

(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
2018年2月22日(22.02.2018)



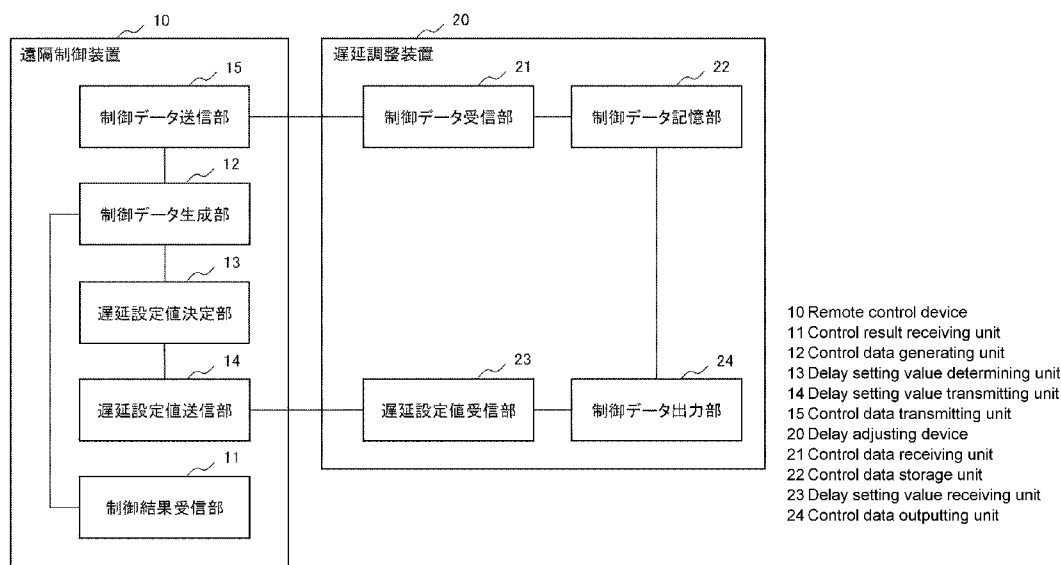
(10) 国際公開番号

WO 2018/034191 A1

- (51) 国際特許分類:
G05B 11/36 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/028647
- (22) 国際出願日: 2017年8月7日(07.08.2017)
- (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 2016-160139 2016年8月17日(17.08.2016) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉田 裕志 (YOSHIDA Hiroshi); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 下坂 直樹 (SHIMOSAKA Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 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, JP, 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,

(54) Title: REMOTE CONTROL DEVICE, SYSTEM, METHOD AND RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: 遠隔制御装置、システム、方法および記録媒体



(57) Abstract: In order to enable enhancement of a transient response and stability of a remote control when a transmission delay varies, this remote control device receives a control result from a device being controlled; generates, on the basis of the control result and a delay setting value, control data for performing a feedback control through which the device being controlled is compensated for a wasted time; determines the delay setting value on the basis of a history of a delay amount of transmission/reception data transmitted/received to/from the device being controlled; transmits the delay setting value;

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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

and transmits the control data and a generation time of the control data. Furthermore, a delay adjusting device receives, from the remote control device, the control data; stores, in a control data storage unit, the control data; receives the delay setting value used for compensating for the wasted time of the remote control device; and outputs, to the device being controlled, the control data in the control data storage unit on the basis of the delay setting value and the generation time of the control data.

(57) 要約：伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することを可能にするため、遠隔制御装置は、制御対象装置から制御結果を受信し、前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成し、前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定し、前記遅延設定値を送信し、前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する。また、遅延調整装置は、遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させ、前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信し、前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する。

明 細 書

発明の名称：遠隔制御装置、システム、方法および記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、制御対象装置を遠隔で制御する、遠隔制御装置、システム、方法および記録媒体に関する。

背景技術

[0002] UAS (Unmanned Aircraft System) やAGV (Automatic Guided Vehicle) などの機械を制御する際、機械の移動や配置の制約を解消するために、無線通信による遠隔制御が行われる。また、近年では、様々な業務がインターネットを活用しているため、これらの業務を行う機械もインターネットへ接続できることが望まれている。そのため、これらの機械に対する通信もインターネットプロトコル (IP: Internet Protocol) で行われることが増えている。

[0003] しかし、無線IP通信では、無線の電波強度、電波干渉、ノイズ、あるいは他の通信トラヒックによって、データパケットの到着遅延およびパケット到着の遅延変動 (遅延ジッタ) が発生する。無線IP通信での遠隔制御においては、このパケット到着遅延およびパケット到着の遅延ジッタの影響によって、制御性能 (安定性や過渡応答) が損なわれることがある。

[0004] 特に、制御系においては、遅延そのものよりも、遅延ジッタが大きい場合に高い制御性能を実現することが困難である。通信ネットワークにおいて遅延が発生した場合でも、遅延変動がなく固定的な遅延であれば、スミス予測器などの一般的なむだ時間補償によって制御性能の改善は可能である。

[0005] 図12は、ある制御対象 (一次遅れ系) に対するフィードバック制御の結果 (初期値0、制御目標値1) を示したグラフである。(a) は固定的に0.3 msecの遅延が存在する場合にPI (Proportional Integral) 補償器で制御したときの結果である。遅延 (むだ時間) が存在するため、制御出力は目標値である1への収束に時間を要している。一方、(b) は遅延 (むだ

時間) による影響を考慮し、PI補償器に加えてスミス予測器を備えた場合の制御結果の例である。むだ時間の影響を抑制し、制御性能が大きく改善されていることが分かる。(c)は遅延が0.1 msecから0.8 msecの間をランダムに変動するような環境において(b)のスミス予測器付きの制御を実施した場合の制御結果である。スミス予測器では遅延が変動する場合には効果が得られないことが分かる。

[0006] これは、遅延の変動によって、むだ時間補償で想定していた遅延量とは異なる遅延量で制御対象装置に制御データが到着することが一因である。

[0007] 遠隔制御の方法としては、たとえば、特許文献1に、むだ時間補償付きのフィードバック制御の方法が記載されている。また、制御対象装置においてパケット到着時間の遅延ジッタを吸収する方法としては、特許文献2に、データ受信側で遅延ジッタ量に基づいて遅延ジッタを吸収するためのジッタバッファ長を決める方法が記載されている。

[0008] しかし、特許文献1に記載の方法のようなむだ時間補償方法と特許文献2に記載の方法のような遅延変動の吸収方法を組み合わせても、制御装置が想定している遅延量と、制御対象に入力される制御データの遅延量が異なると、安定した制御を行うことができない。

[0009] これに対し、特許文献3に記載の制御装置は、制御対象から通信ネットワークを介して送信された第1データを用いて、通信ネットワークを介して制御対象を制御するための第2データを制御対象へと送信する。そして、制御装置は、制御対象が許容最大遅延時間から第1データを受信した時刻と第1データが生成された時刻の差(第1データの到着遅延時間)を差し引いた時間が経過したタイミングで第2データを送信する。これにより、特許文献3に記載の制御装置は、通信ネットワークにおける遅延をすべて許容最大遅延に統一することで、遅延ジッタがある場合でも、むだ時間補償付きのフィードバック制御の安定性を向上することが可能になる。

[0010] また、特許文献4には、むだ時間補償付きのフィードバック制御において、制御装置が複数の想定遅延時間に対応する制御データを送信し、制御対象

装置が計測した遅延時間に応じた制御データを選択する方法が記載されている。この方法でも、制御装置の想定遅延量と制御データの遅延量とを合わせることが可能になるため、遅延ジッタがある場合でも、制御の安定性を向上することが可能になる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特表2016-519344号公報

特許文献2：特開2014-068087号公報

特許文献3：特許第5565431号公報

特許文献4：特開平11-065609号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] しかし、特許文献3に記載の遠隔制御システムでは、通信ネットワークにおける実際の遅延量に関係なく、制御データを固定的に最大許容遅延時間まで遅延させて制御対象へ入力する。そのため、パケット到着遅延および遅延ジッタが小さい環境下においては、無用な遅延を挿入してしまう。制御の過渡応答（追従性）は、遅延が小さいほど良いため、この方法では、過渡応答が劣化してしまう。

[0013] また、特許文献4に記載の方法では、遅延変動が大きい環境では、制御装置は多くの想定遅延時間に対する多くの制御データを送信する必要がある。制御データ量が多くなると、ネットワークが混雑して遅延が大きくなり制御の過渡応答を劣化させる可能性がある。また、制御データ量が少ないと、制御装置の想定遅延時間と制御データの遅延量の差が大きくなり、制御の安定性の劣化につながる可能性がある。

[0014] 本発明の目的は、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することを可能にする、遠隔制御装置、システム、方法および記録媒体を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0015] 上述の問題を解決するために、本発明の遠隔制御装置は、制御対象装置から制御結果を受信する制御結果受信手段と、前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する制御データ生成手段と、前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定手段と、前記遅延設定値を送信する遅延量送信手段と、前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ送信手段と、を備えることを特徴とする。
- [0016] また、本発明の遅延調整装置は、遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶手段に記憶させる制御データ受信手段と、前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する遅延設定値受信手段と、前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶手段の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力手段と、を備えることを特徴とする。
- [0017] また、本発明の遠隔制御方法は、制御対象装置から制御結果を受信し、前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成し、前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定し、前記遅延設定値を送信し、前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信することを特徴とする。
- [0018] また、本発明の遅延調整方法は、遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させ、前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信し、前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力することを特徴とする。
- [0019] また、本発明のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録された遠隔制御プログラムは、コンピュータに、制御対象装置から制御結果を受信する制

御結果受信機能と、前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する制御データ生成機能と、前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定機能と、前記遅延設定値を送信する遅延量送信機能と、前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ送信機能と、を実現させることを特徴とする。

[0020] また、本発明のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録された遅延調整プログラムは、コンピュータに、遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させる制御データ受信機能と、前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する遅延設定値受信機能と、前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力機能と、を実現させることを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明の遠隔制御装置、システム、方法および記録媒体により、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の第一の実施形態の遠隔制御装置および遅延調整装置の構成例を示す図である。

[図2]本発明の第一の実施形態の遠隔制御装置の動作例を示す図である。

[図3]本発明の第一の実施形態の遅延調整装置の動作例を示す図である。

[図4]本発明の第二の実施形態の遠隔制御システムの構成例を示す図である。

[図5]本発明の第二の実施形態の遠隔制御システムの構成例を示す図である。

[図6]本発明の第二の実施形態の制御データ生成部の構成例を示す図である。

[図7]本発明の第二の実施形態の遠隔制御装置の動作例を示す図である。

[図8]本発明の第二の実施形態の遅延調整装置の動作例を示す図である。

[図9]本発明の第二の実施形態のシミュレーション結果の例を示す図である。

[図10]本発明の第二の実施形態のシミュレーション結果の例を示す図である。

。

[図11]本発明の各実施形態のハードウェア構成例を示す図である。

[図12]PI補償器とスミス予測器の制御出力の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] [第一の実施形態]

