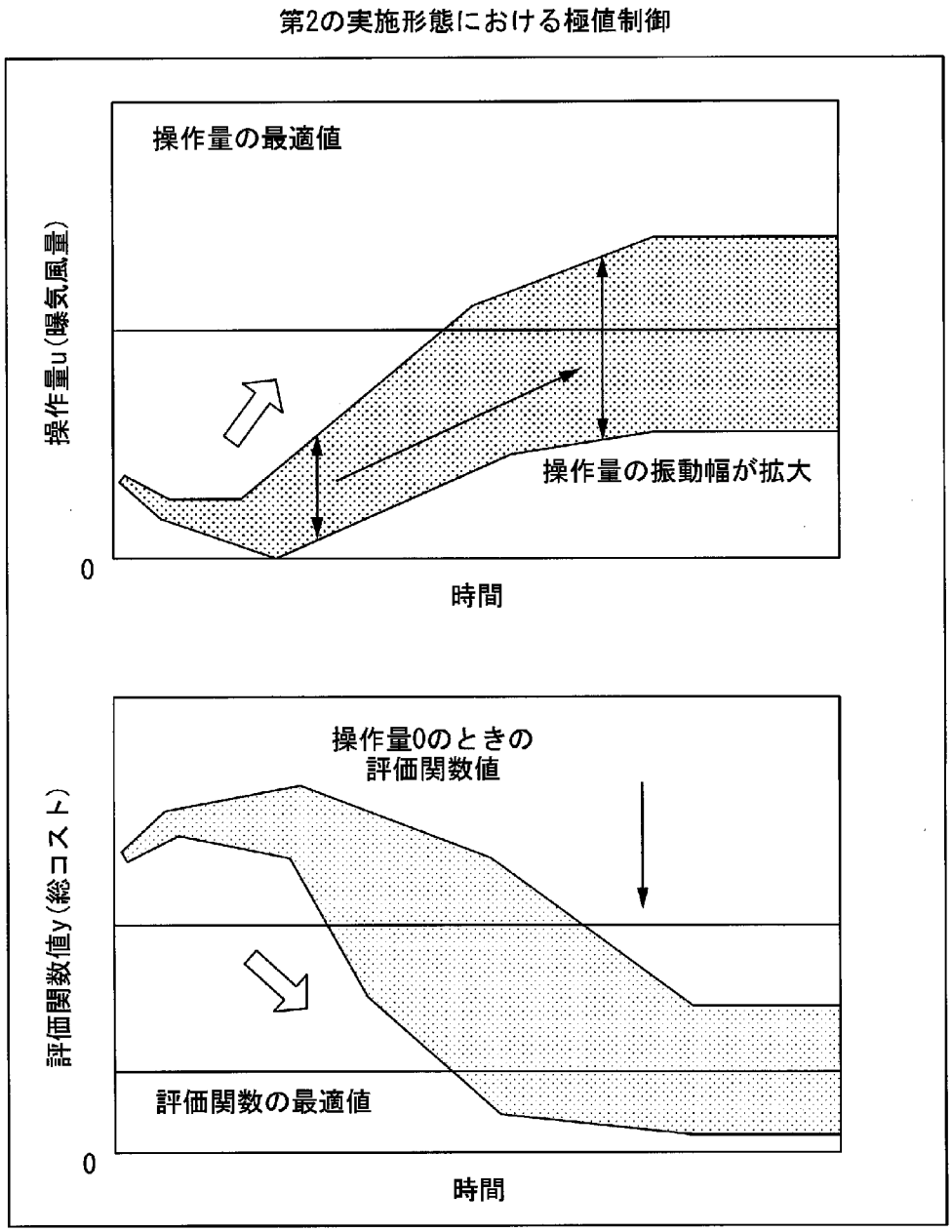
[図11]


評価関数値又は水質制御項目運転状況等
1a
20a
制御装置
極値制御部
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
202-1
sinωt
203
204
s/(s+ωh)
205
KI/s
206
210
212
振幅調整部
209a
振幅決定部
300
水処理プラント
操作量

