

WO 2023/286141 A1



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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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: プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理システムであって、プロセッサは、配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理システム。

明 細 書

発明の名称： 管理システム、管理方法、および管理プログラム
技術分野

[0001] 本開示は、管理システム、管理方法、および管理プログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、排水施設における排水管網の最適な制御を行う管理システムが知られている。このようなシステムとして、例えば特許文献1には、排水施設の各制御点での操作と圧力変化に基づく物理モデルを構築し、モデルに対して計測されたプロセス値（圧力、流量）を入力することで、制御弁の開度を推論する処理が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平2－183814号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、このような排水施設の場合、圧力および流量の変化を考慮して制御弁の開度を調整すれば足りる。

一方、化学プラントのように、生成物をタンクに貯留する配管ラインの場合には、タンク内の貯留量や様々な機器の経時的な圧力バランスの変化、前工程の供給量等、配管ラインのそれぞれの分岐ラインの処理量に対して影響を与える因子が多岐に渡り、運転の状態により処理能力が変動する。

このような運転の状態の変化により変動する最大処理量を、運転条件などに基づいて正確に把握することが生産性最大化を維持する場合に特に求められていた。

[0005] そこで、本開示では、流体を処理する配管ラインの運転条件から、配管ラインにおける最大処理量の正確な推定を行うことができる管理システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の管理システムは、プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理システムであって、プロセッサは、配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理システム。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、流体を処理する配管ラインの運転条件から、配管ラインにおける最大処理量の正確な推定を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]管理システムの全体の構成を示す図である。
[図2]管理システムを構成するサーバの機能的な構成を示す図である。
[図3]サーバが記憶するデータベースの構造の一例について説明する。
[図4]管理システム1における制御処理の概要を説明する図である。
[図5]サーバが実行する推定演算を説明する図である。
[図6]管理システム1の動作フローを示す図である。
[図7]管理システム1における出力画面の例を示す図である。
[図8]変形例に係る管理システム1の制御処理の概要を示す図である。
[図9]変形例1に係る管理システム1のサーバ20が実行する推定演算を説明する図である。
[図10]複数の配管ラインから構成される配管システムの例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照しつつ、本開示の実施の形態について説明する。以下の説明では、同一の部品には同一の符号を付してある。それらの名称及び機能も同じである。したがって、それらについての詳細な説明は繰り返さない。

[0010] <1 概要>

以下、配管ラインの管理システム１（以下、単に管理システム１）という。この管理システム１は、例えば、LNG（Liquefied Natural Gas：液化天然ガス）プラントや石油化学プラントのように、化学反応による様々な生産工程を経由して化学製品を製造するための設備群において、各種の流体を処理する配管ラインの運転条件の制御を行うためのシステムである。なお、管理システム１は、下水設備や浄水設備のような、大規模な化学反応を伴わずに、流体を処理する設備に用いられてもよい。

[0011] プラントに配置される設備とは、LNGプラントを例に説明すると、液化処理の対象である原料ガス中に含まれる酸性ガス（ H_2S 、 CO_2 、有機硫黄等）を除去する酸性ガス除去設備、除去された酸性ガスから単体硫黄を回収する硫黄回収設備、原料ガス中に含まれる水分を除去する水分除去設備、原料ガスの冷却や液化に用いられる冷媒（混合冷媒、プロパン冷媒等）の圧縮設備等が含まれる。ここで、プラントの機器とは、そのプラントの目的に応じて敷設された各種の機器（以下、各機器という）のことをいう。各機器の具体例としては、配管、タンク、ポンプ、バルブ、熱交換器、等が挙げられる。

[0012] 以下、管理システム１について説明する。以下の説明では、ユーザが、ユーザ端末１０からサーバ２０へアクセスすることにより、サーバ２０が、各機器のセンサから取得された計測値を用いて、後述する各種の演算を行う。サーバ２０は、演算結果をユーザ端末１０に向けて送信する。ユーザ端末１０は、サーバ２０が演算した結果を、ユーザに向けて提示する。また、サーバ２０は、演算結果に基づいて、配管ラインにおける各機器の運転条件を決定し、運転条件により各機器の状態をチェックして管理する。

[0013] <２ 管理システム１の全体構成>

次に、管理システム１の全体構成について説明する。図１は、管理システム１の全体の構成を示す図である。

図１に示すように、管理システム１は、複数のユーザ端末１０と、サーバ２０と、を含む。ユーザ端末１０とサーバ２０とは、ネットワーク８０を介

して相互に通信可能に接続されている。ネットワーク 80 は、有線または無線ネットワークにより構成される。

管理システム 1 には、ネットワーク 80 を介して制御対象となる配管ラインが敷設された工場におけるセンシングデータベース 30 が接続されている。

[0014] ユーザ端末 10 は、各ユーザが操作する装置である。ここで、ユーザとは、ユーザ端末 10 を使用して管理システム 1 の機能である配管ラインの制御を担当する者をいう。ユーザ端末 10 は、据え置き型の PC (Personal Computer)、ラップトップ PC などにより実現される。その他、ユーザ端末 10 は、例えば移動体通信システムに対応したタブレットや、スマートフォン等の携帯端末であるとしてもよい。

[0015] ユーザ端末 10 は、ネットワーク 80 を介してサーバ 20 と通信可能に接続される。ユーザ端末 10 は、5 G、LTE (Long Term Evolution) などの通信規格に対応した無線基地局 81、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 などの無線 LAN (Local Area Network) 規格に対応した無線 LAN ルータ 82 等の通信機器と通信することにより、ネットワーク 80 に接続される。

図 1 に示すように、ユーザ端末 10 は、通信 IF (Interface) 12 と、入力装置 13 と、出力装置 14 と、メモリ 15 と、記憶部 16 と、プロセッサ 19 とを備える。

[0016] 通信 IF 12 は、ユーザ端末 10 が外部の装置と通信するため、信号を入力出力するためのインタフェースである。

入力装置 13 は、ユーザからの入力操作を受け付けるための入力装置（例えば、キーボードや、タッチパネル、タッチパッド、マウス等のポインティングデバイス等）である。

[0017] 出力装置 14 は、ユーザに対し情報を提示するための出力装置（ディスプレイ、スピーカ等）である。

メモリ 15 は、プログラム、及び、プログラム等で処理されるデータ等を

一時的に記憶するためのものであり、例えばD R A M (Dynamic Random Access Memory) 等の揮発性のメモリである。

[0018] 記憶部 1 6 は、データを保存するための記憶装置であり、例えばフラッシュメモリ、H D D (Hard Disc Drive) である。

プロセッサ 1 9 は、プログラムに記述された命令セットを実行するためのハードウェアであり、演算装置、レジスタ、周辺回路などにより構成される。

[0019] サーバ 2 0 は、各種機器および各種配管の情報、制御を行う運転条件に関する情報、および演算処理に用いられる物理モデルに関する情報を管理する装置である。

サーバ 2 0 は、ユーザ端末 1 0 を操作するユーザから、配管ラインの運転条件の制御に関する指示・現在の運転状態等の入力を受け付ける。

[0020] 具体的には、サーバ 2 0 は、例えば、各機器の運転条件、およびセンサによる計測値の取得を行い、これらの値を物理モデルに代入することで、最大処理量の推定を行う。そして、推定された最大処理量から、運転余力や圧力バランス、異常の検出等の後述する各種の処理を行う。サーバ 2 0 は、処理の結果をユーザ端末 1 0 へ表示させる。

[0021] サーバ 2 0 は、ネットワーク 8 0 に接続されたコンピュータである。サーバ 2 0 は、通信 I F 2 2 と、入出力 I F 2 3 と、メモリ 2 5 と、ストレージ 2 6 と、プロセッサ 2 9 とを備える。

[0022] 通信 I F 2 2 は、サーバ 2 0 が外部の装置と通信するため、信号を入出力するためのインタフェースである。

入出力 I F 2 3 は、ユーザからの入力操作を受け付けるための入力装置、及び、ユーザに対し情報を提示するための出力装置とのインタフェースとして機能する。

[0023] メモリ 2 5 は、プログラム、及び、プログラム等で処理されるデータ等を一時的に記憶するためのものであり、例えばD R A M (Dynamic Random Access Memory) 等の揮発性のメモリである。