本発明の第一の実施の形態について説明する。

[0024] 図1に本実施形態の遠隔制御装置10および遅延調整装置20の構成例を示す。

[0025] 本実施形態の遠隔制御装置10は、制御結果受信部11、制御データ生成部12、遅延設定値決定部13、遅延設定値送信部14および制御データ送信部15により構成される。

[0026] 制御結果受信部11は、制御対象装置から制御結果を受信する部分である。制御データ生成部12は、制御結果と遅延設定値に基づいて、制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する部分である。遅延設定値決定部13は、制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定する部分である。遅延設定値送信部14は、遅延設定値を送信する部分である。制御データ送信部15は、制御データと制御データの生成時刻を送信する部分である。

[0027] また、本実施形態の遅延調整装置20は、制御データ受信部21、制御データ記憶部22、遅延設定値受信部23および制御データ出力部24により構成される。

[0028] 制御データ受信部21は、遠隔制御装置10から制御データを受信して制御データ記憶部22に記憶させる部分である。遅延設定値受信部23は、遠隔制御装置10のむだ時間補償制御が使用する遅延設定値を受信する部分である。制御データ出力部24は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する部分である。

[0029] このように遠隔制御装置 10 および遅延調整装置 20 を構成することによって、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置 20 へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。また、遅延調整装置 20 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延量の履歴に応じて遅延設定値を決定することが可能になるため、遠隔制御の過渡応答が向上する。また、制御データの生成に使用される遅延設定値に応じて制御対象へ制御データを出力することが可能になるため、遠隔制御の安定性が向上する。そのため、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0030] 次に、図 2 および図 3 に、本実施形態の遠隔制御装置 10 および遅延調整装置 20 の動作の例を示す。図 2 は本実施形態の遠隔制御装置 10 の、図 3 は本実施形態の遅延調整装置 20 の動作例である。

[0031] 遠隔制御装置 10 の制御結果受信部 11 は、制御対象装置から制御結果を受信する（ステップ S 101）。遅延設定値決定部 13 は、制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定する（ステップ S 102）。遅延設定値送信部 14 は、遅延設定値を送信する（ステップ S 103）。制御データ生成部 12 は、制御結果と遅延設定値に基づいて、制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する（ステップ S 104）。制御データ送信部 15 は、制御データと制御データの生成時刻を送信する（ステップ S 105）。

[0032] また、遅延調整装置 20 の制御データ受信部 21 は、遠隔制御装置 10 から制御データを受信して（ステップ S 201 で YES）、制御データ記憶部 22 に記憶させる（ステップ S 202）。遅延設定値受信部 23 は、遠隔制御装置 10 のむだ時間補償制御が使用する遅延設定値を受信する（ステップ S 203）。制御データ出力部 24 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する（ステップ S 204）。

[0033] このように動作することによって、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置 20 へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。また、遅延調整装置 20 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延量の履歴に応じて遅延設定値を決定することが可能になるため、遠隔制御の過渡応答が向上する。また、制御データの生成に使用される遅延設定値に応じて制御対象へ制御データを出力することが可能になるため、遠隔制御の安定性が向上する。そのため、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0034] 以上で説明したように、本発明の第一の実施形態では、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置 20 へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。また、遅延調整装置 20 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。そのため、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0035] [第二の実施形態]

次に、本発明の第二の実施の形態について説明する。

[0036] 本実施形態では、第一の実施形態の遠隔制御装置および遅延調整装置について、より具体的に説明する。

[0037] まず、図 4 に本実施形態の遠隔制御システムの構成例を示す。本実施形態の遠隔制御システムは、遠隔制御装置 10 および遅延調整装置 30 により構成される。

[0038] 遠隔制御装置 10 は制御対象に対する制御データを生成してネットワーク 80 経由で遅延調整装置 30 へ送信する装置である。遅延調整装置 30 は、受信した制御データを制御対象へ出力する装置である。本実施形態では、遅延調整装置 30 は制御対象装置である。制御対象装置は、制御データに従って制御されるとともに、制御結果（位置や速度などのデータ）を遠隔制御装

置 10 へフィードバックする。なお、本実施形態の遠隔制御システムは、図 5 のように、制御対象装置 50 と遅延調整装置 40 とを分離した構成であっても良い。また、図 5 の場合、遅延調整装置 40 が制御データ出力部 44 を備えているが、制御対象装置 50 が制御データ出力部 44 を備えていても良い。

[0039] ネットワーク 80 は、たとえば、LAN (Local Area Network)、無線 LAN、インターネット、モバイルネットワーク (LTE (Long Term Evolution) / 3G (Generation) / WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)) などで構成される IP ネットワーク等である。

[0040] 次に、図 1 を用いて、本実施形態の遠隔制御装置 10 の構成例について説明する。

[0041] 制御結果受信部 11 は、制御対象装置 (本実施形態の場合、遅延調整装置 30) から制御結果を受信する部分である。制御データ生成部 12 は、制御結果と遅延設定値に基づいて、制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する部分である。遅延設定値決定部 13 は、制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定する部分である。遅延設定値送信部 14 は、遅延設定値を送信する部分である。制御データ送信部 15 は、制御データと制御データの生成時刻を送信する部分である。

[0042] 次に、図 6 に制御データ生成部 12 のより具体的な構成例を示す。制御データ生成部 12 は、フィードバック制御部 121 およびむだ時間補償部 122 を備える。

[0043] フィードバック制御部 121 は、制御対象に対するフィードバック制御を行う部分 (補償器) である。フィードバック制御部 121 は、制御目標 R と制御対象装置からフィードバックされた制御結果に基づいて制御対象に対する制御データを生成する。フィードバック制御部 121 には、たとえば、PID (Proportional Integral Differential) 補償器、位相進み補償器、位相遅れ補償器などを使用できる。

[0044] たとえば、フィードバック制御部 121 として P I 補償器を採用する場合、フィードバック制御部 121 の伝達関数 $C(s)$ は式 1 のようになる。

$$C(s) = K_p + K_i / s \quad (\text{式 1})$$

[0045] なお、 K_p は比例ゲイン、 K_i は積分ゲインである。

[0046] むだ時間補償部 122 は、フィードバック制御部 121 が生成する制御データに対して、ネットワーク 80 における遅延（むだ時間）を補償する部分（予測器）である。むだ時間補償の方法には、たとえば、スミス予測、内部モデル制御、モデル予測制御等を使用できる。

[0047] むだ時間補償部 122 としてスミス予測器を用いる場合、制御対象を表す伝達関数を $G(s)$ 、ネットワーク 80 における遅延量（むだ時間）を L とすると、スミス予測器の伝達関数 $P(s)$ は式 2 のように書くことができる。

$$P(s) = G(s)(e^{-Ls} - 1) \quad (\text{式 2})$$

[0048] なお、遅延量 L は、ネットワーク 80 の往路の遅延量と復路の遅延量の合計（ラウンドトリップタイムと呼ぶ）である。

[0049] 本実施形態では、むだ時間補償部 122 の遅延量のパラメータに、遅延設定値決定部 13 で決定した遅延設定値を使用する。たとえば、むだ時間補償部 122 にスミス予測器を使用する場合、式 2 の L として、遅延設定値決定部 13 で決定した遅延設定値を使用する。

[0050] 次に、遅延設定値決定部 13 についてより具体的に説明する。

[0051] 遅延設定値決定部 13 は、制御対象装置（遅延調整装置 30）との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定する。

[0052] 遅延設定値決定部 13 は、ネットワーク 80 における遅延量を計測する。そして、たとえば、遅延量の履歴に基づいて、未来の遅延量の上限值 $L+$ を予測する。そして、この上限値 $L+$ を遅延設定値とする。

[0053] 予測の方法としては、たとえば、過去の遅延量の履歴から適当な時系列モデルを同定し、同定した時系列モデルから未来の遅延量の確率分布（確率密度関数）を予測する方法を用いることができる。時系列モデルとしては、た

例えば、A R (Auto Regressive) モデル、M A (Moving Average) モデル、A R I M A (Auto Regressive Integrated Moving Average) モデル、G A R C H (Generalized Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity) モデルなどを用いることができる。過去の遅延量の履歴から時系列モデルを同定することができれば、未来の遅延量の確率分布（確率密度関数） $f(L, t)$ を算出することができる。なお、 f は確率密度関数、 L は遅延量、 t は時刻である。

[0054] 遅延設定値決定部 13 は、未来の遅延量の確率分布 $f(L, t)$ に基づいて、未来の遅延量の上限值 L_+ を、たとえば、式 3 で算出する。

$$L_+(t) = \mu(t) + \alpha\sigma(t) \quad (\text{式 3})$$

[0055] なお、 $\mu(t)$ は時刻 t における遅延量 L の期待値 $E[L(t)]$ 、 $\sigma(t)$ は時刻 t における遅延量 L の標準偏差（ $\sigma(t)$ の二乗は時刻 t における遅延量 L の分散 $V[L(t)]$ ）、 α は定数である。たとえば、確率分布 f がガウス分布のとき、 $\alpha = 3$ とすると、遅延量の上側 3 シグマの値を上限值とすることになる。

[0056] なお、遅延量 L は遠隔制御装置 10 と制御対象装置（遅延調整装置 30）との間のラウンドトリップタイムである。遅延量 L は、遠隔制御装置 10 と制御対象装置との間で遅延量計測用のプローブデータを送受信することで計測しても良いし、タイムスタンプが付与された制御データや制御結果を受信することで算出しても良い。

[0057] 次に、図 4 を用いて、本実施形態の遅延調整装置 30 の構成例について説明する。本実施形態の遅延調整装置 30 は、制御データ受信部 21、制御データ記憶部 22、遅延設定値受信部 23、制御データ出力部 34、制御対象 35 および制御結果送信部 36 により構成される。

[0058] 制御データ受信部 21 は、遠隔制御装置 10 から制御データを受信して制御データ記憶部 22 に記憶させる部分である。制御データ記憶部 22 は、制御データの到着遅延を吸収するために、制御データを一時的に保存しておくバッファである。遅延設定値受信部 23 は、遠隔制御装置 10 のむだ時間補

償制御が使用する遅延設定値を受信する部分である。

[0059] 制御データ出力部 34 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象 35 へ出力する部分である。制御対象 35 は、制御対象装置の駆動部を含めた物理モデルであり、制御データに従って制御される部分である。制御結果送信部 36 は、制御結果（位置や速度などのデータ）を遠隔制御装置 10 へ送信する部分である。

[0060] 本実施形態では、制御データ出力部 34 は、制御データの生成時刻から所定時間経過後に制御データ記憶部 22 から当該制御データを取り出し、制御対象 35 へ出力する。ここでは、この所定時間をジッタバッファ長と呼ぶ。また、本実施形態では、制御データ出力部 34 は、遅延設定値受信部 23 が受信した遅延設定値をジッタバッファ長として使用する。

[0061] このようにすることで、各制御データは、その生成時間から遅延設定値分の時間が経過したときに制御対象へ出力される。そのため、各制御データの到着遅延のジッタが制御データ記憶部 22 によって吸収されることになる。

