

(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
2021年8月12日(12.08.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/157134 A1

(51) 国際特許分類:

G05B 19/042 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/038321

(22) 国際出願日: 2020年10月9日(09.10.2020)

(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 2020-017325 2020年2月4日(04.02.2020) JP

(71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内
一丁目6番6号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大西 和鷹 (ONISHI Kazutaka);

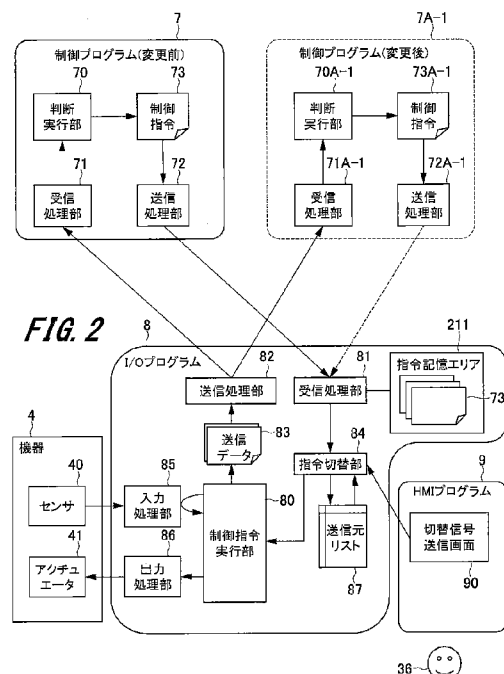
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 大塚 祐策(OOTSUKA Yuusaku); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 丸山 龍也(MARUYAMA Tatsuya); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人信友国際特許事務所(SHIN-YU INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒1510073 東京都渋谷区笹塚2-1-6 笹塚センタービル 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,

(54) Title: CONTROL SYSTEM

(54) 発明の名称: 制御システム



4... Apparatus

7... Control program (prior to change)

7A-1... Control program (after change)

8... I/O program

9... HMI program

40... Sensor

41... Actuator

70, 70A-1... Determination execution unit

71, 71A-1, 81... Reception processing unit

72, 72A-1, 82... Transmission processing unit

73, 73A-1... Control instruction

80... Control instruction execution unit

83... Transmission data

84... Instruction switching unit

85... Input processing unit

86... Output processing unit

87... Source list

90... Switching signal transmission screen

211... Instruction storage area

(57) Abstract: Provided is a control system comprising at least one control node and at least one I/O node connected to at least one apparatus and capable of communicating with the control node. The control node executes at least one control program on a first OS, and the I/O node executes at least one I/O program on a second OS which is more punctual. The control program generates a control instruction on the basis of status control set in advance for the apparatus and transmits the control instruction to the I/O node. The I/O program stores the control instruction received from the control

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, IT, 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, 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))

node in a storage unit and executes processing regarding the apparatus according to the control instruction thus stored in the storage unit.

(57) 要約: 1 台以上の制御ノードと、1 台以上の機器に接続され、制御ノードと通信可能な 1 台以上の I/O ノードと、から構成された制御システムにおいて、制御ノードは、少なくとも 1 個の制御プログラムを第 1 の OS 上で実行し、I/O ノードは、少なくとも 1 個の I/O プログラムをより定時性の高い第 2 の OS 上で実行する。制御プログラムは、機器に関して予め設定された状態制御に基づいて制御指令を生成して I/O ノードに送信する。I/O プログラムは、制御ノードから受信した制御指令を記憶部に記憶し、その記憶部に記憶された制御指令に従って機器に関する処理を実行する。

明 細 書

発明の名称：制御システム

技術分野

[0001] 本発明は、例えばファクトリーオートメーション（F A）やプロセスオートメーション（P A）の分野において、コンピュータを用いて制御を行う制御システムに関する。

背景技術

[0002] 一般にファクトリー・オートメーション（F A）やプロセス・オートメーション（P A）の分野では、工場などにおける製造工程や化学製品などの生産工程などに、コンピュータを用いた制御システムが導入される。制御システムは、プログラマブル・ロジック・コントローラ（P L C）などのコンピュータがコンピュータプログラムを実行することで制御を行う。

[0003] こうした制御システムの処理概要を説明する。コンピュータは、温度や圧力、回転数など制御に必要となる情報をセンサから取得する。コンピュータは、その情報に基づき、アクチュエータやモータなどを操作する。制御する内容はプログラムに定義され、コンピュータはプログラムを実行することで制御を行う。制御は適切なタイミングで実施される必要があり、適切なタイミングに制御できる性能や度合いを「定時性」という。

[0004] 例えば、特許文献1には、シーケンシャルな制御ロジック（各種判断等）をP L Cで実行し、複雑な演算処理（収束演算等の数値演算）を汎用O S上で実行し、処理すべき機能を振り分けるようにしたプラント制御システムが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-093375号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 近年、自動車の自動運転に代表される人工知能技術の発展がある。人工知能技術の分野では、ディープラーニングの推論処理などの複雑な計算処理による高度な判断処理を制御システムに導入することが求められている。この判断処理の実現には以下のような問題がある。

[0007] (問題点 1)

制御システムは、定時性高く制御を行う必要がある。P L Cなどは定時性の高いリアルタイムオペレーティングシステム(O S)上でプログラムを実行することで定時性を確保している。リアルタイムO Sは、時間的な制約がある処理を実行するための機能や特性を備える。一方、推論処理のように複雑な処理を行うプログラムは、汎用O S上での実行を前提に開発されている場合があり、リアルタイムO S上で実行することは困難である。

[0008] (問題点 2)

工場の製造工程などでは、設備を数ヶ月から数年にわたり稼動し続ける場合があり、制御システムを停止させないことを前提としている。一方で、制御システムに新たな機能を追加するためには、一時的に制御システムを停止する必要がある。また、老朽化により制御システムを構成するソフトウェア又はハードウェアの交換が必要となる場合であっても、頻繁に停止することはできず、交換が先送りにされる場合がある。

[0009] 前述の通り、制御システムは動作し続けることが求められる。そのため2台以上のコンピュータを用いて制御システムを冗長化構成とし、1台のコンピュータが故障しても制御システムの動作を継続することが行われる。この際、各コンピュータが実行するプログラムは、他のコンピュータのプログラムとタイミングや情報を同期し、故障時にも定時性を損なわない性能を備える必要があり、難易度が高い。

[0010] このような高い定時性が要求される制御システムを稼動させたまま、制御システムのプログラムやコンピュータ等を変更する技術については、特許文献1に開示されていない。

[0011] 本発明は、上記の状況に鑑みてなされたものであり、本発明は、定時性を

保ちながら、制御システムを停止させることなく、制御システムで用いるリソースの変更を可能にすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するために、本発明の一態様の制御システムは、少なくとも1台の制御ノードと、1台以上の制御対象機器に接続され、ネットワークを介して制御ノードと通信可能な少なくとも1台のI/Oノードと、から構成される。

上記制御ノードは、第1のオペレーティングシステムと、少なくとも1個の制御プログラムを第1のオペレーティングシステム上で実行する第1のプロセッサと、を備える。

上記I/Oノードは、第1のオペレーティングシステムよりも定時性の高い第2のオペレーティングシステムと、少なくとも1個のI/Oプログラムを第2のオペレーティングシステム上で実行する第2のプロセッサと、を備える。

上記制御ノードの制御プログラムは、制御対象機器に関して予め設定された状態制御に基づいて制御指令を生成し、当該制御指令をI/Oノードに送信する判断実行部を有する。

上記I/OノードのI/Oプログラムは、制御ノードから受信した制御指令を記憶部に記憶し、その記憶部に記憶された制御指令に従って制御対象機器に関する処理を実行する制御指令実行部を有する。

発明の効果

[0013] 本発明の少なくとも一態様によれば、定時性を保ちながら、制御システムを停止させることなく、制御システムで用いるリソースの変更が可能になる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の第1の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロ

ック図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る制御システムの制御プログラムとI/Oプログラムの論理構成の例を示すブロック図である。

[図3]制御指令の持つ情報の例を示す図表である。

[図4]送信データの持つ情報の例を示す図表である。

[図5]判断実行部による処理の手順例を示すフローチャートである。

[図6]制御指令実行部の制御指令受付処理の手順例を示すフローチャートである。

[図7]制御指令実行部の周期処理の手順例を示すフローチャートである。

[図8]制御指令実行部における制御指令の実行タイミングの例を表した図表である。

[図9]指令切替部の制御指令処理の手順例を示すフローチャートである。

[図10]指令切替部の切替信号処理の手順例を示すフローチャートである。

[図11]切替信号送信画面の例を示す図表である。

[図12]本発明の第2の実施形態に係る制御ノードに導入された構成管理プログラムの論理構成の例を示すブロック図である。

[図13]本発明の第2の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロック図である。

[図14]構成管理プログラムが利用する制御プログラム管理テーブルの構造の例を示す図表である。

[図15]構成管理プログラムが利用する制御ノード管理テーブルの構造の例を示す図表である。

[図16]マスタ選出部の開始処理の手順例を示すフローチャートである。

[図17]マスタ選出部の制御ノード管理処理の手順例を示すフローチャートである。

[図18]テーブル同期部の同期処理の手順例を示すフローチャートである。

[図19]制御プログラム登録画面の例を示す図表である。

[図20]プログラム登録部のプログラム登録処理の手順例を示すフローチャー

トである。

[図21]プログラム配置部のプログラム配置処理の手順例を示すフローチャートである。

[図22]プログラム配置部のプログラム実行処理の手順例を示すフローチャートである。

[図23]指令切替部の構成通知処理の手順例を示すフローチャートである。

[図24]本発明の第2の実施形態に係る制御指令の切替動作の例を示すブロック図である。

[図25]異常監視部の監視処理の手順例を示すフローチャートである。

[図26]制御ノード異常警告画面の例を示す図表である。

[図27]異常監視部の回復処理の手順例を示すフローチャートである。

[図28]本発明の第2の実施形態の第1の変形例に係る制御ノードに常用監視プログラムを導入した例を示すブロック図である。

[図29]本発明の第2の実施形態の第2の変形例に係る1台の制御ノード上で複数の制御プログラムを動作させる例を示すブロック図である。

[図30]本発明の第1の実施形態に係る制御システムの制御プログラムと1/Oプログラムの実行タイミングの例を示す図表である。

[図31]本発明の第3の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロック図である。

[図32]本発明の第3の実施形態に係る制御システムの制御プログラムと1/Oプログラムの実行タイミングの例を示す図表である。

[図33]スケールアウト構成設定画面の例を示す図表である。

[図34]送信処理部のスケールアウト構成開始処理の手順例を示すフローチャートである。

[図35]送信元リストの構造の例を示す図表である。

[図36]スケールアウト構成テーブルの構造の例を示す図表である。

[図37]送信処理部の送信処理の手順例を示すフローチャートである。

[図38]本発明の第4の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブ

ロック図である。

[図39] 1 台の I/O ノードを用いる場合、及び本発明の第 4 の実施形態に係る 2 台の I/O ノード（常用、待機）を用いる場合のそれぞれの I/O プログラムの実行タイミングの例を示す図表である。

[図40] 1 台の I/O ノードを用いる場合、及び本発明の第 4 の実施形態に係る 2 台の I/O ノード（常用、待機）を用いて制御周期をずらした場合のそれぞれの I/O プログラムの実行タイミングの例を示す図表である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明を実施するための形態の例について、添付図面を参照して説明する。本明細書及び添付図面において実質的に同一の機能又は構成を有する構成要素については、同一の符号を付して重複する説明を省略する。

[0016] < 1. 第 1 の実施形態 >

[制御システムの全体構成]

まず、本発明の第 1 の実施形態に係る制御システムの構成例について説明する。

図 1 は、第 1 の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロック図である。

[0017] 図 1 に示す制御システム 100 は、制御ノード 1、I/O ノード 2、HMI ノード 3、制御対象の機器 4、及び、各ノードを相互に通信可能に接続したネットワーク 5 を含んで構成される。制御システム 100 において、制御ノード 1 は少なくとも 1 台以上であり、I/O ノード 2 も少なくとも 1 台以上である。

[0018] 機器 4 は、例えば工場の生産設備として用いられる機器であり、機器 4 に所望の動作をさせることが制御システム 100 の目標である。機器 4 は、センサ 40 とアクチュエータ 41 を持つ。図 1 ではセンサ 40 とアクチュエータ 41 をそれぞれ 1 つのみ示しているが、実際には、複数個ある場合や、センサ 40 又はアクチュエータ 41 のどちらか一方のみを持つ場合もある。

[0019] センサ 40 は、機器 4 やその周辺の環境の状態を把握するための装置であ

る。アクチュエータ４１は、機器４に実際の動作を行わせたり、動作を変更させたりするための装置である。センサ４０の例としては、温度計、流量計、電圧計、スイッチ、ビデオカメラ、カウンタなどが挙げられる。アクチュエータ４１の例としては、モータ、シリンダー、電磁石、リレー、ＬＥＤ、ランプ、ブザーなどが挙げられる。当然のことながら、センサ４０、アクチュエータ４１とも上記に示す例に限定されない。

[0020] 制御ノード１は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）１０、記憶装置１１（記憶部の例）、ネットワークインタフェース１２、及びメモリ１３から構成されるコンピュータである。ＣＰＵ１０は、第１のプロセッサの例である。ＣＰＵ１０の代わりに、ＭＰＵ（Microprocessor）などの他のプロセッサを用いてもよい。メモリ１３は、半導体メモリなどを用いた主記憶装置である。記憶装置１１は、不揮発性の記憶装置であり、記憶装置１１として、例えばハードディスクや半導体メモリなどが用いられる。

[0021] Ｉ／Ｏノード２も同様に、ＣＰＵ２０（第１のプロセッサ）、記憶装置２１（記憶部の例）、ネットワークインタフェース２２、及びメモリ２３から構成されるコンピュータである。また、ＨＭＩノード（Human Machine Interface）３は、ＣＰＵ３０、記憶装置３１、ネットワークインタフェース３２、及びメモリ３３から構成されるコンピュータである。

[0022] 制御ノード１において、ＣＰＵ１０は、記憶装置１１からメモリ１３上に汎用ＯＳ１４（第１のオペレーティングシステム）を読み込んで実行する。また、ＣＰＵ１０は、汎用ＯＳ１４上で、１個以上の制御プログラム７を実行する。記憶装置１１は、後述する各種テーブル等を記憶する。

[0023] Ｉ／Ｏノード２において、ＣＰＵ２０は、記憶装置２１からメモリ２３上にリアルタイムＯＳ２４（第２のオペレーティングシステム）を読み込んで実行する。また、ＣＰＵ２０は、リアルタイムＯＳ２４上で、Ｉ／Ｏプログラム８を実行する。記憶装置２１は、後述する送信元リスト８７等を記憶する。また、Ｉ／Ｏノード２はさらにＩ／Ｏインタフェース２５を持ち、ケーブル６により機器４と接続している。

[0024] I/Oインタフェース25と機器4との間を接続するケーブル6、及び、その間の通信方式の具体例としては、ねじ端子を介し機器4を直接配線する方法や、機器4の持つインタフェースを介し、機器4で規定の protocols により通信する方法が想定される。本実施形態においては、レイテンシ（遅延）が小さく機器4のセンサ40及びアクチュエータ41と通信可能であればいかなる方式でも構わない。通信に用いる規格の具体例としては、USB（Universal Serial Bus）、RS-232、Ethernet（登録商標）が挙げられ、Bluetooth（登録商標）等による無線通信によっても実現可能である。

[0025] HMIノード3において、CPU30は、記憶装置31よりメモリ33上に汎用OS34を読み込んで実行する。またCPU30は、汎用OS34上でHMIプログラム9を実行する。また、HMIノード3は、ディスプレイ35Aやキーボード35Bなどのユーザインタフェース35を備える。

[0026] 制御ノード1、I/Oノード2、及びHMIノード3は、それぞれのネットワークインタフェース12、22、及び32を通してネットワーク5に接続している。ネットワーク5の通信方式の具体例として、Ethernet（登録商標）、CAN（Controller Area Network）（登録商標）などが挙げられる。ネットワーク5を通し、制御プログラム7、I/Oプログラム8、及びHMIプログラム9は、1対1及び1対多の通信が可能なUDP over IPといったプロトコルを用いて相互に通信する。

[0027] 制御ノード1とI/Oノード2は、それぞれのCPUが実行する制御プログラム7、I/Oプログラム8の処理によって機器4の制御を実現する。以下、図2を参照して、制御プログラム7とI/Oプログラム8の機能構成を説明する。

[0028] [制御プログラムとI/Oプログラムの論理構成]

図2は、制御システム100の制御プログラム7とI/Oプログラム8の論理構成の例を示すブロック図である。

制御プログラム7は、判断実行部70、受信処理部71、及び送信処理部

72を持つ。制御プログラム7の各部の機能については後述する。

I/Oプログラム8は、制御指令実行部80、受信処理部81、送信処理部82、指令切替部84、入力処理部85、出力処理部86、及び送信元リスト87を持つ。入力処理部85は、センサ40から情報（検出結果）を取得し、出力処理部86はアクチュエータ41に制御信号を送ってアクチュエータ41を操作する。I/Oプログラム8の各部の機能については後述する。

[0029] HMIプログラム9は、制御システム100の管理者36が制御システム100の状態の設定や確認を行うための複数の画面を持つ。画面はGUI（Graphical User Interface）として実装され、ユーザインタフェース35を介して制御システム100の管理者36に操作される。図2では、HMIプログラム9が切替信号送信画面90により生成された切替信号を、I/Oプログラム8の指令切替部84に送信する様子が示されている。切替信号送信画面90については、後述する図11において詳述する。指令切替部84は、受け取った制御指令73の送信元情報を送信元リスト87に登録する。

[0030] 制御指令73は、制御プログラム7の判断実行部70によって生成される電文であり、特定の条件において、どのような処理、動作を行うかという指示が記されている。例えば、平易な表現で記せば、制御指令73は「30ミリ秒ごとにセンサ40の電圧値を制御プログラム7に送信せよ」、「時刻Xのタイミングでアクチュエータ41をYミリ秒間動作させよ」、「センサ40の電圧値の移動平均を計算せよ」といった内容である。

[0031] 制御プログラム7からI/Oプログラム8に送信される制御指令73は、I/Oプログラム8の受信処理部81で順次受信される。受信処理部81は、受信した制御指令73を、記憶装置21（記憶部）の指令記憶エリア211に順次記憶する。

[0032] 送信データ83は、制御指令73に従い、I/Oプログラム8の制御指令実行部80が生成して、制御プログラム7の判断実行部70に送信する情報を記した電文である。例えば、送信データ83には、センサ40の電圧値や

、制御指令実行部 80 が計算した結果の値などが含まれる。判断実行部 70 は、送信データ 83 の内容を受信することで機器 4 の状態など必要な情報を取得する。

[0033] 図 3 は、制御指令 73 が持つ情報の例を示す図表である。

制御指令 73 は、送信元欄 73 a、宛先欄 73 b、生成日時欄 73 c、及び制御内容欄 73 d を備える。

送信元欄 73 a は、制御指令 73 を生成した制御プログラム 7 を特定する IP アドレスとポート番号を格納する。

宛先欄 73 b は、制御プログラムを実行すべき I/O プログラム 8 を特定する IP アドレスとポート番号を格納する。

生成日時欄 73 c は、制御指令 73 が生成された日付と時刻を格納する。

制御内容欄 73 d は、制御指令 73 の制御の内容を格納する。

[0034] 制御内容欄 73 d は、制御指令 73 ごとにその内容が異なるが、共通して指令 ID 欄 73 e、優先度欄 73 f、タイミング欄 73 g、及び最大時間欄 73 h を持つ。

指令 ID 欄 73 e は、制御指令 73 を一意に特定する指令 ID を保持する。指令 ID は判断実行部 70 により制御指令 73 生成時に付与される。

優先度欄 73 f は、制御指令 73 の優先度を保持する。優先度欄 73 f が空欄の場合には、優先度が最も低いことを示す。

タイミング欄 73 g は、制御内容欄 73 d に記載された処理を実行すべきタイミングを保持する。タイミングの内容は、一定の間隔で周期的に実行する場合、センサの状態などの条件を満たした場合、指定の時刻になった場合など様々な場合を指定できる。

最大時間欄 73 h は、一つの制御指令 73 の処理に許容できる最大時間（後述する図 8）を保持する。最大時間欄 73 h が空欄の場合は、最大時間が設定されていないことを示す。

[0035] 制御内容欄 73 d (1) ~ 73 d (6) は、実施する処理ごとの制御内容の具体例を示している。

制御内容欄 7 3 d (1) は、入力処理、すなわちセンサ 4 0 からの情報取得を行う場合の例である。制御内容欄 7 3 d (1) は入力処理欄 7 3 i を備え、情報を取得する対象を保持する。

制御内容欄 7 3 d (2) は、計算処理、すなわちセンサ 4 0 の出力値の移動平均などの計算処理を行う場合の例である。制御内容欄 7 3 d (2) は計算処理欄 7 3 j を備え、計算処理の内容を保持する。

制御内容欄 7 3 d (3) は、送信処理、すなわち制御プログラム 7 に情報を送信する場合の例である。制御内容欄 7 3 d (3) は送信処理欄 7 3 k を備え、送信する対象を保持する。

[0036] 制御内容欄 7 3 d (4) は、出力処理、すなわちアクチュエータなどの操作を行う場合の例である。制御内容欄 7 3 d (4) は出力処理欄 7 3 l を備え、操作対象の指令 I D と操作の内容を保持する。

制御内容欄 7 3 d (5) は、制御周期設定処理、すなわち後述する制御周期に関する設定を行う場合の例である。制御内容欄 7 3 d (5) は制御周期設定欄 7 3 m を備え、指定する制御周期や開始タイミングを保持する。

制御内容欄 7 3 d (6) は、中止処理、すなわち特定の制御指令 7 3 の実行を中止する場合の例である。制御内容欄 7 3 d (6) は中止処理欄 7 3 n を備え、中止対象の指令 I D を保持する。

[0037] 図 4 は、送信データ 8 3 が持つ情報の例を示す図表である。

送信データ 8 3 は、送信元欄 8 3 a、送信日時欄 8 3 b、指令 I D 欄 8 3 c、及びデータ欄 8 3 d を備える。

送信元欄 8 3 a は、送信データ 8 3 を生成した I / O プログラム 8 を特定する I P アドレスとポート番号を格納する。

送信日時欄 8 3 b は、送信データ 8 3 を I / O プログラム 8 が送信した日付と時刻を格納する。

指令 I D 欄 8 3 c は、送信データ 8 3 がどの制御指令 7 3 の指示によって送信されたのかを特定する指令 I D を格納する。

データ欄 8 3 d は、送信するデータの内容（例えば対象、値）を保持する

。

[0038] 制御システム１００は、制御ノード１の汎用ＯＳ１４上で実行される制御プログラム７の判断実行部７０（図２）が、機器４に関して予め設定された状態制御に基づいて制御指令７３を生成する。言い換えると、判断実行部７０は、センサ４０等から得られる情報に基づいて機器４をどのような状態に変化させるか、又は、どのように変化させるかを複雑な演算などを伴う処理によって検討し、その検討結果を制御指令７３としてＩ／Ｏノード２（Ｉ／Ｏプログラム８）に送信する。この機器４に関する制御内容の検討は、周知の技術を用いて行うものとし、ここでは詳細な説明は省略する。

[0039] 機器４の操作などの実際の処理はＩ／Ｏノード２のリアルタイムＯＳ２４上で実行される。リアルタイムＯＳ２４上で、Ｉ／Ｏプログラム８の制御指令実行部８０が制御指令を実行することにより、複雑な処理と定時性の高い処理の両立を可能にする。

[0040] [判断実行部の処理]

以下、図５を参照し、制御プログラム７の判断実行部７０の処理内容を説明する。

図５は、判断実行部７０による処理の手順例を示すフローチャートである。

。

まず、判断実行部７０は、制御システム１００としてＩ／Ｏプログラム８にどのタイミングでどのような処理を実行させるかを判断する（Ｓ７０１）。次いで、判断実行部７０は、制御指令を生成する必要があるかどうかを判断し（Ｓ７０２）、制御指令を生成する必要がある場合（Ｓ７０２のＮＯ）にはステップＳ７０５へ進む。次いで、判断実行部７０は、制御指令の生成が必要な場合（Ｓ７０２のＹＥＳ）には制御指令７３を生成し（Ｓ７０３）、送信処理部７２にＩ／Ｏプログラム８へ送信させる（Ｓ７０４）。