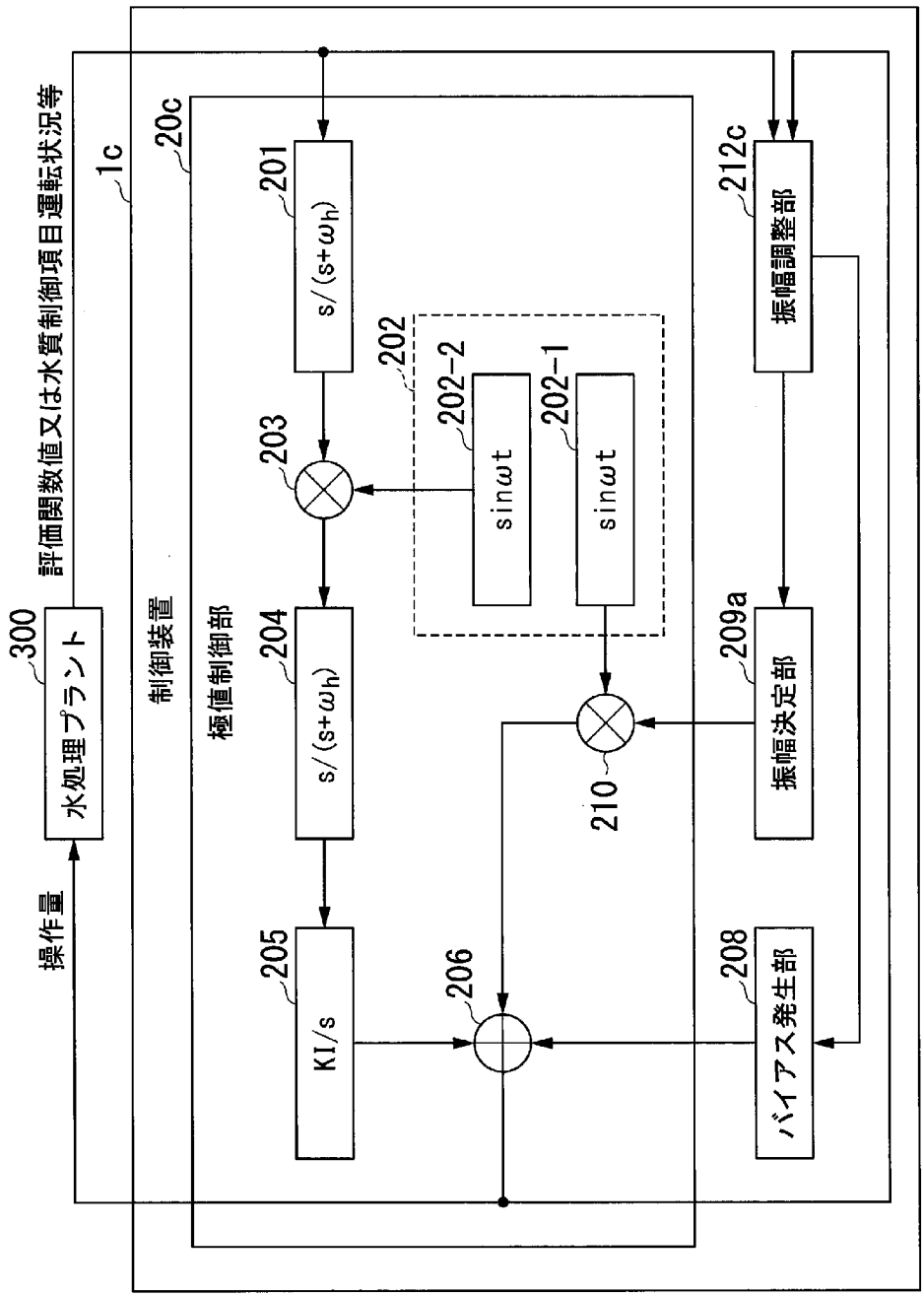
[図12]


評価関数値又は水質制御項目運転状況等
1b
制御装置
20b
極値制御部
300
水処理プラント
操作量
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
202-1
sinωt
203
204
s/(s+ωh)
205
KI/s
206
210
212b
振幅調整部
209a
振幅決定部

[図13]


第2の実施形態における極値制御
操作量の最適値
操作量u（曝気風量）
操作量の振動幅が拡大
0
時間
操作量0のときの
評価関数値
評価関数数値y（総コスト）
評価関数の最適値
0
時間

[図14]


評価関数値又は水質制御項目運転状況等
1c
20c
制御装置
極値制御部
300
水処理プラント
操作量
201
s/(s+ωh)
202
202-2
sinωt
202-1
sinωt
203
204
s/(s+ωh)
205
KI/s
206
208
バイアス発生部
210
209a
振幅決定部
212c
振幅調整部

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/029215

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G05B13/02(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)
Int.Cl. G05B13/02

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 A	JP 2015-102876 A (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KANAZAWA UNIVERSITY) 04 June 2015, paragraphs [0026]-[0029], [0041]-[0094], [0133], fig. 4-13 (Family: none)	4, 9, 11 1-3, 5-8, 10
A	JP 2012-106198 A (TOSHIBA CORP.) 07 June 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-11

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 October 2019 (11.10.2019)	21 October 2019 (21.10.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/029215

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2016/0084514 A1 (JOHNSON CONTROLS TECHNOLOGY COMPANY) 24 March 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 5-91752 A (HITACHI, LTD.) 09 April 1993, entire text, all drawings & US 5300872 A, entire text, all drawings & GB 2253099 A	1-11
A	JP 2009-48353 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 05 March 2009, entire text, all drawings (Family: none)	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０２９２１５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G05B13/02(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.　G05B13/02

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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	関連する請求項の番号
X A	JP 2015-102876 A (国立大学法人金沢大学) 2015.06.04, [００２６]－[００２９], [００４１]－[００９４], [０１３３]、図４－１３（ファミリーなし）	4, 9, 11 1-3, 5-8, 10
A	JP 2012-106198 A (株式会社東芝) 2012.06.07, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11

☑　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	国際調査報告の発送日
１１．１０．２０１９	２１．１０．２０１９

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）　３Ｕ　３２２５
中田　善邦
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６４

C（続き）．　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	関連する請求項の番号
A	US 2016/0084514 A1 (JOHNSON CONTROLS TECHNOLOGY COMPANY) 2016.03.24, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11
A	JP 5-91752 A（株式会社日立製作所） 1993.04.09, 全文、全図 & US 5300872 A, 全文、全図 & GB 2253099 A	1-11
A	JP 2009-48353 A（三菱電機株式会社） 2009.03.05, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11