[0062] 制御データ記憶部 22 は、遅延のジッタを吸収し、制御データの制御対象 35 への到着遅延を一定に保つ役割を持つ。ジッタバッファ長が遅延量の上限值より長ければ、すべての遅延ジッタを吸収できる。ジッタバッファ長が遅延量の上限值より短い場合、制御対象 35 への制御データの到着遅延が変動し、遠隔制御装置 10 が想定していた遅延量とは異なる遅延量で制御対象 35 へ制御データが到着するため、制御が不安定になる。一方、ジッタバッファ長が長いと、制御データの制御対象 35 への到着が遅くなり、過渡応答が劣化する。そのため、本実施形態では、制御の安定性と過渡応答のトレードオフを考慮し、式 3 のように遅延量の上限值を算出する。これにより、たとえば、 3σ の値を上限值とすることで、99% の遅延ジッタを吸収し、ジッタバッファ長も長くなり過ぎない値とすることができる。

[0063] このように遠隔制御装置 10 および遅延調整装置 30 を構成することによって、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置 30 へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。

また、遅延調整装置 30 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延量の履歴に応じて遅延設定値を決定することが可能になるため、遠隔制御の過渡応答が向上する。また、制御データの生成に使用される遅延設定値に応じて制御対象へ制御データを出力することが可能になるため、遠隔制御の安定性が向上する。そのため、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0064] また、本実施形態では、遅延調整装置 30 は、制御データの生成時刻から遅延設定値分の時間が経過したとき、制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延調整装置 30 は、制御データの遅延量を遅延設定値に揃えることが可能になり、遠隔制御の安定性をより向上することが可能になる。

[0065] また、本実施形態では、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴から未来の遅延量の上限値を算出し、この上限値を遅延設定値として使用する。これにより、より多くの遅延ジッタを吸収することが可能になり、遠隔制御の安定性をより向上することが可能になる。

[0066] また、本実施形態では、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴から所定の時系列モデルを同定し、時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、確率分布に基づいて遅延量の上限値の算出を行う。これにより、制御の安定性と過渡応答のトレードオフを考慮して遅延設定値を決定することが可能になる。

[0067] 次に、図 7 に本実施形態の遠隔制御装置 10 の動作例を示す。

[0068] 遠隔制御装置 10 の遅延設定値決定部 13 は、遠隔制御装置 10 と遅延調整装置 30 との間の遅延量を所定のタイミング（所定時間おき等）で測定する（ステップ S 301）。そして、遅延設定値決定部 13 は、所定のタイミングで遅延設定量を決定し（ステップ S 302）、遅延設定値送信部 14 は、決定した遅延設定量を遅延調整装置 30 へ送信する（ステップ S 303）。

[0069] また、制御結果受信部 11 は、遅延調整装置 30 から制御結果を受信し（

ステップS304でYES)、制御データ生成部12へ制御結果を入力する(ステップS305)。

[0070] 制御データ生成部12は、所定のタイミングで、制御結果と遅延設定値に基づいて、制御データを生成する(ステップS306)。そして、制御データ送信部15は、生成した制御データを、制御データを生成した時刻とともに遅延調整装置30へ送信する(ステップS307)。たとえば、制御データを含むパケットに生成時刻のフィールドを含めることが考えられる。

[0071] 次に、図8に本実施形態の遅延調整装置30の動作例を示す。

[0072] 遅延調整装置30の遅延設定値受信部23は、遠隔制御装置10から遅延設定値を受信すると(ステップS401でYES)、遅延設定値を制御データ記憶部22のジッタバッファ長として設定する(ステップS402)。

[0073] また、制御データ受信部21は、遠隔制御装置10から制御データを受信すると(ステップS403でYES)、制御データを制御データ記憶部22に記憶させる(ステップS404)。

[0074] 制御データ出力部34は、制御データ記憶部22に記憶された制御データを、その制御データの生成時刻から遅延設定値分の時間が経過したときに取り出し(ステップS405)、制御対象35へ出力する(ステップS406)。

[0075] 制御結果送信部36は、所定のタイミングで制御対象35の制御結果を遠隔制御装置10へ送信する(ステップS407)。

[0076] このように動作することによって、遠隔制御装置10は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置30へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。また、遅延調整装置30は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延量の履歴に応じて遅延設定値を決定することが可能になるため、遠隔制御の過渡応答が向上する。また、制御データの生成に使用される遅延設定値に応じて制御対象へ制御データを出力することが可能になるため、遠隔制御の安定性が向上する。そのため、伝送遅延が変

動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0077] 以上で説明したように、本発明の第二の実施形態では、第一の実施形態と同様に、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴に基づいて遅延設定値を決定して遅延調整装置 30 へ送信し、遅延設定値に基づいて制御データを生成する。また、遅延調整装置 30 は、遅延設定値および制御データの生成時刻に基づいて制御データ記憶部の制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延量の履歴に応じて遅延設定値を決定することが可能になるため、遠隔制御の過渡応答が向上する。また、制御データの生成に使用される遅延設定値に応じて制御対象へ制御データを出力することが可能になるため、遠隔制御の安定性が向上する。そのため、伝送遅延が変動する場合の遠隔制御の過渡応答および安定性を向上することが可能になる。

[0078] また、本実施形態では、遅延調整装置 30 は、制御データの生成時刻から遅延設定値分の時間が経過したとき、制御データを制御対象へ出力する。これにより、遅延調整装置 30 は、制御データの遅延量を遅延設定値に揃えることが可能になり、遠隔制御の安定性をより向上することが可能になる。

[0079] また、本実施形態では、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴から未来の遅延量の上限値を算出し、この上限値を遅延設定値として使用する。これにより、より多くの遅延ジッタを吸収することが可能になり、遠隔制御の安定性をより向上することが可能になる。

[0080] また、本実施形態では、遠隔制御装置 10 は、遅延量の履歴から所定の時系列モデルを同定し、時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、確率分布に基づいて遅延量の上限値の算出を行う。これにより、制御の安定性と過渡応答のトレードオフを考慮して遅延設定値を決定することが可能になる。

[0081] [シミュレーション結果例]

次に、図 9 および図 10 に、第二の実施形態のシミュレーション結果の例を示す。

[0082] 式4の伝達関数 $G(s)$ で表される一次遅れ系の制御対象($K=1$ 、 $T=0.8$)に対して、通常のPI補償器、スミス予測器(固定遅延)付きのPI補償器、本実施形態の遠隔制御システムの3パターンで、初期値が0、目標値が1のときの制御結果を計測した。

$$G(s) = K / (Ts + 1) \quad (\text{式4})$$

[0083] ただし、遅延量 L は 0.1 msec から 0.8 msec の間でランダムに変動させた。

[0084] 図9は、シミュレーション結果の一例である。(a)は制御結果、(b)が遅延量 L の変動を示したグラフである。通常のPI補償器(Normal PI controller)は、 5 sec 付近まで制御結果が安定していない。スミス予測器(固定遅延)付きのPI補償器(Smith compensator)は通常のPI補償器よりも制御性能は改善しているが、本実施形態の遠隔制御システム(Proposed)では、過渡特性をより改善できていることが分かる。制御出力と目標値のRMSE(Root Mean Squared Error)は、通常のPI補償器で 0.731 、スミス予測器(固定遅延)付きのPI補償器で 0.415 、本発明の遠隔制御システムで 0.320 となる。これにより、本実施形態の遠隔制御システムの制御性能が最も高いことが分かる。

[0085] 図10は、図9と同じシミュレーション条件での他の結果の例である。本結果においても、制御出力と目標値のRMSEは、通常のPI補償器で 0.579 、スミス予測器(固定遅延)付きのPI補償器で 0.324 、本実施形態の遠隔制御システムで 0.278 となり、本実施形態の遠隔制御システムの制御性能が最も高くなった。

[0086] [ハードウェア構成例]

上述した本発明の各実施形態における遠隔制御装置10、遅延調整装置(20、30、40)(以降遠隔制御装置等と呼ぶ)を、一つの情報処理装置(コンピュータ)を用いて実現するハードウェア資源の構成例について説明する。なお、遠隔制御装置等は、物理的または機能的に少なくとも二つの情

報処理装置を用いて実現してもよい。また、遠隔制御装置等は、専用の装置として実現してもよい。また、遠隔制御装置等の一部の機能のみを情報処理装置を用いて実現しても良い。

[0087] 図 1 1 は、本発明の各実施形態の遠隔制御装置等を実現可能な情報処理装置のハードウェア構成例を概略的に示す図である。情報処理装置 9 0 は、通信インタフェース 9 1、入出力インタフェース 9 2、演算装置 9 3、記憶装置 9 4、不揮発性記憶装置 9 5 およびドライブ装置 9 6 を備える。

[0088] 通信インタフェース 9 1 は、各実施形態の遠隔制御装置等が、有線あるいは／および無線で外部装置と通信するための通信手段である。なお、遠隔制御装置等を、少なくとも二つの情報処理装置を用いて実現する場合、それらの装置の間を通信インタフェース 9 1 経由で相互に通信可能なように接続しても良い。

[0089] 入出力インタフェース 9 2 は、入力デバイスの一例であるキーボードや、出力デバイスとしてのディスプレイ等のマンマシンインタフェースである。

[0090] 演算装置 9 3 は、汎用の CPU (Central Processing Unit) やマイクロプロセッサ等の演算処理装置である。演算装置 9 3 は、たとえば、不揮発性記憶装置 9 5 に記憶された各種プログラムを記憶装置 9 4 に読み出し、読み出したプログラムに従って処理を実行することが可能である。

[0091] 記憶装置 9 4 は、演算装置 9 3 から参照可能な、RAM (Random Access Memory) 等のメモリ装置であり、プログラムや各種データ等を記憶する。記憶装置 9 4 は、揮発性のメモリ装置であっても良い。

[0092] 不揮発性記憶装置 9 5 は、たとえば、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、等の、不揮発性の記憶装置であり、各種プログラムやデータ等を記憶することが可能である。

[0093] ドライブ装置 9 6 は、たとえば、後述する記録媒体 9 7 に対するデータの読み込みや書き込みを処理する装置である。

[0094] 記録媒体 9 7 は、たとえば、光ディスク、光磁気ディスク、半導体フラッシュメモリ等、データを記録可能な任意の記録媒体である。

[0095] 本発明の各実施形態は、たとえば、図 11 に例示した情報処理装置 90 により遠隔制御装置等を構成し、この遠隔制御装置等に対して、上記各実施形態において説明した機能を実現可能なプログラムを供給することにより実現してもよい。

[0096] この場合、遠隔制御装置等に対して供給したプログラムを、演算装置 93 が実行することによって、実施形態を実現することが可能である。また、遠隔制御装置等のすべてではなく、一部の機能を情報処理装置 90 で構成することも可能である。

[0097] さらに、上記プログラムを記録媒体 97 に記録しておき、遠隔制御装置等の出荷段階、あるいは運用段階等において、適宜上記プログラムが不揮発性記憶装置 95 に格納されるよう構成してもよい。なお、この場合、上記プログラムの供給方法は、出荷前の製造段階、あるいは運用段階等において、適当な治具を利用して遠隔制御装置等内にインストールする方法を採用してもよい。また、上記プログラムの供給方法は、インターネット等の通信回線を介して外部からダウンロードする方法等の一般的な手順を採用してもよい。