[0041] 次いで、判断実行部７０は、新しい送信データ８３があれば受信処理部７１より受け取る（Ｓ７０５）。判断実行部７０は、受信処理部７１が受信した送信データ８３について、送信元欄８３ａ（図４）により自身が制御して

いる I/O プログラム 8 から送信されたものであることを確認し、送信データ 83 を処理して次のステップ S701 における判断に用いる。

[0042] 制御プログラム 7 は、ステップ S701～S705 の処理を常時実行しており、随時制御指令 73 を I/O ノード 2 (I/O プログラム 8) へ送信する。

[0043] I/O プログラム 8 の受信処理部 81 は、ステップ S704 にて判断実行部 70 が送信した制御指令 73 を受信すると、指令切替部 84 に制御指令 73 を渡す。指令切替部 84 は、後述する方法により実行すべき制御指令 73 を選択し、該当する制御指令 73 を制御指令実行部 80 に渡す。

[0044] [制御指令実行部の制御指令受付処理]

図 6 は、制御指令実行部 80 の制御指令受付処理の手順例を示すフローチャートである。

制御指令実行部 80 は、指令切替部 84 から新しい制御指令 73 を受け取ると (S801)、制御指令受付フローを開始する。すなわち、制御指令実行部 80 は、後述する図 7 に示す周期処理フローに沿って制御指令 73 が実行されるよう設定する (S802)。ステップ S802 の終了後、本フローチャートの処理を終了する。

[0045] [制御指令実行部の周期処理]

次に、I/O プログラム 8 の制御指令実行部 80 が制御指令 73 を実行する手順について図 7 を参照して説明する。

図 7 は、制御指令実行部 80 の周期処理の手順例を示すフローチャートである。

[0046] 制御指令実行部 80 は、一定の時間の周期内で制御指令の実行を行う。この時間の周期を「制御周期」と呼ぶ。制御周期は、制御指令 73 によって設定される。まず、制御指令実行部 80 は、現在時刻が制御周期の開始時刻になったかどうかを判定し (S803)、まだ制御周期の開始時刻になっていない場合には (S803 の NO)、制御周期の開始時刻の監視を継続する。

[0047] 次いで、制御指令実行部 80 は、制御周期を開始すべき時刻になったと判

定した場合（S 8 0 3 の Y E S）、制御周期用の打ち切りタイマの動作を開始する（S 8 0 4）。制御指令実行部 8 0 は、打ち切りタイマの計測時間から制御周期に相当する時間の経過を判断する。制御指令実行部 8 0 は、指定された制御周期に相当する時間を超えても制御指令 7 3 に基づく処理が完了しない場合、その間に実行されている制御指令 7 3 の実行を打ち切る（中止）。

[0048] 次いで、制御指令実行部 8 0 は、制御指令 7 3 を優先度の高い順に実行するループを開始する（S 8 0 5）。次いで、制御指令実行部 8 0 は、現在の状態が制御指令 7 3 の実行タイミングの条件を満たしているかを判定し（S 8 0 6）、実行タイミングの条件を満たしていない場合には（S 8 0 6 の N O）、ステップ S 8 1 6 へ進む。

[0049] 次いで、制御指令実行部 8 0 は、最大時間用の打ち切りタイマの動作を開始する（S 8 0 7）。制御指令実行部 8 0 は、指定された最大時間を超えても 1 つの制御指令 7 3 に基づく処理が完了しない場合、そのときに実行されている制御指令 7 3 の実行を打ち切る（中止）。制御指令実行部 8 0 は、最大時間欄 7 3 h が空欄の場合には打ち切りタイマを開始しない。次いで、制御指令実行部 8 0 は、制御指令 7 3 の処理種別（制御内容）を判断し（S 8 0 8）、処理種別に沿ってステップ S 8 0 9 ～ S 8 1 4 の処理を実行する。

[0050] ステップ S 8 0 9 は、入力処理のためのステップである。制御指令実行部 8 0 は、センサ 4 0 の情報を取得し、取得した情報を他ステップが利用できるようメモリ 2 3 の変数に格納する。

ステップ S 8 1 0 は、計算処理のためのステップである。制御指令実行部 8 0 は、計算処理を実行し、その結果を他ステップが利用できるようメモリ 2 3 の変数に格納する。ステップ S 8 1 1 は、送信処理のためのステップである。制御指令実行部 8 0 は、送信すべき情報を含む送信データ 8 3 を生成し、送信処理部 8 2 によりネットワーク 5 上の全ての制御プログラム 7 に送信させる。

ステップ S 8 1 2 は、出力処理のためのステップである。制御指令実行部

８０は、出力処理部８６を介して制御対象の機器４のアクチュエータ４１を操作する。

ステップＳ８１３は、設定処理のためのステップである。制御指令実行部８０は、制御周期の変更を行う。

ステップＳ８１４は、中止処理のためのステップである。制御指令実行部８０は、指令ＩＤで指定された制御指令７３を実行されないように削除する。

[0051] 次いで、制御指令実行部８０は、最大時間用の打ち切りタイマを終了する（Ｓ８１５）。この間に、１つの制御指令７３の実行が終了する。制御指令実行部８０は、全ての制御指令７３についてステップＳ８０６～Ｓ８１５の処理を繰り返し実行した後、制御指令７３を優先度の高い順に実行するループを終了する（Ｓ８１６）。

[0052] 次いで、制御指令実行部８０は、制御周期用の打ち切りタイマを終了する（Ｓ８１７）。そして、制御指令実行部８０は、ステップＳ８０３に戻り、ステップＳ８０３～Ｓ８１７の処理を繰り返し実行する。

[0053] 図８に、制御指令実行部８０における制御指令７３の実行タイミングの例を示す。

図８では、制御指令実行部８０の周期処理フロー（図７）における制御指令７３の実行の様子を時間軸で表している。最大時間用の打ち切りタイマにより、各制御指令７３（制御指令１～４…）は最大時間を超えて実行されない。また、制御周期用の打ち切りタイマにより、各制御指令７３（制御指令１～４…）が制御周期を超えて実行され続けることもない。そのため、制御指令実行部８０は、制御指令７３を定時性高く実行することができる。

[0054] 制御指令実行部８０は周期処理フローを常時実行し、制御周期毎に優先度順に全ての制御指令７３を順次実行するようにしたが、制御指令７３を定時性高く実行できる方法であればこれに限らない。リアルタイムＯＳ２４の機能により、制御指令７３の実行タイミングの条件が満たされると、割り込み処理によって制御指令７３の制御内容が実行されるようにしてもよい。また

、実行中の制御指令 73 をコンテキストスイッチによって中断し、より優先度の高い制御指令 73 が実行されるようにしてもよい。コンテキストスイッチは、CPU の状態を保存したり復元したりする機能である。また、I/O ノード 2 の CPU 20 が複数のコアを持つ場合には、制御指令の処理を並列に実行してもよい。

[0055] また、制御プログラム 7 と I/O プログラム 8 を特定する情報として IP アドレスとポート番号を用いているが、ネットワーク 5 上のプロトコルが用いるもので、ネットワーク 5 上のプログラムを一意に特定できる情報ならばこれに限らない。以降の説明においても同様である。

[0056] [制御プログラムを変更する手順]

再び図 2 を参照して、本実施形態に係る制御システム 100 において、制御プログラム 7 を変更する手順を説明する。

制御システム 100 の管理者 36 は、制御ノード 1 の制御プログラムを変更するために、変更前の制御プログラム 7 を動作させた状態で、制御ノード 1 上で変更後の制御プログラム 7A-1 を動作させる。そして、I/O プログラム 8 の制御指令実行部 80 が、制御プログラム 7A-1 の判断実行部 70A-1 が生成した制御指令 73A-1 を処理するように切り替え、変更前の制御プログラム 7 を停止させる。

[0057] 制御プログラムを切り替える間も、制御指令実行部 80 は、記憶装置 21 に格納された受信済みの制御指令 73 の処理を継続するので、制御システム 100 を停止させない状態で制御プログラムを変更できる。

[0058] 変更前の制御プログラム 7 と同様に、変更後の制御プログラム 7A-1 の判断実行部 70A-1 は、その判断に従い制御指令 73A-1 を生成し、送信処理部 72A-1 から I/O プログラム 8 に送信する。I/O プログラム 8 の受信処理部 81 は、制御指令 73 と制御指令 73A-1 を受け取り、指令切替部 84 に渡す。

[0059] [指令切替部の制御指令処理]

次に、I/O プログラム 8 の指令切替部 84 による制御指令処理の手順に

ついて図9を参照して説明する。

図9は、指令切替部84の制御指令処理の手順例を示すフローチャートである。

- [0060] 指令切替部84は、受信処理部81から制御指令73を受け取ると（S841）、図9に示す制御指令処理フローを開始する。まず、指令切替部84は、初めて制御指令73を受け取ったかどうかを判定し（S842）、制御指令73の受け取りが初めてではない場合には（S842のNO）、ステップS844に進む。
- [0061] 次いで、指令切替部84は、制御指令73の受け取りが初めての場合には（S842のYES）、ステップS843に進む。例えば、指令切替部84は、制御システム100の初回起動時に受け取った制御指令73の送信元欄73aに記録されたIPアドレスとポート番号を、送信元リスト87に追記する（S843）。
- [0062] 次いで、ステップS843の処理後又はステップS842でNO判定の場合、指令切替部84は、受け取った制御指令73の送信元欄73aに記載の送信元（IPアドレスとポート番号）が送信元リスト87に含まれているかどうかを判定する（S844）。そして、指令切替部84は、制御指令73の送信元が送信元リスト87に含まれていない場合には（S844のNO）、ステップS846に進み、送信元が送信元リスト87に含まれている場合には（S844のYES）、ステップS845に進む。
- [0063] 次いで、指令切替部84は、指令記憶エリア211の受信済みの制御指令73を生成日時が新しい順に調べ、制御内容が同一の制御指令73を既に受信しているかどうかを判定する（S845）。そして、指令切替部84は、同一内容の制御指令73を受信済みの場合には（S845のYES）、ステップS846に進む。ステップS844でNO判定の場合、又は、ステップS845でYES判定の場合、指令切替部84は受け取った制御指令73を破棄する（S846）。
- [0064] 一方、指令切替部84は、同一内容の制御指令73を受信していない場合

(S 8 4 5 の N O)、当該制御指令 7 3 を制御指令実行部 8 0 に渡す (S 8 4 7)。すなわち、指令切替部 8 4 の切り替えによって、制御指令実行部 8 0 は、最初に受信した制御指令 7 3 の送信元である制御プログラム 7 からの制御指令のみを実行する。ステップ S 8 4 6 又は S 8 4 7 の処理後、図 9 に示すフローチャートの処理を終了する。

[0065] [指令切替部の切替信号処理]

図 1 0 は、指令切替部 8 4 の切替信号処理の手順例を示すフローチャートである。

図 2 に示す制御システム 1 0 0 の管理者 3 6 は、制御プログラム 7 A - 1 で生成された制御指令 7 3 A - 1 が処理されるようにするため、切替信号送信画面 9 0 を操作する。H M I プログラム 9 は、切替信号送信画面 9 0 に対する操作内容に基づき、切替信号を指令切替部 8 4 に送信する。指令切替部 8 4 は、H M I プログラム 9 から切替信号を受け取ると (S 8 4 8)、図 1 0 に示す切替信号処理フローを開始する。すなわち、指令切替部 8 4 は、送信元リスト 8 7 の送信元情報を、切替信号に含まれる送信元情報に変更する (S 8 4 9)。ステップ S 8 4 9 の処理後、図 1 0 に示すフローチャートの処理を終了する。

[0066] 図 1 1 に、H M I プログラム 9 の切替信号送信画面 9 0 の例を示す。

切替信号送信画面 9 0 は、I / O プログラム 8 の I P アドレスとポート番号を入力する領域 9 0 a、切替先 (変更後) の制御プログラム 7 A - 1 の I P アドレスとポート番号を入力する領域 9 0 b、及び切替信号の送信を指示するボタン 9 0 c を持つ。制御システム 1 0 0 の管理者 3 6 は、変更後の制御プログラム 7 A - 1 をネットワーク 5 に接続して起動した後、切替信号送信画面 9 0 を用いて切替信号を送信し、指令切替部 8 4 が制御指令 7 3 A - 1 を処理するように設定する。

[0067] ここで、I / O プログラム 8 の送信処理部 8 2 は、ネットワーク 5 上の全ての制御プログラムに送信データ 8 3 を送信する。そのため、変更前の制御プログラム 7 と変更後の制御プログラム 7 A - 1 は同じ送信データ 8 3 を受

領し、制御プログラム 7 と制御プログラム 7 A - 1 が機器 4 の状態を把握する。

[0068] 上述例では、HMI プログラム 9 に切替信号送信画面 90 を備えたが、制御ノード 1 や I/O ノード 2 に同様のユーザインタフェースを設け、制御プログラム 7 や I/O プログラム 8 に切替信号送信画面 90 を備えても構わない。また、制御システム 100 の管理者 36 が切替先の制御プログラム 7 A - 1 を特定する情報を指令切替部 84 に通知できればよく、ユーザインタフェースを介した操作に限定されない。例えば、切替先を特定する情報を格納した記憶装置を I/O ノード 2 に接続し、この情報を指令切替部 84 が読み込むようにすることでも実現できる。

[0069] また、ステップ S 842 及び S 843 において、指令切替部 84 が、初回受け取り時の制御指令 73 の送信元情報を送信元リスト 87 に追加するようにしたが、この例に限らない。例えば、同ステップを排し、制御プログラム 7 の開始前に、HMI プログラム 9 を介して制御システム 100 の管理者 36 が指定するようにしてもよい。

[0070] また、変更後の制御プログラム 7 A - 1 は、制御ノード 1 上で実行するようにしたが、ネットワーク 5 に接続されていれば、別の制御ノード上で実行してもよい。

[0071] さらに、説明のためにネットワーク 5 中に I/O ノード 2 が 1 台のみ存在する構成としたが、実際には複数の I/O ノードが存在しても構わない。また、1 つの制御プログラムが複数の I/O プログラムに制御指令を送信するようにしても構わない。

[0072] 上述した第 1 の実施形態によれば、定時性を保ちながら、制御システムを停止させることなく、制御システム（上記例では制御ノード）で用いるリソースの変更が可能になる。ここで、リソースは、プログラムやノード（コンピュータ）である。

[0073] 制御システムに用いるコンピュータは、その制御の内容から必要な性能を見積もって用意するが、正確に必要な性能を見積もることは難しい。そのた

め、制御システムの稼動後に性能が不足してしまう場合がある。また、制御システムに新たな機能を追加する際にも性能が不足しうる。上記のように構成された本実施形態によれば、都度必要なリソースを追加することができる、スケーラビリティの高い制御システムを構築することができる。

[0074] 以上のとおり、第1の実施形態に係る制御システム（制御システム100）は、少なくとも1台の制御ノード（制御ノード1）と、1台以上の制御対象機器（機器4）に接続され、ネットワークを介して制御ノードと通信可能な少なくとも1台のI/Oノード（I/Oノード2）と、から構成される。

上記制御ノードは、第1のオペレーティングシステム（汎用OS14）と、少なくとも1個の制御プログラム（例えば制御プログラム7，7A-1）を第1のオペレーティングシステム上で実行する第1のプロセッサ（CPU10）と、を備える。

上記I/Oノードは、第1のオペレーティングシステムよりも定時性の高い第2のオペレーティングシステム（リアルタイムOS24）と、少なくとも1個のI/Oプログラム（例えばI/Oプログラム8）を第2のオペレーティングシステム上で実行する第2のプロセッサ（CPU20）と、を備える。

上記制御ノードの制御プログラムは、制御対象機器に関して予め設定された状態制御に基づいて制御指令（制御指令73，73A-1）を生成し、当該制御指令をI/Oノードに送信する判断実行部（判断実行部70，70A-1）を有する。

上記I/OノードのI/Oプログラムは、制御ノードから受信した制御指令を記憶部（記憶装置21：指令記憶エリア211）に記憶し、その記憶部に記憶された制御指令に従って制御対象機器に関する処理を実行する制御指令実行部（制御指令実行部80）を有する。

[0075] また、第1の実施形態に係る制御システム（制御システム100）では、制御指令実行部（制御指令実行部80）は、記憶部（記憶装置21）に複数の制御指令が記憶されている場合には、複数の制御指令のうち、優先度の高

い順に制御指令に規定された処理（入力処理、計算処理、送信処理、出力処理、設定処理、中止処理等）を制御周期に沿って実行し、制御周期内に制御指令の処理が完了しない場合には制御周期を超えた時点で制御指令の処理を中止するように構成されている。

[0076] また、第 1 の実施形態に係る制御システム（制御システム 100）では、I/O プログラム（I/O プログラム 8）は、複数の制御プログラムより受信した複数の制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部（指令切替部 84）、を備える。指令切替部は、複数の制御プログラムのうち切り替え後の制御プログラムが生成した制御指令を選択し、当該制御指令を制御指令実行部（制御指令実行部 80）に送信するように構成されている。

[0077] < 2. 第 2 の実施形態 >

第 2 の実施形態では、制御システムにおいて、制御ノードを複数台用いて冗長化し、また故障した制御ノードを交換した後に自動的に冗長化構成へと回復させる方法を説明する。

[0078] [構成管理プログラムの論理構成]

図 12 は、第 2 の実施形態に係る制御ノード 1B に導入された構成管理プログラム 15 の論理構成の例を示すブロック図である。

制御ノード 1B は、第 1 の実施形態で示した制御ノード 1 に構成管理プログラム 15 を加えた構成である。構成管理プログラム 15 も制御プログラム 7 と同様に、汎用 OS 14 上で CPU 10 により実行される。構成管理プログラム 15 は、マスタ選出部 15A、プログラム配置部 15B、異常監視部 15C、プログラム登録部 15D、テーブル同期部 15E（情報同期部の例）、制御プログラム管理テーブル 15F、制御ノード管理テーブル 15G を備える。

[0079] 構成管理プログラム 15 は、マスタ又はスレーブのいずれかの状態をとる。マスタ状態の構成管理プログラム 15 は、一つのネットワーク 5 上に 1 個のみ存在し、スレーブ状態の構成管理プログラム 15 に対し、制御に必要なデータを共有するために該当データを配信する役割を果たす。また、HMI

プログラム 9 を通して、制御システム 100B の管理者 36 からの指示を受け付ける。

[0080] [制御システムの全体構成]

図 13 は、第 2 の実施形態に係る制御システム 100B の全体構成の例を示すブロック図である。

制御システム 100B では、2 台の制御ノード 1B を制御ノード 1B-1, 1B-2 として用いる。制御ノード 1B-1, 1B-2 はそれぞれ、第 1 の実施形態と同様に、ネットワーク 5 を介して I/O ノード 2 及び HMI ノード 3 と接続している。

[0081] 制御ノード 1B-1 は、構成管理プログラム 15B-1 と、制御プログラム 7B-1 を備える。構成管理プログラム 15B-1 は、マスタ選出部 15B-1A、プログラム配置部 15B-1B、異常監視部 15B-1C、プログラム登録部 15B-1D、テーブル同期部 15B-1E（情報同期部の例）、制御プログラム管理テーブル 15B-1F、及び制御ノード管理テーブル 15B-1G を備える。

[0082] 制御ノード 1B-2 も同様に、構成管理プログラム 15B-2 と、制御プログラム 7B-2 を備える。構成管理プログラム 15B-2 は、マスタ選出部 15B-2A、プログラム配置部 15B-2B、異常監視部 15B-2C、プログラム登録部 15B-2D、テーブル同期部 15B-2E（情報同期部の例）、制御プログラム管理テーブル 15B-2F、及び制御ノード管理テーブル 15B-2G を備える。

[0083] 制御ノード 1B-3 は、制御システム 100B の冗長化構成を回復するために新たに接続される制御ノードの例である。制御ノード 1B-3 も、制御ノード 1B-1 及び 1B-2 と同様の構成である。すなわち、制御ノード 1B-3 は、構成管理プログラム 15B-3 と、制御プログラム 7B-3 を備える。構成管理プログラム 15B-3 は、マスタ選出部 15B-3A、プログラム配置部 15B-3B、異常監視部 15B-3C、プログラム登録部 15B-3D、テーブル同期部 15B-3E（情報同期部の例）、制御プログ

ラム管理テーブル 15B-3F、及び制御ノード管理テーブル 15B-3G を備える。制御ノード 1B-3 を用いた冗長化構成の回復については、後述する。制御ノード 1B-1、1B-2 及び 1B-3 を区別しない場合には「制御ノード 1B」と表記する。

[0084] I/O ノード 2 では、指令切替部 84 を指令切替部 84B に変更した I/O プログラム 8B を実行する。また、HMI ノード 3 では、HMI プログラム 9 に新たな画面を追加した HMI プログラム 9B と、制御プログラム 7B を実行する。HMI プログラム 9B は、GUI による操作画面である制御プログラム登録画面 91、及び制御ノード異常警告画面 92 を持つ。

[0085] [制御プログラム管理テーブル、制御ノード管理テーブル]

図 14 及び図 15 に、構成管理プログラム 15 の各テーブルの具体例を示している。図 14 は、構成管理プログラム 15 が利用する制御プログラム管理テーブル 15F の構造の例を示す。

図 15 は、構成管理プログラム 15 が利用する制御ノード管理テーブル 15G の構造の例を示す。

[0086] 制御プログラム管理テーブル 15F は、プログラム ID 欄 15f-1、保存先欄 15f-2、種別欄 15f-3、及び構成数欄 15f-4 を備える。

プログラム ID 欄 15f-1 は、制御プログラムを一意に特定するための制御プログラム ID を格納する。

保存先欄 15f-2 は、制御プログラムの保存先の場所を示す情報を格納する。

種別欄 15f-3 は、制御システム 100B の実行方式を示す情報を格納する。

構成数欄 15f-4 は、制御プログラム ID で特定される制御プログラムを実行する際に使用する制御ノードの数を格納する。

[0087] 制御ノード管理テーブル 15G は、制御ノード ID 欄 15g-1、マスター/スレーブ欄 15g-2、実行制御プログラム ID 欄 15g-3、及び実行可否欄 15g-4 を備える。

制御ノードID欄15g-1は、制御ノードを一意に特定するための制御ノードIDを格納する。

マスタ／スレーブ欄15g-2は、構成管理プログラム（制御ノード）の状態がマスタとスレーブのいずれであることを示す情報を格納する。マスタ状態の制御ノードは、1つのネットワークに1台のみである。なお、マスタ／スレーブの情報を、制御ノード管理テーブル15Gではなく他で管理してもよい。

実行制御プログラムID欄15g-3は、実行している制御プログラムを一意に特定するための制御プログラムIDを格納する。

実行可否欄15g-4は、制御ノード上で制御プログラムを実行可能であることを示す情報を格納する。

[0088] なお、制御ノードID欄15g-1に格納される制御ノードIDは、制御ノードに対してそれらの起動した順に1から割り当てられる。構成管理プログラム15を実行開始した時点では、各テーブルは1レコードも情報を持たない。

[0089] [マスタ選出部の開始処理]

図16は、マスタ選出部15Aの開始処理の手順例を示すフローチャートである。

制御システム100Bの管理者36は、ユーザインタフェース35により制御ノード1B-1及び1B-2の動作を開始する。これに伴い構成管理プログラム15B-1は、図16に示すマスタ選出部15B-1Aの開始フローを開始する。

[0090] まず、制御ノード1B-1のマスタ選出部15B-1Aは、ネットワーク5上にマスタ状態の構成管理プログラム（制御ノード）が存在するかどうかを判定する（S1501）。マスタ選出部15B-1Aは、マスタ状態の構成管理プログラム15が存在しない場合（S1501のNO）にはステップS1502に進み、マスタ状態の構成管理プログラム15が存在する場合（S1501のYES）にはステップS1504に進む。

[0091] 構成管理プログラム15B-1が最初に起動したとする。この場合、マスタ選出部15B-1AはステップS1501にてネットワーク5上にマスタ状態の構成管理プログラム15が存在しないと判断し（S1501のNO）、構成管理プログラム15B-1をマスタに設定する（S1502）。そして、マスタ選出部15B-1Aは、テーブル同期部15B-1Eにより制御ノード管理テーブル15B-1Gに、自身の制御ノード1B-1の情報を追加する（S1503）。ステップS1503の処理後、ステップS1506に進む。

