

(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
2022年11月17日(17.11.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/239063 A1

(51) 国際特許分類:
G05D 1/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/017699

(22) 国際出願日: 2021年5月10日(10.05.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 川野 洋(**KAWANO, Hiroshi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 中尾 直樹, 外 (**NAKAO, Naoki et al.**); 〒1600022 東京都新宿区新宿三丁目1番22号 新宿NSビル6階 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, IT, 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, 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.

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

(54) 発明の名称: 制御装置、方法及びプログラム

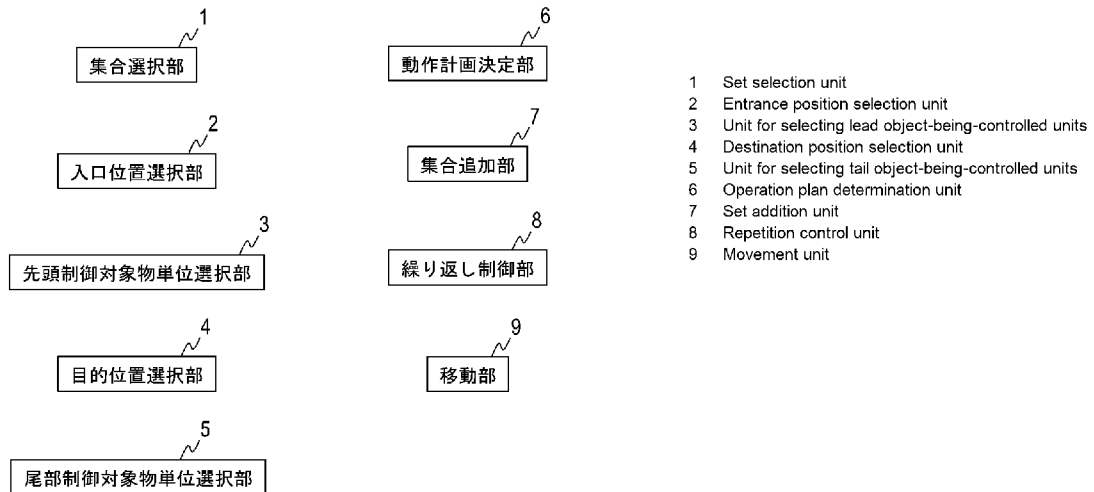


図10

(57) **Abstract:** This control device is provided with, for example, a set selection unit 1, an entrance position selection unit 2, a unit 3 for selecting lead object-being-controlled units, a destination position selection unit 4, a unit 5 for selecting tail object-being-controlled units, an operation plan determination unit 6, a set addition unit 7, a control unit 8, and a movement unit 9. In an operation plan determined by the operation plan determination unit 6: (i) a process is repeated in which two positions for generating voids are determined from among positions of objects being controlled constituting a series of object-being-controlled units, and the determined two positions and a series of objects being controlled that are located in a lead direction and are adjacent to the determined two positions are moved in the lead direction; or, (ii) in

(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))

the operation plan, the wait time for movement of a series of object-being-controlled units is determined so that voids for moving a series of object-being-controlled units do not overlap with voids for moving a series of object-being-controlled units that move one time point before.

(57) 要約：制御装置は、集合選択部 1、入口位置選択部 2、先頭制御対象物単位選択部 3、目的位置選択部 4、尾部制御対象物単位選択部 5、動作計画決定部 6、集合追加部 7、制御部 8 及び移動部 9 を例えば備えている。動作計画決定部 6 が決定する動作計画では、(i)一連の制御対象物単位を構成する制御対象物の位置の中でボイドを発生させる 2 個の位置を決定し、決定した 2 個の位置及び決定した 2 個の位置に隣接する先頭方向にある一連の制御対象物を先頭方向に移動させる処理が繰り返し行われ、又は、(ii)動作計画では、一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが重ならないように、一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が決定される。

明 細 書

発明の名称： 制御装置、方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、複数の制御対象物の行動を制御する技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、多数の自律移動ロボットを効率的に制御するための研究が活発に行われている。その任務内容は、人の入れない箇所の監視、物品の搬送などさまざまであるが、多数のロボットの協調動作による隊列形成を効率的に行わせるための技術が求められており盛んに研究が行われている。