ストレージ 26 は、データを保存するための記憶装置であり、例えばフラッシュメモリ、HDD (Hard Disc Drive) である。

プロセッサ 29 は、プログラムに記述された命令セットを実行するためのハードウェアであり、演算装置、レジスタ、周辺回路などにより構成される。

[0024] <3 サーバ 20 の機能的な構成>

次に、サーバ 20 の機能的な構成について説明する。

図 2 は、管理システム 1 を構成するサーバ 20 の機能的な構成を示す図である。図 2 に示すように、サーバ 20 は、通信部 201 と、記憶部 202 と、制御部 203 としての機能を発揮する。

[0025] 通信部 201 は、サーバ 20 が外部の装置と通信するための処理を行う。

[0026] 記憶部 202 は、サーバ 20 が使用するデータ及びプログラムを記憶する。記憶部 202 は、プロセスデータ DB 2021、機器データ DB 2022、物理モデルデータベース 2023、演算結果データベース 2024 を記憶している。

[0027] プロセスデータ DB 2021 は、各機器を流れる流体の状態に関する各種の物理量をセンシングするセンサにより取得された計測値を記憶するデータベースである。詳細は後述する。

[0028] 機器データ DB 2022 は、各機器の状態に関する各種の物理量をセンシングするセンサにより取得された計測値を記憶するデータベースである。詳細は後述する。

[0029] 物理モデルデータベース 2023 は、各機器の運転特性（物理特性）から構築される物理モデルを記憶するデータベースである。このような物理モデルについてバルブを例に挙げて説明する。バルブの流量特性として、バルブ内の流体の流量は、バルブの開度を変数とした関数で記述される。この関数は、バルブの設計値により特定される。物理モデルは、このようなバルブの設計値に基づいて流量の特性を記述する関数を指す。物理モデルは、配管ラインを構成する各機器それぞれについて予め算出され、物理モデルデータベ

ース２０２３に記憶されている。

[0030] 演算結果データベース２０２４は、サーバ２０における各種の演算結果を記憶するデータベースである。具体的には、演算結果データベース２０２４は実測した計測値を後述する物理モデルを用いた演算に利用するための中間処理としての計算結果を記憶する。また、演算結果データベース２０２４は、物理モデルを用いた演算からの出力結果を記憶する。

[0031] 制御部２０３は、サーバ２０のプロセッサ２９がプログラムに従って処理を行うことにより、各種モジュールとして、送受信制御モジュール２０３１、計測値取得モジュール２０３２、演算モジュール２０３３、状態判定モジュール２０３４、および運転制御モジュール２０３５としての機能を発揮する。

[0032] 送受信制御モジュール２０３１は、サーバ２０が外部の装置に対し通信プロトコルに従って信号を送受信する処理を制御する。

[0033] 計測値取得モジュール２０３２は、各機器に設けられたセンサから、当該センサが取得した計測値を取得する。管理システム１が計測値を取得するセンサは、第１センサと第２センサとを含む。

[0034] 第１センサは、運転条件における前記配管ラインを流れる流体の状態を示すプロセスデータ（ヒストリアンデータ）を計測する。第１センサとしては、各機器に予め設けられる流量計、温度計、圧力計、水位計等が挙げられる。第１センサは、各機器に内蔵されている。

[0035] 第２センサは、運転条件における前記各機器の状態を示す機器データを計測するセンサである。第２センサには、ＩｏＴセンサと呼ばれる各機器に後付けされる外部モジュールにより構成されるセンサ群が含まれる。ＩｏＴセンサとは、ネットワークと接続され、サーバ２０に測定データを送信するセンサを指す。第２センサには、バルブの開度を機械的に計測する開度センサが含まれる。なお、第２センサは、外部モジュールにより構成されるセンサ群でなくてもよく、各機器に予め設けられたセンサであってもよい。

[0036] 演算モジュール２０３３は、物理モデルデータベース２０２３に記憶され

た物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ラインの運転状態を推定する。

演算モジュール2033が推定する運転状態としては、配管ライン全体における流体の最大処理量、運転余力、各機器の圧力バランス等が含まれる。詳細は後述する。

[0037] 状態判定モジュール2034は、演算モジュール2033が推定した最大処理量に基づいて、各機器の性能の劣化を検出する。詳細は後述する。

[0038] 運転制御モジュール2035は、演算モジュール2033が推定したパラメータに基づいて、運転条件を決定して提案する。具体的には、例えば、運転制御モジュール2035は、運転余力の範囲内で、各機器に含まれるバルブの開度を提案する。また、運転制御モジュール2035は、各機器の性能の劣化の程度等を踏まえて各機器の運転条件を提示する。提示された運転条件に基づいて、新たな運転条件をオペレータが検討することができる。

[0039] <4 データ構造>

次に、サーバ20が記憶するデータベースの構造の一例について説明する。

図3は、サーバ20が記憶するデータベースの構造の一例を示す図である。なお、この図はあくまで一例であり、データベースの構造は任意に変更することができる。

図3に示すように、プロセスデータDB2021および機器データDB2022のレコードのそれぞれは、項目「センサID」と、項目「機器名称」と、項目「センサ名称」と、項目「計測値」と、を含む。

[0040] 項目「センサID」は、センサを識別するための情報である。

[0041] 項目「機器名称」は、センサIDに対応する各センサが取り付けられる機器の種類を示す情報である。機器名称には、例えば、ポンプA、ポンプB、ポンプC、…のような機器の種類と機器を識別するための名称の情報が格納されている。なお、機器を示す名称は、所定の規格等により指定された記号でもよく、メーカーにより指定された型番等でもよい。

[0042] 項目「計測値」は、センサ 1 D に対応する各センサが取得した計測値を示す値である。

[0043] <5 制御処理の概要>

以下、管理システム 1 における制御処理の概要について説明する。

図 4 は、管理システム 1 における制御処理の概要を説明する図である。

図 4 に示すように、工場では、各機器に設けられた第 1 センサおよび第 2 センサにより、センシングが行われる。取得されたセンサデータは、時系列に沿ってセンシングデータベース 30 に蓄積される。

[0044] 取得されたセンサデータは、中継器を介して、サーバ 20 に送信される。サーバ 20 に送信されたセンサデータは、一部はその後の演算に用いるために必要な加工が行われる。必要な加工としては、例えば、2 点間の圧力差を示す差圧を計算、又は流量の差を計算するといった処置が行われる。

[0045] 次に、演算モジュール 2033 において、物理モデル、センサデータ、および加工データを用いた推定演算の処理が行われる。推定演算の詳細は後述する。推定演算により得られた結果が予測値としてユーザ端末 10 に送信される。予測値は、加工値およびセンサデータとともに、ユーザ端末 10 の表示画面に表示される。

[0046] <6 推定演算の概要>

以下、物理モデルを用いたパラメータの推定処理の概要について説明する。

例えば、配管における流体の圧力損失は、以下のモデル式 (1) により記述されることが知られている。

数式 1

[0047] 配管の圧力損失 $= K * f(F, \rho) \cdots (1)$

k : 損失パラメータ

F : 流体の流量

ρ : 流体の密度

$f(F, \rho)$: 流体の流量と密度を変数とする関数

* : 積を表す

[0048] ここで、パラメータ k は、配管の形状、および配管内部の汚れ具合によって決まるパラメータである。パラメータ k は、基本的には運転条件によらず一定であるが、内部の汚れや詰まりなどにより変化する可能性がある。

これを踏まえて、ある系の配管システムを例に挙げて、推定演算を説明する。図5はサーバ20が実行する推定演算を説明する図である。

[0049] 図5Aに示す配管ラインでは、左上の容器から、右下のタンクに向けて流体が流れる配管ラインである。配管の途中には、ポンプPとバルブVが設けられている。

この場合、物理モデルとして、以下のモデル式(2)が成り立つ。

数式2

[0050]
$$P_c(t) = P_1(t) + \text{Pump } f(F(t), \rho(t), \text{act. pump curve}) - k_1(t) * f(F(t), \rho(t), \text{Machine.in}) \dots$$

(2)

P_1 : 容器圧力

P_c : 中間地点 (バルブとポンプの間) における圧力

$\text{Pump } f(F(t), \rho(t), \text{act. pump curve})$: ポンプによる昇圧

$k_1(t) * f(F(t), \rho(t), \text{Machine.in})$: 容器から中間地点までの圧力損失

Machine.in : 中間地点直後の機器への流入圧力

$k_1(t)$: 容器から中間地点までの損失パラメータ

[0051] 式(2)において、ポンプによる昇圧は、流量 F 、密度 ρ 、およびact. pump curveと示されたポンプカーブを変数とした関数で記述されることを示している。ポンプカーブとは、ポンプの物理特性を流量の関数として記述する関数である。ポンプカーブはポンプの設計値により概ね決まり、経年劣化等により緩やかに変化していく。