[0092] 制御ノード1B-2のマスタ選出部15B-2Aは、起動時に既に構成管理プログラム15B-1がマスタ状態のため、自身の構成管理プログラム15B-2をスレーブに設定する（S1504）。そして、マスタ選出部15B-2Aは、制御ノード1B-1のマスタ選出部15B-1Aに制御ノード1B-2の情報を通知する（S1505）。

[0093] そして、ステップS1503又はS1505の終了後、構成管理プログラム15B-1及び15B-2の各々のマスタ選出部15Aは、異常監視部15Cに処理を開始させる（S1506）。ステップS1506における異常監視部15Cの処理は、後で図25を用いて説明する。ステップS1506の処理後、本フローチャートの処理を終了する。

[0094] [マスタ選出部の制御ノード管理処理]

図17は、マスタ選出部15Aの制御ノード管理処理の手順例を示すフローチャートである。

マスタ状態の制御ノード1B-1のマスタ選出部15B-1Aは、スレーブ状態の制御ノード1B-2から制御ノードの情報を受け取ると（S1507）、制御ノード管理フローを開始する。

まず、マスタ選出部15B-1Aは、受け取った制御ノード1B-2の情報を、テーブル同期部15B-1Eにより制御ノード管理テーブル15B-1Gに追加登録する（S1508）。

次いで、マスタ選出部15B-1Aは、プログラム配置部15B-1Bに

、図 2 1 に示すプログラム配置フローを開始させる（S 1 5 0 9）。このとき制御プログラム管理テーブル 1 5 B - 1 F に制御プログラムの登録が無い
ため、制御プログラムの配置は行われない。ステップ S 1 5 0 9 の処理後、
本フローチャートの処理を終了する。

[0095] [テーブル同期部の同期処理]

図 1 8 は、テーブル同期部 1 5 E の同期処理の手順例を示すフローチャートである。後述する図 2 1 のステップ S 1 5 2 3 において、マスタ状態の構成管理プログラム 1 5 B - 1 から制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の内容が、スレーブ状態の構成管理プログラム 1 5 B - 2 のテーブル同期部 1 5 B - 2 E に通知される。テーブル同期部 1 5 B - 2 E は、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の内容を受け取ると（S 1 5 1 0）、図 1 8 に示す同期フローを開始する。すなわち、テーブル同期部 1 5 B - 2 E は、受け取った制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の内容を、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 2 G に格納する（S 1 5 1 1）。ステップ S 1 5 1 1 の処理後、本フローチャートの処理を終了する。

[0096] テーブル同期部 1 5 B - 2 E は、受信した情報を全て制御ノード管理テーブル 1 5 B - 2 G に登録する。これにより、スレーブ状態の構成管理プログラム 1 5 が複数ある場合に、マスタ状態の構成管理プログラム 1 5 B - 1 上の制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の内容が、スレーブ状態の全ての制御ノード管理テーブル 1 5 G の内容と同一となる。マスタ、スレーブいずれの状態でも構成管理プログラム 1 5 は、ステップ S 1 5 0 4 において後述する異常監視部 1 5 C の実行を開始する。

[0097] 図 1 9 に、制御プログラム登録画面 9 1 の例を示す。

制御システム 1 0 0 B の管理者 3 6 は、制御プログラム 7 B を冗長構成で実行開始すべく、制御プログラム 7 B の実行ファイルを H M I ノード 3 の記憶装置 3 1 に配置するよう操作する。管理者 3 6 は、H M I プログラム 9 B の図 1 9 に示す制御プログラム登録画面 9 1 にて、制御プログラム 7 B の実行ファイルの保存場所を制御プログラム保存先欄 9 1 a に入力する。さらに

、管理者 36 は、冗長化実施の要否、冗長化する場合の制御ノードの台数を冗長化構成設定欄 91b に入力して、制御プログラム登録ボタン 91c を押下する。

[0098] [プログラム登録部のプログラム登録処理]

図 20 は、プログラム登録部 15D のプログラム登録処理の手順例を示すフローチャートである。この処理は、制御プログラムを開始するための処理である。

制御プログラム登録画面 91 は、入力された情報をマスタ状態の構成管理プログラム 15B-1 におけるプログラム登録部 15B-1D に通知する。プログラム登録部 15B-1D は入力情報を受け取ると (S1512)、その入力情報を制御プログラム管理テーブル 15B-1F に追加し (S1513)、プログラム配置部 15B-1B にプログラム配置フローを開始させる (S1514)。

[0099] 次いで、プログラム登録部 15B-1D は、制御プログラム管理テーブル 15B-1F の内容を構成管理プログラム 15B-2 のテーブル同期部 15B-2E に伝えて同期する (S1515)。これにより、スレーブ状態の構成管理プログラム 15 が複数ある場合に、マスタ状態の制御プログラム管理テーブル 15B-1F の内容が、全てのスレーブ状態の構成管理プログラム 15 の制御プログラム管理テーブル 15F の内容と一致する。

[0100] [プログラム配置部のプログラム配置処理]

図 21 は、プログラム配置部 15B のプログラム配置処理の手順例を示すフローチャートである。

マスタ状態の構成管理プログラム 15B-1 におけるプログラム配置部 15B-1B は、プログラム登録部 15B-1D などの指示により図 21 に示すプログラム配置フローを開始する (S1517)。プログラム配置フローは、制御プログラム管理テーブル 15B-1F に登録された制御プログラムごとにループ処理される。

[0101] プログラム配置部 15B-1B は、制御プログラム管理テーブル 15B-

1 F に記されている構成数を、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の内容と比較する (S 1 5 1 8)。プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、各制御プログラムを実行している制御ノードの数と上記構成数が一致する場合 (S 1 5 1 8 の Y E S)、ステップ S 1 5 2 2 に進んでループを終了する。

[0102] 一方、プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、各制御プログラムを実行している制御ノードの数が上記構成数よりも少ない場合には (S 1 5 1 8 の N O)、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G を参照して制御プログラムを実行可能な制御ノードが存在するかを判定する (S 1 5 1 9)。プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、制御プログラムを実行可能な制御ノードが存在しない場合 (S 1 5 1 9 の N O)、ステップ S 1 5 2 2 に進む。

[0103] 次いで、プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、制御プログラムを実行可能な制御ノードが存在する場合には (S 1 5 1 9 の Y E S)、該当する制御ノードのプログラム配置部 1 5 B に通知してプログラム実行フローを開始させる (S 1 5 2 0)。例えば、制御ノード 1 B - 1 と制御ノード 1 B - 2 が制御プログラムを実行可能である場合、プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、プログラム配置部 1 5 B - 1 B 自身でプログラム実行フローを開始するとともに、プログラム配置部 1 5 B - 2 B にプログラム実行フローを開始させる。

[0104] 次いで、プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の実行制御プログラム I D 欄 1 5 g - 3 を更新する (S 1 5 2 1)。制御プログラム管理テーブル 1 5 B - 1 F のすべての制御プログラムについて処理が完了したらループ処理を終了する (S 1 5 2 2)。

[0105] 次いで、プログラム配置部 1 5 B - 1 B は、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の情報を他の構成管理プログラム 1 5 のテーブル同期部 1 5 E に通知する。これにより、制御ノード管理テーブル 1 5 B - 1 G の情報が、他のすべての制御ノード管理テーブル 1 5 G の情報と同期される (S 1 5 2 3)。

[0106] [プログラム配置部のプログラム実行処理]

図 2 2 は、プログラム配置部 1 5 B のプログラム実行処理の手順例を示す

フローチャートである。

プログラム配置部 15B-1B は、図 22 に示すプログラム実行フローにおいて対象の制御プログラム 7B-1 の実行ファイルを HMI ノード 3 より取得し、制御プログラム 7B-1 として実行できる状態とする (S1525)。次いで、プログラム配置部 15B-1B は、I/O ノード 2 の I/O プログラム 8B における指令切替部 84B に、制御プログラム 7B-1 の IP アドレスとポート番号を通知し (S1526)、制御プログラム 7B-1 を実行開始する (S1527)。プログラム配置部 15B-2B も同じように動作する。ステップ S1527 が終了後、本フローチャートの処理を終了する。

[0107] [指令切替部の構成通知処理]

図 23 は、指令切替部 84 の構成通知処理の手順例を示すフローチャートである。

I/O プログラム 8B の指令切替部 84B は、構成管理プログラム 15B-1 から制御プログラム 7B-1 の送信元情報を受け取ると (S1528)、構成通知フローを開始する。すなわち、指令切替部 84B は、受け取った送信元情報を送信元リスト 87 に追加する (S1529)。これにより、制御プログラム 7B-1、7B-2 の両方が出力する制御指令 73 を処理できる状態となる。ステップ S1529 の処理後、本フローチャートの処理を終了する。

[0108] 次に、図 24 を参照し、同じ制御プログラム 7B を実行する制御ノード 1B-1 及び 1B-2 (図 13) によってどのように冗長化が実現されるかを説明する。

図 24 は、第 2 の実施形態に係る制御指令の切替動作の例を示すブロック図である。

[0109] 制御プログラム 7B-1 及び 7B-2 は、図 5 に示した判断実行部 70 の処理フローに従い、どちらも制御指令 73B-1, 73B-2 を送信する。制御プログラム 7B-1 及び 7B-2 の内容は同一であるから、制御指令 7

3 B - 1 及び 7 3 B - 2 の制御内容欄 7 3 d には全く同じ内容が記される。

[0110] 送信された制御指令 7 3 B - 1, 7 3 B - 2 は、I/O プログラム 8 B の受信処理部 8 1 が受信し、指令切替部 8 4 B により図 9 の制御指令処理フローに従い処理される。構成管理プログラム 1 5 B - 1, 1 5 B - 2 のプログラム配置部 1 5 B - 1 B, 1 5 B - 2 B は、I/O プログラム 8 B の指令切替部 8 4 に通知し、送信元リスト 8 7 に制御プログラム 7 B - 1, 7 B - 2 の IP アドレスとポート番号を追加している。これにより、図 9 のステップ S 8 4 4 で YES 判定となり、制御指令 7 3 B - 1 及び 7 3 B - 2 はどちらもステップ S 8 4 6 では破棄されない。

[0111] 既述のとおりステップ S 8 4 5 において、同じ制御指令が既に登録されていないか確認される。例えば、制御指令 7 3 B - 1 が指令切替部 8 4 に先着した場合、制御指令 7 3 B - 2 はステップ S 8 4 5 で YES 判定となりステップ S 8 4 6 で破棄される。この処理により、常に先着した方の制御指令が制御指令実行部 8 0 に渡される。制御ノード 1 B - 1 又は 1 B - 2 が故障した場合には、指令切替部 8 4 B によって残る片方の制御ノードが送信する制御指令 7 3 B - 1 又は 7 3 B - 2 が制御指令実行部 8 0 に渡されることで制御システム 1 0 0 B の制御が継続される。

[0112] 以降、制御ノード 1 B - 1 が故障した場合を例に、冗長化構成の回復を自動的に実現する方法について説明する。

既述のとおり、制御ノード 1 B - 2 上で実行されている制御プログラム 7 B - 2 により、制御そのものは継続されるが、制御ノード 1 B - 2 にも異常が発生すれば制御システム 1 0 0 B が停止してしまう。そのため、新たな制御ノード 1 B - 3 によって故障した制御ノードを置き換え、冗長化構成を回復する必要がある。各制御ノードの故障（異常）は、各構成管理プログラム 1 5 に存在する異常監視部 1 5 C により検出される。異常監視部 1 5 C の監視処理のフローチャートを図 2 5 に示す。

[0113] 図 2 5 は、異常監視部 1 5 C の監視処理の手順例を示すフローチャートである。

異常監視部 15 C は、監視対象の制御ノードの状態を確認する（S 15 3 0）。例えば、異常監視部 15 C は、制御ノード I D（例えば番号）が自身よりも 1 つ小さい制御ノードを対象に、異常が無いか監視する。制御ノード I D が “1”（最小）の制御ノードの異常監視部 15 C は、制御ノード I D が最大の制御ノードを監視する。すなわちネットワーク 5 上の各制御ノード 1 B は、数珠繋ぎに相互を監視する。図 13 に示す制御システム 100 B の構成では、構成管理プログラム 15 B-1, 15 B-2 が相互を監視し合う。監視方法の具体例としては、ping 応答による応答の有無を確認する、監視対象の制御ノード 1 B が制御指令を定期的に送信するか確認する、などの方法があげられるが、これに限定されない。

[0114] 次いで、異常監視部 15 C は、監視対象の制御ノードの異常の有無を判定し（S 15 3 1）、制御ノードの異常がない場合（S 15 3 1 の NO）には異常の有無の判定処理を継続する。異常監視部 15 C は、監視対象の制御ノードの異常を検出すると（S 15 3 1 の YES）、まず異常が発生した制御ノードの構成管理プログラム 15 がマスタ状態かどうかを判定する（S 15 3 2）。該当の構成管理プログラム 15 がマスタ状態ではない場合（S 15 3 2 の NO）、ステップ S 15 3 4 に進む。

[0115] 一方、異常監視部 15 C は、監視対象の制御ノードがマスタ状態であると判定すると（S 15 3 2 の YES）、異常が発生した制御ノードの構成管理プログラム 15 がマスタ状態であるので、自身の構成管理プログラム 15 B-2 をマスタに設定する（S 15 3 3）。

[0116] 次いで、異常監視部 15 C は、マスタ状態の構成管理プログラム 15 の異常監視部 15 C、及び HMI プログラム 9 B に対し、異常発生すなわち異常が発生した制御ノードの情報を通知する（S 15 3 4）。本実施形態では、マスタ状態の制御ノード 1 B-1 の異常をスレーブ状態の異常監視部 15 B-2 C が検出し、構成管理プログラム 15 B-2 をマスタ状態とし、自身に異常発生を通知する。異常監視部 15 C は、ステップ S 15 3 4 の処理後、ステップ S 15 3 0 に移行する。

[0117] 図 26 に、制御ノード異常警告画面の例を示す。

HMI プログラム 9B は制御ノードの異常発生のお知らせを受け、図 26 に示す制御ノード異常警告画面 92 を表示することで、制御ノードの異常を制御システム 100B の管理者 36 に通知する。図 26 では、“制御ノード [1] 停止！” というメッセージが表示されている。

[0118] [異常監視部の回復処理]

図 27 は、異常監視部 15C の回復処理の手順例を示すフローチャートである。

マスタ状態の構成管理プログラム 15 の異常監視部 15C は、制御ノード 1B の異常発生のお知らせを受けると (S1535)、図 27 に示す回復フローを開始する。制御ノード 1B-1 に異常が発生した場合を例に説明する。

[0119] まず異常監視部 15C は、異常が発生した制御ノード 1B-1 の情報を制御ノード管理テーブル 15G から除外する (S1536)。そして、異常監視部 15C は、プログラム配置部 15B により図 21 に示したプログラム配置フローを開始させる (S1537)。仮に、この時点で実行可能な制御ノードがネットワーク 5 上に存在すれば、プログラム配置フローによって制御プログラム 7B の実行が開始され、冗長化された状態が回復する。

[0120] [新たに接続された制御ノードを用いて冗長化構成を回復する例]

次に、再度図 13 を参照し、制御ノード 1B-1 が故障した状態で、新しい制御ノード 1B を制御ノード 1B-3 としてネットワーク 5 に接続した場合の動作を説明する。

[0121] 制御ノード 1B-3 上で構成管理プログラム 15B-3 が実行を開始し、マスタ選出部 15B-3A の開始フロー (図 16) に沿って構成管理プログラム 15B-3 がスレーブ状態となる。そして、図 16 のステップ S1505 において、マスタ選出部 15B-3A は、マスタ選出部 15B-2A に対し制御ノード 1B-3 がスレーブ状態で利用可能となったことを通知する。

[0122] これにより、制御ノード 1B-2 のマスタ選出部 15B-2A において、図 17 に示す制御ノード管理フローが開始される (S1507)。そして、

マスタ選出部 1 5 B - 2 A により制御ノード管理テーブル 1 5 B - 2 G に制御ノード 1 B - 3 の情報が追加され (S 1 5 0 8)、プログラム配置フローが開始される (S 1 5 0 9)。新たに接続された制御ノード 1 B - 3 は、スレーブとして追加される。そして、プログラム配置フローにて、制御プログラム 7 B が制御ノード 1 B - 3 上で実行開始され、制御プログラム 7 B は再び冗長化した状態に回復する。

[0123] 本実施形態における制御プログラム 7 B - 1, 7 B - 2 及び 7 B - 3 は、他の制御プログラムの状態を管理する必要がない。冗長化しないで制御プログラムを実行する場合と同様に、制御指令 7 3 を生成するプログラムを作成すればよいので、制御プログラムの開発は比較的容易である。

[0124] 上述した第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態の効果に加えて、リソース (コンピュータ、ソフトウェア) の冗長化が可能な制御システムを実現できるという効果がある。そのため、制御システムの可用性が向上する。

[0125] [第 2 の実施形態の第 1 の変形例]

次に、第 2 の実施形態の第 1 の変形例として、制御ノードに常用監視プログラムを導入した例について図 2 8 を参照して説明する。

図 2 8 は、第 2 の実施形態の第 1 の変形例に係る制御ノードに常用監視プログラムを導入した例を示すブロック図である。

[0126] ここまで説明した実施形態の構成では、制御指令 7 3 B - 1, 7 3 B - 2 のうち、実行する制御指令を指令切替部 8 4 B で選別するようにしたが、この例に限らない。例えば、図 2 8 に示すように制御ノード 1 B - 4, 1 B - 5 にそれぞれ常用監視プログラム 1 6 B - 4, 1 6 B - 5 を設けた構成としてもよい。

[0127] 図 2 8 に示す制御システム 1 0 0 B では、常用監視プログラム 1 6 B - 4, 1 6 B - 5 は、同一の制御プログラム 7 B を実行している制御ノードがネットワーク 5 上に存在する場合に、待機系となる。そして、常用監視プログラム 1 6 B - 5 は、制御ノード 1 B - 4 の制御プログラム 7 B - 4 が送信する制御指令 7 3 B - 4 を受け取り、制御ノード 1 B - 4 が制御指令 7 3 B -

4を送信しているかを監視する。常用監視プログラム16B-5は、制御ノード1B-4が制御指令を正常に送信しているかを確認する目的で制御指令73B-4を受信するので、受け取った制御指令73B-4をI/Oノード2へ送信しない。

[0128] ここで、常用監視プログラム16B-5は、制御ノード1B-4が制御指令73B-4を送信している場合には、制御ノード1B-5の制御プログラム7B-5が生成した制御指令73B-5を破棄する。また、常用監視プログラム16B-5は、一定時間が経過しても制御指令73B-4が送信されない場合には制御ノード1B-4の故障と判断し、以降は制御指令73B-5を常用監視プログラム16B-5からI/Oノード2へ送信するようにしてもよい。同一のネットワーク5上に同一の制御プログラム7Bを実行している他の制御ノードが存在しない場合、常用監視プログラムは何もしない。

[0129] [第2の実施形態の第2の変形例]

図29は、第2の実施形態の第2の変形例に係る1台の制御ノード上で複数の制御プログラムを動作させる例を示すブロック図である。

[0130] ここまで説明した実施形態の構成では、1台の制御ノード上で1種類の制御プログラムを実行するようにしたが、1台の制御ノード上で複数の制御プログラムを動作させてもよい。図29に示すように、例えば、機器(1)を制御するI/Oノード2(I/Oノード(1))に、I/Oプログラム8BとしてI/Oプログラム(X)が格納され、機器(2)を制御するI/Oノード2B-1(I/Oノード(2))に、I/Oプログラム8BとしてI/Oプログラム(Y)が格納されている。これに対し、2台のI/Oノード2, 2B-1を制御する制御プログラム(X)7B-6, 7B-9と、制御プログラム(Y)7B-7, 7B-8とを2台の制御ノード1B-6, 1B-7上に適宜配置する。なお、I/Oノード2, 2B-1の各々が機器(1), (2)を制御可能であってもよい。

[0131] 一例として、制御ノード1B-6に、制御プログラム(X)7B-6と制御プログラム(Y)7B-8、及び構成管理プログラム15B-6が配置さ

れる。また、制御ノード 1 B-7 に、制御プログラム (Y) 7 B-7 と制御プログラム (X) 7 B-9、及び構成管理プログラム 15 B-7 が配置される。このような構成にすると、制御ノード 1 B-6, 1 B-7 のどちらかが故障しても制御は継続され、かつ、制御ノード数は I/O ノードと同じ台数でよい。

[0132] 上述した図 24 に示す構成では、指令切替部 84 B により制御指令 73 B-1, 73 B-2 のうち先着した制御指令を選択し、該当する制御指令を実行することで、冗長化のみを行っている。しかし、状況によって誤った判断をする可能性がある制御プログラムを用いる場合、1 台の制御ノード上で複数の制御プログラムを動作させる構成を、信頼性の向上のために利用することができる。

[0133] すなわち、同一のネットワーク 5 上で同じ制御プログラムを 3 個以上実行するように制御システムを構成する。そして、この制御システムにおいて、同一タイミングで受信した、各制御プログラムが送信した制御指令の内容が全て一致しない場合、指令切替部 84 B は、制御内容が一致する数の多い制御指令のうち先着した制御指令を制御指令実行部 80 に渡すようにする。

[0134] 上述した第 2 の実施形態の第 2 の変形例によれば、信頼性と定時性を保ちながら、制御システムを停止させることなく、制御システム（上記例では制御ノード）で用いるリソースの変更が可能になる。また、リソース（コンピュータ、ソフトウェア）の冗長化が可能な制御システムを実現できる。そのため、制御システムの可用性が向上する。

[0135] 以上のとおり、第 2 の実施形態に係る制御システム（制御システム 100 B）は、I/O プログラム（I/O プログラム 8 B）は、複数の制御プログラムより受信した複数の制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部（指令切替部 84 B）、を備え、制御プログラムを少なくとも 2 台の制御ノード（制御ノード 1 B-1 ~ 1 B-3）上で実行する。指令切替部は、制御ノードから先着した制御指令のみを制御指令実行部（制御指令実行部 80）に送るように構成されている。

[0136] また、第2の実施形態に係る制御システム（制御システム100B）では、I/Oプログラム（I/Oプログラム8B）は、複数の制御プログラムより受信した複数の制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部（指令切替部84B）、を備え、制御プログラムを少なくとも3台の制御ノード（制御ノード1B-1～1B-3）上で実行する。指令切替部は、同一のタイミングで受信した制御指令の制御内容を比較し、異なる制御内容の制御指令が含まれる場合には、制御内容が一致する数の多い制御指令を選択して制御指令実行部（制御指令実行部80）に送るように構成されている。

[0137] また、第2の実施形態に係る制御システム（制御システム100B）は、各制御ノードが構成管理プログラム（構成管理プログラム15）を備える。

構成管理プログラムは、

複数の制御ノードからマスタ状態で動作する制御ノードを選出して自身の制御ノードをスレーブ状態に設定し、マスタ状態の制御ノードが存在しない場合には自身の制御ノードをマスタ状態に設定し、自身の制御ノードの情報を他の制御ノードに送信するマスタ選出部（マスタ選出部15A）と、

マスタ状態の制御ノードとスレーブ状態の制御ノードにおけるそれぞれの制御ノードの情報を、各制御ノードが備える制御ノード管理テーブル（制御ノード管理テーブル15G）に同期する情報同期部（テーブル同期部15E）と、

ユーザインタフェースで指定される制御プログラムの情報と冗長化構成設定の情報を受け取るプログラム登録部（プログラム登録部15D）と、

冗長化構成が要求された場合に、制御ノード管理テーブルを参照して制御プログラムを冗長化構成で実行する2台以上の制御ノードを決定して実行させるプログラム配置部（プログラム配置部15B）と、

制御ノードを監視して異常を検出する異常監視部（異常監視部15C）と、を有する。そして、制御システムは、マスタ状態の構成管理プログラムにおいて、異常監視部がスレーブ状態の制御ノードの異常の通知を受信した場合には、情報同期部が制御ノード管理テーブルから異常のある制御ノード