[0003] 特に、ロボットの隊列制御の中でも、ロボット同士が互いに接したままの状態、アメーバのように全体で移動を行うという仮定の下でのロボット隊列制御においては、ロボット同士の相対的な位置関係から、各ロボットの絶対位置の決定が可能であるという利点と、付加的な位置計測用の装備を必要としないという利点があり、そのようなロボットの研究もおこなわれている。例えば、非特許文献 1 に示す研究に至る一連の研究では、ある隊列から他の隊列に変化する隊列制御が示されている（例えば、非特許文献 1 参照。）

。

[0004] このような、多数のロボットによる効率的な隊列形成を実現するには、それぞれのロボットの配置、動作順序などを事前に計画することが重要である。このような計画においては、当然ながら、複数のロボットが動作する実環境における障害物の存在や経路の形状なども十分に考慮しなければならない

。

[0005] 非特許文献 1 に示す研究に示されている手法では、複数の立方体形状のロボット同士での伸長収縮面動作（あるロボットが、他のロボットと接した状態で、伸び縮みしつつ移動する動作）によるロボットの隊列変形が扱われている

。

[0006] 非特許文献 2 及び特許文献 1 では、各ロボットが接した状態での動作を想

定している。各ロボットは同一（ホモジニアス）であるとし、目標形態内部での各ロボットの目標位置が定まっていない場合の隊列制御を実現している。複数の立方体形状のロボット同士での面せん断動作(あるロボットが、他のロボットと接した状態で、接する面上をスライド移動する動作)によるロボットの隊列変形が扱われている。ロボットが初期状態とする隊列位置の集合とロボットの目標位置の集合の共通部分内に非接続箇所がある場合でも適用可能である。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2020-030765号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：S. Vassilvitskii, M. Yim, J. Suh, “A Complete, Local and Parallel Reconfiguration Algorithm for Cube Style Modular Robots” , in Proc.2002 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 117-122, Washington DC, May, 2002.

非特許文献2：H. Kawano, “Distributed Tunneling Reconfiguration of Sliding Cubic Modular Robots in Severe Space Requirements” , in Proc.14th Int. Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, paper no. 1, Boulder, CO, Oct., 2018.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 非特許文献2及び特許文献1では、隊列変形に要する時間が長い可能性があった。

[0010] 本発明は、従来よりも短い時間で隊列変更をすることができる制御装置、方法及びプログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] この発明の一態様による制御装置は、所定の初期位置Sにある複数の制御対

象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御装置であって、各制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象物構造の接続性と言うとし、初期位置Sと目標位置Gの共通部分を共通位置とし、共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位置領域から構成されているとして、ある1つの部分共通位置領域を集合Upとして選択する集合選択部と、I, Jは所定の正の整数であり、初期位置Sから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は集合Upによって分断された少なくとも1つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、目標位置Gから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は集合Upによって分断された少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する集合Up内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択部と、集合Upに属する位置にあり、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち入口位置 E_i からの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位Headとして選択する先頭制御対象物単位選択部と、先頭制御対象物単位Headに接する位置であって、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置Dとして選択し、集合Upに追加する目的位置選択部と、部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち入口位置 E_i からの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位Tailとして選択する尾部制御対象物単位選択部と、先頭制御対象物単位選択部で選択された先頭制御対象物単位Headから尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、先頭制御対象物単位Headが目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定部と、動作計画では、一連の制御対象物単位を構成する制御対象物の位置の中でボイドを発生させる2個の位置を決定し、決定した2個の位置及び決定した2個の位置に隣接する先頭方向にあ

る一連の制御対象物を先頭方向に移動させる処理が繰り返し行われ、集合Upが集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを集合Upに追加する集合追加部と、先頭制御対象物単位選択部、目的位置選択部、尾部制御対象物単位選択部及び動作計画決定部の処理を、動作計画により、制御対象物単位の全てが目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御部と、決定された動作計画に従って、制御対象物単位を移動させる移動部と、を備えている。

[0012] この発明の一態様による制御装置は、所定の初期位置Sにある複数の制御対象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御装置であって、各制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象物構造の接続性と言うとし、初期位置Sと目標位置Gの共通部分を共通位置とし、共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位置領域から構成されているとして、ある1つの部分共通位置領域を集合Upとして選択する集合選択部と、 I, J は所定の正の整数であり、初期位置Sから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は集合Upによって分断された少なくとも1つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、目標位置Gから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は集合Upによって分断された少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する集合Up内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択部と、集合Upに属する位置にあり、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち入口位置 E_i からの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位Headとして選択する先頭制御対象物単位選択部と、先頭制御対象物単位Headに接する位置であって、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置Dとして選択し、集合Upに追加する目的位置選択部と、部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$