[0052] また、図5Aに示す配管ラインにおいて、物理モデルとして、以下のモデル式(3)が成り立つ。

数式3

[0053]

$$\begin{aligned}
 &P2(t) \\
 &= P_c(t) - CV \cdot f(F(t), \rho(t), act.OP(t), CV \text{ curve}) - k2(t) * f(F(t), \rho(t) Machine.out) \dots (3)
 \end{aligned}$$

$P_c(t)$: 中間地点 (バルブとポンプの間) における圧力
 $P2(t)$: タンク圧力
 $CV \cdot f(F(t), \rho(t), act.OP(t), CV \text{ curve})$: バルブによる減圧
 $k2(t) * f(F(t), \rho(t) Machine.out)$: 中間地点からタンクまでの圧力損失
 $Machine.out$: 中間地点直後の機器からの流出圧力
 $k2(t)$: 中間地点からタンクまでの損失パラメータ

[0054] 式(3)において、バルブによる減圧は、流量 F 、密度 ρ 、および $act.OP(t)CV \text{ curve}$ と示されたバルブの開度 $act.OP(t)$ と、バルブカーブ $CV \text{ curve}$ と、を変数とした関数で記述されることを示している。バルブの開度は、第2センサにより計測される値である。バルブカーブは、バルブの物理特性を流量の関数として記述する関数である。バルブカーブはバルブの設計値により概ね決まり、経年劣化等により緩やかに変化していく。

そして、これらのモデル式に入力される変数のうち、圧力、流量、密度等は、第1センサにより計測され、バルブの開度は第2センサにより計測される。

[0055] これら式(2)または式(3)は、システム中の機器配置や構成によって変化するが、出口(または下流圧力)が入り口圧力に配管もしくはポンプなどの各機器の圧力変動を考慮することで算出できることを意味している。

式(2)では、入口圧力 P_1 とポンプによる昇圧、配管による圧力減少を計算することで下流 P_c の圧力を求めており、式(3)では、入口圧力 P_c とバルブによる減圧と配管による圧力減少を計算することで出口圧力 P_2 を求めることができる。

[0056] ここにおいて計算した出口圧力と実測した出口圧力が一致するようなパラメータを選定することで、現実を再現するパラメータが決定でき、物理モデルの妥当性を検証することができる。そして、妥当性が確認された物理モデルを用いて、流量を変化させた際の圧力バランスを確認すると、それぞれの流量における圧力を推定することができる。例えば、バルブの開度を最大として物理モデルに代入することで、最大流量、およびその時の圧力バランス

を推定できる。

[0057] なお、この説明では、出口圧力を求める式としているが、入口圧力を推算する形にしてもよいし、計算したいパラメータは任意に変更することができる。また、式（２）および式（３）に示した物理モデルはあくまで例示であり、適用される配管ラインの構造に応じて、任意に変更することができる。

[0058] これらのモデル式を用いて推定を行う際には、まず、損失パラメータ k_1 および k_2 の決定を行う。損失パラメータの決定は、過去データを参照して行われる。

[0059] 次に、物理モデルの検証を行う。図５Ｂに示すように、特定された損失パラメータを採用した物理モデルに対して、圧力（実測値）、バルブ開度（実測値）、流量（実測値）を代入し、タンク圧力の予測値を算出する。そして、タンク圧力の予測値が、タンク圧力の実測値と近い値を示すかどうかを確認する。図５Ｂの例では、算出されたタンク圧力が 195 kPa に対して、実測値が 200 kPa であり、実測値と比べて計算値が 2.5% 程度の誤差に収まっているため物理モデルが妥当であることが確認される。

[0060] なお、仮にタンク圧力の計算値と実測値とが乖離する場合には、物理モデルの損失パラメータが不適切である可能性、および各機器が劣化をしている可能性が懸念される。このうち、物理モデルの損失パラメータは、過去の運転条件および計測値から計算されるため、短期間で乖離が発生することは考えにくい。このため、タンク圧力の計算値と実測値とが乖離する場合には、各機器が劣化して、性能低下を起こしていると考えられる。このため、物理モデルに含まれる物理特性に対応する機器に異常が発生していると推定することができる。

[0061] 次に、最大処理量の推定演算を行う。この際、管理システム１は、遺伝的アルゴリズムを用いた解の探索により、最適な運転条件を決定し、当該運転条件に基づいて、最大処理量を推定する。具体的には、図５Ｃに示すように、バルブ開度として、バルブごとに設定された上限開度の値を設定する。この図の例では、バルブ開度を 85% として設定している。そして、流量の値

を変化させながら、タンク圧力の計算を行い、タンク圧力の計算値と、タンク圧力の計測値とが合致する流量の値を探索する。この図の例では、流量が $180 \text{ m}^3/\text{h}$ を示す運転条件において、タンク圧力の計算値と実測値とが一致している。このため、最大処理量が $180 \text{ m}^3/\text{h}$ であることが推定される（破線部）。

[0062] <7 管理システム1の動作>

以下、管理システム1の動作について説明する。図6は、管理システム1の動作フローを示す図である。

図6に示すように、サーバ20は、センシングデータベース30からセンサの計測値を取得する（ステップS100）。具体的には、サーバ20の計測値取得モジュール2032は、送受信制御モジュール2031を介して、センシングデータベース30の中継器から送信されたセンサの計測値を取得する。センサの計測値には、プロセスデータおよび機器データが含まれている。

[0063] ステップS100の後に、サーバ20は、センサの計測値を加工する（ステップS101）。具体的には、サーバ20の演算モジュール2033は、センサの計測値に対して、例えば、差圧の計算や流量差の計算といった、その後の演算において必要な加工とである計算処理を行う。

[0064] ステップS101の後に、サーバ20は、最大処理量の推定を行う（ステップS102）。具体的には、サーバ20の演算モジュール2033は、物理モデルに計測値および加工後の計測値を代入して、最大処理量を算出して推定する。最大処理量の算出は、前述したように、遺伝的アルゴリズムを用いた解探索により行ってもよい。遺伝的アルゴリズムを採用しない場合は、応答局面法により解探索を行ってもよい。この場合には、解の候補を予め一定量準備しておき、トライ＆エラーにより代入していくことで、適切な解を探索する。

[0065] ステップS102の後に、サーバ20は、運転余力を推定する（ステップS103）。具体的には、サーバ20の演算モジュール2033は、推定し

た最大処理量と、現時点での処理量との差分を求めることで、現時点でどの程度の運転余力があるかを推定する。

[0066] ステップS103の後に、サーバ20は、圧力バランスを推定する（ステップS104）。具体的には、サーバ20の演算モジュール2033は、計測されたセンサの圧力から、配管ラインの圧力バランスを確認する圧力バランスは、例えば予め設定された所定の閾値との比較により、正常かどうかを判断してもよい。圧力バランスに異常がある場合には、配管ラインのどこかに不具合が発生していることを検出することができる。

[0067] ステップS104の後に、サーバ20は、運転条件を決定する（ステップS105）。具体的には、サーバ20の演算モジュール2033は、演算モジュール2033が推定した結果に基づいて、最適な運転条件を決定する。例えば、推定された最大処理量に基づいて求められたバルブの開度を、運転条件として設定することもできる。また、推定された最適な運転条件を用いて、その後の運転条件を検討することもできる。

[0068] ステップS105の後に、サーバ20は、出力画面を表示する（ステップS106）。具体的には、サーバ20の送受信制御モジュール2031が、運転状態および予測値に関する出力画面をユーザ端末10に向けて出力する。

以上により、管理システム1の処理が終了する。

[0069] <8 画面例>

次に、管理システム1からの出力画面の例について説明する。図7は、管理システム1における出力画面の例を示す図である。なお、あくまでこの図は一例であり、出力画面は任意に変更することができる。

図7に示すように、ユーザ端末10における出力画面には、推定された最大処理量が表示されている（符号A）。最大処理量を確認することで、配管ラインの運転にどの程度余裕があるかを確認することができる。また、運転余力を同時に表示してもよい。

[0070] また、出力画面には、圧力のセンサによる実測値（符号B）と、推定され

た予測値（符号C）と、が表示されている。このように、出力画面には、実際の運転状態と、推定演算により算出された予測値と、が表示される。これらの値を比較することで、演算処理に用いている物理モデルの妥当性を確認することができる。

[0071] また、出力画面には、バルブの開度の実測値（符号D）と、推定された予測値（符号E）と、が表示されている。例えば、その後の運転条件を検討するうえで、推定された最大処理量を実現するために、予測されたバルブ開度を運転条件に設定してもよい。