を除外し、プログラム配置部が、制御ノード管理テーブルから実行可能な他の制御ノードを選択して制御プログラムを実行させるように構成されている。

[0138] また、第2の実施形態に係る制御システム（制御システム100B）では、制御ノード管理テーブル（制御ノード管理テーブル15G）に実行可能な他の制御ノードが存在しない場合に、ネットワーク上に新しい制御ノード（制御ノード1B-3）が接続された際にはマスタ選出部（マスタ選出部15A）が当該接続を検出して、新しい制御ノードの情報を制御ノード管理テーブルに追加し、プログラム配置部（プログラム配置部15B）が、制御ノード管理テーブルに追加された制御ノードを、制御プログラムを冗長化構成で実行する制御ノードに決定するように構成されている。

[0139] また、第2の実施形態に係る制御システム（制御システム100B）では、スレーブ状態の構成管理プログラム（構成管理プログラム15）において、異常監視部（異常監視部15C）がマスタ状態の制御ノードの異常を検出した場合には、マスタ選出部（マスタ選出部15A）が自身の制御ノードを新規にマスタ状態とするように構成されている。

[0140] <3. 第3の実施形態>

次に、第3の実施形態として、制御プログラムの処理を、複数の制御ノードで分散して実行（スケールアウト）する方法を説明する。

[0141] 図30に、第1の実施形態に係る制御システムの制御プログラムとI/Oプログラムの実行タイミングの例を示す。図30に示す例は、図2に示した制御システム100の構成において、制御プログラム7とI/Oプログラム8がそれぞれの実行タイミングを時系列に示したものである。

[0142] 時刻 $t = 1$ において、制御指令73を受けたI/Oプログラム8は送信データ83を送信する。この送信データ83は制御プログラム7が受信し、制御プログラム7は制御指令73を生成する（S7101）。この制御プログラム7の一連の処理に、仮に最大 $2T$ の時間がかかるとすると、時刻 $t = 1$ の送信データ83に基づく制御指令73C-1は時刻 $t = 4$ に実行される。

時刻 $t = 5$ においては、新しい制御指令 73 が届いていないため、時刻 $t = 4$ で受領した制御指令 73 C-1（破線）に基づく制御が行われる。

[0143] さらに、時刻 $t = 6$ において、時刻 $t = 3$ の送信データ 83 に基づいて生成（S7102）された制御指令 73 C-1 が実行される。時刻 $t = 7$ においては、新しい制御指令 73 が届いていない。すなわち、時刻 $t = 5, 7, \dots, 2n+5$ ($n \geq 0$) においては、時刻が $4T$ 分過去の制御指令 73 に基づく制御しか行えない。もし、制御プログラム 7 の最大処理時間が $2T$ よりも長ければ、制御指令 73 が送信される間隔も長くなってしまう。

[0144] 図 31 は、第 3 の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロック図である。

短い遅延時間で制御を実現するために、図 31 に示すように制御システム 100C を構成する。第 2 の実施形態で用いた 2 台の制御ノード 1B をそれぞれ制御ノード 1C-1, 1C-2 とし、同一の制御プログラム 7 を実行する。それぞれの制御プログラム 7 を、制御プログラム 7C-1, 7C-2 と記す。図 31 では、制御ノード 1C-1 に、制御プログラム 7C-1 及び構成管理プログラム 15C-1 が配置され、制御ノード 1C-2 に、制御プログラム 7C-2 及び構成管理プログラム 15C-2 が配置されている。I/O ノード 2 は、I/O プログラム 8C を実行する。

[0145] 図 32 は、第 3 の実施形態に係る制御システムの制御プログラムと I/O プログラムの実行タイミングの例を示す。

先に、制御システム 100C の構成においてどのように制御が行われるのかを図 32 を用いて説明する。時刻 $t = 1$ で生成された送信データ 83C は、制御プログラム 7C-1 によって処理され（S7101）、生成された制御指令 73 C-1 は時刻 $t = 4$ において I/O プログラム 8C の制御指令実行部 80 により実行される。次に、時刻 $t = 2$ で生成された送信データ 83C は、ステップ S7101 の処理の途中から制御プログラム 7C-2 によって処理され（S7102）、生成された制御指令 73 C-2 は時刻 $t = 5$ において制御指令実行部 80 により実行される。次に、時刻 $t = 3$ で生成され

た送信データ 83C は、ステップ S7102 の処理の途中で制御プログラム 7C-1 によって処理が開始される (S7103)。

[0146] このように、送信データ 83C の処理を制御プログラム 7C-1, 7C-2 が順番に行うことで (S7101~S7104)、制御指令実行部 80 が常に最新の制御指令 73C-1, 73C-2 を実行する。これにより、機器 4 の制御を少ない遅延時間で実行することができる。

[0147] 制御プログラム 7 の実行に要する最大の時間が 2T より長い場合でも、求める遅延時間に合わせて、制御ノード 1B を 3 台、4 台と追加していくことで遅延時間の短縮が図れる。これにより、例えば制御システム 100C 全体の性能が後から不足した場合にも、都度制御ノード 1B を追加して性能向上を測ることが可能となる。また、本実施形態は、高性能なコンピュータへと置き換えるよりもコストが掛からず、効率のよい投資が可能となる。

[0148] I/O プログラム 8C は、I/O プログラム 8 の一部機能に追加変更を加えたもので、図 31 に示すように、送信処理部 82C、指令切替部 84 (図示略)、送信元リスト 87C (図 35 参照)、スケールアウト構成テーブル 89 (図 36 参照) を持つ。また、本構成で用いる HMI プログラム 9C は、スケールアウト構成設定画面 93 を持つ。

[0149] 制御システム 100C の管理者 36 は、まず第 2 の実施形態に示した方法で制御プログラム 7C を冗長構成で動作させる。次に、管理者 36 は、スケールアウト構成設定画面 93 を用いて、I/O プログラム 8C の送信処理部 82C に対し、スケールアウト構成を取るよう信号を送る。スケールアウト構成設定画面 93 の具体例を図 33 に示す。

[0150] 図 33 は、スケールアウト構成設定画面 93 の例を示す。

スケールアウト構成設定画面 93 は、I/O プログラム設定欄 93a、スケールアウト開始ボタン 93b を備える。スケールアウト開始ボタン 93b が押下されることにより、スケールアウト開始信号が I/O プログラム 8 の送信処理部 82C に送信される。スケールアウト開始信号を受けた送信処理部 82C は、送信データ 83C を対象の制御ノードに設定された順序で送信

(分散) する。

[0151] [送信処理部のスケールアウト構成開始処理]

図34は、送信処理部82Cのスケールアウト構成開始処理の手順例を示すフローチャートである。

送信処理部82Cは、HMIプログラム9Cからスケールアウト開始信号を受信すると(S8201)、図34に示すスケールアウト構成開始フローを開始する。まず、送信処理部82Cは、図35に示す送信元リスト87Cを参照する(S8202)。

[0152] 図35は、送信元リスト87Cの構造の例を示す。

送信元リスト87Cは、少なくとも送信元欄87a、順序欄87bを備える。

送信元欄87aは、制御指令(例えば制御指令73C1, 73C2)を生成する制御プログラム(例えば制御指令73C1, 73C2)を特定するIPアドレスとポート番号を格納する。

順序欄87bには、制御プログラムから指定される複数の制御プログラムの実行順序が格納されている。

例えば、制御指令73の中に制御プログラムを特定する送信元及び順序の情報が含まれ、指令切替部84がそれらの情報を用いて送信元リスト87Cを作成することができる。

[0153] 次いで、送信処理部82Cは、送信元リスト87Cの内容に基づいて、制御プログラムに送信データ83Cを送信する順序を決定し(S8203)、スケールアウト構成テーブル89を設定する(S8204)。ステップS8204の終了後、本フローチャートの処理を終了する。

[0154] 図36は、スケールアウト構成テーブル89の構造の例を示す。

スケールアウト構成テーブル89は、送信元リスト87Cと同様に、少なくとも送信元欄89a、順序欄89bを備える。スケールアウト構成テーブル89の各欄の情報は、送信元リスト87Cから取得したものである。

送信元欄89aは、制御指令(例えば制御指令73C1, 73C2)を生

成する制御プログラム（例えば制御指令 7 3 C 1, 7 3 C 2）を特定する I P アドレスとポート番号を格納する。

順序欄 8 9 b は、複数の制御プログラムの実行順序を格納する。順序欄 8 9 b では 1 から順に数値を設定しており、これにより送信データ 8 3 C を送信する順序が規定される。

[0155] [送信処理部の送信処理]

図 3 7 は、送信処理部 8 2 C の送信処理の手順例を示すフローチャートである。

送信処理部 8 2 C は、制御指令実行部 8 0 より送信データ 8 3 C を受け取る（S 8 2 0 5）、図 3 7 に示す送信処理フローを開始する。

[0156] まず、送信処理部 8 2 C は、スケールアウト構成テーブル 8 9 が存在するかどうかを確認する（S 8 2 0 6）。スケールアウト構成テーブル 8 9 が設定されている場合（S 8 2 0 6 の Y E S）、送信処理部 8 2 C は、順序欄 8 9 b の順序に沿って送信先（宛先の制御プログラム）を決定し、送信データを送信する（S 8 2 0 7）。すなわち、送信処理部 8 2 C は、例えばスケールアウト構成テーブル 8 9 で順序 “1” の制御プログラム 7 C - 1 宛てに送信データ 8 3 C を送信する。そして、次回送信処理フローを実行時には、順序 “2” の制御プログラム 7 C - 2 宛てに送信データ 8 3 C を送信する。スケールアウト構成テーブル 8 9 に記載のすべての制御プログラムに送信データを送信した場合は、順序 “1” から再び送信する。

[0157] 一方、スケールアウト構成テーブル 8 9 が設定されていない場合（S 8 2 0 6 の N O）、送信処理部 8 2 C は、第 1 の実施形態又は第 2 の実施形態と同様に、ネットワーク 5 上の全ての制御プログラム宛てに送信データを送信する（S 8 2 0 8）。ステップ S 8 2 0 7 又は S 8 2 0 8 の処理後、本フローチャートの処理を終了する。

[0158] 制御ノード 1 は汎用 O S 1 4 上で制御プログラム 7 を実行するため、処理に要する最大時間を保証することはできない。よって實際上、最低限必要な数よりも余裕を持った数の制御ノード 1 を用いて制御システムを構成する必

要がある。

[0159] 以上のとおり、第3の実施形態に係る制御システム（制御システム100C）は、I/Oノード（I/Oノード2）のI/Oプログラム（I/Oプログラム8C）が処理した結果を、少なくとも2台の制御ノード（制御ノード1C-1, 1C-2）で順番に受信し、各制御ノードにおいて、制御プログラム（制御プログラム7C-1, 7C-2）の判断実行部（例えば判断実行部70）が、受信した当該処理の結果に基づいて制御指令を生成し、その制御指令をI/Oノードに順次送信するように構成されている。

[0160] 上述した第3の実施形態によれば、第1の実施形態の効果に加えて、スケールアウト（計算処理の分散）が可能な制御システムを実現できる。そのため、制御システムの性能を向上させることができる。

[0161] <4. 第4の実施形態>

次に、I/Oノード2を2台以上用いて冗長化構成を実現する方法を示す。

図38は、第4の実施形態に係る制御システムの全体構成の例を示すブロック図である。

[0162] 本実施形態の制御システム100Dは、2台のI/Oノード2をI/Oノード2D-1, 2D-2として用いる。制御システム100DではI/Oノード2D-1を常用系とし、付随して待機系としてI/Oノード2D-2を追加した構成をとる。普段はI/Oノード2D-1が機器4の制御を行い、I/Oノード2D-1が故障した際にはI/Oノード2D-2が代わりに機器4の制御を行う。

[0163] I/Oノード2D-1は、第1の実施形態と同様にケーブル6で機器4と接続している。また、I/Oノード2D-2もケーブル6D-2を用いて機器4と接続している。例えば、このケーブル6とケーブル6D-2は端子に並列に接続するなどによって、機器4が持つセンサ40からの情報の取得及びアクチュエータ41の操作を、I/Oノード2D-1とI/Oノード2D-2が共に同時に行えるように構成されている。

[0164] I/Oノード2D-1, 2D-2上で動作するI/Oプログラム8D-1, 8D-2は、それぞれ周期同期部88D-1, 88D-2を備える。

周期同期部88D-1はサーバとして動作し、ネットワーク5を介して制御指令実行部80D-1が制御周期の基準として用いている時計の時刻情報を配信する。

周期同期部88D-2はクライアントとして動作し、周期同期部88D-1から受信した時刻を基に、制御指令実行部80D-2の時計を調整することで制御周期のタイミングを一致させる。

[0165] 周期同期部88D-1, 88D-2の実現には、IEEE1588やIEEE802.1ASに規定されているプロトコルが利用可能であるが、機器4の制御に必要な精度でタイミングを一致させられるならばこれに限らない。また、周期同期部88D-2は、周期同期部88D-1から時刻を受信できないことをもって、I/Oノード2D-1が異常であると判断してもよい。

[0166] 制御プログラム7Dは制御指令73Dを生成し、制御指令73DをI/Oプログラム8D-1, 8D-2に送信する。I/Oプログラム8D-1, 8D-2はどちらも同様に制御指令73Dを処理する。I/Oプログラム8D-1, 8D-2は制御周期が一致しており、同じ制御指令73Dを処理しているので、機器4に対して同じタイミングで同じ入力処理及び出力処理を行う。I/Oノード2D-1に異常が発生した場合、I/Oプログラム8D-2により機器4の制御は継続する。

[0167] I/Oプログラム8D-2の送信処理部82D-2は、送信データ83D-2を送信するよう制御指令実行部80D-2から通知を受けた場合、周期同期部88D-2を確認してI/Oノード2D-1の異常の有無を判定する。送信処理部82D-2は、I/Oノード2D-1が正常である場合には、送信データ83D-2を送信せず破棄し、異常である場合には制御プログラム7Dへ送信データ83D-2を送信する。これにより、I/Oプログラム8D-1, 8D-2のどちらか一方のみから制御プログラム7Dにデータを

送信する。

[0168] 図38において、I/Oプログラム8D-1に、受信処理部81D-1、送信処理部82D-1、入力処理部85D-1、及び出力処理部86D-1が設けられているが、これらの処理部は、第1の実施形態の対応する処理部と同様であるため、詳細な説明を省略する。また、I/Oプログラム8D-2に、受信処理部81D-2、入力処理部85D-2、及び出力処理部86D-2が設けられているが、同様に詳細な説明を省略する。

[0169] 3台以上のI/Oノードを用いる場合は、周期同期部によってI/Oノードの故障を検出するために、数珠繋ぎに制御周期の同期を行う。すなわち、1台の常用系のI/Oノードの周期同期部から制御周期の同期を行う1台の待機系I/Oノード、この待機系I/Oノードの周期同期部から制御周期の同期を行う他の待機系I/Oノード、と順繰りに接続するようにする。

[0170] 上述の例では、I/Oプログラム8D-2は、I/Oプログラム8D-1が正常に機器4の制御を実行している間も並行して機器4の制御を行うようにしたが、この例に限らない。例えば、まずI/Oプログラム8D-2における出力処理部86D-2を無効にして制御指令実行部80D-2からの指示を全て無視するようにし、周期同期部88D-2がI/Oノード2D-1の異常を検出した時点で出力処理部86D-2を有効にして機器4に対する出力処理が行われるようにしてもよい。この場合、機器4のアクチュエータ41が制御のための信号を複数受け付けできない場合にも対応可能である。

[0171] また、I/Oノードの冗長化のために本実施形態の構成を用いたが、制御の処理を分散するスケールアウト構成として用いることもできる。以下、本実施形態の構成を、スケールアウト構成として用いる場合の例を説明する。

[0172] [第4の実施形態の第1の変形例]

図39は、1台のI/Oノードを用いる場合、及び第4の実施形態に係る2台のI/Oノード（常用、待機）を用いる場合のそれぞれのI/Oプログラムの実行タイミングの例を示す。

[0173] 図39は、1台のI/Oノード（1個のI/Oプログラム8）を用いる構

成と、本構成を用いてスケールアウトを実施した場合の、2個のI/Oプログラムにおける処理の様子を時系列に示した例である。例えば、図示するように2種の入力処理1, 2、出力処理1, 2、送信処理1, 2の合計6件の処理を行う際、2個のI/Oプログラム8D-1, 8D-2を用いて3件ずつ処理することができる。これにより、制御周期を短縮することが可能になる。あるいは、より性能の低いI/Oノードにより、同等の制御周期での制御を行うことが可能になる。

[0174] [第4の実施形態の第1の変形例]

または、同一の処理を制御周期のタイミングをずらして実行することで、機器から見た実質的な制御周期を短縮するために本実施形態を用いることもできる。

[0175] 図40は、1台のI/Oノードを用いる場合、及び第4の実施形態に係る2台のI/Oノード（常用、待機）を用いて制御周期をずらした場合のそれぞれのI/Oプログラムの実行タイミングの例を示す。

[0176] 図40は、1台のI/Oノード（1個のI/Oプログラム8）を用いる構成と、本構成を用いて制御周期をずらしたスケールアウトを実施した際の、2個のI/Oプログラムにおける処理の様子を時系列に示した例である。図示するように、I/Oプログラム8D-3に対してI/Oプログラム8D-4の制御周期の開始タイミングを $1/2T$ 遅らせ、I/Oプログラム8D-3, 8D-4を共に制御指令Tで動作させた場合を考える。どちらのI/Oプログラムも制御周期Tであるが、制御対象の機器4から見ると、同一処理が $1/2T$ 毎に行われるので、制御周期 $1/2T$ で実行する場合と同等の制御が実現できる。

[0177] 本構成を行う場合は、制御システムの実行開始時に、制御周期設定欄73m（図3）によって、開始タイミングをずらす設定処理を持つ制御指令をI/Oプログラム8D-4に送信する。さらに、I/Oプログラム8D-3, 8D-4に同一の制御指令を送信する制御プログラム7Dを作成する。

[0178] 図38の例では、制御プログラム7Dはネットワーク5上に1個しか存在

しないが、実際には複数存在してもよい。また、第1～第3の実施形態に示した構成と本実施形態を組み合わせることもできる。

[0179] 以上のとおり、第4の実施形態に係る制御システム（制御システム100D）は、少なくとも2台のI/Oノード（I/Oノード2D-1, 2D-2）を、それぞれ情報の取得と操作が同時に可能なように制御対象機器と接続し、複数のI/Oノードのうち1台を常用系、他のI/Oノードを待機系として動作させる。

[0180] また、第4の実施形態に係る制御システム（制御システム100D）では、少なくとも2台のI/Oノード（I/Oノード2D-1, 2D-2）を、各々の制御周期を同期させた状態で同一の制御対象機器と接続する。この制御システムは、制御プログラムの判断実行部（例えば判断実行部70）が、実行すべき制御内容を少なくとも2個の制御指令に分割して記載し、制御対象機器に接続した各I/Oノードへ制御内容が分割された制御指令をそれぞれ送信するように構成されている。

[0181] また、第4の実施形態に係る制御システム（制御システム100D）では、少なくとも2台のI/Oノード（I/Oノード2D-1, 2D-2）を、各々の制御周期を同期させた状態で同一の制御対象機器と接続する。この制御システムは、制御プログラム（制御プログラム7D）の判断実行部（例えば判断実行部70）が、各I/OノードにおけるI/Oプログラム（I/Oプログラム8D-1, 8D-2）の制御指令実行部（制御指令実行部80D-1, 80D-2）での開始タイミングを、制御周期の範囲内でI/Oプログラムごとにずらして設定した同一制御内容の制御指令を生成し、制御対象機器に接続した2台以上のI/Oノードへ制御指令をそれぞれ送信し、各I/OノードにおいてI/Oプログラムの制御指令実行部が、設定された開始タイミングで制御指令を実行するように構成されている。

[0182] なお、本発明は上述した各実施形態に限られるものではなく、請求の範囲に記載した本発明の要旨を逸脱しない限りにおいて、その他種々の応用例、変形例を取り得ることは勿論である。

[0183] 例えば、上述した各実施形態は本発明を分かりやすく説明するために制御システムの構成を詳細かつ具体的に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成要素を備えるものに限定されない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成要素に置き換えることが可能である。また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成要素を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成要素の追加又は置換、削除をすることも可能である。

[0184] また、上記の各構成、機能、処理部等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計するなどによりハードウェアで実現してもよい。ハードウェアとして、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) などを用いてもよい。

[0185] また、各図に示したフローチャートにおいて、処理結果に影響を及ぼさない範囲で、複数の処理を並列的に実行したり、処理順序を変更したりしてもよい。

[0186] また、上述した実施形態において、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成要素が相互に接続されていると考えてもよい。

符号の説明

[0187] 1…制御ノード、2…I/Oノード、3…HMIノード、4…制御対象機器、5…ネットワーク、6…ケーブル、7…制御プログラム、8…I/Oプログラム、9…HMIプログラム、10…CPU、11…記憶装置、12…ネットワークインタフェース、13…メモリ、14…汎用OS、15…構成管理プログラム、15A…マスタ選出部、15B…プログラム配置部、15C…異常監視部、15D…プログラム登録部、15E…テーブル同期部、15F…制御プログラム管理テーブル、15G…制御ノード管理テーブル、20…CPU、21…記憶装置、22…ネットワークインタフェース、23…メモリ、24…リアルタイムOS、25…I/Oインタフェース、30…C

PU、31…記憶装置、32…ネットワークインタフェース、33…メモリ、34…汎用OS、35…ユーザインタフェース、40…センサ、41…アクチュエータ、70…判断実行部、71…受信処理部、72…送信処理部、73…制御指令、80…制御指令実行部、81…受信処理部、82…送信処理部、83…送信データ、84…指令切替部、85…入力処理部、86…出力処理部、87…送信元リスト、88…時刻同期部、89…スケールアウト構成テーブル、90…切替信号送信画面、91…制御プログラム登録画面、92…制御ノード異常警告画面、93…スケールアウト構成設定画面、100, 100B, 100C, 100D…制御システム

請求の範囲

【請求項1】 少なくとも1台の制御ノードと、1台以上の制御対象機器に接続され、ネットワークを介して前記制御ノードと通信可能な少なくとも1台のI/Oノードと、から構成され、

前記制御ノードは、第1のオペレーティングシステムと、少なくとも1個の制御プログラムを前記第1のオペレーティングシステム上で実行する第1のプロセッサと、を備え、

前記I/Oノードは、前記第1のオペレーティングシステムよりも定時性の高い第2のオペレーティングシステムと、少なくとも1個のI/Oプログラムを前記第2のオペレーティングシステム上で実行する第2のプロセッサと、を備え、

前記制御ノードの前記制御プログラムは、前記制御対象機器に関して予め設定された状態制御に基づいて制御指令を生成し、前記制御指令を前記I/Oノードに送信する判断実行部を有し、

前記I/Oノードの前記I/Oプログラムは、前記制御ノードから受信した前記制御指令を記憶部に記憶し、前記記憶部に記憶された前記制御指令に従って前記制御対象機器に関する処理を実行する制御指令実行部を有する

制御システム。

【請求項2】 前記制御指令実行部は、前記記憶部に複数の前記制御指令が記憶されている場合には、複数の前記制御指令のうち、優先度の高い順に前記制御指令に規定された処理を制御周期に沿って実行し、前記制御周期内に前記制御指令の処理が完了しない場合には前記制御周期を超えた時点で前記制御指令の処理を中止する

請求項1に記載の制御システム。

【請求項3】 前記I/Oプログラムは、複数の前記制御プログラムより受信した複数の前記制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部、を備え、

前記指令切替部は、複数の前記制御プログラムのうち切り替え後の制御プログラムが生成した制御指令を選択し、当該制御指令を前記制御指令実行部に送信する

請求項 1 に記載の制御システム。

[請求項4] 前記 I/O プログラムは、複数の前記制御プログラムより受信した複数の前記制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部、を備え、

前記制御プログラムを少なくとも 2 台の前記制御ノード上で実行し、

前記指令切替部は、前記制御ノードから先着した前記制御指令のみを前記制御指令実行部に送る

請求項 1 に記載の制御システム。

[請求項5] 前記 I/O プログラムは、複数の前記制御プログラムより受信した複数の前記制御指令の中から実行すべき制御指令を選択する指令切替部、を備え、

前記制御プログラムを少なくとも 3 台の前記制御ノード上で実行し、

前記指令切替部は、同一のタイミングで受信した前記制御指令の制御内容を比較し、異なる制御内容の制御指令が含まれる場合には、制御内容が一致する数の多い前記制御指令を選択して前記制御指令実行部に送る