[0098] 上記の実施形態の一部または全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

[0099] (付記 1)

制御対象装置から制御結果を受信する制御結果受信手段と、

前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する制御データ生成手段と、

前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定手段と、

前記遅延設定値を送信する遅延量送信手段と、

前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ送信手段と、

を備えることを特徴とする遠隔制御装置。

[0100] (付記 2)

前記遅延設定値決定手段は、前記遅延量の前記履歴から未来の前記遅延量
の上限値を算出し、前記上限値を前記遅延設定値として使用する
ことを特徴とする付記 1 に記載の遠隔制御装置。

[0101] (付記 3)

前記遅延設定値決定手段は、前記遅延量の前記履歴から所定の時系列モデル
を同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、
前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記算出を行う
ことを特徴とする付記 2 に記載の遠隔制御装置。

[0102] (付記 4)

前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する
ことを特徴とする付記 1 から付記 3 のいずれかに記載の遠隔制御装置。

[0103] (付記 5)

遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶手段に記憶させる
制御データ受信手段と、
前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する遅延設
定値受信手段と、
前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御デー
タ記憶手段の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力手段と、
を備えることを特徴とする遅延調整装置。

[0104] (付記 6)

前記制御データ出力手段は、前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した
時刻に前記制御データの前記制御対象への前記出力を行う
ことを特徴とする付記 5 に記載の遅延調整装置。

[0105] (付記 7)

付記 1 から付記 4 のいずれかに記載の制御データ送信装置と、
前記制御対象装置と
を備え、

前記制御対象装置は、付記 5 あるいは付記 6 に記載の遅延調整装置であることを特徴とする遠隔制御システム。

[0106] (付記 8)

付記 1 から付記 4 のいずれかに記載の制御データ送信装置と、
遅延調整装置と、
前記制御対象装置と
を備え、

前記遅延調整装置は、付記 5 あるいは付記 6 に記載の遅延調整装置であることを特徴とする遠隔制御システム。

[0107] (付記 9)

制御対象装置から制御結果を受信し、
前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成し、
前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定し、
前記遅延設定値を送信し、
前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信することを特徴とする遠隔制御方法。

[0108] (付記 10)

前記遅延量の前記履歴から未来の前記遅延量の上限値を算出し、前記上限値を前記遅延設定値として使用する
ことを特徴とする付記 9 に記載の遠隔制御方法。

[0109] (付記 11)

前記遅延量の前記履歴から所定の時系列モデルを同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記算出を行う
ことを特徴とする付記 10 に記載の遠隔制御方法。

[0110] (付記 12)

前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する

ことを特徴とする付記 9 から付記 11 のいずれかに記載の遠隔制御方法。

[0111] (付記 13)

遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させ、

前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信し、

前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する

ことを特徴とする遅延調整方法。

[0112] (付記 14)

前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した時刻に前記制御データの前記制御対象への前記出力を行う

ことを特徴とする付記 13 に記載の遅延調整方法。

[0113] (付記 15)

コンピュータに、

制御対象装置から制御結果を受信する制御結果受信機能と、

前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する制御データ生成機能と、

前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定機能と、

前記遅延設定値を送信する遅延量送信機能と、

前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ送信機能と、

を実現させることを特徴とする遠隔制御プログラム。

[0114] (付記 16)

前記遅延設定値決定機能は、前記遅延量の前記履歴から未来の前記遅延量の上限值を算出し、前記上限値を前記遅延設定値として使用する

ことを特徴とする付記 15 に記載の遠隔制御プログラム。

[0115] (付記 17)

前記設定値決定機能は、前記遅延量の前記履歴から所定の時系列モデルを同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記算出を行う

ことを特徴とする付記 16 に記載の遠隔制御プログラム。

[0116] (付記 18)

前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する

ことを特徴とする付記 15 から付記 17 のいずれかに記載の遠隔制御プログラム。

[0117] (付記 19)

コンピュータに、

遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させる制御データ受信機能と、

前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する遅延設定値受信機能と、

前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力機能と、

を実現させることを特徴とする遅延調整プログラム。

[0118] (付記 20)

前記制御データ出力機能は、前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した時刻に前記制御データの前記制御対象への前記出力を行う

ことを特徴とする付記 19 に記載の遅延調整プログラム。

[0119] (付記 21)

付記 15 から付記 18 のいずれかに記載の遠隔制御プログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0120] (付記 22)

付記 19 あるいは付記 20 のいずれかに記載の遅延調整プログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0121] 以上、上述した実施形態を模範的な例として本発明を説明した。しかしながら、本発明は、上述した実施形態には限定されない。即ち、本発明は、本発明のスコープ内において、当業者が理解し得る様々な態様を適用することができる。

[0122] この出願は、2016年8月17日に出願された日本出願特願2016-160139を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

符号の説明

- [0123]
- 10 遠隔制御装置
 - 11 制御結果受信部
 - 12 制御データ生成部
 - 13 遅延設定値決定部
 - 14 遅延設定値送信部
 - 15 制御データ送信部
 - 20、30、40 遅延調整装置
 - 21 制御データ受信部
 - 22 制御データ記憶部
 - 23 遅延設定値受信部
 - 24、34、44 制御データ出力部
 - 35 制御対象
 - 36 制御結果送信部
 - 50 制御対象装置
 - 80 ネットワーク
 - 90 情報処理装置
 - 91 通信インタフェース
 - 92 入出力インタフェース
 - 93 演算装置
 - 94 記憶装置

- 9 5 不揮発性記憶装置
- 9 6 ドライブ装置
- 9 7 記録媒体

請求の範囲

- [請求項1] 制御対象装置から制御結果を受信する制御結果受信手段と、
前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対する
むだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する
制御データ生成手段と、
前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴
に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定手段と、
前記遅延設定値を送信する遅延量送信手段と、
前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ
送信手段と、
を備えることを特徴とする遠隔制御装置。
- [請求項2] 前記遅延設定値決定手段は、前記遅延量の前記履歴から未来の前記
遅延量の上限値を算出し、前記上限値を前記遅延設定値として使用す
る
ことを特徴とする請求項1に記載の遠隔制御装置。
- [請求項3] 前記遅延設定値決定手段は、前記遅延量の前記履歴から所定の時系
列モデルを同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分
布を導出し、前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記
算出を行う
ことを特徴とする請求項2に記載の遠隔制御装置。
- [請求項4] 前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する
ことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の遠隔制
御装置。
- [請求項5] 遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶手段に記憶
させる制御データ受信手段と、
前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する
遅延設定値受信手段と、
前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制

御データ記憶手段の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力手段と、

を備えることを特徴とする遅延調整装置。

[請求項6] 前記制御データ出力手段は、前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した時刻に前記制御データの前記制御対象への前記出力を行うことを特徴とする請求項5に記載の遅延調整装置。

[請求項7] 請求項1から請求項4のいずれかに記載の制御データ送信装置と、前記制御対象装置とを備え、前記制御対象装置は、請求項5あるいは請求項6に記載の遅延調整装置であることを特徴とする遠隔制御システム。

[請求項8] 請求項1から請求項4のいずれかに記載の制御データ送信装置と、遅延調整装置と、前記制御対象装置とを備え、前記遅延調整装置は、請求項5あるいは請求項6に記載の遅延調整装置であることを特徴とする遠隔制御システム。

[請求項9] 制御対象装置から制御結果を受信し、前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対するむだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成し、前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴に基づいて前記遅延設定値を決定し、前記遅延設定値を送信し、前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信することを特徴とする遠隔制御方法。

[請求項10] 前記遅延量の前記履歴から未来の前記遅延量の上限値を算出し、前

記上限値を前記遅延設定値として使用する

ことを特徴とする請求項 9 に記載の遠隔制御方法。

[請求項11] 前記遅延量の前記履歴から所定の時系列モデルを同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記算出を行う

ことを特徴とする請求項 10 に記載の遠隔制御方法。

[請求項12] 前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する

ことを特徴とする請求項 9 から請求項 11 のいずれかに記載の遠隔制御方法。

[請求項13] 遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させ、

前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信し、
前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する

ことを特徴とする遅延調整方法。

[請求項14] 前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した時刻に前記制御データの
前記制御対象への前記出力を行う

ことを特徴とする請求項 13 に記載の遅延調整方法。

[請求項15] コンピュータに、

制御対象装置から制御結果を受信する制御結果受信機能と、
前記制御結果と遅延設定値に基づいて、前記制御対象装置に対する
むだ時間補償付きのフィードバック制御を行う制御データを生成する
制御データ生成機能と、

前記制御対象装置との間で送受信する送受信データの遅延量の履歴
に基づいて前記遅延設定値を決定する遅延設定値決定機能と、

前記遅延設定値を送信する遅延量送信機能と、

前記制御データと前記制御データの生成時刻を送信する制御データ
送信機能と、

を実現させることを特徴とする遠隔制御プログラム。

[請求項16] 前記遅延設定値決定機能は、前記遅延量の前記履歴から未来の前記遅延量の上限值を算出し、前記上限値を前記遅延設定値として使用する

ことを特徴とする請求項15に記載の遠隔制御プログラム。

[請求項17] 前記設定値決定機能は、前記遅延量の前記履歴から所定の時系列モデルを同定し、前記時系列モデルから未来の前記遅延量の確率分布を導出し、前記確率分布に基づいて前記遅延量の前記上限値の前記算出を行う