[0072] また、出力画面には、配管ラインの圧力バランスが、正常かどうかという情報が表示されている（符号F）。仮に、圧力バランスに偏りがある場合は、正常でない旨の表示がされる。

[0073] <変形例>

次に、管理システム1の変形例について説明する。図8は、変形例に係る管理システム1の制御処理の概要を示す図である。変形例に係る管理システム1では、直前の実測値と用いたゴールシークにより、物理モデルのパラメータを探索し、推定された最適な解を用いて物理モデルを更新する処理が行われる。このような推定演算による物理モデルの更新について、図9を用いて説明する。図9は、変形例1に係る管理システム1のサーバ20が実行する推定演算を説明する図である。

[0074] 図9Aに示す配管ラインにおいて、現在のデータ（時刻 t ）からタンク圧力の実測値と、タンク圧力の予測値と、が合致するときのパラメータ k 値の解を、 $k1$ と $k2$ に様々な値を自動的に入力しながら遺伝的アルゴリズムを用いて探索する。これにより、最適なパラメータ k 値が決定する（図9Bにおける符号G）。

[0075] 次に、パラメータ k 値の決定後に、物理モデルにこの値を代入し、過去の蓄積されたプロセスデータを代入することで、物理モデルの妥当性を確認する。

[0076] 次に、図9Cに示すように、新たな次データ（時刻 $t+1$ ）が入力された際

に、既に得られたパラメータ k 値が入力された物理モデルに次データを代入し、バルブ開度を許容 MAX 値としたに場合の、流量の値を確認する。そして、タンク圧力の実測値と、タンク圧力の予測値が合致するような流量の解を、遺伝的アルゴリズムを用いて探索する。この図の場合では、符号※に示すように、最大処理量が $180 \text{ m}^3/\text{h}$ であることが推定される。

[0077] このように、直前のセンサによる実測値を用いた遺伝的アルゴリズムによる解の探索により、最適な物理モデルのパラメータを算出することで、物理モデルの更新を正確かつ容易に行うことができる。

[0078] <その他の変形例>

その他の変形例について説明する。

上記実施形態では、第2センサが取得する機器データとして、バルブ開度を例に挙げて説明したが、このような態様に限られない。第2センサが取得する機器データは、各機器の挙動に関する状態を示すデータであれば任意に変更することができる。

[0079] 上記実施形態では、最適な運転条件としてバルブ開度の推定を行ったが、このような態様に限られない。物理モデルを変更することで、様々な運転条件の最適値を推定することができる。例えば、運転制御モジュール2035は、推定した最大処理量から、各機器に含まれるタンクへの最適な圧送圧力を決定してもよい。この場合には、タンク入口の圧力を推定し、タンク内の液面高さに変換することで、圧送圧力を求めることができる。

[0080] 上記実施形態では、状態判定モジュール2034は、圧力バランスから各機器の不具合の検出を行ったが、このような態様に限られない。物理モデルを変更することで、状態判定モジュール2034は、前記配管ラインを構成する機器のうち、系全体におけるボトルネックとなる部分を特定してもよい。この場合には、評価対象となる配管ラインに対して、複数の評価区画を設定し、それぞれ区間に対して物理モデルを構築し、それぞれの区間において推定された最大処理量を比較することで、ボトルネックとなる部分を特定することができる。また、それぞれの区間において推定された最大処理量を比

較することで、互いに連結される複数の配管ラインにおける最大処理量のバランスを推定することもできる。

[0081] 例えば、図10に示すような複数の配管ラインから構成される配管システムにおいて、複数の評価区間PおよびQを設定し、それぞれの区間における最大処理量を評価することで、ボトルネックとなる部分を特定することができる。

[0082] 以上、開示に係る実施形態について説明したが、これらはその他の様々な形態で実施することが可能であり、種々の省略、置換及び変更を行なって実施することが出来る。これらの実施形態及び変形例ならびに省略、置換及び変更を行なったものは、特許請求の範囲の技術的範囲とその均等の範囲に含まれる。

また、各処理は、矛盾しない範囲で処理の順番を変更することができる。

[0083] 以上の各実施形態で説明した事項を、以下に付記する。

[0084] (付記1)

プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理システムであって、

プロセッサは、

配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、

各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理システム。

[0085] (付記2)

センサは、

配管ラインを流れる流体の状態を示すプロセスデータを計測する第1センサと、

各機器の状態を示す機器データを計測する第2センサと、を含む(付記1)に記載の管理システム。

[0086] (付記3)

第2センサが取得する機器データには、各機器に含まれるバルブの開度を機械的に計測したバルブ開度の実測値が含まれる、(付記2)に記載の管理システム。

[0087] (付記4)

プロセッサは、
推定された最大処理量に基づき、配管ラインの運転余力を算出し、
算出された運転余力の範囲内で、配管ラインの運転条件を決定するステップを実行する、(付記1)から(付記3)のいずれかに記載の管理システム。

[0088] (付記5)

運転条件を決定するステップでは、
算出された運転余力の範囲内で、各機器に含まれるバルブの開度を決定する、(付記4)に記載の管理システム。

[0089] (付記6)

プロセッサは、
推定した最大処理量に基づいて、配管ライン全体または各機器の運転状態を表示する、(付記1)から(付記5)のいずれかに記載の管理システム。

[0090] (付記7)

プロセッサは、
推定した最大処理量に基づいて、配管ライン全体の圧力バランスを推定する、(付記1)から(付記6)のいずれかに記載の管理システム。

[0091] (付記8)

プロセッサは、
推定した最大処理量に基づいて、
各機器に含まれるタンクへの圧送圧力を特定するステップを実行する、(付記1)から(付記7)のいずれかに記載の管理システム。

[0092] (付記9)

プロセッサは、

推定した最大処理量に基づいて、各機器の性能を評価し、各機器の性能の劣化を検出する、（付記１）から（付記８）のいずれかに記載の管理システム。

[0093] （付記１０）

プロセッサは、

蓄積された過去の計測値から、物理モデルを修正する、（付記１）から（付記９）のいずれかに記載の管理システム。

[0094] （付記１１）

プロセッサは、

配管ラインを構成する機器のうち、系全体におけるボトルネックとなる部分を特定するステップを実行する、（付記１）から（付記１０）のいずれかに記載の管理システム。

[0095] （付記１２）

プロセッサは、

互いに連結される複数の配管ラインにおける最大処理量のバランスを推定する、（付記１）から（付記１１）のいずれかに記載の管理システム。

[0096] （付記１３）

最大処理量を推定するステップにおいて、

遺伝的アルゴリズムを用いた解の探索により、最適な運転条件を決定し、当該運転条件に基づいて、最大処理量を推定する、（付記１）から（付記１２）のいずれかに記載の管理システム。

[0097] （付記１４）

プロセッサを備える管理システムが実行し、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理方法であって、

プロセッサは、

配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、

各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理方法。

[0098] (付記 15)

プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理プログラムであって、

プロセッサに、

運転条件における各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、

配管ラインを構成する各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得したセンサの計測値を入力することにより、運転を行う配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行させる管理プログラム。

符号の説明

- [0099] 1 管理システム
- 10 ユーザ端末
- 20 サーバ
- 22 通信 I/F
- 23 入出力 I/F
- 25 メモリ
- 26 ストレージ
- 29 プロセッサ
- 201 通信部
- 202 記憶部
- 203 制御部
- 2031 送受信制御モジュール
- 2032 計測値取得モジュール
- 2033 演算モジュール

2034 状態判定モジュール

2035 運転制御モジュール

30 センシングデータベース

80 ネットワーク

請求の範囲

- [請求項1] プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理システムであって、
- 前記プロセッサは、
- 前記配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、
- 前記各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得した前記センサの計測値を入力することにより、運転を行う前記配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理システム。
- [請求項2] 前記センサは、
- 前記配管ラインを流れる流体の状態を示すプロセスデータを計測する第1センサと、
- 前記各機器の状態を示す機器データを計測する第2センサと、を含む請求項1に記載の管理システム。
- [請求項3] 前記第2センサが取得する機器データには、前記各機器に含まれるバルブの開度を機械的に計測したバルブ開度の実測値が含まれる、請求項2に記載の管理システム。
- [請求項4] 前記プロセッサは、
- 推定された前記最大処理量に基づき、前記配管ラインの運転余力を算出し、
- 算出された前記運転余力の範囲内で、前記配管ラインの運転条件を決定するステップを実行する、請求項1から3のいずれか1項に記載の管理システム。
- [請求項5] 前記運転条件を決定するステップでは、
- 算出された前記運転余力の範囲内で、前記各機器に含まれるバルブの開度を決定する、請求項4に記載の管理システム。
- [請求項6] 前記プロセッサは、