請求項 1 に記載の制御システム。

[請求項6] 各制御ノードが構成管理プログラムを備え、

前記構成管理プログラムは、

複数の前記制御ノードからマスタ状態で動作する前記制御ノードを選出して自身の制御ノードをスレーブ状態に設定し、マスタ状態の前記制御ノードが存在しない場合には自身の制御ノードをマスタ状態に設定し、自身の制御ノードの情報を他の制御ノードに送信するマスタ

選出部と、

マスタ状態の前記制御ノードとスレーブ状態の前記制御ノードにおけるそれぞれの制御ノードの情報を、各制御ノードが備える制御ノード管理テーブルに同期する情報同期部と、

ユーザインタフェースで指定される前記制御プログラムの情報と冗長化構成設定の情報を受け取るプログラム登録部と、

冗長化構成が要求された場合に、前記制御ノード管理テーブルを参照して前記制御プログラムを冗長化構成で実行する2台以上の前記制御ノードを決定して実行させるプログラム配置部と、

前記制御ノードを監視して異常を検出する異常監視部と、を有し、

マスタ状態の前記構成管理プログラムにおいて、前記異常監視部がスレーブ状態の前記制御ノードの異常の通知を受信した場合には、前記情報同期部は前記制御ノード管理テーブルから異常のある前記制御ノードを除外し、

前記プログラム配置部は、前記制御ノード管理テーブルから実行可能な他の制御ノードを選択して前記制御プログラムを実行させる

請求項4に記載の制御システム。

[請求項7] 前記制御ノード管理テーブルに実行可能な他の制御ノードが存在しない場合に、

前記ネットワーク上に新しい前記制御ノードが接続された際には前記マスタ選出部が前記接続を検出して、新しい前記制御ノードの情報を前記制御ノード管理テーブルに追加し、

前記プログラム配置部は、前記制御ノード管理テーブルに追加された前記制御ノードを、前記制御プログラムを冗長化構成で実行する前記制御ノードに決定する

請求項6に記載の制御システム。

[請求項8] スレーブ状態の前記構成管理プログラムにおいて、前記異常監視部がマスタ状態の前記制御ノードの異常を検出した場合には、前記マス

タ選出部は自身の制御ノードを新規にマスタ状態とする

請求項 6 又は 7 に記載の制御システム。

[請求項9] 前記 1 / 0 ノードの前記 1 / 0 プログラムが処理した結果を、少なくとも 2 台の前記制御ノードで順番に受信し、

各制御ノードにおいて、前記制御プログラムの前記判断実行部は、受信した前記処理の結果に基づいて前記制御指令を生成し、前記制御指令を前記 1 / 0 ノードに順次送信する

請求項 6 に記載の制御システム。

[請求項10] 少なくとも 2 台の前記 1 / 0 ノードを、それぞれ情報の取得と操作が同時に可能なように前記制御対象機器と接続し、

複数の前記 1 / 0 ノードのうち 1 台を常用系、他の前記 1 / 0 ノードを待機系として動作させる

請求項 1、4、9 のいずれか一項に記載の制御システム。

[請求項11] 少なくとも 2 台の前記 1 / 0 ノードを、制御周期を同期させた状態で同一の前記制御対象機器と接続し、

前記制御プログラムの前記判断実行部は、実行すべき制御内容を少なくとも 2 個の前記制御指令に分割して記載し、前記制御対象機器に接続した各 1 / 0 ノードへ前記制御内容が分割された前記制御指令をそれぞれ送信する

請求項 1、4、9 のいずれか一項に記載の制御システム。

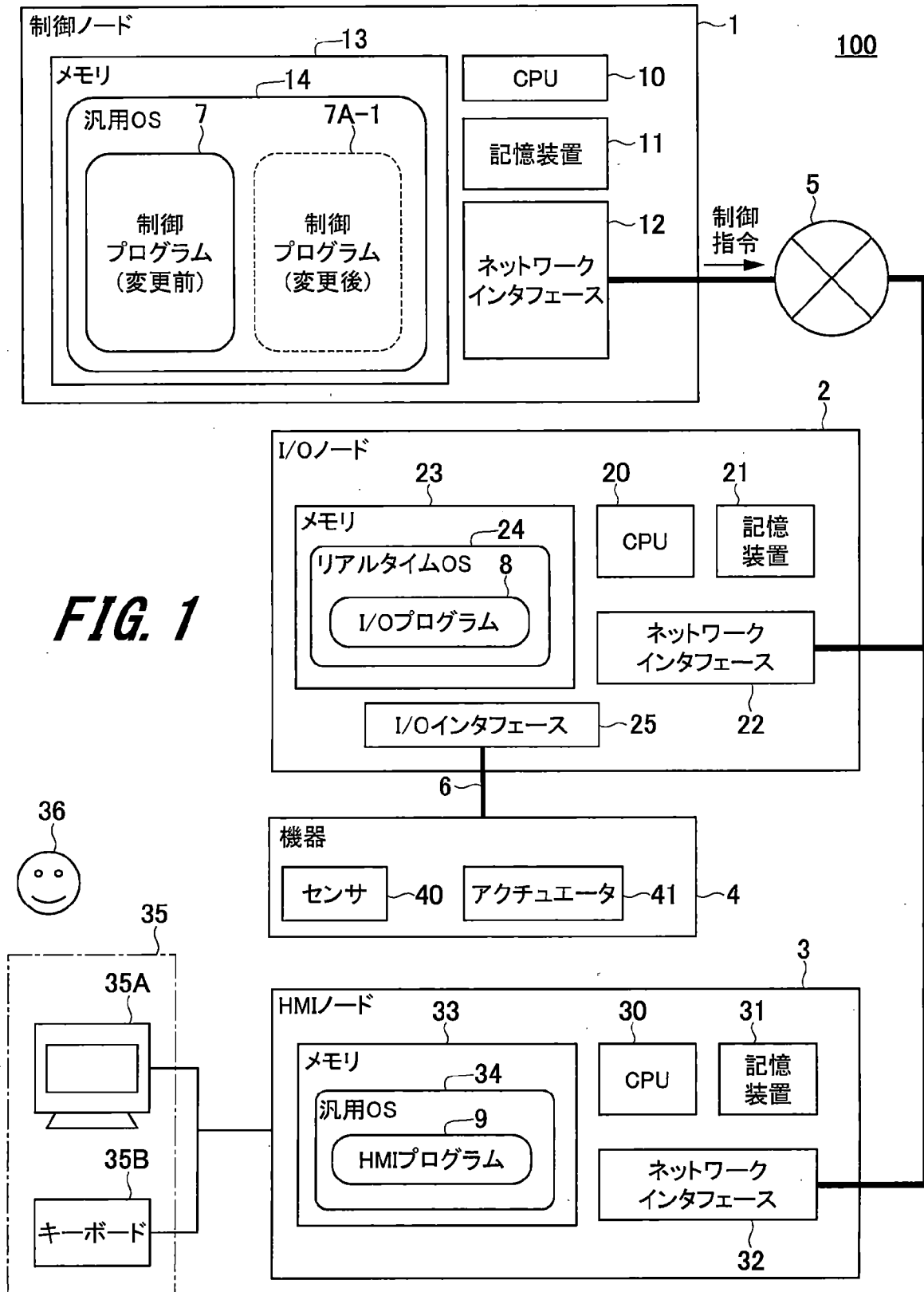
[請求項12] 少なくとも 2 台の前記 1 / 0 ノードを、制御周期を同期させた状態で同一の前記制御対象機器と接続し、

前記制御プログラムの前記判断実行部は、各 1 / 0 ノードにおける前記 1 / 0 プログラムの前記制御指令実行部での開始タイミングを、前記制御周期の範囲内で前記 1 / 0 プログラムごとにずらして設定した同一制御内容の前記制御指令を生成し、前記制御対象機器に接続した 2 台以上の前記 1 / 0 ノードへ前記制御指令をそれぞれ送信し、

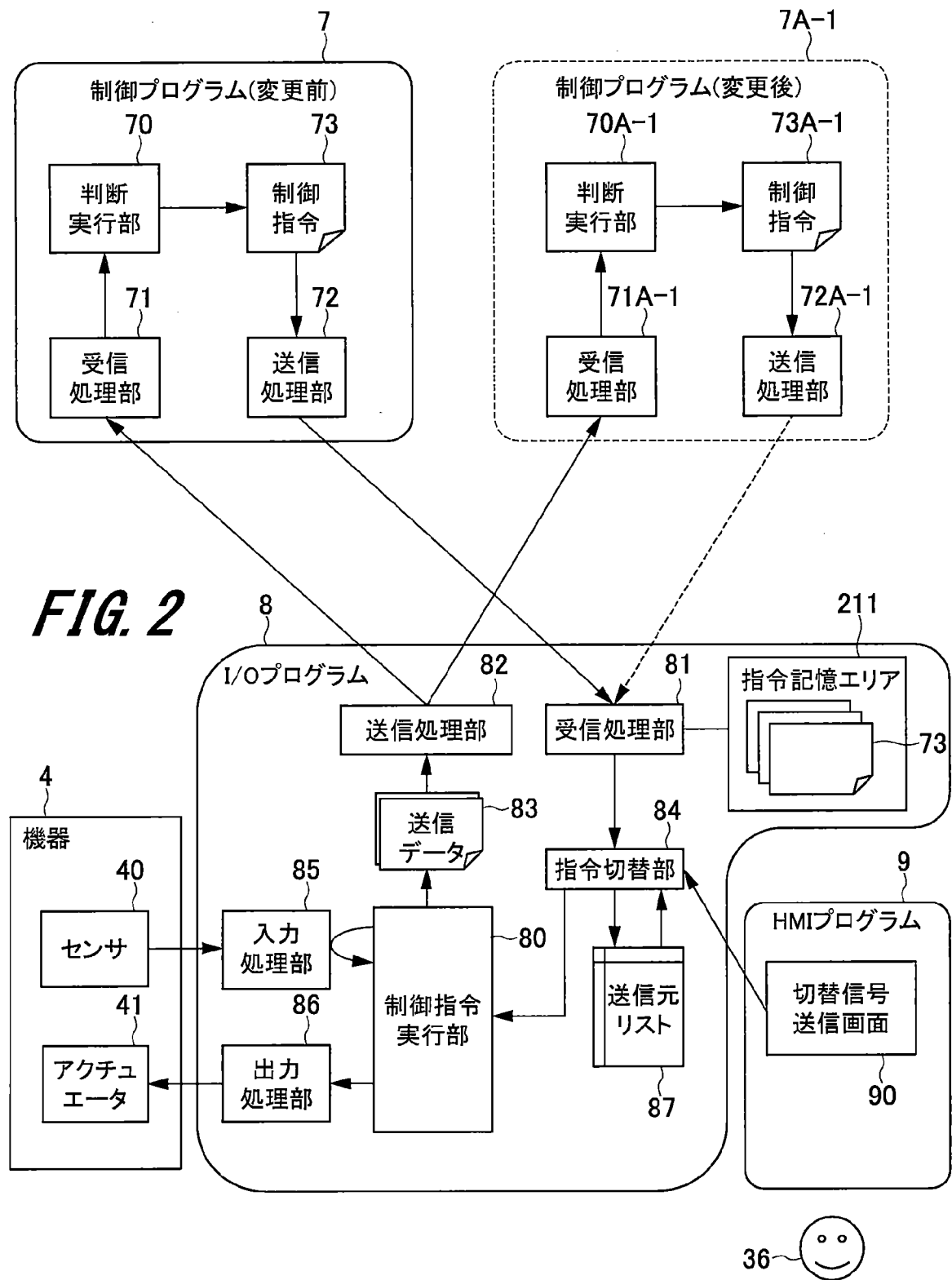
各 1 / 0 ノードにおいて、前記 1 / 0 プログラムの前記制御指令実

行部が、設定された前記開始タイミングで前記制御指令を実行する
請求項 1、4、9 のいずれか一項に記載の制御システム。

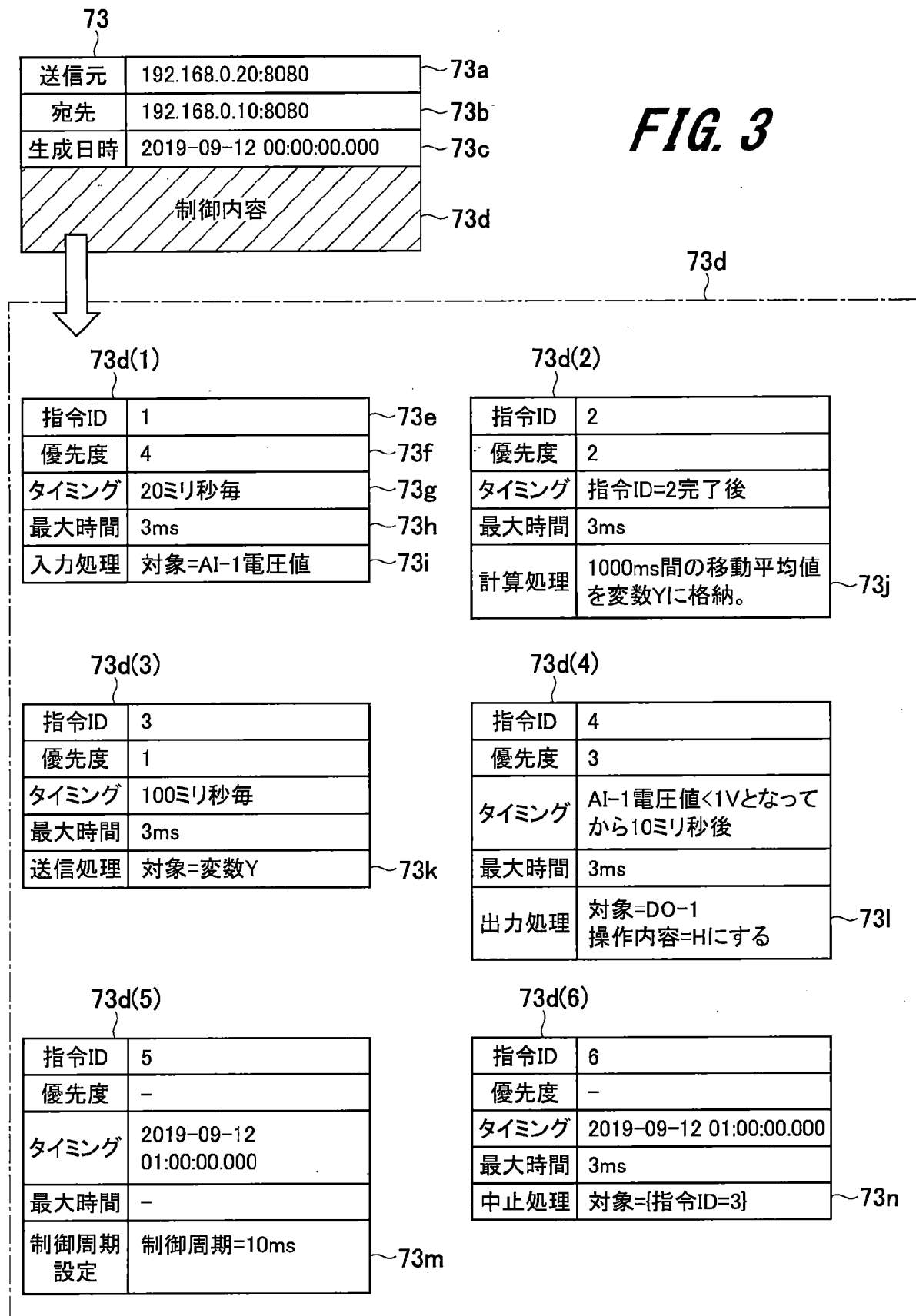
[図1]



[図2]



[図3]



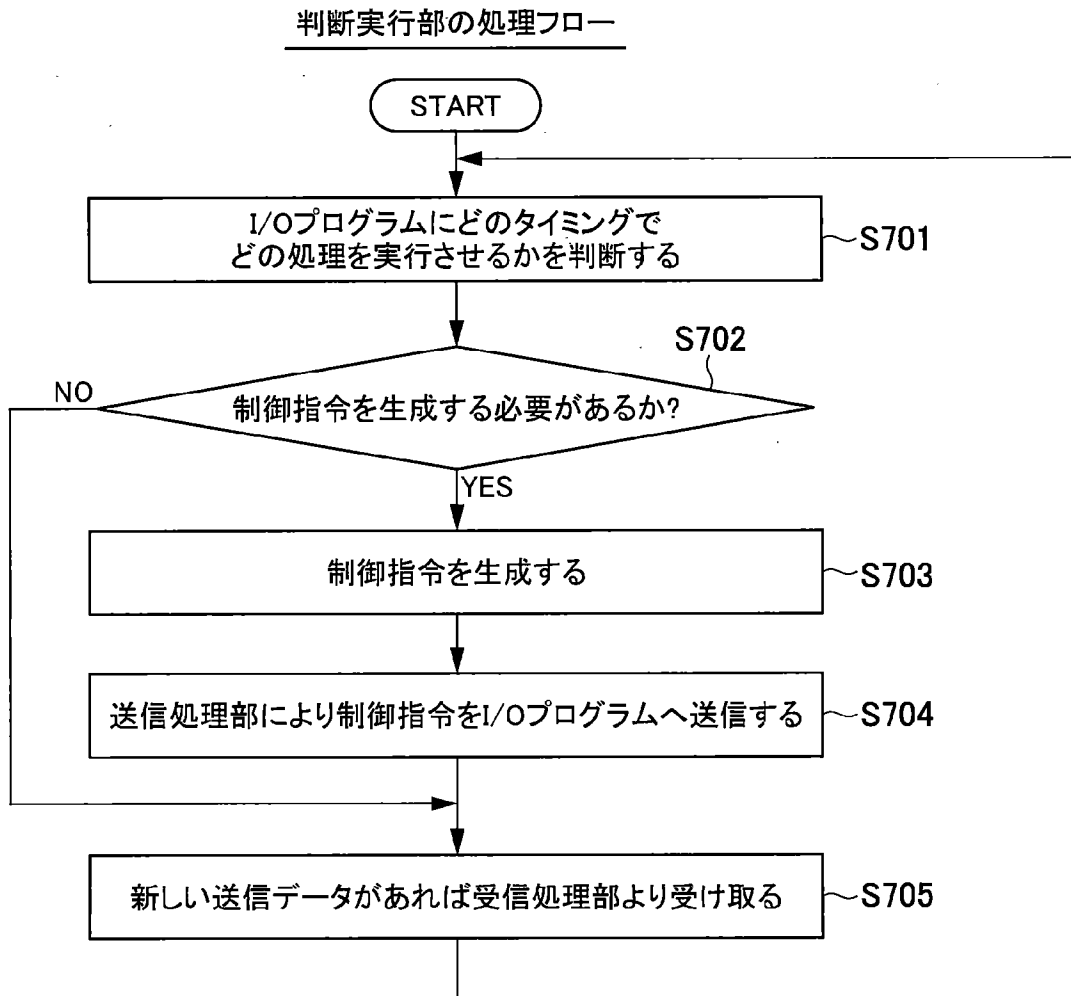
[図4]

FIG. 4

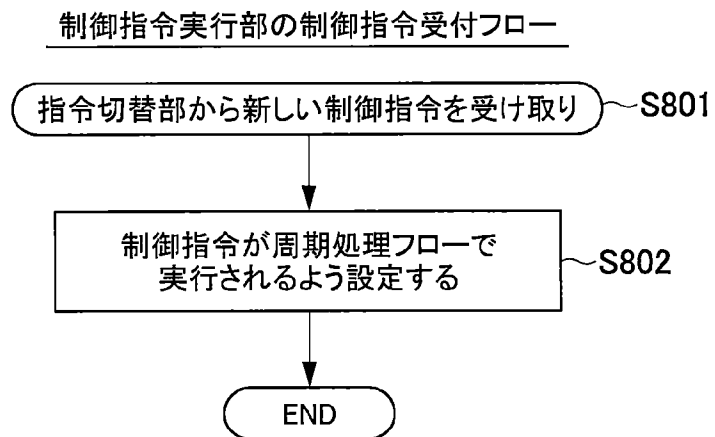
83

送信データ		
83a	送信元	192.168.0.10:8080
83b	送信日時	2019-09-12 00:00:01.000
83c	指令ID	1
83d	データ	対象 変数Y
		値 3.7V

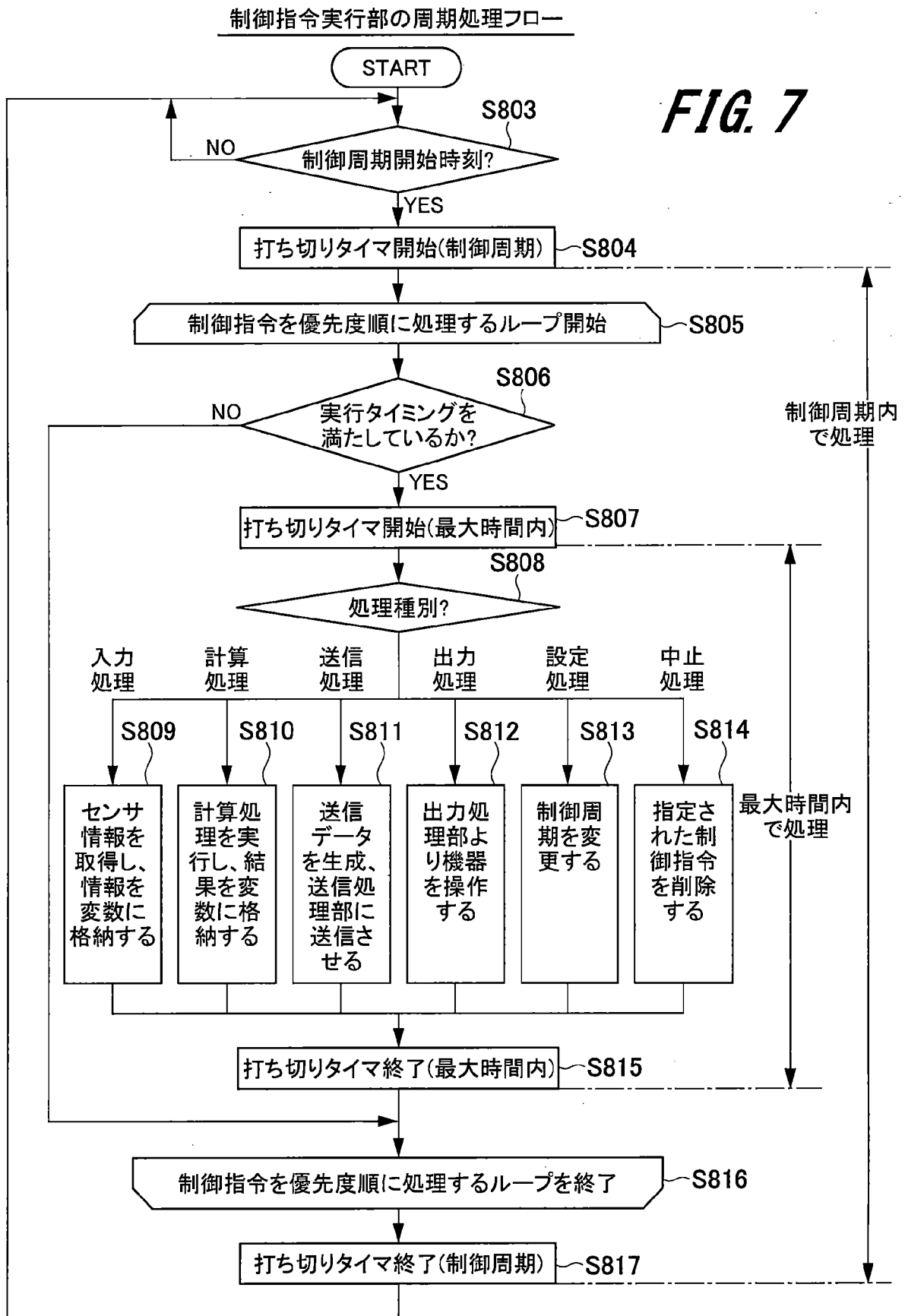
[図5]