ことを特徴とする請求項16に記載の遠隔制御プログラム。

[請求項18] 前記むだ時間補償にスミス予測器を使用する

ことを特徴とする請求項15から請求項17のいずれかに記載の遠隔制御プログラム。

[請求項19] コンピュータに、

遠隔制御装置から制御データを受信して制御データ記憶部に記憶させる制御データ受信機能と、

前記遠隔制御装置のむだ時間補償で使用する遅延設定値を受信する遅延設定値受信機能と、

前記遅延設定値および前記制御データの生成時刻に基づいて前記制御データ記憶部の前記制御データを制御対象へ出力する制御データ出力機能と、

を実現させることを特徴とする遅延調整プログラム。

[請求項20] 前記制御データ出力機能は、前記生成時刻から前記遅延設定値を経過した時刻に前記制御データの前記制御対象への前記出力を行う

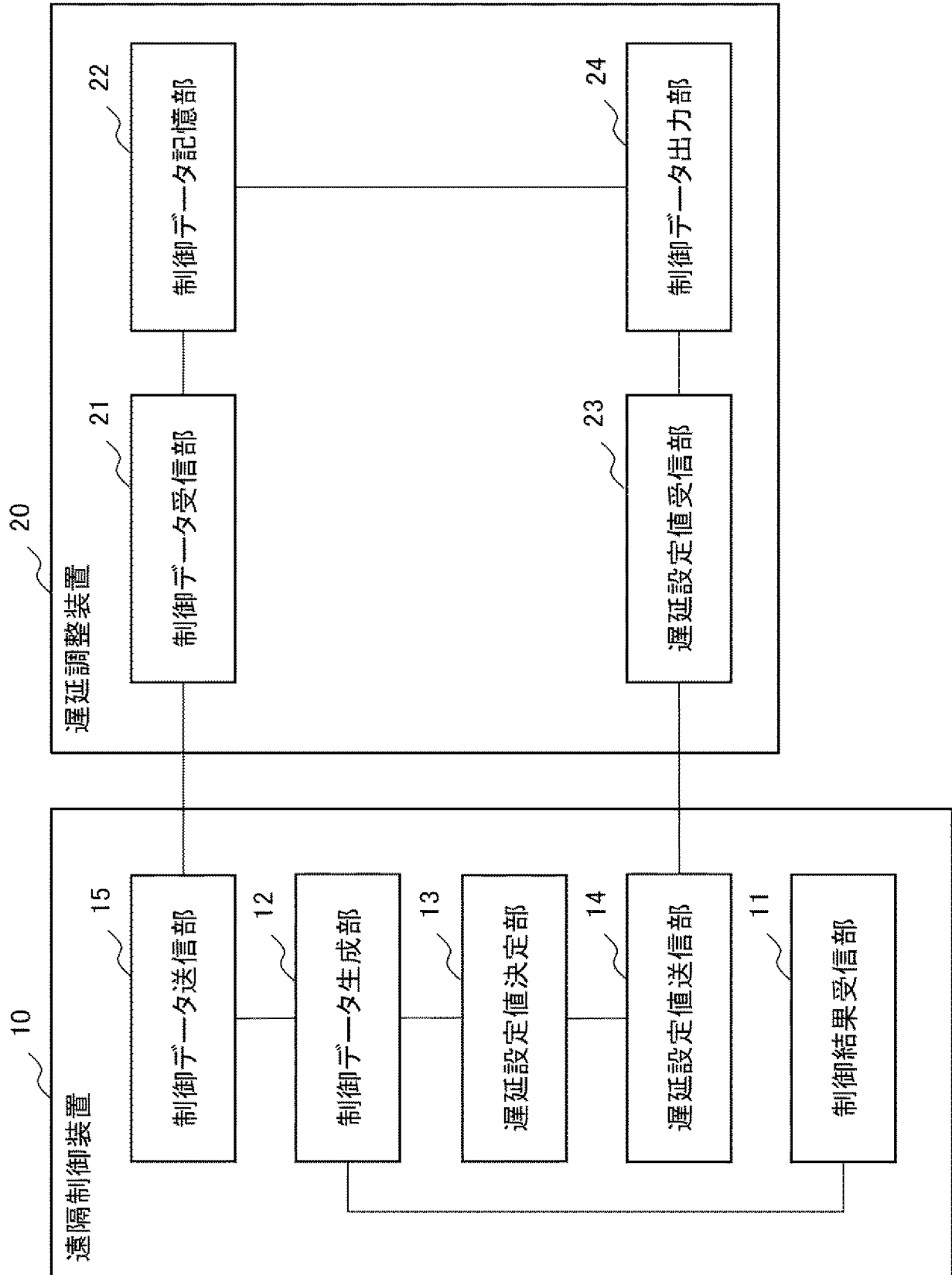
ことを特徴とする請求項19に記載の遅延調整プログラム。

[請求項21] 請求項15から請求項18のいずれかに記載の遠隔制御プログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

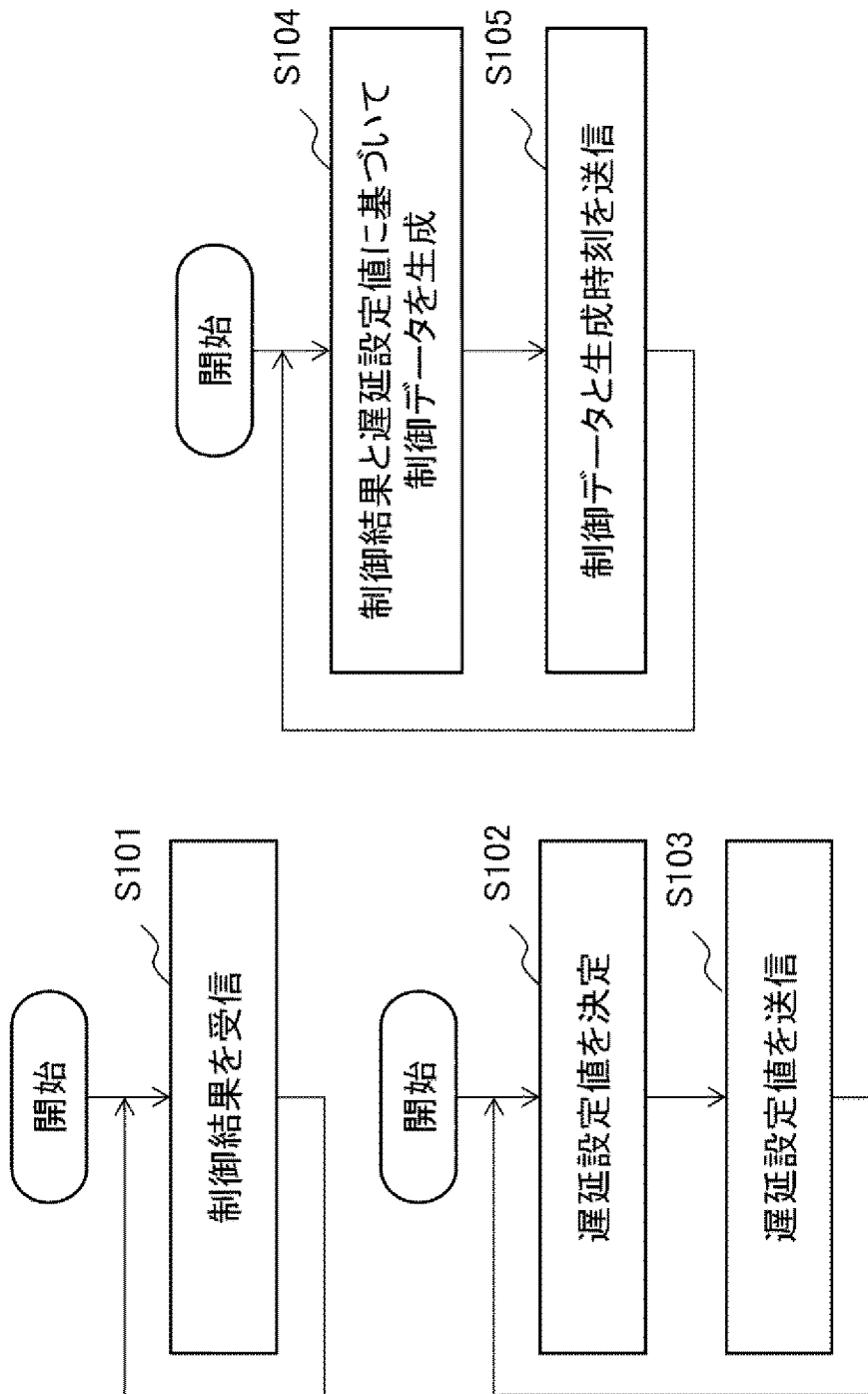
[請求項22] 請求項19あるいは請求項20のいずれかに記載の遅延調整プログ

ラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

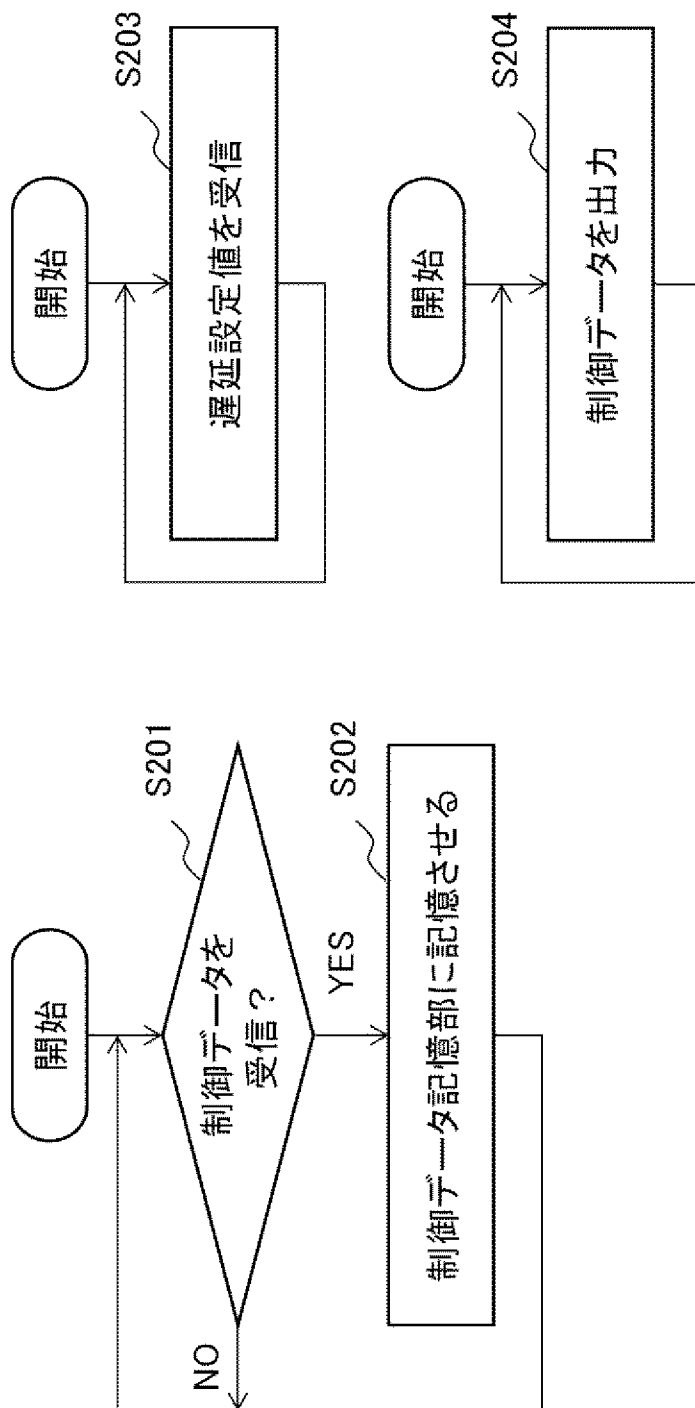
[図1]