推定した前記最大処理量に基づいて、配管ライン全体または各機器の運転状態を表示する、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項7] 前記プロセッサは、

推定した前記最大処理量に基づいて、前記配管ライン全体の圧力バランスを推定する、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項8] 前記プロセッサは、

推定した前記最大処理量に基づいて、
前記各機器に含まれるタンクへの圧送圧力を特定するステップを実行する、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項9] 前記プロセッサは、

推定した前記最大処理量に基づいて、前記各機器の性能を評価し、各機器の性能の劣化を検出する、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項10] 前記プロセッサは、

蓄積された過去の前記計測値から、前記物理モデルを修正する、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項11] 前記プロセッサは、

前記配管ラインを構成する機器のうち、系全体におけるボトルネックとなる部分を特定するステップを実行する、請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項12] 前記プロセッサは、

互いに連結される複数の前記配管ラインにおける前記最大処理量のバランスを推定する、請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項13] 前記最大処理量を推定するステップにおいて、

遺伝的アルゴリズムを用いた解の探索により、最適な運転条件を決

定し、当該運転条件に基づいて、前記最大処理量を推定する、請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の管理システム。

[請求項14] プロセッサを備える管理システムが実行し、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理方法であって、

前記プロセッサは、

前記配管ラインを構成する各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、

前記各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得した前記センサの計測値を入力することにより、運転を行う前記配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行する管理方法。

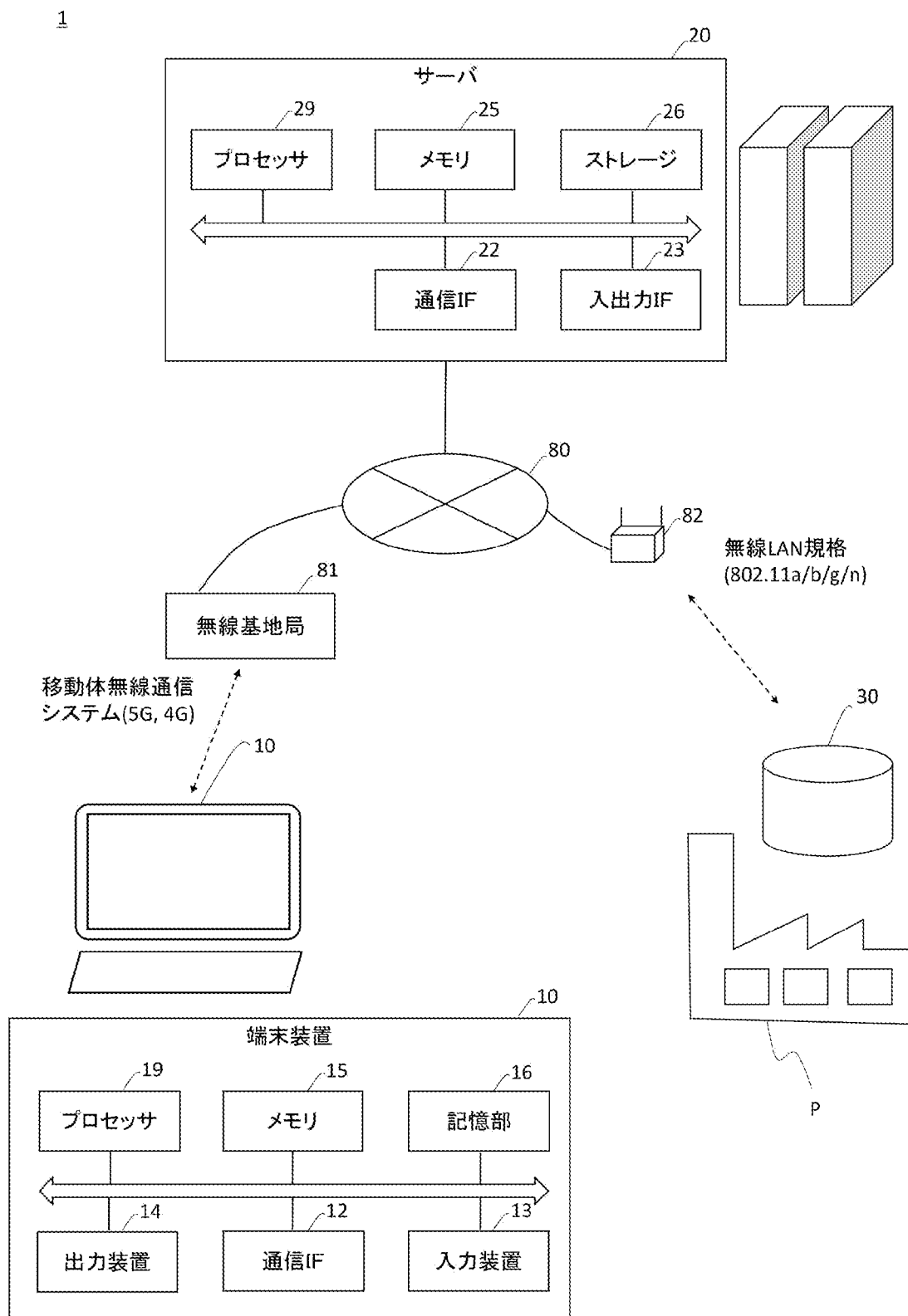
[請求項15] プロセッサを備え、流体を処理する配管ラインの運転条件を管理する管理プログラムであって、

前記プロセッサに、

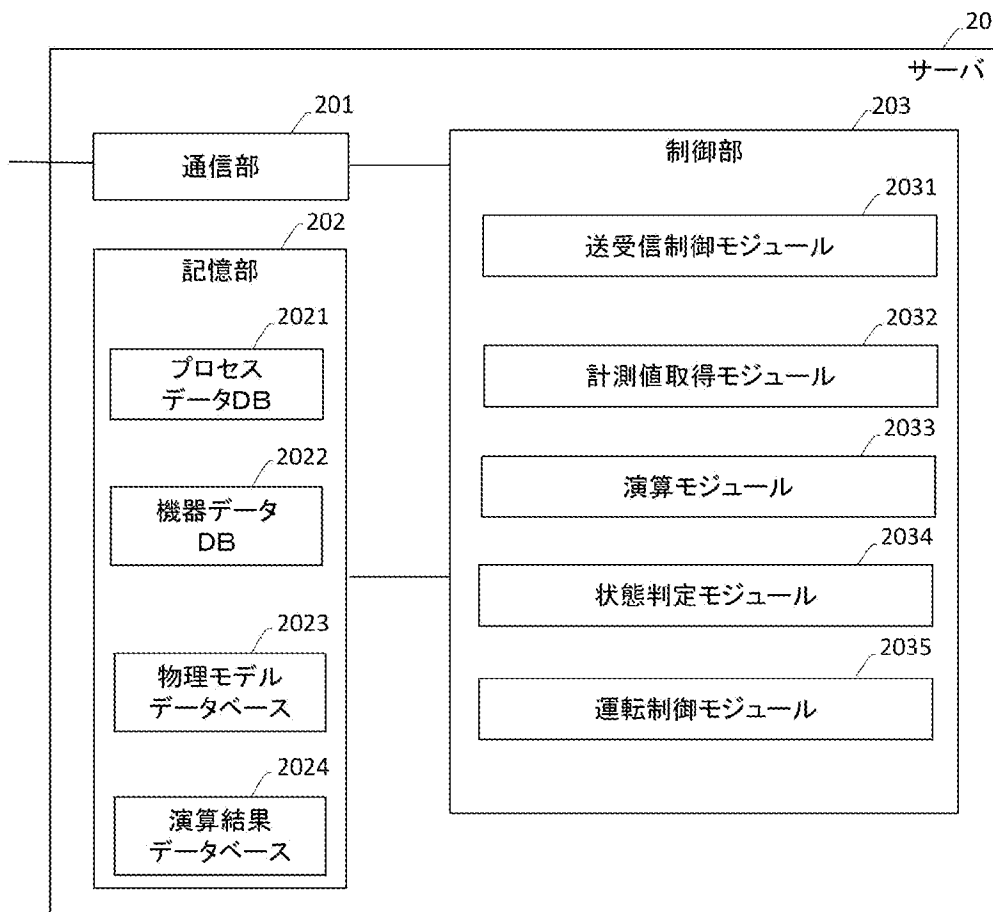
前記運転条件における前記各機器に設けられたセンサの計測値を取得するステップと、

前記配管ラインを構成する各機器それぞれの物理特性から構築された物理モデルに、取得した前記センサの計測値を入力することにより、運転を行う前記配管ライン全体における流体の最大処理量を推定するステップと、を実行させる管理プログラム。