**FIG. 5**

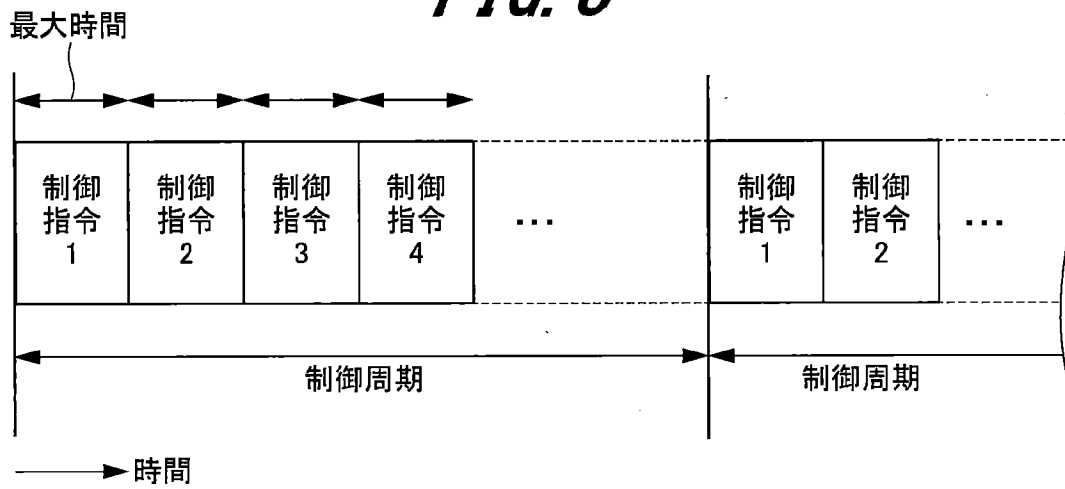
[図6]

**FIG. 6**

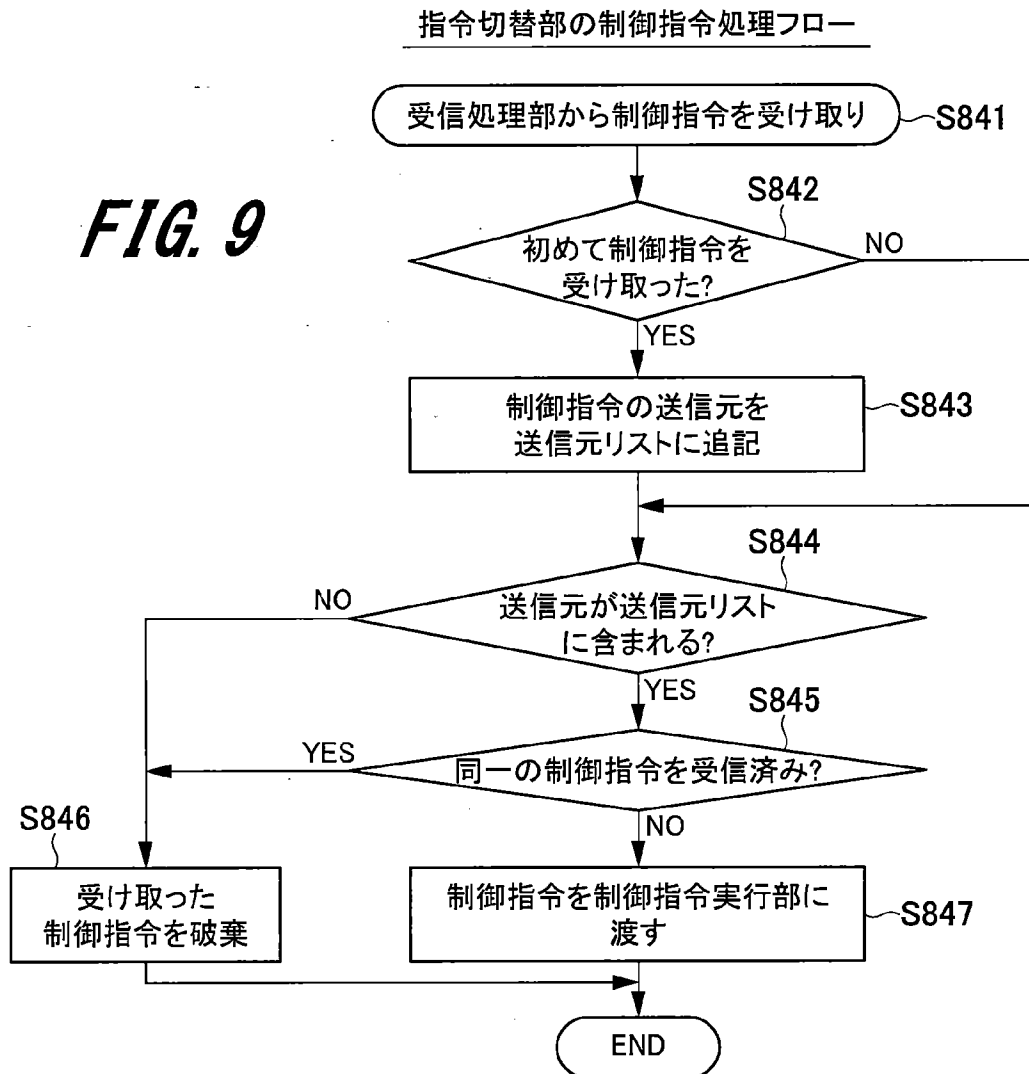
[図7]



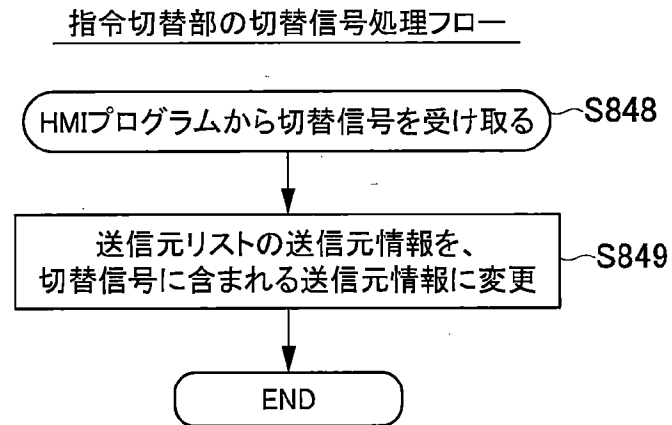
[図8]

FIG. 8

[図9]



[図10]

**FIG. 10**

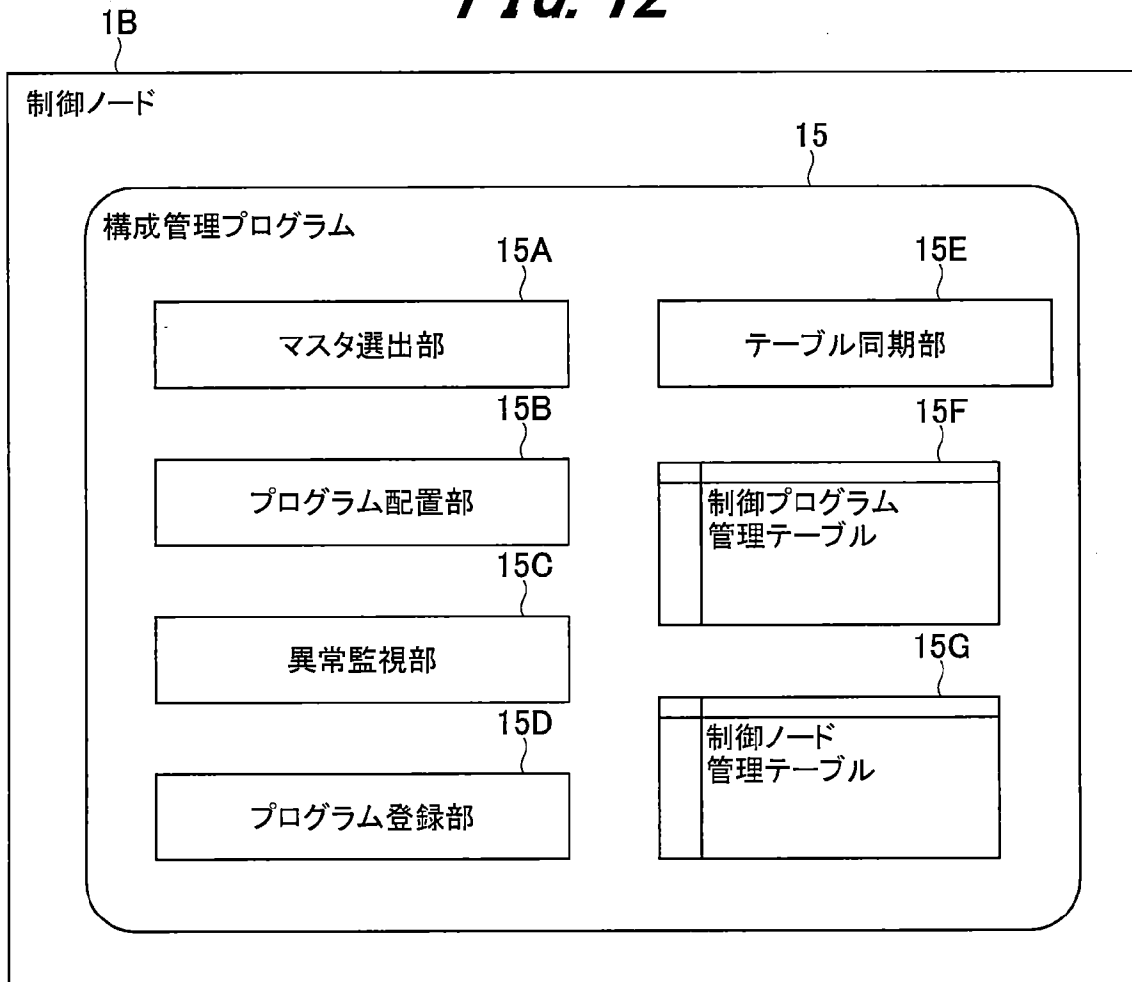
[図11]

FIG. 11

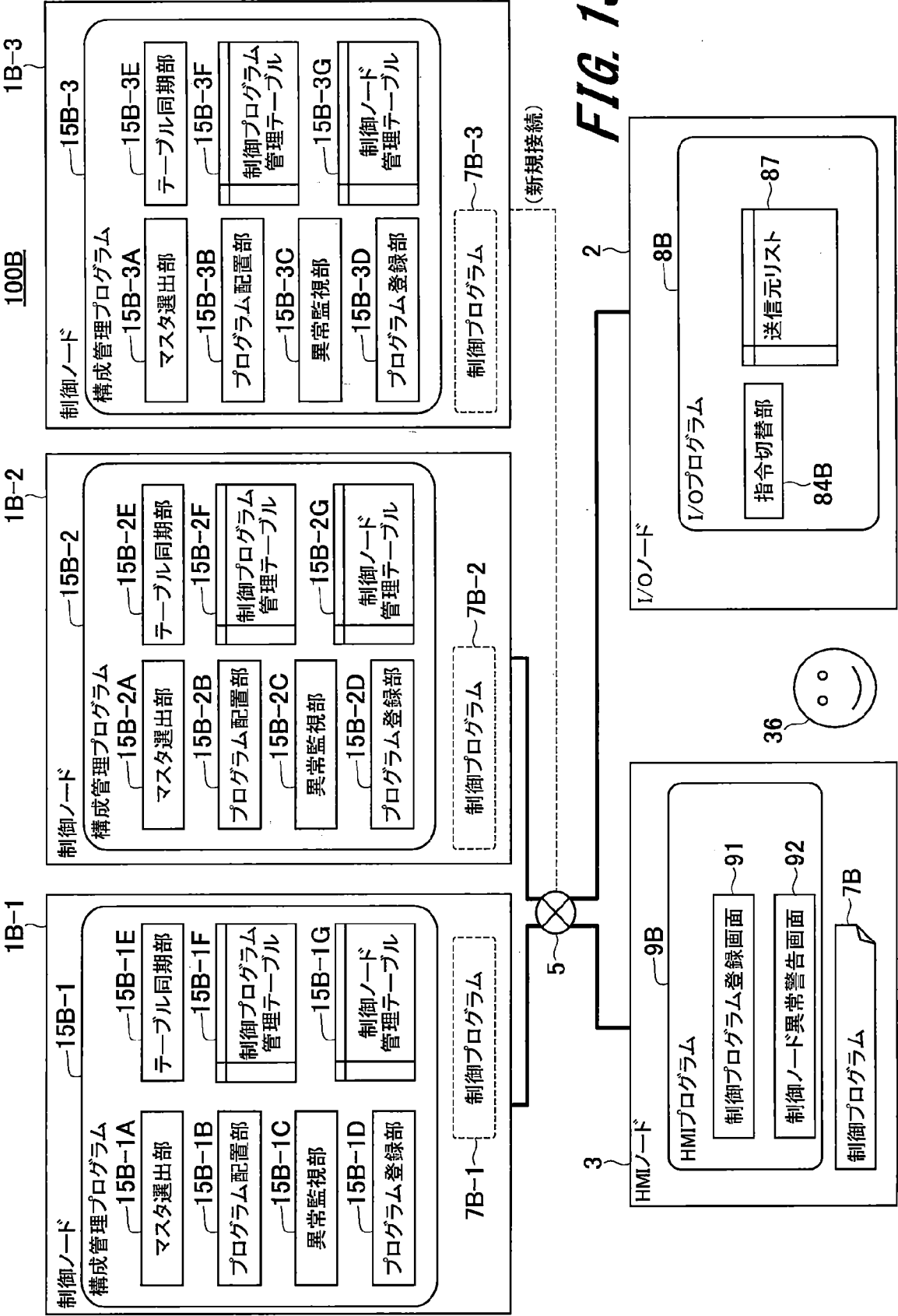
90

切替信号送信画面	
I/Oプログラム	192.168.0.10:8080 90a
切替先制御プログラム	192.168.0.30:8080 90b
	切替信号送信 90c

[図12]

FIG. 12

[図13]



[図14]

FIG. 14

15F

[制御プログラム管理テーブル]

制御プログラムID	保存先	種別	構成数
1	C:\ctrl-prg.exe	冗長	2

15f-1
15f-2
15f-3
15f-4

[図15]

FIG. 15

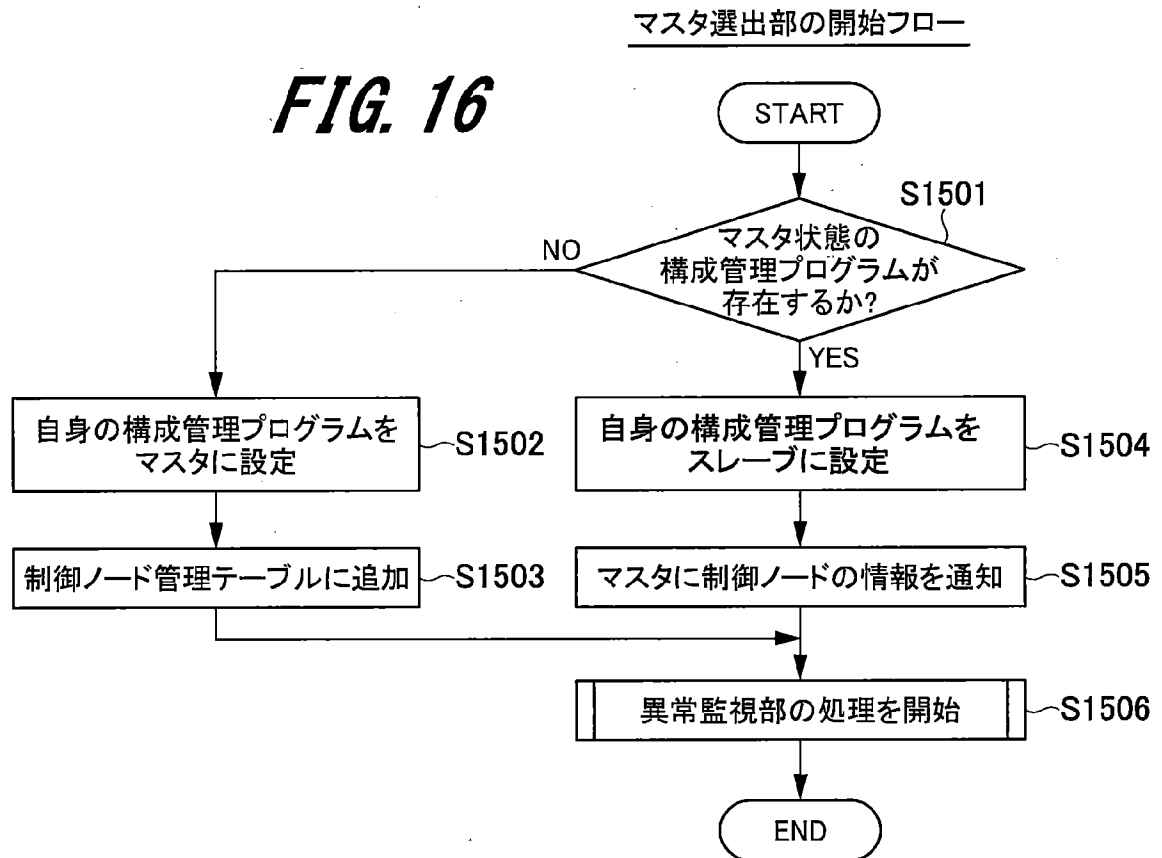
15G

[制御ノード管理テーブル]

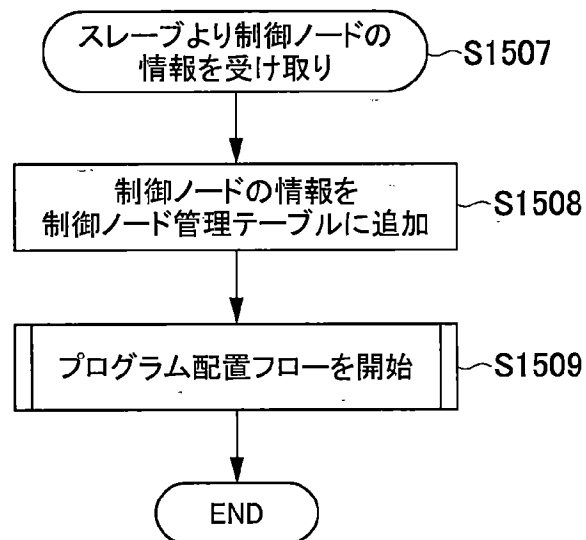
制御ノードID	マスタ/スレーブ	実行している 制御プログラムID	実行可否
1	マスタ	1	不可
2	スレーブ	1,2	不可
3	スレーブ	<空欄>	可能

15g-1
15g-2
15g-3
15g-4

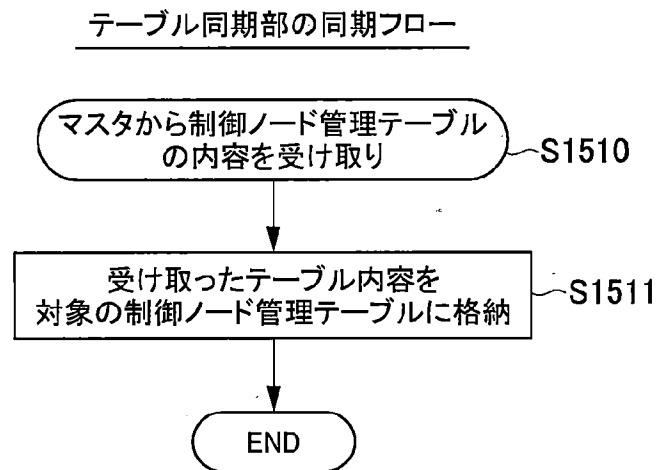
[図16]



[図17]

マスタ選出部の制御ノード管理フロー**FIG. 17**

[図18]



[図19]

FIG. 19

91

制御プログラム登録画面

91a

制御プログラム保存先 C:\¥ctrl-prg7.exe 開く

91b

冗長化構成設定

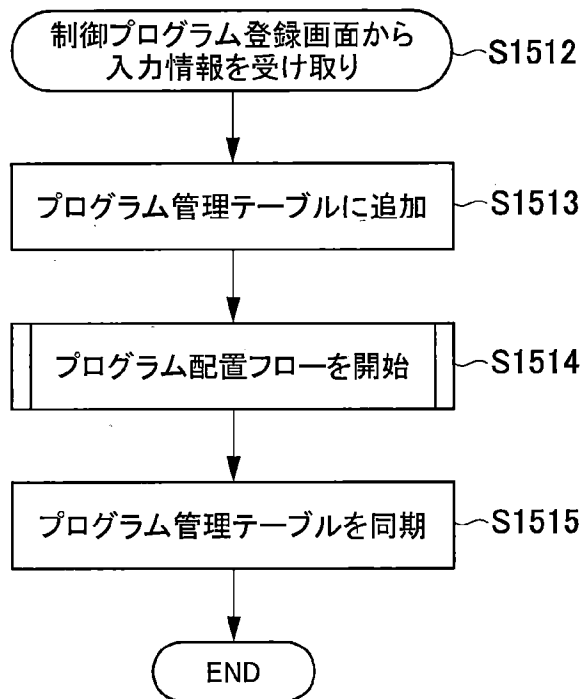
☒ する ☐ しない

台数: 2

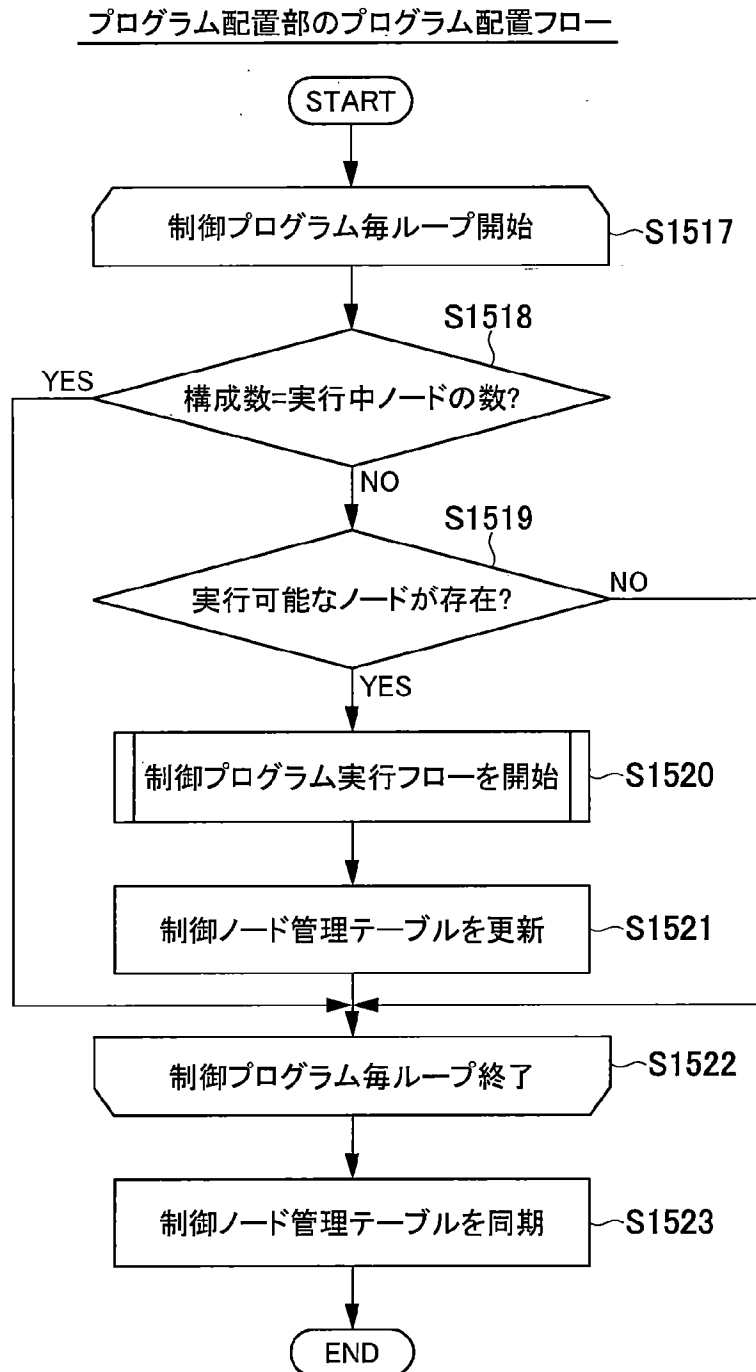
制御プログラム登録 91c

The figure shows a software interface for registering control programs. It includes a title bar, a label for the save location, a text input field with a file path, an 'Open' button, a label for redundancy settings, radio buttons for 'Yes' and 'No', a 'Number of units' label with a numeric input field, and a 'Register Control Program' button.