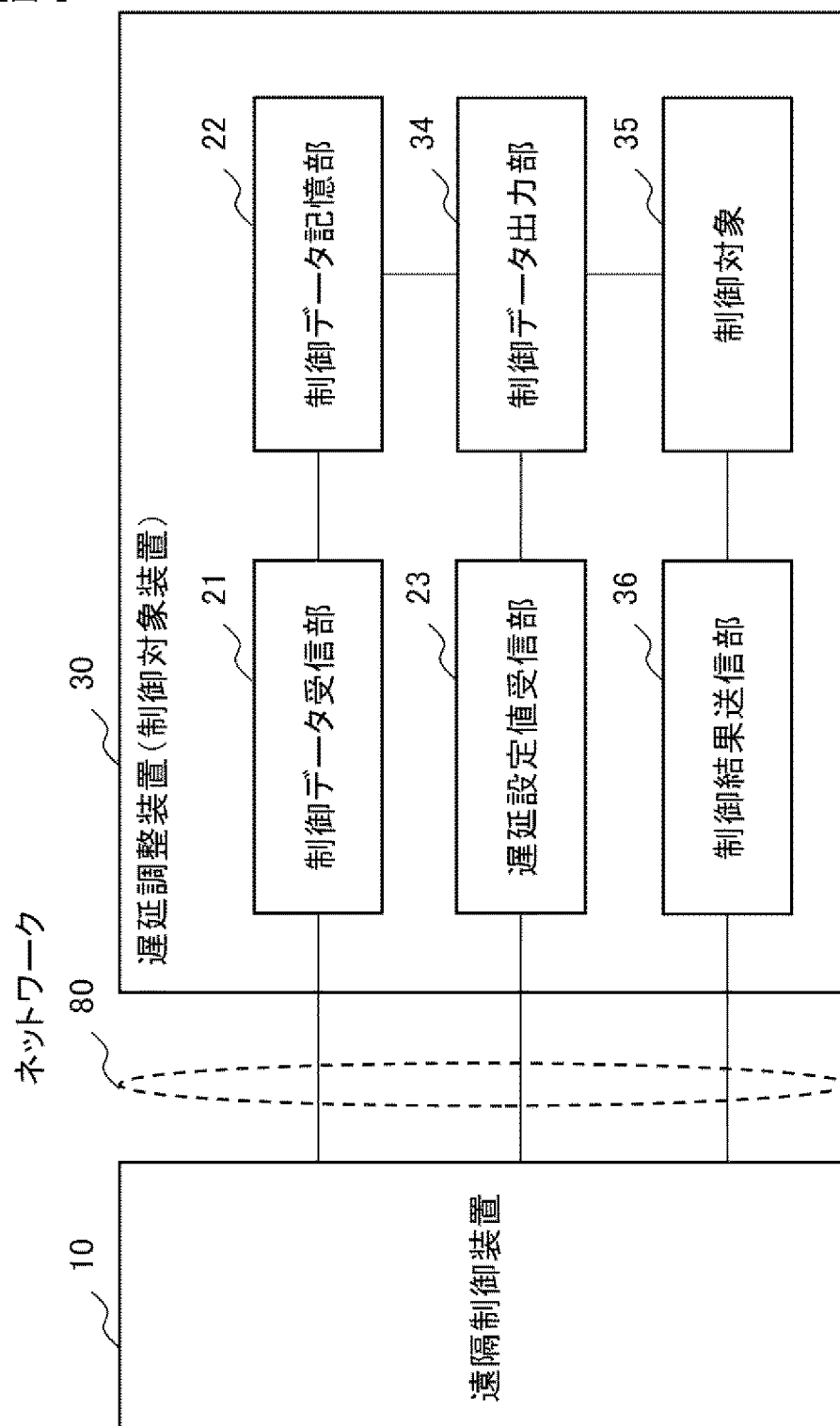
[図2]



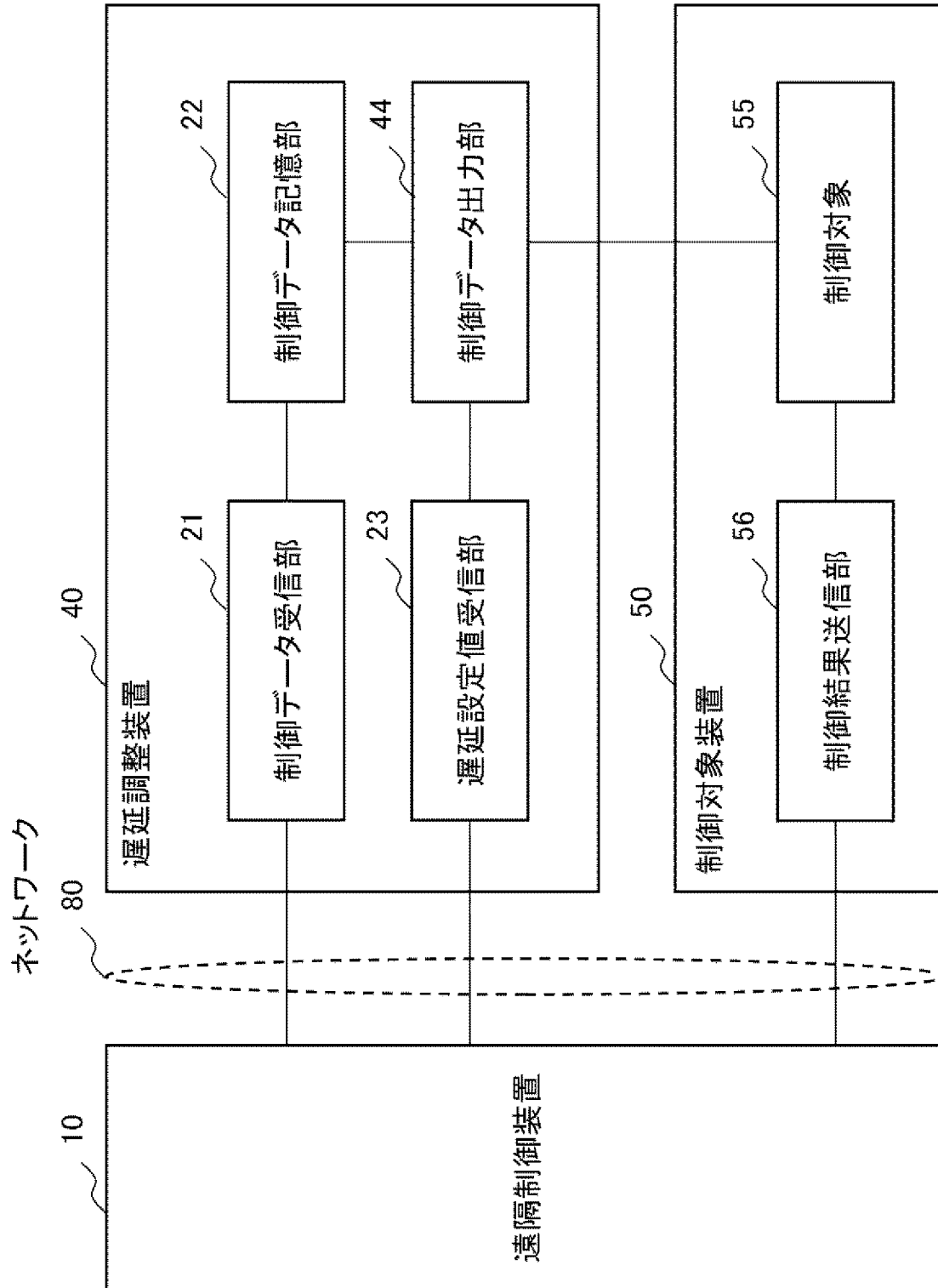
[図3]



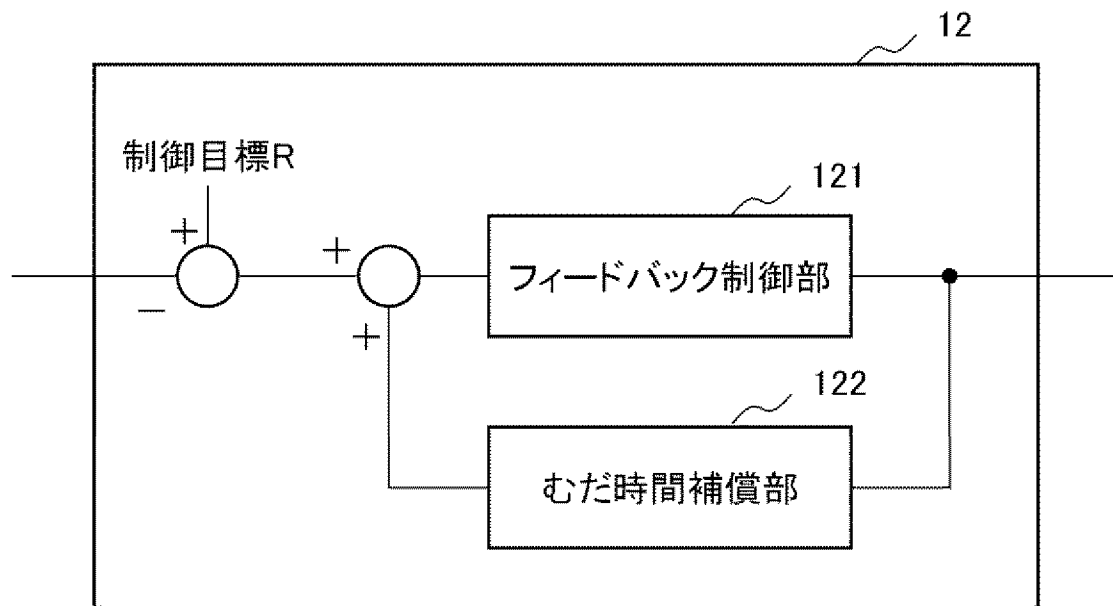
[図4]



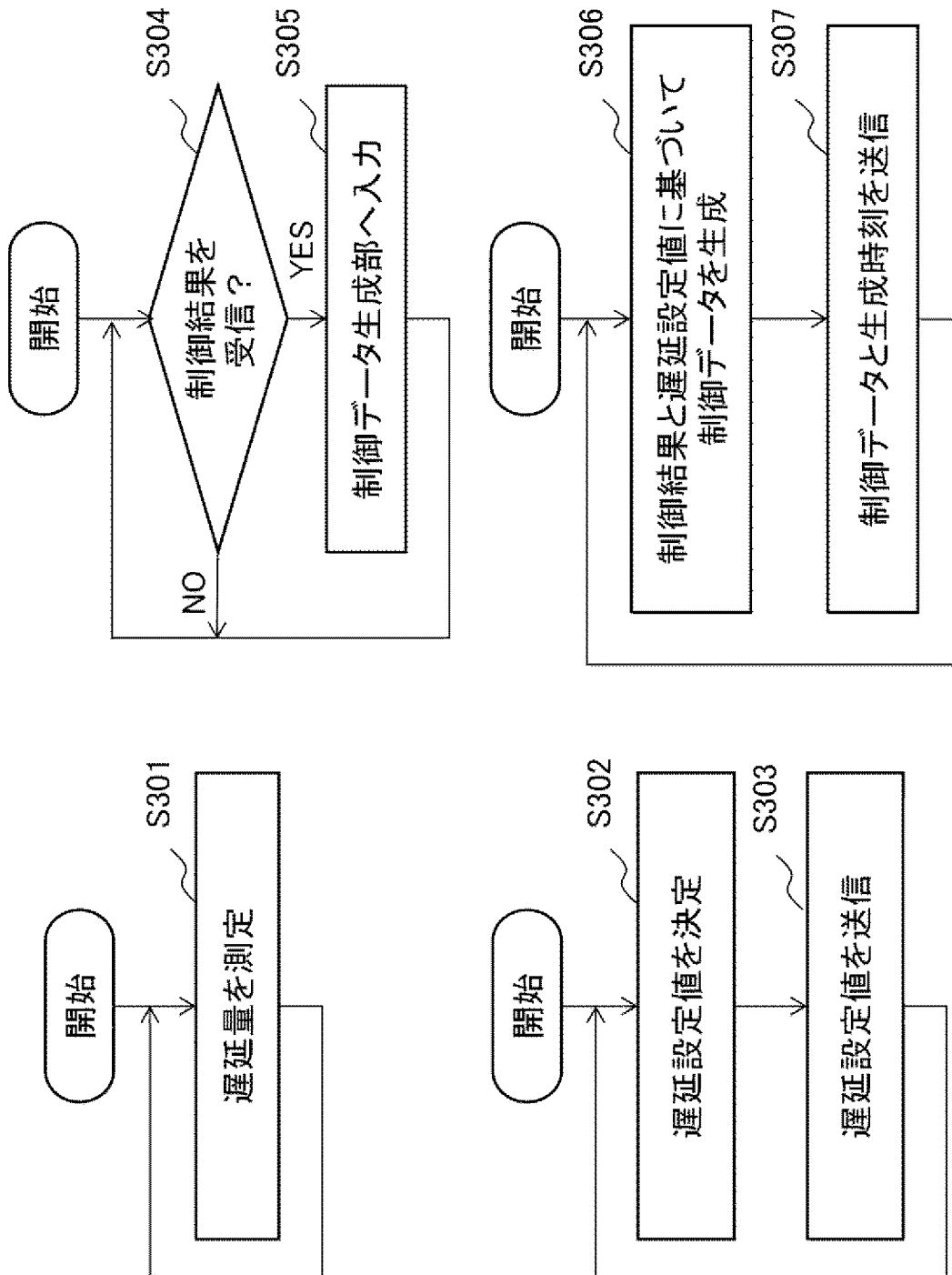
[図5]