[図1]



[図2]



[図3]

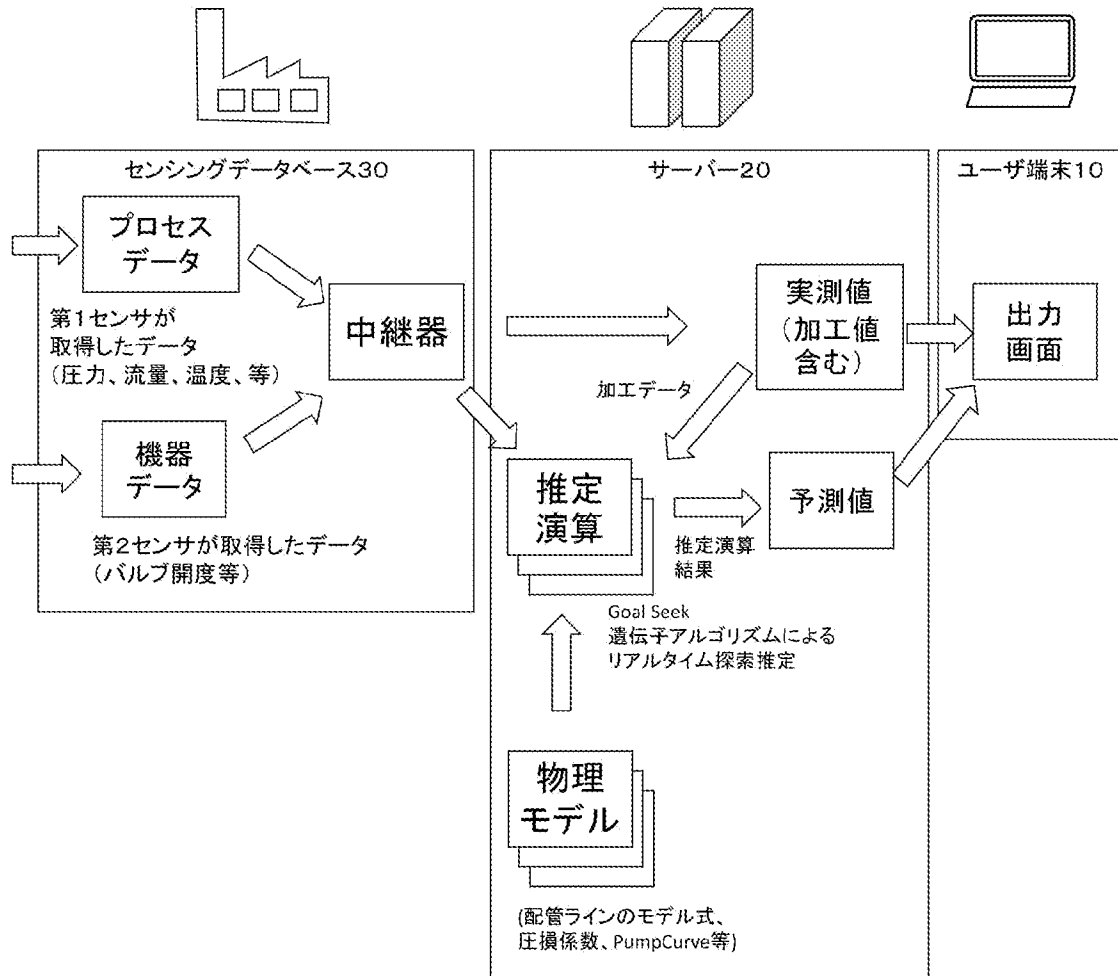
2021

プロセスデータDB			
センサID	機器名称	センサ名称	計測値
#10001	ポンプA	圧力計	...
#10002	ポンプA	流量計	...
#10003	ポンプA	温度計	...
...	ポンプB	圧力計	...
...	ポンプB	流量計	...
...	ポンプB	温度計	..
...	熱交換器	...	..
...	...	...	..
...	...	...	..
...	...	...	..

2022

機器データDB			
センサID	機器名称	センサ名称	計測値
#20001	バルブA	開度計	...
#20002	バルブB	開度計	...
#20003	バルブC	開度計	...
...	バルブD	開度計	...
...	...	...	...
...	...	...	..
...	...	...	..
...	...	...	..
...	...	...	..
...	...	...	..

[図4]



[図5]