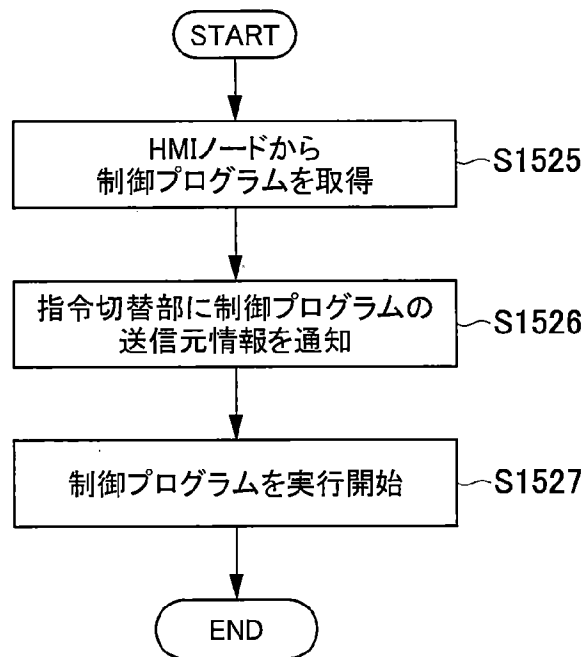
[図20]

プログラム登録部のプログラム登録フロー**FIG. 20**

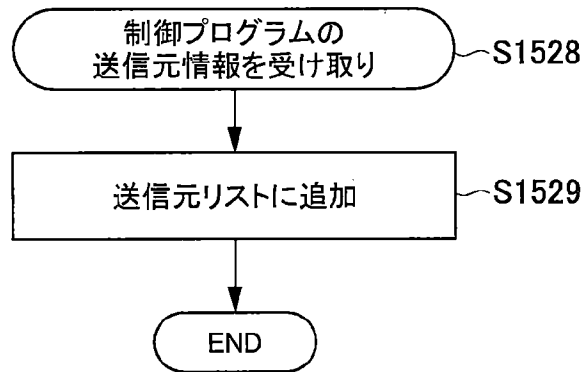
[図21]

**FIG. 21**

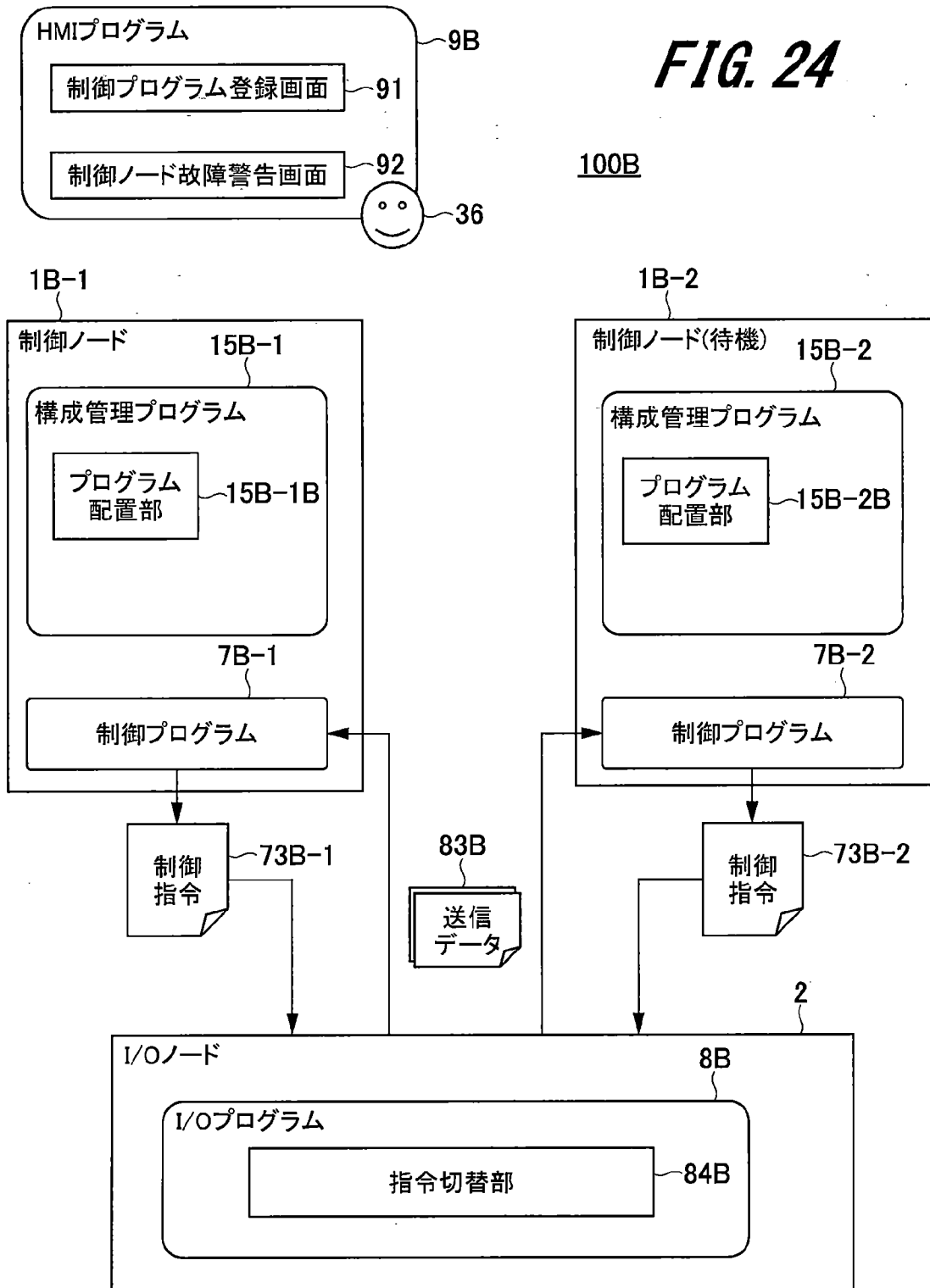
[図22]

プログラム配置部のプログラム実行フロー**FIG. 22**

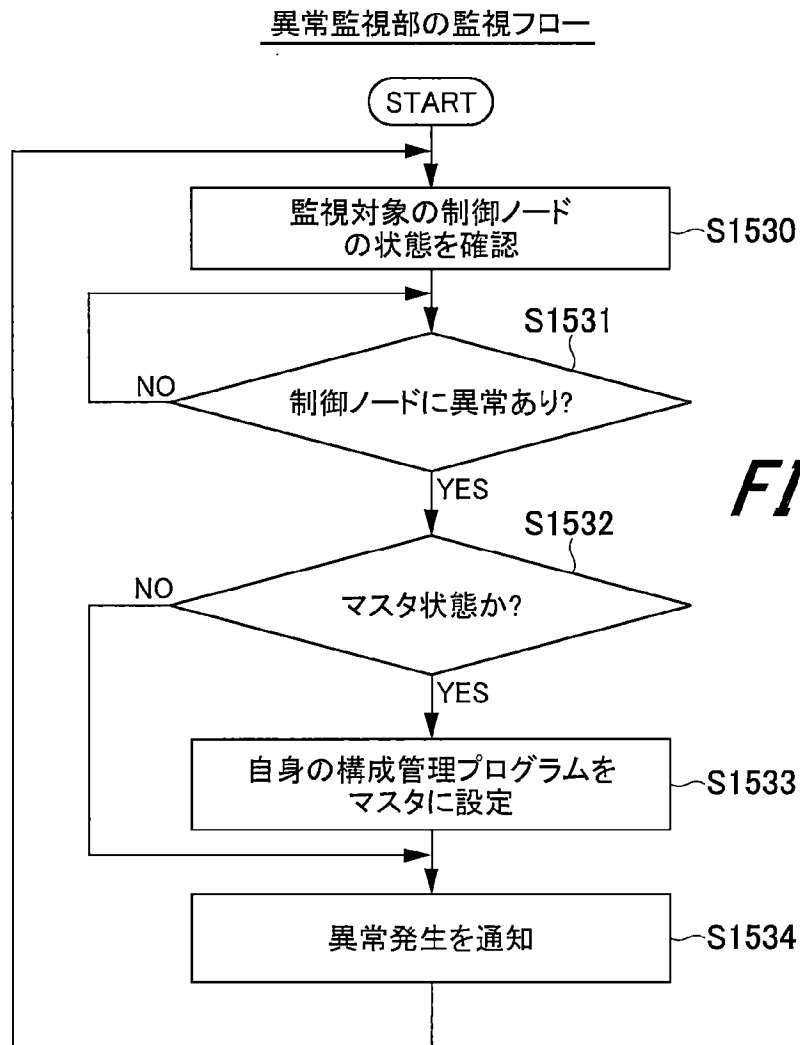
[図23]

指令切替部の構成通知フロー**FIG. 23**

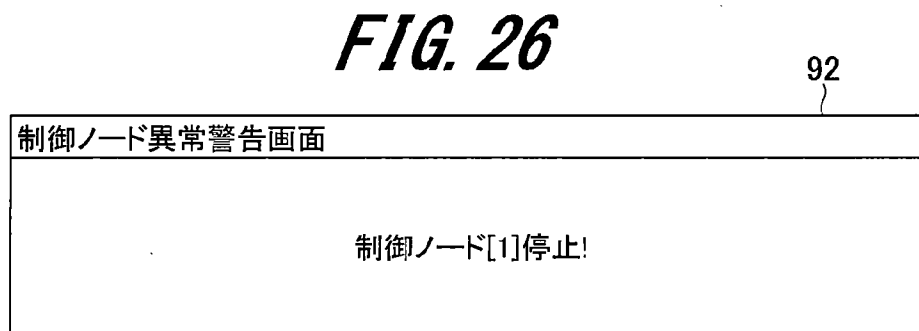
[図24]



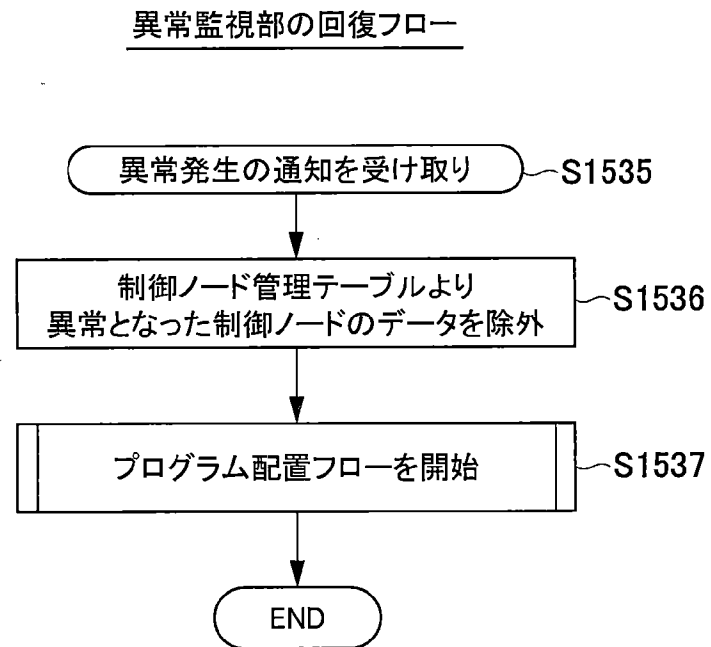
[図25]

**FIG. 25**

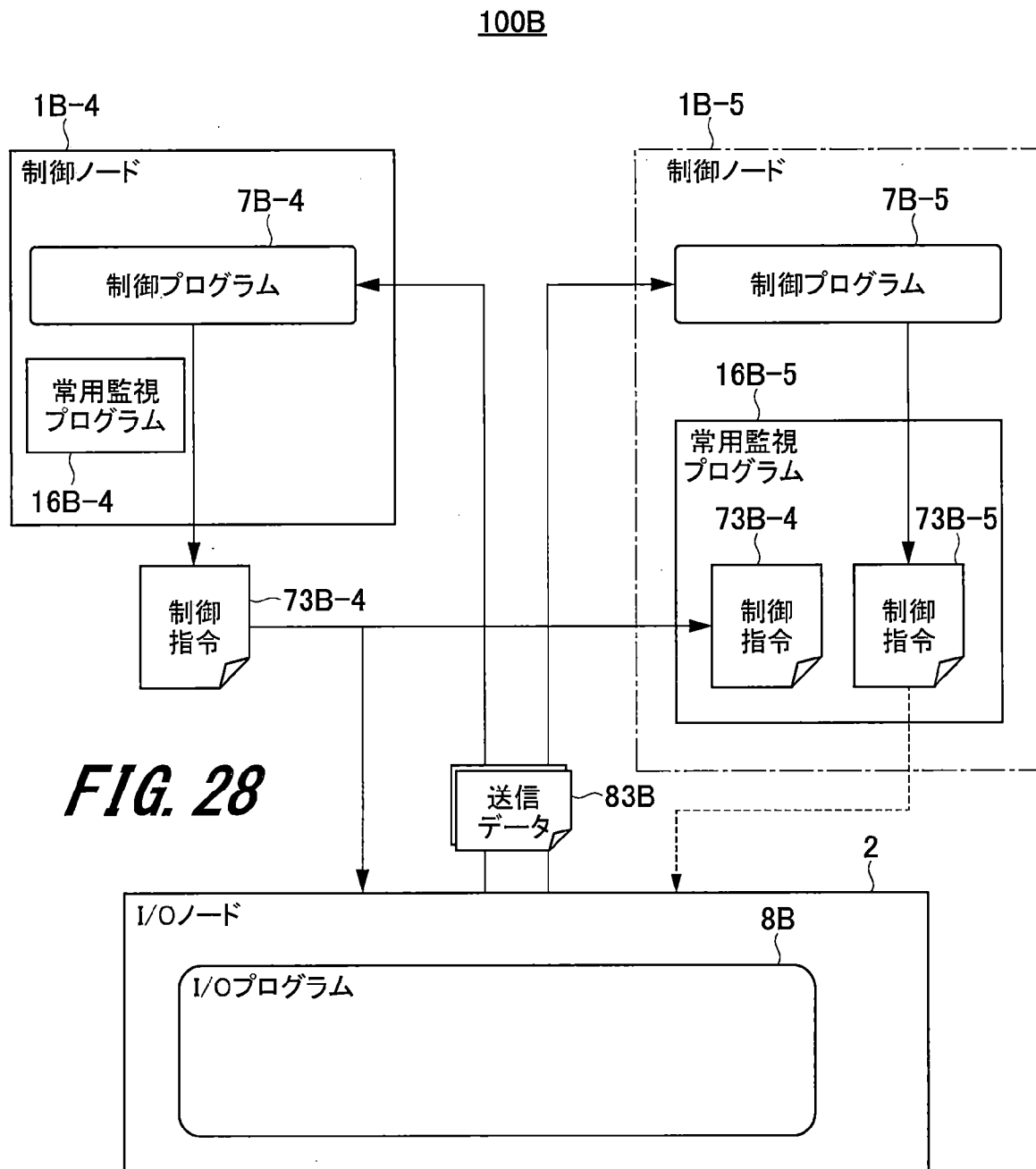
[図26]



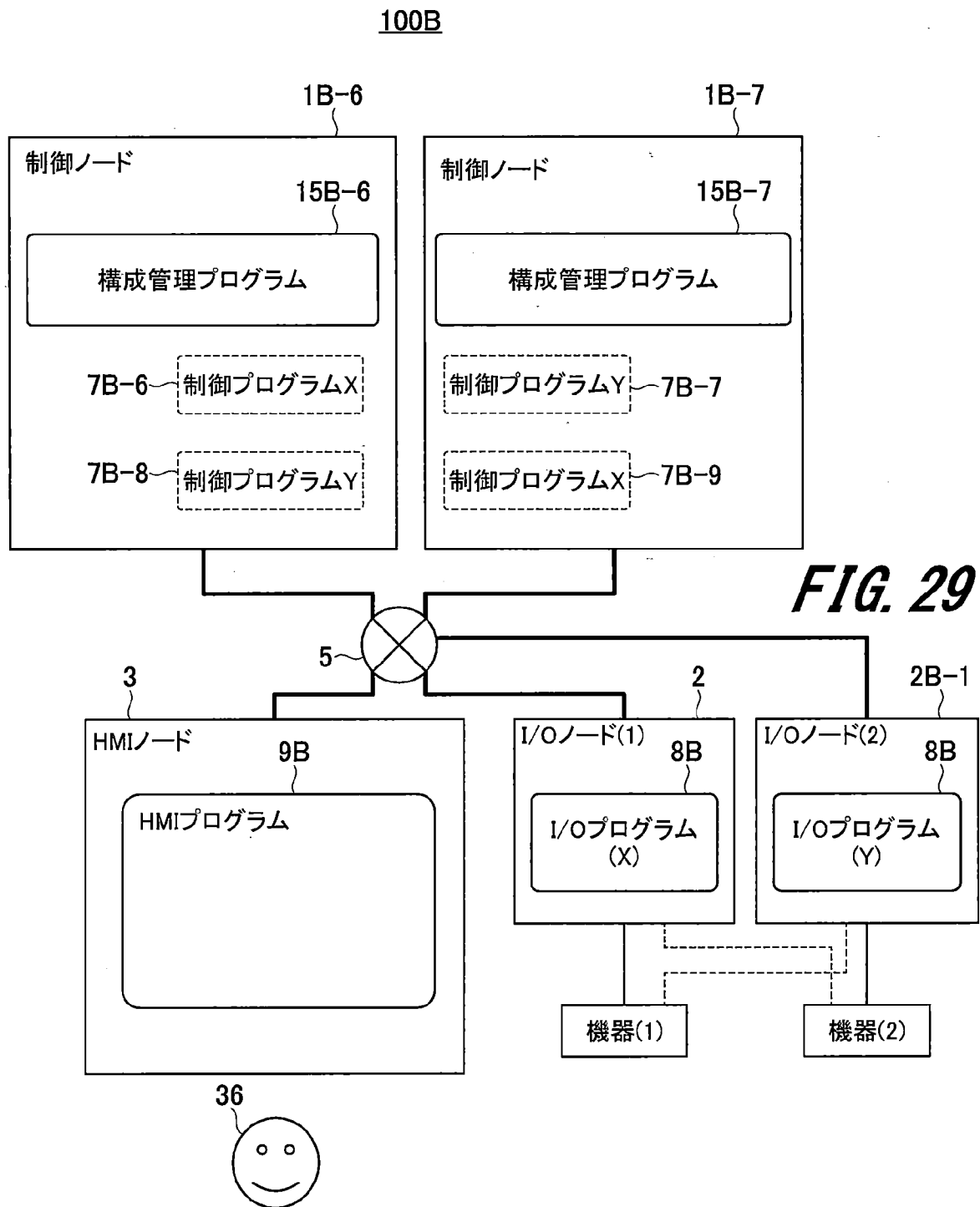
[図27]

**FIG. 27**

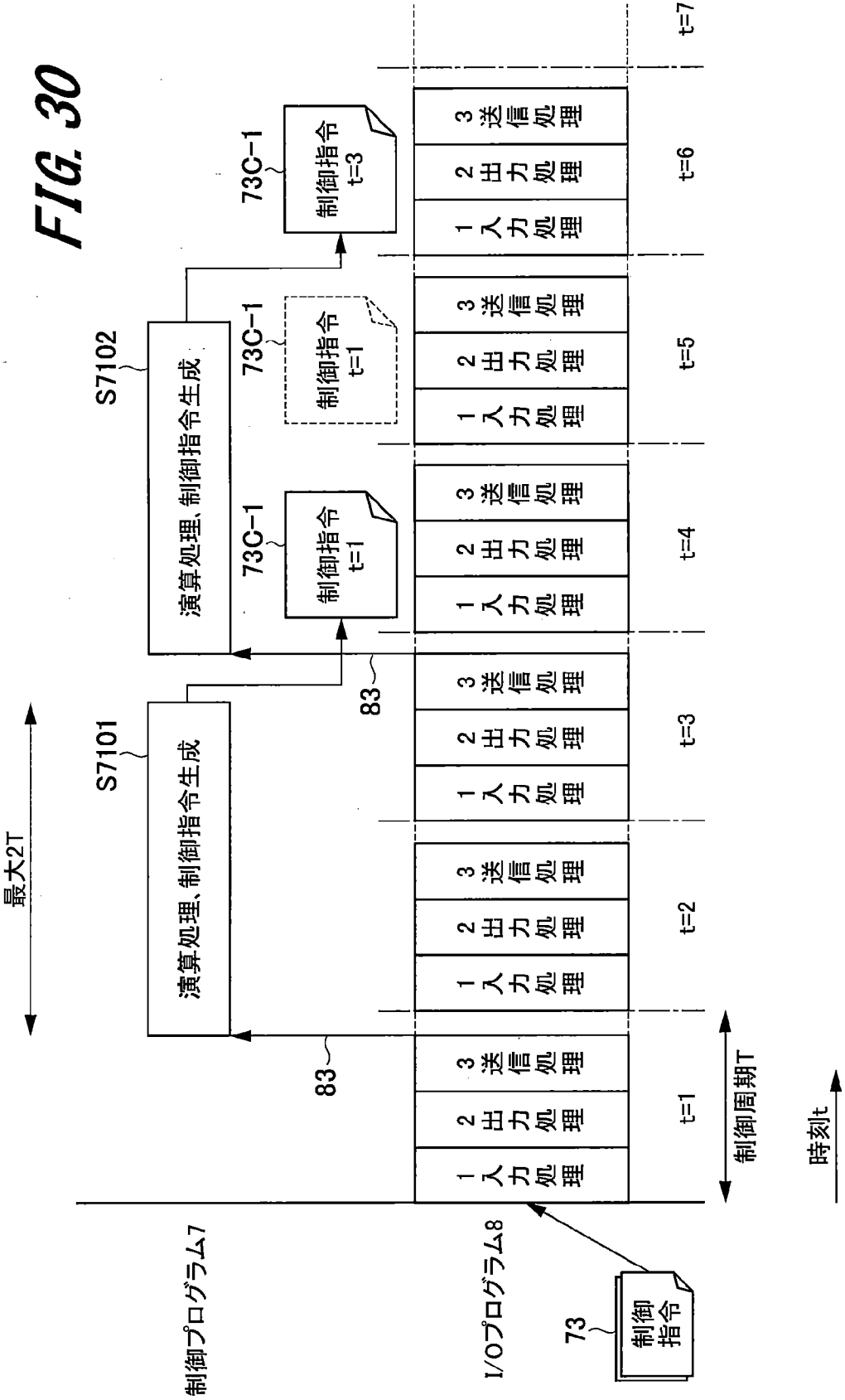
[図28]



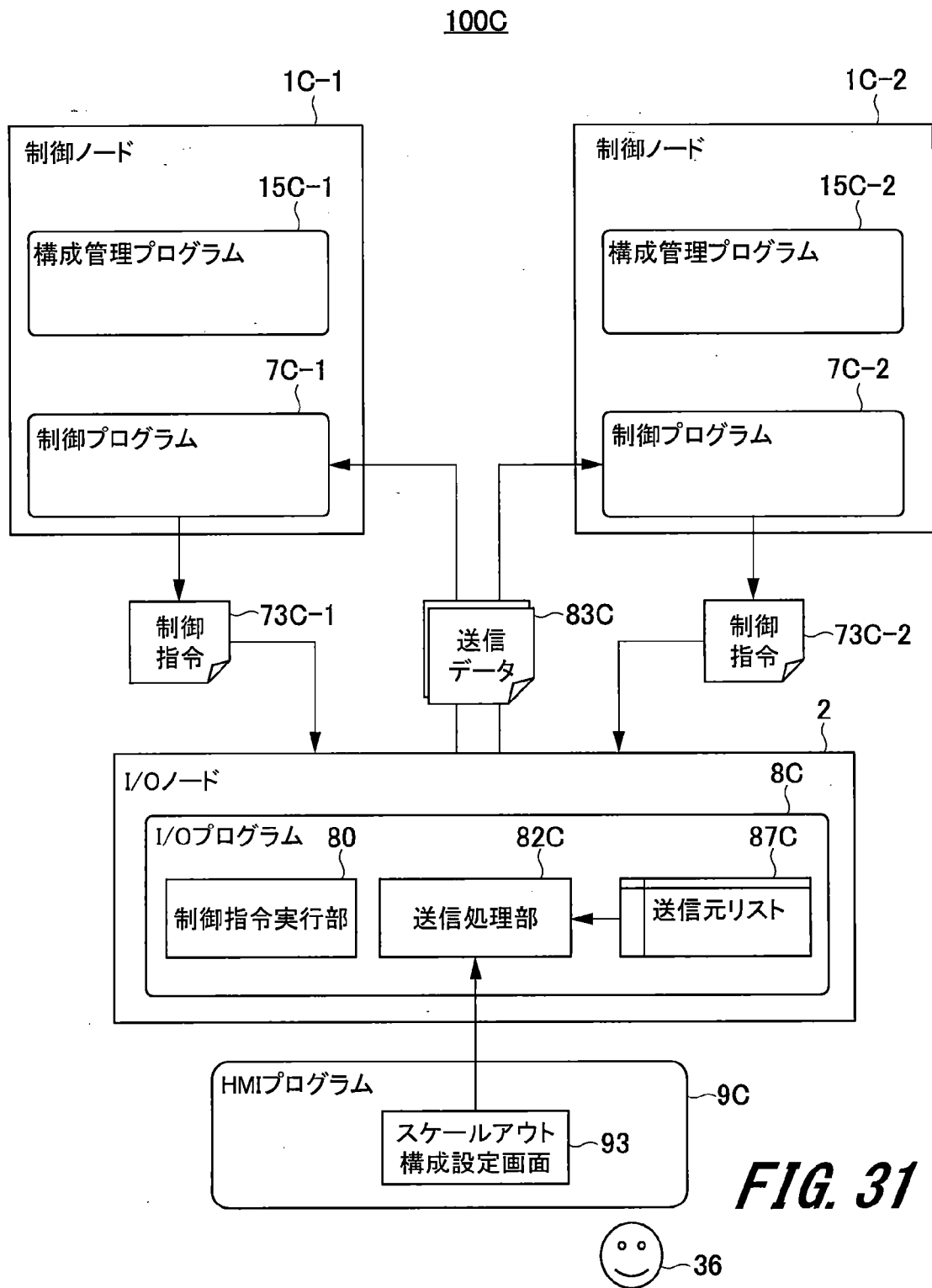
[図29]