内の制御対象物単位のうち入口位置 E_i からの部分初期位置領域 $A_{s-s \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位Tailとして選択する尾部制御対象物単位選択部と、先頭制御対象物単位選択部で選択された先頭制御対象物単位Headから尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、先頭制御対象物単位Headが目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定部と、動作計画では、一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが重ならないように、一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が決定され、集合Upが集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを集合Upに追加する集合追加部と、先頭制御対象物単位選択部、目的位置選択部、尾部制御対象物単位選択部及び動作計画決定部の処理を、動作計画により、制御対象物単位の全てが目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御部と、決定された動作計画に従って、制御対象物単位を移動させる移動部と、を備えている。

発明の効果

- [0013] 制御対象物を移動させるためのボイドを2個発生させることで、又は、一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが重ならないように一連の制御対象物単位の移動の待ち時間を決定することで、従来よりも短い時間で隊列変更をすることができる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]ロボットの移動を説明するための図。
[図2]制御対象物単位の初期位置及び目標位置を説明するための図。
[図3]ボイドの移動の様子を説明するための図。
[図4]制御対象物単位の例を説明するための図。

[図5]タネリングを説明するための図。

[図6]タネリングを説明するための図。

[図7][Head_Tail_Selection]の動作の例を説明するための図。

[図8][Head_Tail_Selection]の動作の例を説明するための図。

[図9]各タネリングステップ動作開始時間差の算出方法を説明するための図。

[図10]制御装置の例を説明するための図。

[図11]制御方法の例を説明するための図。

[図12]コンピュータの機能構成例を示すための図。

[図13]タネリングを説明するための図。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明に用いる図面では、同じ機能を持つ構成部や同じ処理を行うステップには同一の符号を記し、重複説明を省略する。

[0016] <理論的背景>

まず、制御装置及び方法の理論的背景について説明する。以下、行動制御の対象である制御対象物が、ロボットである場合を例に挙げて説明するが、制御対象物は、制御の対象となり得るものであれば、ロボット以外であってもよい。

[0017] [問題設定]

多数の制御対象物が協調して、各制御対象物が接した状態を維持しつつ移動を行い、初期位置における隊列形成状態から目標位置への隊列変形を行う任務は、例えば図1に例示するような、互いに接する面同士をスライドさせて移動していくことが可能な立方体型の制御対象物の使用を想定する。図2に示すように、壁で区切られた部屋（ただし図中、壁を省略する）においての初期位置から目標位置まで複数の制御対象物の移動によって実現するものである。

[0018] 制御対象物については、例えば図1に示すように、制御対象物の周囲縦横高さ方向（以下「上下左右前後方向」ともいう）6マスのうち1つに他の制

御対象物が存在している状態を維持しながら移動をするものとする。この手法では1つの制御対象物自身が、一台の制御対象物のサイズ分の距離を移動することで、一回の動作の移動量を正確に測ることができるというメリットがある。また、1つの面を共有する隣り合う制御対象物との相対的な位置を計測しあうことで、制御対象物の群れ全体の中での各制御対象物の位置も容易に知ることができる。このため、制御対象物の移動量の誤差によって、隊列が崩れるといった問題を起こしにくい。また、複数の制御対象物を連結したように、同時に複数の制御対象物を移動させていくことが可能である。なお、制御対象物は、隣の位置に他の制御対象物が存在しているか否か、障害物があるか否か、そして、自身が目標位置上にいるかどうかを知ることができるものとする。

[0019] 任務を行う制御対象物は、 p 台 ($p \geq 16 = 8 \times 2$) であり、各制御対象物は、隣接する制御対象物と一面以上を共有しつつ、三次元空間における X - Y - Z 軸方向に移動可能とする。図1の各立方体は、それぞれの制御対象物の位置を示すものである。各立方体には制御対象物は一台しか存在することができない。それぞれの制御対象物は、移動しようとする方向に障害物か他の制御対象物がある場合には、静止をするものと仮定する。なお、制御対象物が存在する立方体状の空間をマス、または、格子ともいう。図2において、濃い灰色のマスは制御対象物が存在する位置を示す。図2Aの制御対象物が存在する位置は制御対象物の初期位置の集合を示し、図2Cの制御対象物が存在する位置は制御対象物の目標位置の集合を示す。図2Bに示すように、目標位置の集合と初期位置の集合は重なり合う部分を持っている。目標位置の集合で表される領域を目標隊列エリアともいう。このように、各初期位置及び各目標位置は、それぞれ縦横高さ方向の少なくとも何れかの方向において他の初期位置及び目標位置と隣接し、制御対象物の初期位置及び目標位置での隊列形状はそれぞれ一塊の任意の形状である。