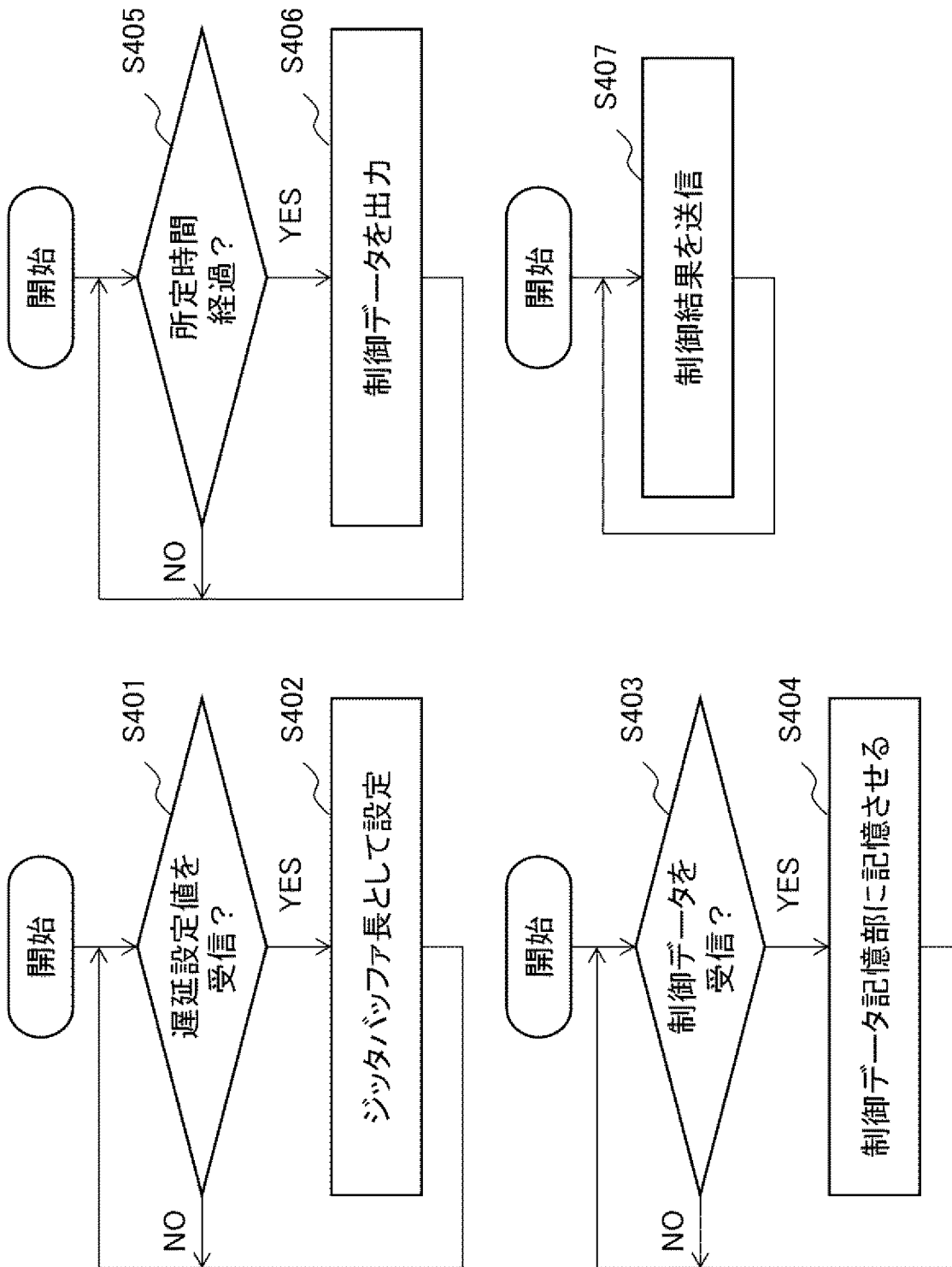
[図6]



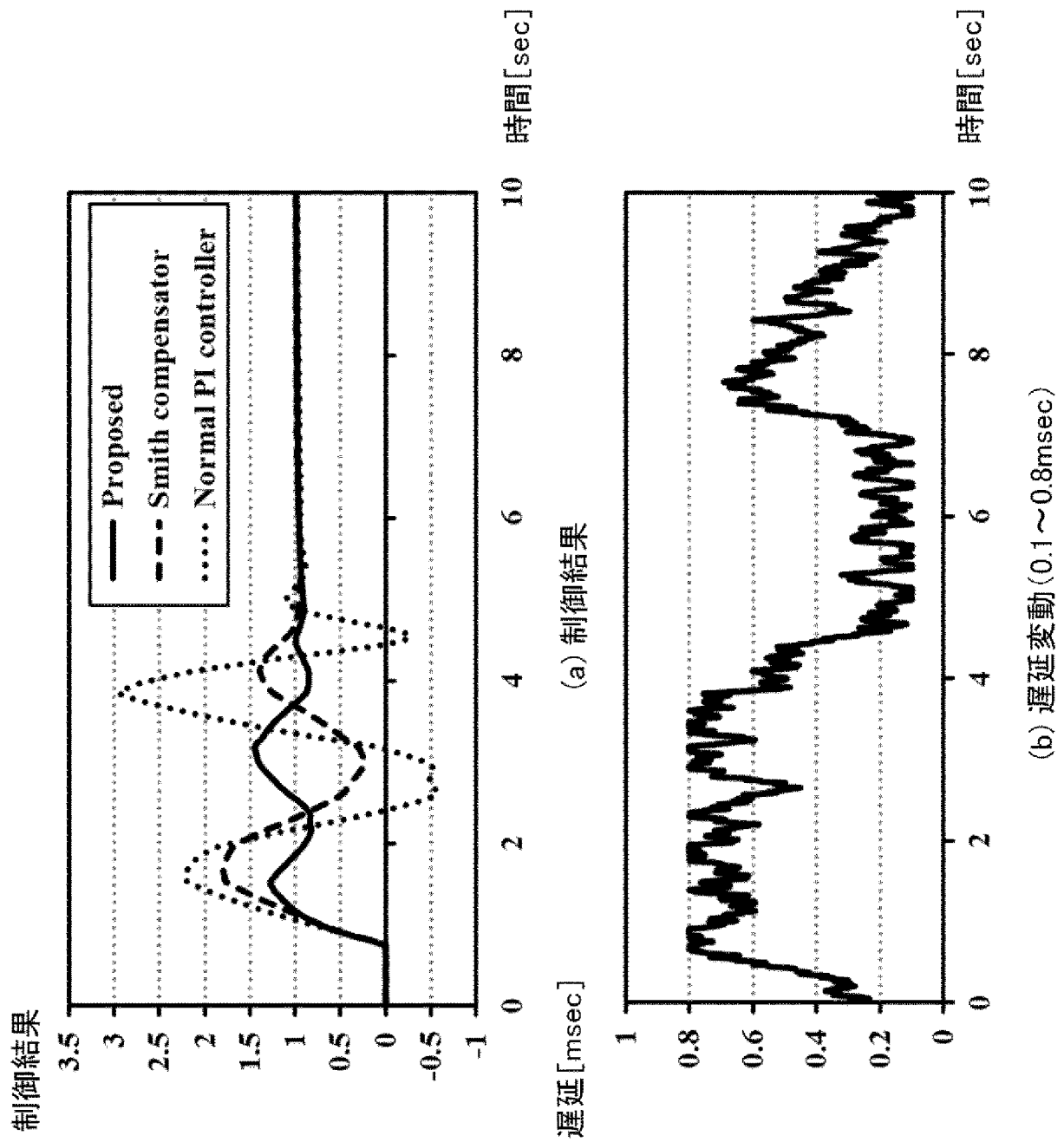
[図7]