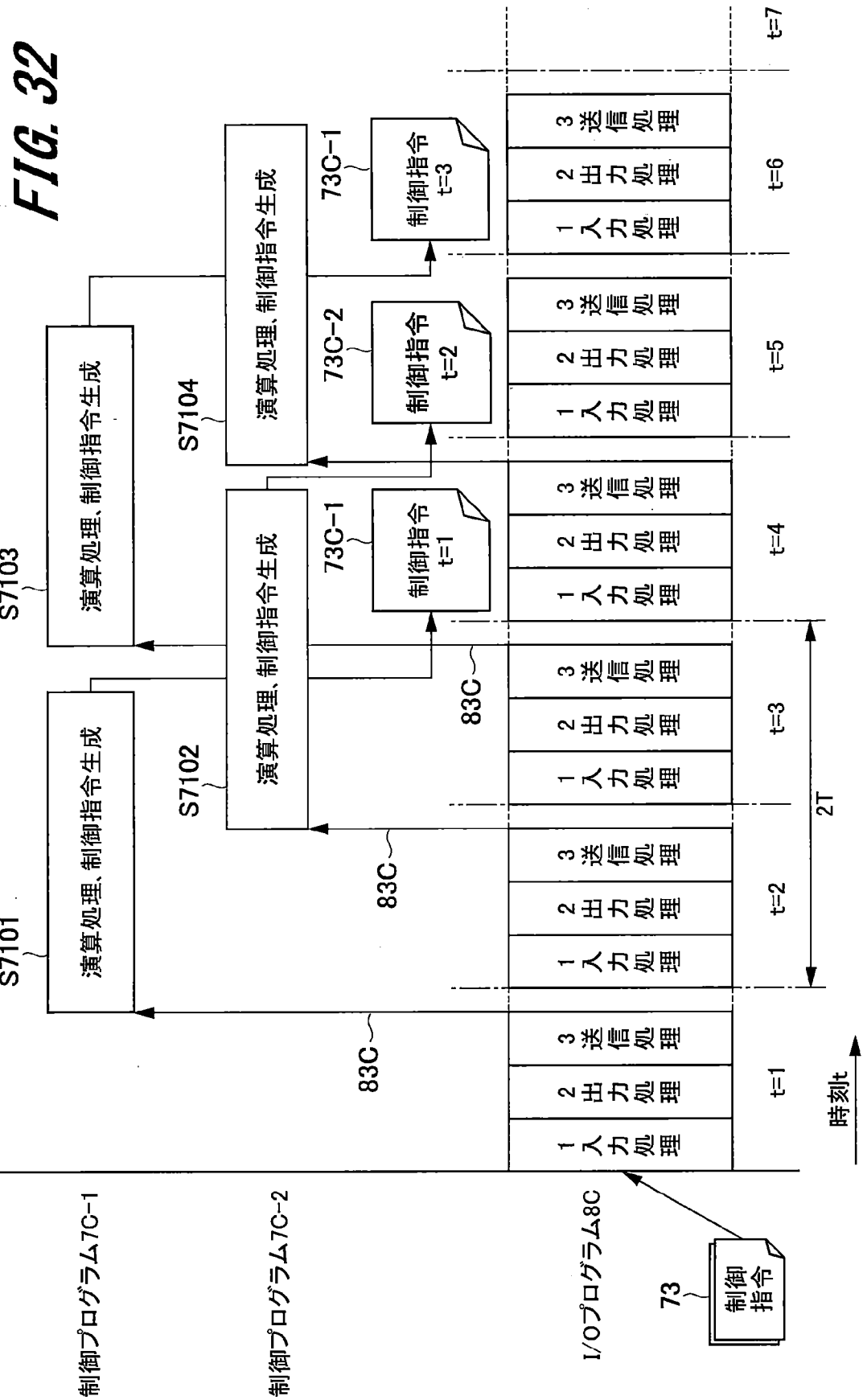
[図30]



[図31]



[図32]



[図33]

FIG. 33

93

スケールアウト構成設定画面

I/Oプログラム設定

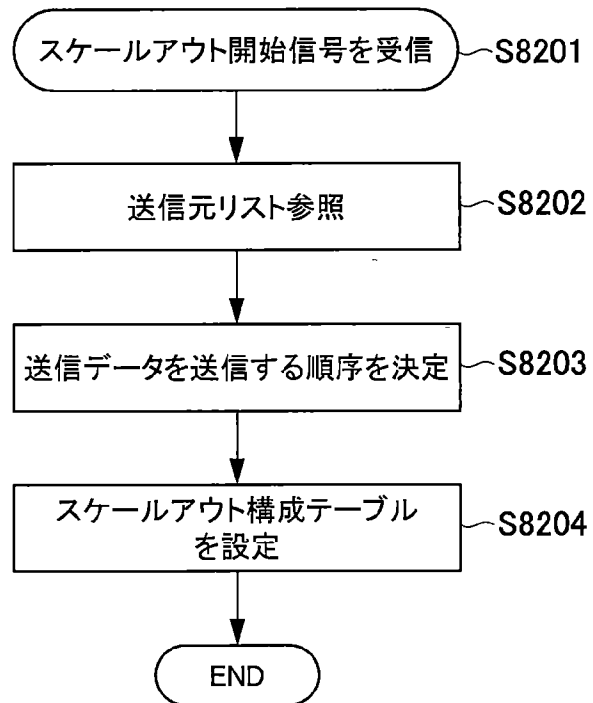
93a

192.168.0.10:8080

93b

スケールアウト開始

[図34]

送信処理部のスケールアウト構成開始フロー**FIG. 34**

[図35]

FIG. 35

[送信元リスト] 87C

送信元	順序
192.168.0.10:8080	1
192.168.0.11:8080	2

87a87b

[図36]

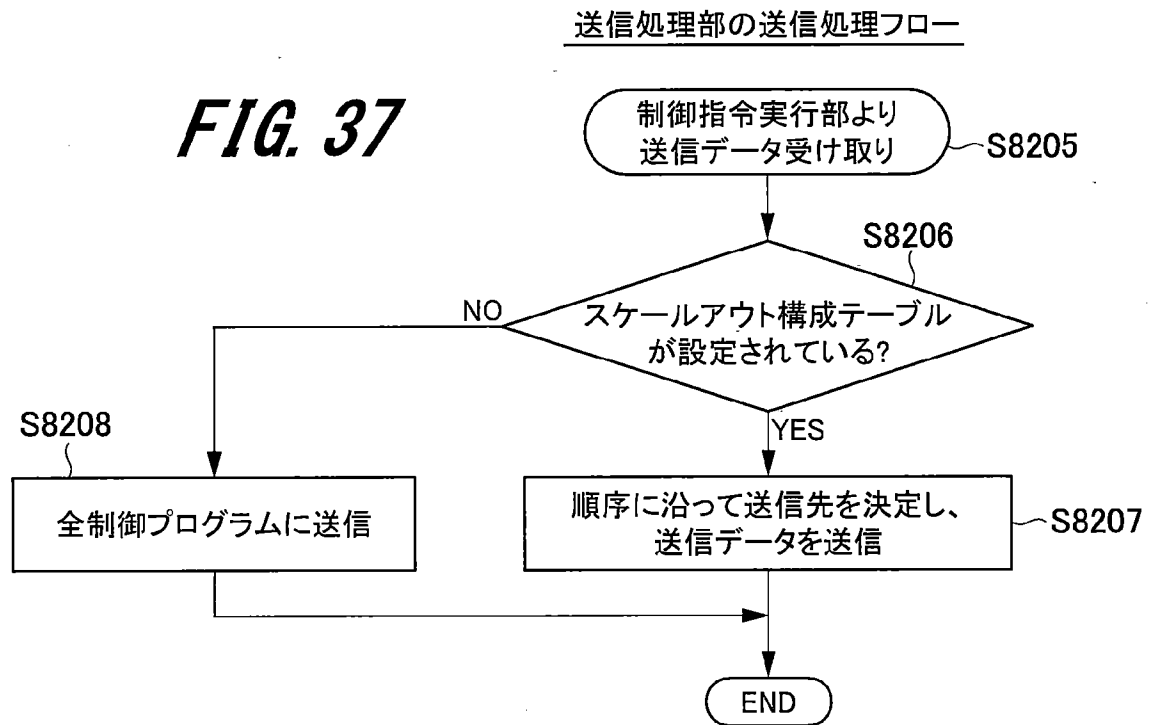
FIG. 36

[スケールアウト構成テーブル] 89

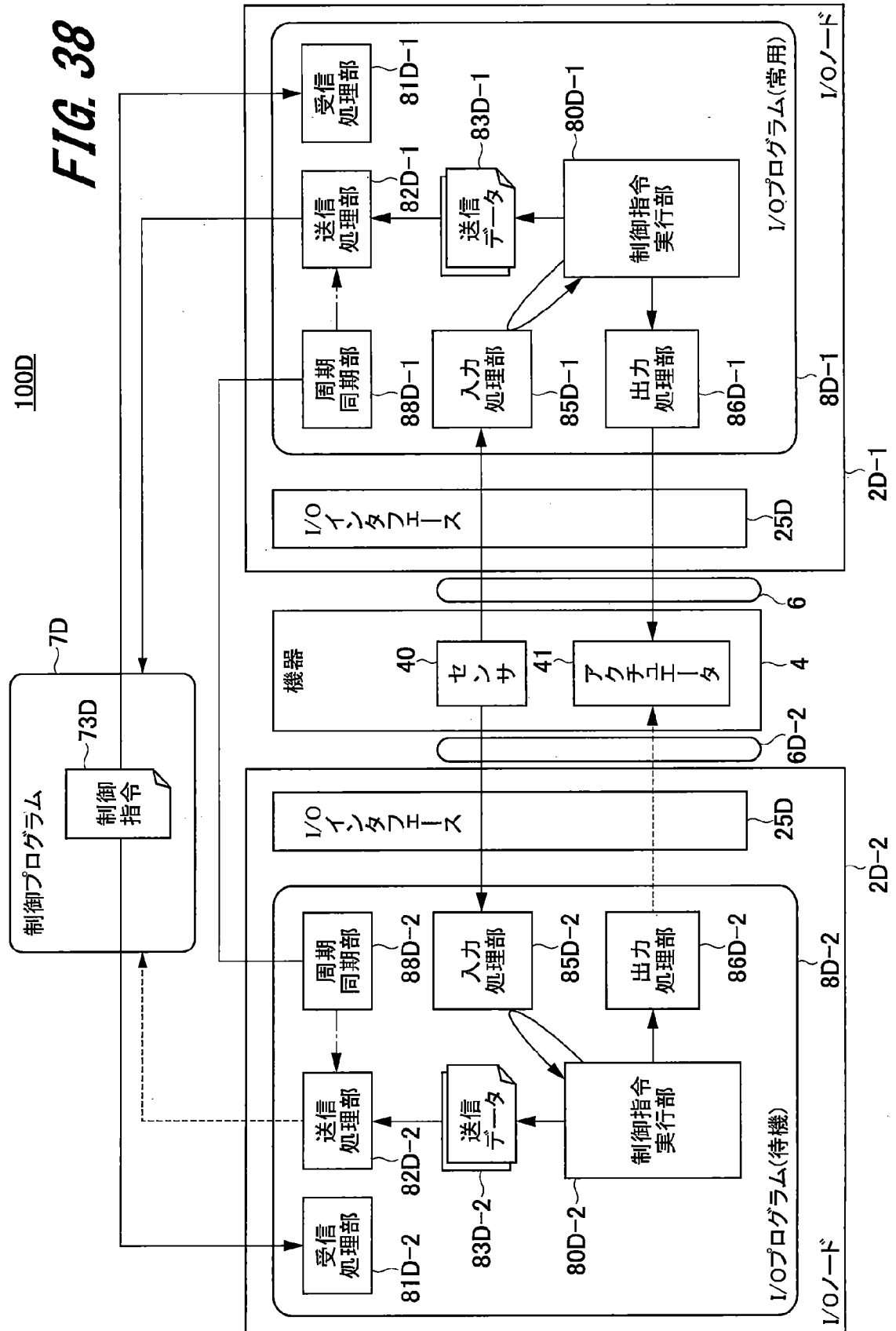
送信元	順序
192.168.0.10:8080	1
192.168.0.11:8080	2

89a89b

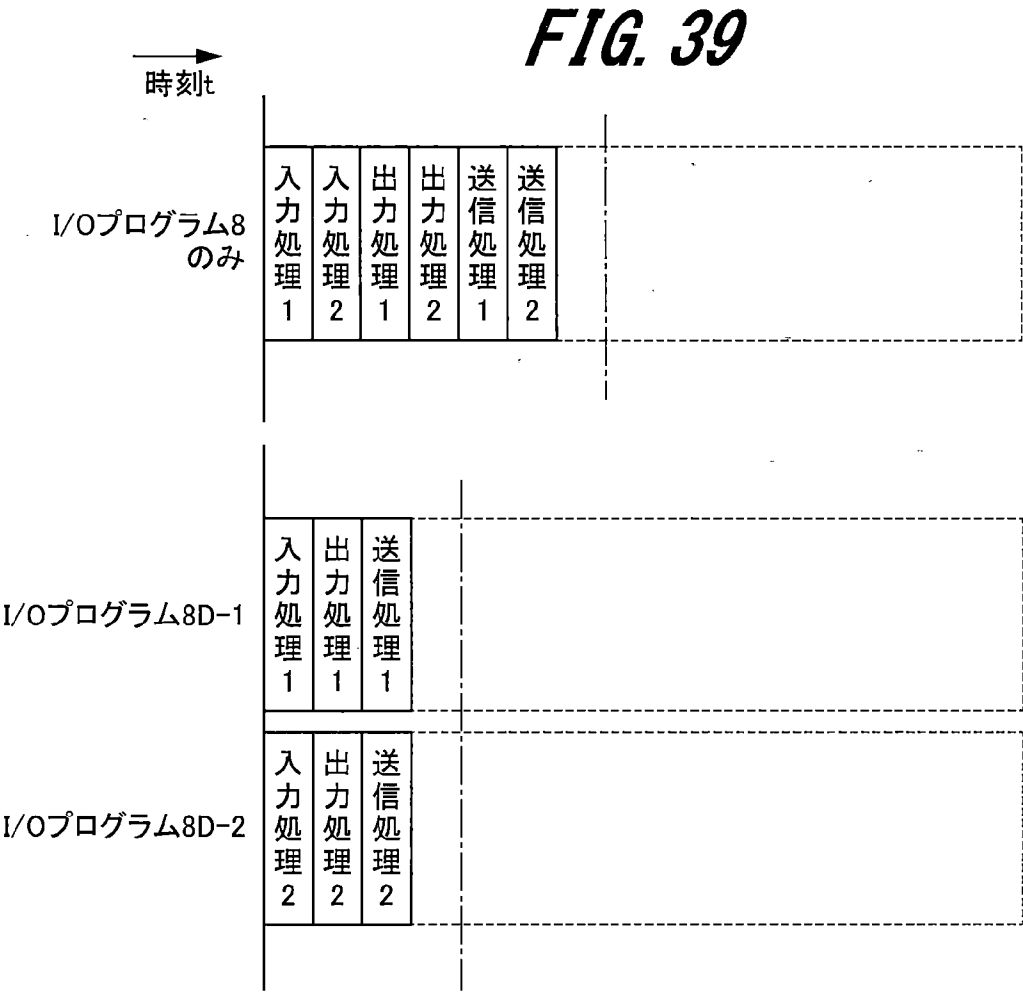
[図37]



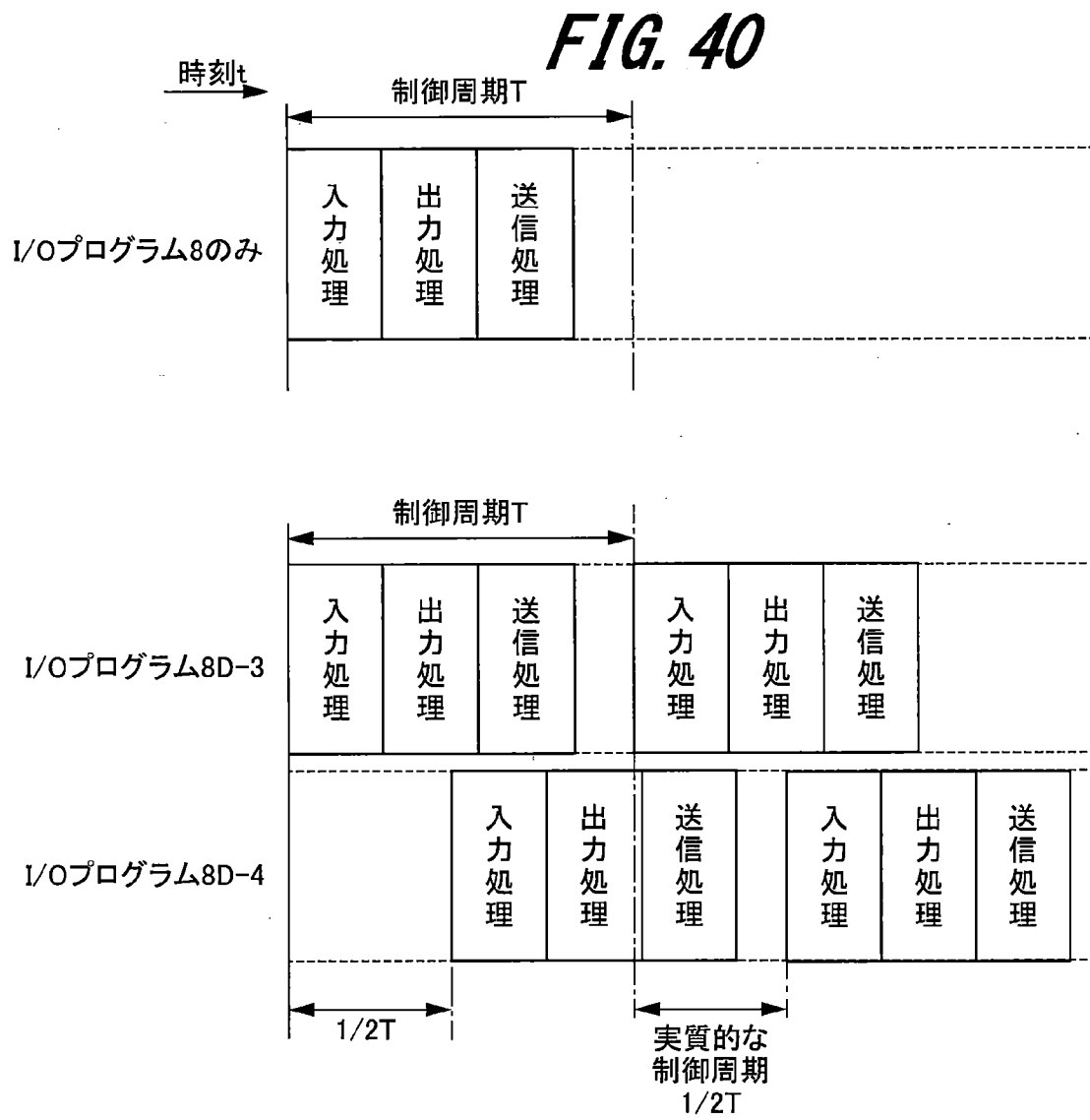
[図38]



[図39]



[図40]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/038321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/042 (2006.01) i

FI: G05B19/042

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)

G05B19/04-19/05

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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 A	JP 2009-93375 A (NIPPON STEEL CORP.) 30 April 2009 (2009-04-30) paragraphs [0009]-[0047], fig. 1-7	1, 10 2-9, 11-12
Y A	JP 2007-148814 A (TOSHIBA CORP.) 14 June 2007 (2007-06-14) paragraphs [0023]-[0027], fig. 1	1, 10 2-9, 11-12
Y	JP 2019-16170 A (HITACHI INDUSTRY & CONTROL SOLUTIONS, LTD.) 31 January 2019 (2019-01-31) paragraph [0022], fig. 1	10
A	JP 2018-41405 A (HITACHI INDUSTRIAL EQUIPMENT SYSTEMS CO., LTD.) 15 March 2018 (2018-03-15) entire text all drawings	1-12
A	JP 2017-62758 A (FUJII ELECTRIC CO., LTD.) 30 March 2017 (2017-03-30) entire text all drawings	1-12

☐ 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

"I" 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
13 November 2020 (13.11.2020)

Date of mailing of the international search report
24 November 2020 (24.11.2020)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
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/JP2020/038321

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2009-93375 A	30 Apr. 2009	US 2010/0318199 A1 paragraphs [0020]- [0060], fig. 1-7 WO 2009/044864 A1 EP 2196880 A1 KR 10-2010-0061577 A CN 101815972 A BR P10818404 A2 (Family: none)	
JP 2007-148814 A	14 Jun. 2007	(Family: none)	
JP 2019-16170 A	31 Jan. 2019	(Family: none)	
JP 2018-41405 A	15 Mar. 2018	US 2019/0204801 A1 entire text all drawings WO 2018/047412 A1 EP 3511857 A1 CN 109643355 A (Family: none)	
JP 2017-62758 A	30 Mar. 2017		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 19/042(2006.01)i FI: G05B19/042		
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）） G05B19/04-19/05		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 2009-93375 A（新日本製鐵株式会社）30.04.2009（2009-04-30） 段落 [0009] - [0047]，図1-7	1,10
A		2-9,11-12
Y	JP 2007-148814 A（株式会社東芝）14.06.2007（2007-06-14） 段落 [0023] - [0027]，図1	1,10
A		2-9,11-12
Y	JP 2019-16170 A（株式会社 日立産業制御ソリューションズ）31.01.2019（2019-01-31） 段落 [0022]，図1	10
A	JP 2018-41405 A（株式会社日立産機システム）15.03.2018（2018-03-15） 全文全図	1-12
A	JP 2017-62758 A（富士電機株式会社）30.03.2017（2017-03-30） 全文全図	1-12
☐ 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 13.11.2020		国際調査報告の発送日 24.11.2020
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） 藤井 浩介 3U 7870 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/JP2020/038321

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2009-93375	A	30.04.2009	US 2010/0318199 A1 段落 [0 0 2 0] - [0 0 6 0] , 図 1 - 7 WO 2009/044864 A1 EP 2196880 A1 KR 10-2010-0061577 A CN 101815972 A BR PI0818404 A2	
JP	2007-148814	A	14.06.2007	(ファミリーなし)	
JP	2019-16170	A	31.01.2019	(ファミリーなし)	
JP	2018-41405	A	15.03.2018	US 2019/0204801 A1 全文全図 WO 2018/047412 A1 EP 3511857 A1 CN 109643355 A	
JP	2017-62758	A	30.03.2017	(ファミリーなし)	