[0020] [制御対象物の座標設定]

それぞれの制御対象物 i (i は制御対象物番号を表す $i=0, 1, 2, 3, \dots, p-1$) の

位置を $(Xr[i], Yr[i], Zr[i])$ とし、初期位置を $(Xr0[i], Yr0[i], Zr0[i])$ とし、目標位置を $(Xre[i], Yre[i], Zre[i])$ とするとき、本問題は、初期位置に配置された制御対象物が、目標位置まで移動するための行動計画を求めることと定義できる。制御対象物の初期位置の集合を s 、目標位置 $(Xre[i], Yre[i], Zre[i])$ の集合を g とする。

[0021] [任務空間の定義]

i を制御対象物番号としたとき、制御対象物 i の各状態（制御対象物の位置と行動）は離散値で表現される。部屋を X, Y, Z の直交座標系からなる3次元空間で表すと、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸をそれぞれ離散化表現した値により各位置を表現する。つまり、部屋（3次元空間）は格子で区切られ、各格子が各位置に対応する。また、各格子において、障害物の「ある／なし」が予め設定されている。

[0022] [制御対象物動作の定義]

また、行動主体は部屋に配置されている各制御対象物となる。制御対象物 i （ i は制御対象物番号）の行動 a は、静止、縦横高さ方向への1格子分の移動、の計7種類のうちのいずれかを取る。例えば、 $a \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ として、

0: 静止

1: 3次元空間内で X 軸正方向に1格子だけ移動する

2: 3次元空間内で Y 軸正方向に1格子だけ移動する

3: 3次元空間内で X 軸負方向に1格子だけ移動する

4: 3次元空間内で Y 軸負方向に1格子だけ移動する

5: 3次元空間内で Z 軸正方向に1格子だけ移動する

6: 3次元空間内で Z 軸負方向に1格子だけ移動する

とする。

[0023] [探索計算上の問題点]

このような任務環境における状態空間は、制御対象物数 $\times$ 3 の次元数の状態を持ち、かつ選択可能な行動数は、制御対象物の行動（＝7通り）の制御対

象物数乗だけ存在する。例えば、制御対象物数が50で、部屋の縦横高さ方向の格子数がそれぞれ20であるとするれば状態数は20の150乗個にもなり、探索計算に要する資源の量は膨大なものとなる。さらに制御対象物数が1台増えるごとに、その状態数は8000倍増加していくことになる。本実施形態の「問題設定」の項で説明したように、制御対象物同士が接しているという拘束条件を取り入れる場合、制御対象物のお互いの移動を考慮したうえで探索計算行わなければならないために、根本的な計算量の削減は難しく、複数制御対象物を使用する場合の大きな問題となっている。

[0024] [非特許文献2における特徴]

非特許文献2におけるホモジニアス隊列制御では、上述の計算負荷の問題を解決するための方策の1つとして、ボイド制御の考え方を導入している。また、「問題設定」で述べたような隊列変形の問題を克服するために8マス制御対象物単位の考え方も導入している。

[0025] まず、ボイド制御について説明する。ここでいうボイドとは、ある制御対象物が別の位置に移動した後に、元いた位置にできる空隙のことである。別の言い方をすると、ボイドとは、制御対象物の移動する方向と反対の方向に移動する仮想的な存在である。こうした群制御対象物の隊列形成問題においては、複数の制御対象物の動作に着目するがゆえに、その探索計算量が爆発してしまうが、視点を変えて、ボイドの動きに着目すれば、多数の制御対象物の動作計画の問題を単一のボイドの動作計画として考えることができ、探索計算負荷の軽減に適している。しかし、変形動作中に制御対象物単位に属する各制御対象物はちりじりになって、それぞれ別の制御対象物単位内に分かれてしまい、その後の制御対象物入れ替え動作が必要な場合の負荷上昇にもつながってしまっていた。また、初期位置と目標位置が共通部分を持ち、かつ、それらの共通部分が複数の非接続部分に分かれている場合には適用不可能であった。