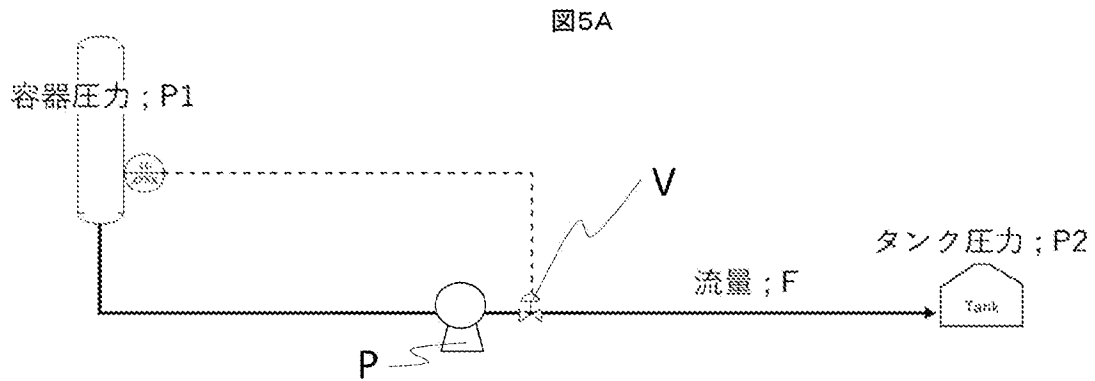


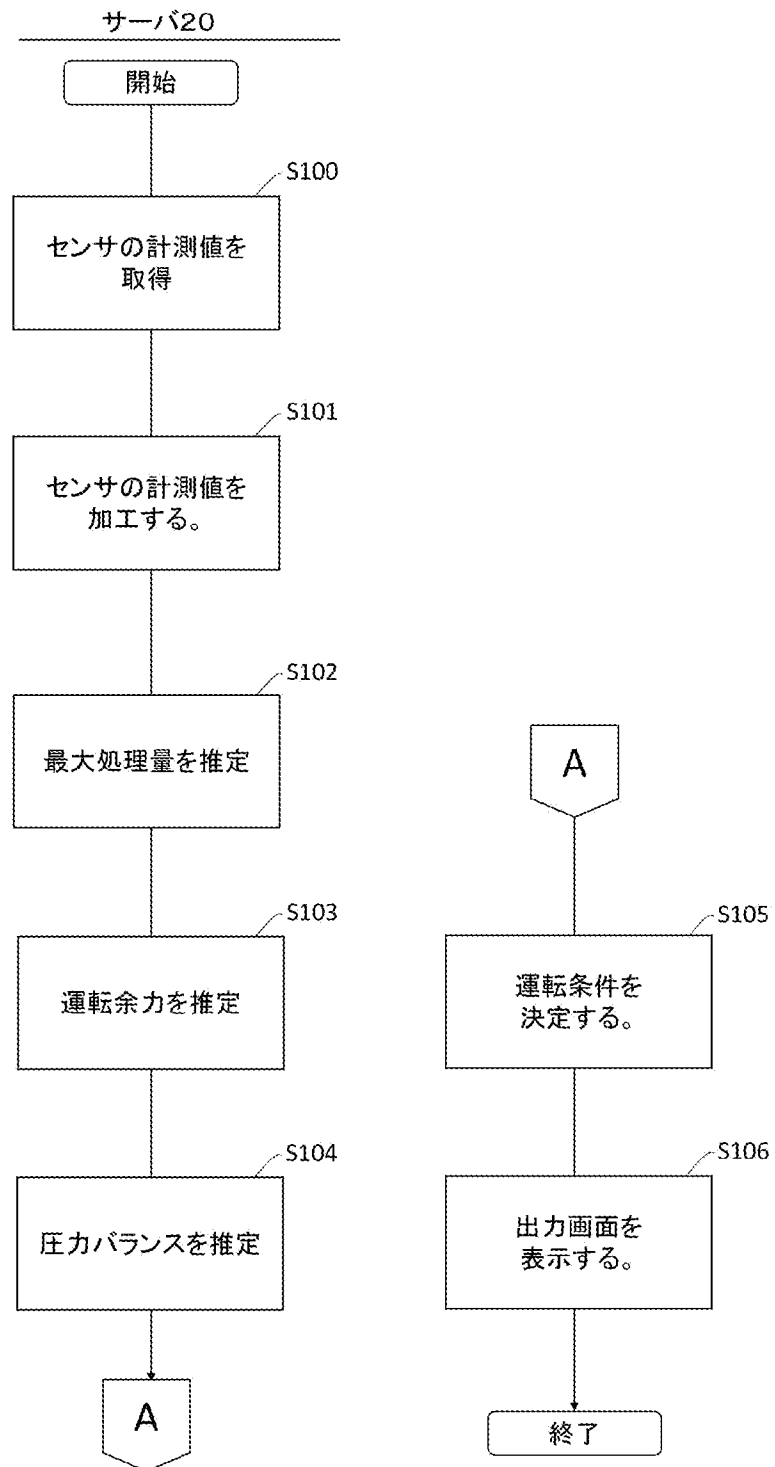
図5B

容器圧力 (実測値)	バルブ 開度 (実測値)	流量 (実測値)		タンク圧力 (予測値)		タンク圧力 (実測値)
P1				予測P2		P2
kPaG	%	m3/h		kPa		kPaG
500	55	120	=>	195	⇔	200

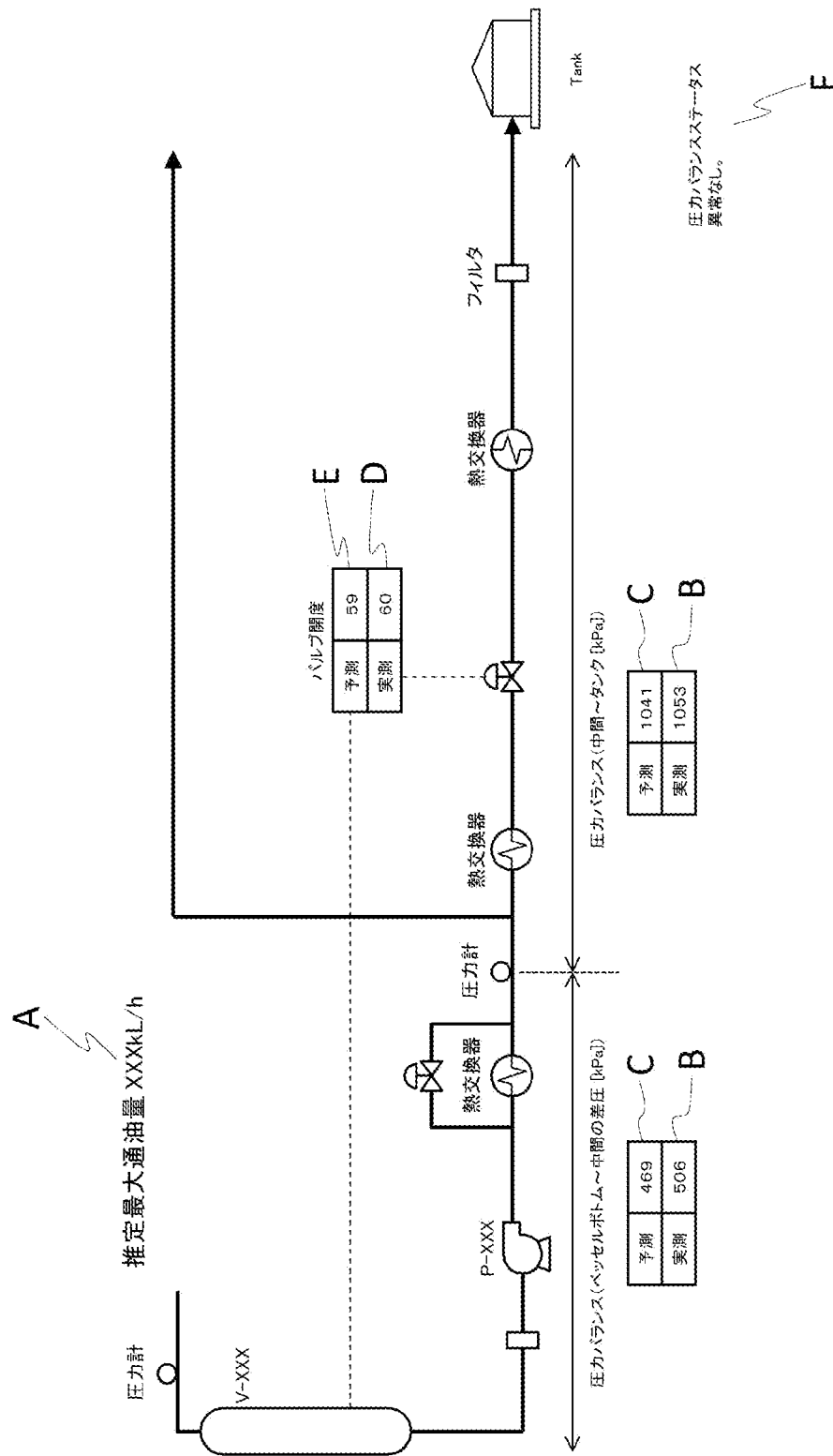
図5C

容器圧力 (実測値)	許容MAX開度	変数		タンク圧力 (予測値)		タンク圧力 (実測値)
P1	バルブ開度	流量		予測P2		P2
kPaG	%	m3/h		kPa		kPaG
500	85%	140	=>	300	⇔	200
500	85%	160	=>	250	⇔	200
500	85%	180	=>	200	⇔	200
500	85%	200	=>	150	⇔	200
500	85%	220	=>	100	⇔	200
500	85%	240	=>	50	⇔	200

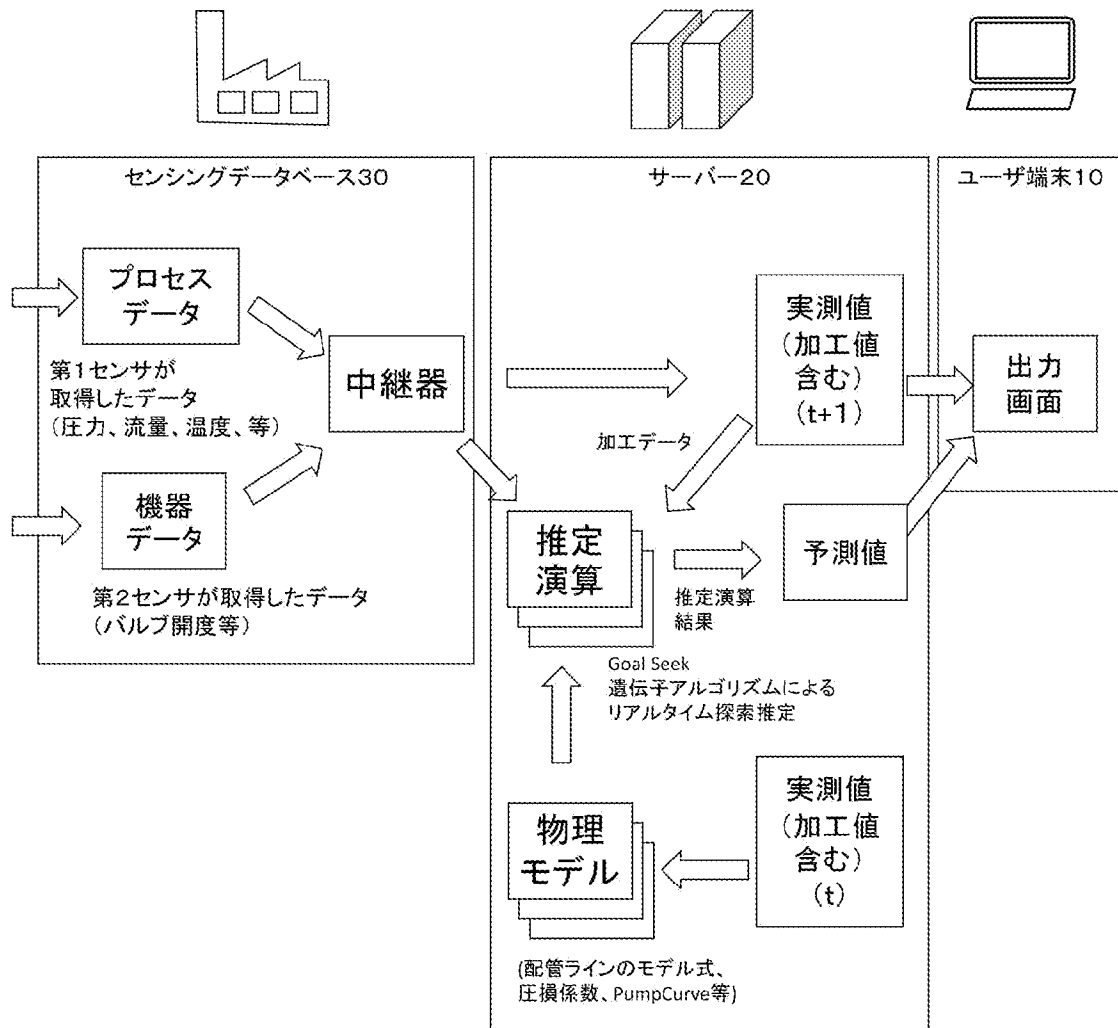
[図6]