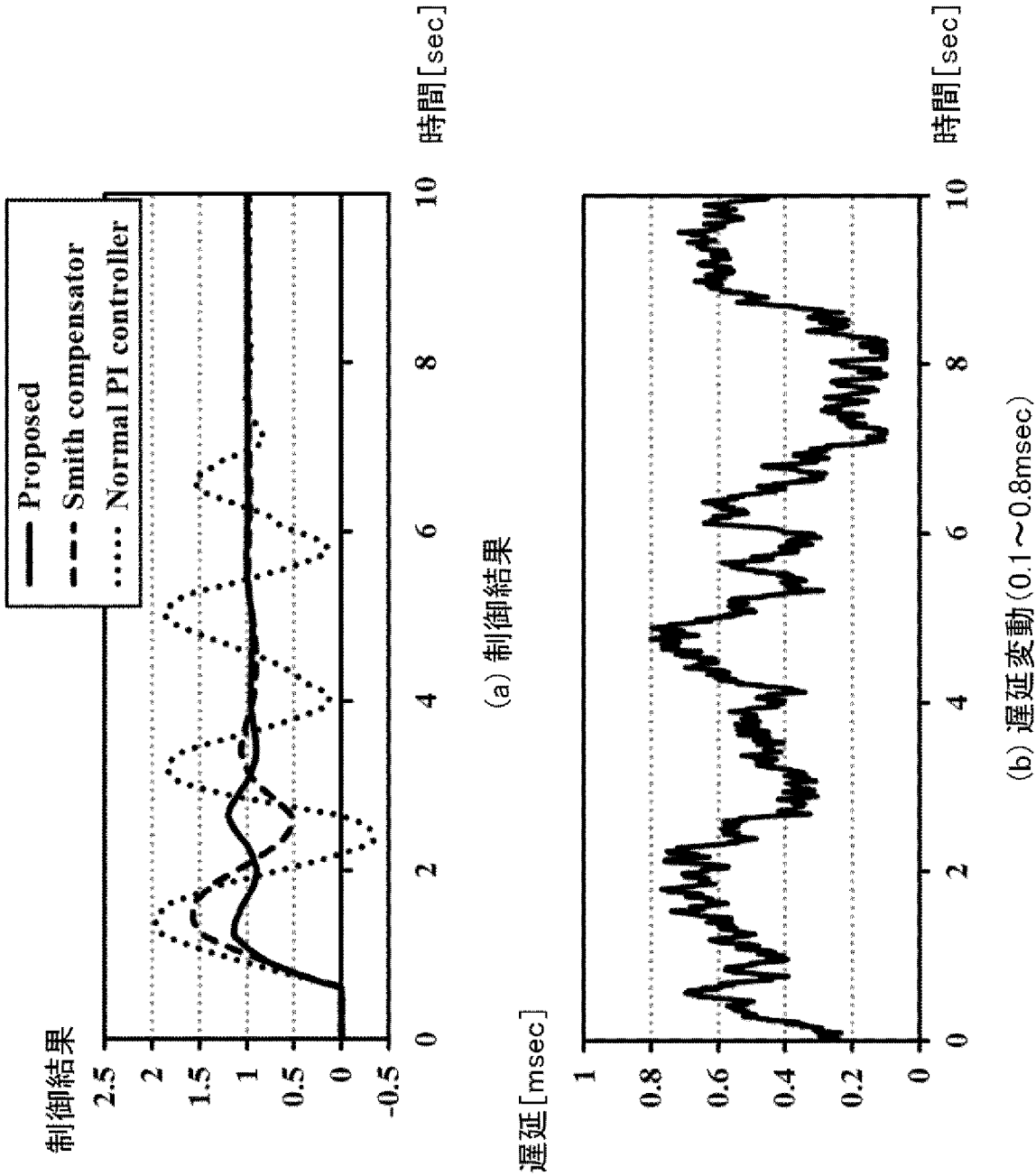
[図8]



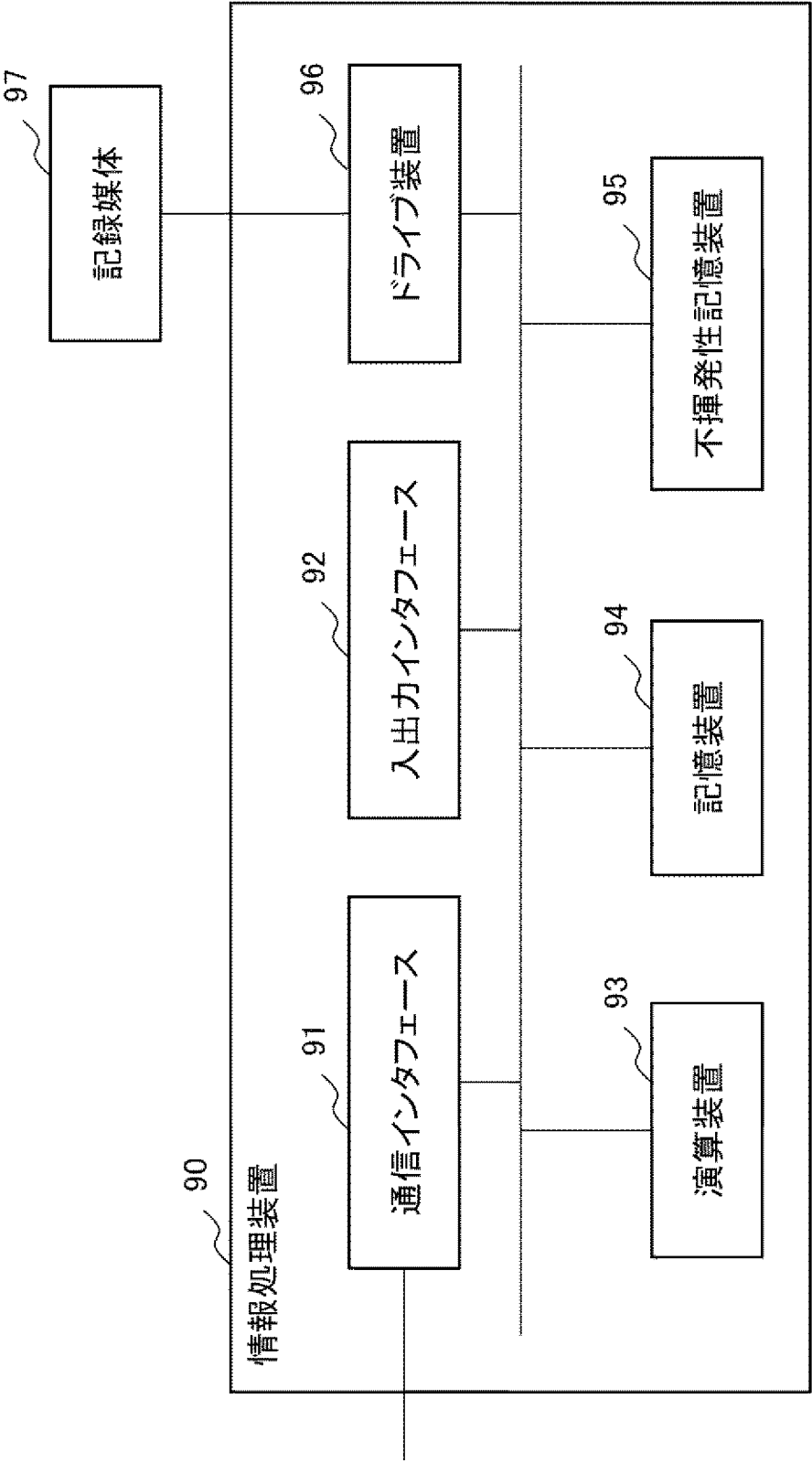
[図9]



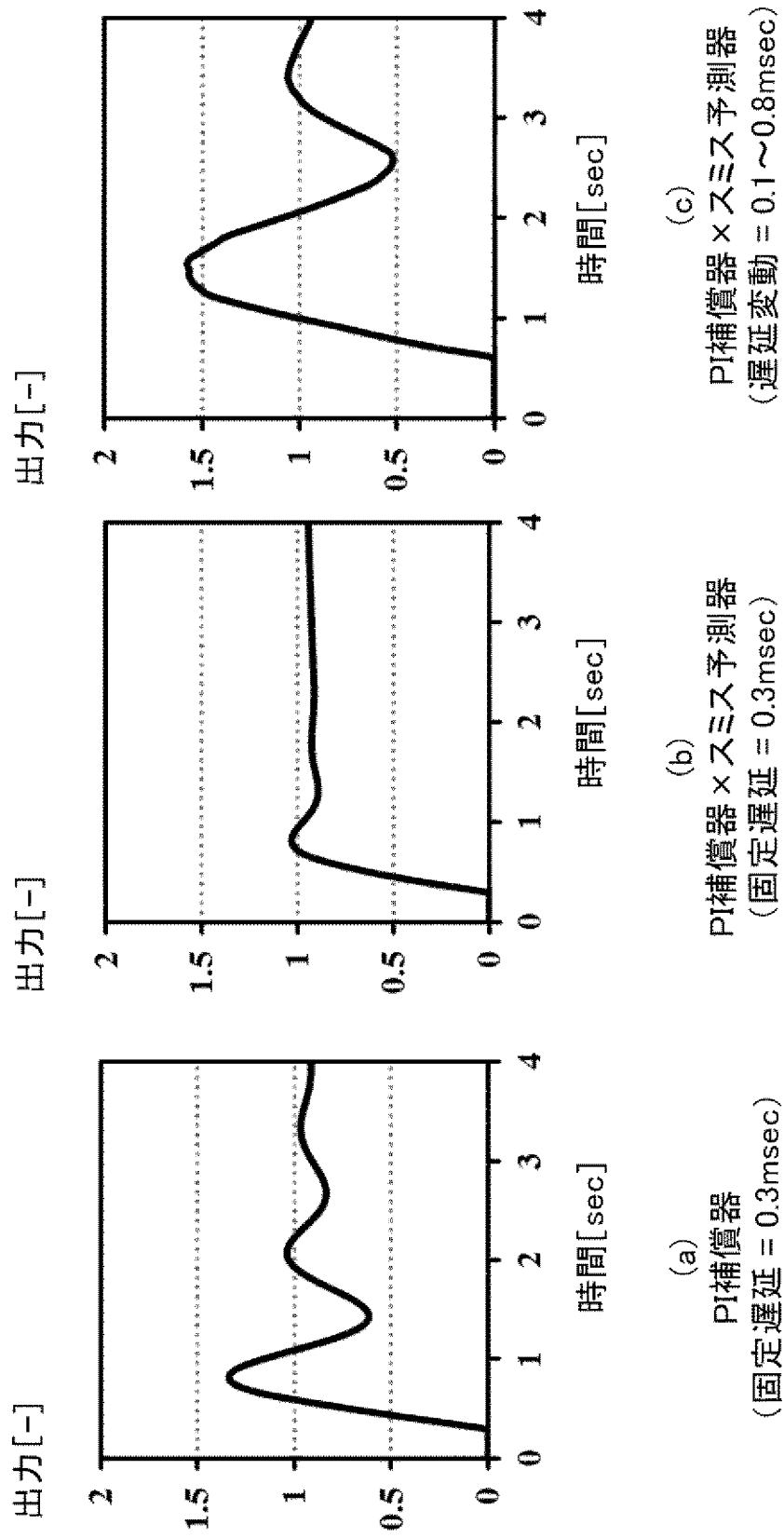
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/028647

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B11/36(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)

G05B11/36

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
Y	JP 5565431 B2 (Yokogawa Electric Corp.), 06 August 2014 (06.08.2014), paragraphs [0014] to [0039]; fig. 1 to 4 & US 2015/0304193 A1 paragraphs [0040] to [0066]; fig. 1 to 4 & WO 2013/157386 A1 & EP 2840449 A1 & CN 104040442 A	1-22
Y	JP 11-65609 A (Toshiba Corp.), 09 March 1999 (09.03.1999), paragraphs [0038] to [0042]; fig. 6 & US 6243610 B1 column 11, line 46 to column 13, line 15; fig. 6	1-22

☐ 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
16 October 2017 (16.10.17)

Date of mailing of the international search report
24 October 2017 (24.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G05B11/36(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. G05B11/36

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
Y	JP 5565431 B2 (横河電機株式会社) 2014. 08. 06, 段落[0014]-[0039], 図 1-4 & US 2015/0304193 A1, 段落[0040]-[0066], 図 1-4 & WO 2013/157386 A1 & EP 2840449 A1 & CN 104040442 A	1-22
Y	JP 11-65609 A (株式会社東芝) 1999. 03. 09, 段落[0038]-[0042], 図 6 & US 6243610 B1, 第 11 欄第 46 行-第 13 欄第 15 行, 図 6	1-22

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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

16. 10. 2017

国際調査報告の発送日

24. 10. 2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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)

影山 直洋

3 U

5785

電話番号 03-3581-1101 内線 3364