[図7]



[図8]



[図9]

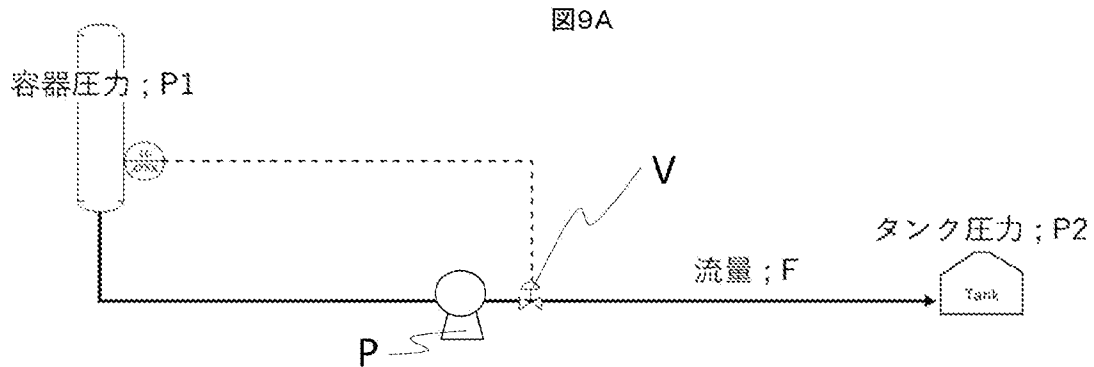


図9B

容器圧力 (実測値)	バルブ開度 実測値	流量実測値	Kpipe1 (変数)	ΔP_{pipe1}	Kpipe2 (変数)	ΔP_{pipe2}	ΔP_{cv}		タンク圧力 (予測値)		タンク圧力 (実測値)
P1									予測P2		P2
kPaG	%	m3/h	-	kPa	-	kPa	kPa		kPa		kPaG
500	55	120	1.75	-52.5	0.84	-58.8	-155	=>	233.7	=>	260
500	55	120	1.9	-57	1.03	-72.1	-155	=>	215.9	=>	200
500	55	120	1.94	-58.2	0.95	-66.5	-155	=>	220.3	=>	200
500	55	120	2.12	-63.6	1.54	-107.8	-155	=>	173.6	=>	200
500	55	120	1.83	-54.9	1.23	-86.1	-155	=>	204	=>	200

G

=>このk1に決定

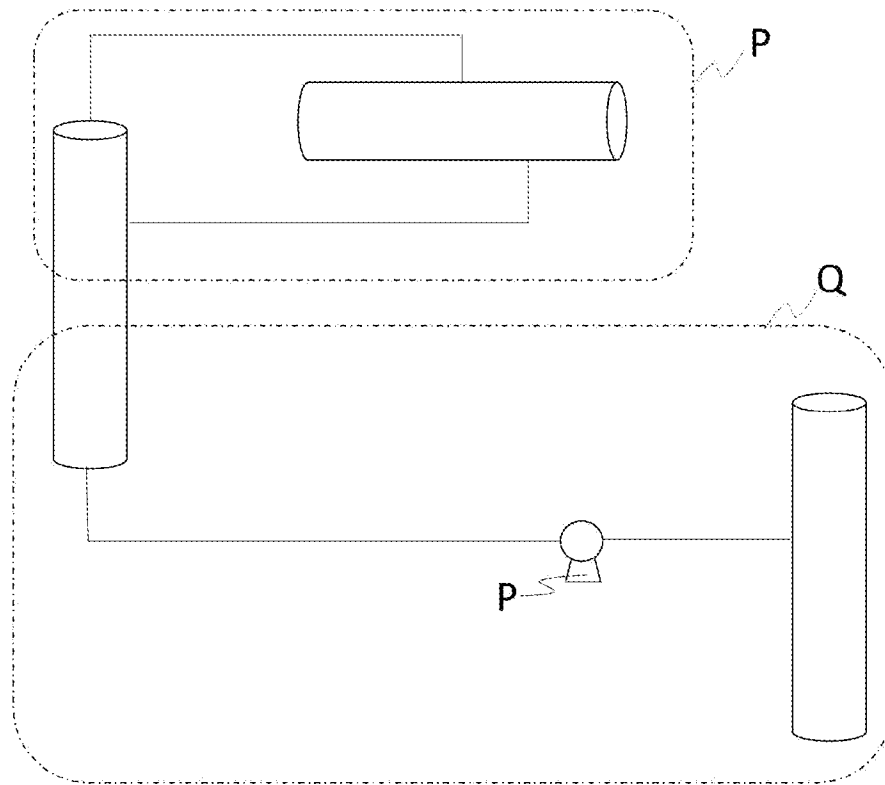
=>このk2に決定

G

図9C

容器圧力 (実測値)	許容MAX開度	変数	Kpipe1	ΔP_{pipe1}	Kpipe2	ΔP_{pipe2}	ΔP_{cv}		タンク圧力 (予測値)		タンク圧力 (実測値)
P1	バルブ開度	流量							予測P2		P2
kPaG	%	m3/h	-	kPa	-	kPa	kPa		kPa		kPaG
500	85%	140	1.83	-90	1.23	-100	-20	=>	300	=>	200
500	85%	160	1.83	-110	1.23	-120	-20	=>	280	=>	200
500	85%	180	1.83	-130	1.23	-140	-30	=>	260	=>	200
500	85%	200	1.83	-150	1.23	-160	-40	=>	150	=>	200
500	85%	220	1.83	-170	1.23	-180	-50	=>	100	=>	200
500	85%	240	1.83	-190	1.23	-200	-60	=>	50	=>	200

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/026199

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G05B 19/418**(2006.01)i

FI: G05B19/418 Z

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)

G05B19/418

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 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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 2004-310674 A (TOSHIBA CORP.) 04 November 2004 (2004-11-04) paragraphs [0001]-[0051]	1-15
Y	JP 2015-176219 A (TOSHIBA CORP.) 05 October 2015 (2015-10-05) paragraphs [0008]-[0053]	1-15
A	JP 2011-196599 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 06 October 2011 (2011-10-06) entire text, all drawings	1-15
A	JP 2001-209405 A (HITACHI, LTD.) 03 August 2001 (2001-08-03) entire text, all drawings	1-15

☐ 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

01 October 2021

Date of mailing of the international search report

12 October 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/026199

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2004-310674	A	04 November 2004	(Family: none)	
JP	2015-176219	A	05 October 2015	(Family: none)	
JP	2011-196599	A	06 October 2011	(Family: none)	
JP	2001-209405	A	03 August 2001	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 19/418(2006.01)i FI: G05B19/418 Z		
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）） G05B19/418		
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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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 2004-310674 A（株式会社東芝）04.11.2004（2004-11-04） 段落0001-0051	1-15
Y	JP 2015-176219 A（株式会社東芝）05.10.2015（2015-10-05） 段落0008-0053	1-15
A	JP 2011-196599 A（三菱電機株式会社）06.10.2011（2011-10-06） 全文、全図	1-15
A	JP 2001-209405 A（株式会社日立製作所）03.08.2001（2001-08-03） 全文、全図	1-15
☐ 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抵触するものではなく、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 01.10.2021		国際調査報告の発送日 12.10.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 堀内 亮吾 3U 4651 電話番号 03-3581-1101 内線 3364

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/026199

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2004-310674	A	04.11.2004	(ファミリーなし)	
JP	2015-176219	A	05.10.2015	(ファミリーなし)	
JP	2011-196599	A	06.10.2011	(ファミリーなし)	
JP	2001-209405	A	03.08.2001	(ファミリーなし)	