[0026] [8マス制御対象物単位の導入]

そこで、図4に示すように、8つの隣接した制御対象物を1つの単位とし

(制御対象物単位)、制御対象物は、この制御対象物単位を維持しつつ移動を行うこととする。言い換えると、8台毎に1つの制御対象物単位を構成し、1つの制御対象物単位を構成する8台の制御対象物はそれぞれ3つの方向において1つの制御対象物単位を構成する他の制御対象物と隣接した状態を維持しつつ移動を行う。この制御対象物単位の集団は、互いに制御対象物単位ごとに一面を共有し、接しながら移動をするように制御される。すべての制御対象物は同一でホモジニアスであるとする。

[0027] ここでは8台の制御対象物がなす制御対象物単位が1つのマスの単位（本実施形態では、以下、この単位を「マス単位」または「位置単位」ともいう）であるとし、1つのマス単位を一状態として状態空間を組む。制御対象物単位の位置を $(Xr_u[j], Yr_u[j], Zr_u[j])$ ($j=0, 1, 2, \dots, j_max-1$) としたとき、その制御対象物単位 j 内の制御対象物を $i0, i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7$ とすれば、

$$Xr[i0] = 2 \times Xr_u[j]$$

$$Yr[i0] = 2 \times Yr_u[j] + 1$$

$$Zr[i0] = 2 \times Zr_u[j]$$

$$Xr[i1] = 2 \times Xr_u[j] + 1$$

$$Yr[i1] = 2 \times Yr_u[j] + 1$$

$$Zr[i1] = 2 \times Zr_u[j]$$

$$Xr[i2] = 2 \times Xr_u[j]$$

$$Yr[i2] = 2 \times Yr_u[j] + 1$$

$$Zr[i2] = 2 \times Zr_u[j] + 1$$

$$Xr[i3] = 2 \times Xr_u[j] + 1$$

$$Yr[i3] = 2 \times Yr_u[j] + 1$$

$$Zr[i3] = 2 \times Zr_u[j] + 1$$

$$Xr[i4] = 2 \times Xr_u[j]$$

$$Yr[i4] = 2 \times Yr_u[j]$$

$$Zr[i4] = 2 \times Zr_u[j]$$

$$\begin{aligned}
Xr[i5] &= 2 \times Xr_u[j] + 1 \\
Yr[i5] &= 2 \times Yr_u[j] \\
Zr[i5] &= 2 \times Zr_u[j] \\
Xr[i6] &= 2 \times Xr_u[j] \\
Yr[i6] &= 2 \times Yr_u[j] \\
Zr[i6] &= 2 \times Zr_u[j] + 1 \\
Xr[i7] &= 2 \times Xr_u[j] + 1 \quad (\text{図4参照}) \\
Yr[i7] &= 2 \times Yr_u[j] \\
Zr[i7] &= 2 \times Zr_u[j] + 1
\end{aligned}$$

なお、隊列変形中各時点で各制御対象物*i*が所属する制御対象物単位*j*を表す変数を $Rr[i]=j$ とする。また、制御対象物が前記*i0, i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7*のどの位置にあるかを指す変数を $Ir[i]=(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$ とする。各制御対象物単位の初期位置を $(Xr_u0[j], Yr_u0[j], Zr_u0[j])$ とし、目標位置を $(Xr_ue[j], Yr_ue[j], Zr_ue[j])$ とする。以下、制御対象物の全体数*p*を8の倍数とする。

[0028] また、図4の例に限らず、制御対象物単位は以下の条件を満たすよう構成されていればよい。すなわち、制御対象物単位は、（１）三次元の直交座標系で各軸方向に長さ*M*（ $M \geq 2$ 、ただし、制御対象物１個の長さを長さ１とする）を有する立方体形状の空間（以降この空間をメタモジュールとする。）をなす構造であり、（２）各軸方向に*M*個の制御対象物が隣接する構造を含む。例えば、図4に例示する制御対象物単位は、（１）各軸方向の長さ*M*＝２とした計８マスの立方体からなるメタモジュール構造であり、（２）各軸方向において２個の制御対象物が隣接する構造が含まれている。

[0029] 以後の説明では、制御対象物単位の一例として、図4に示す８個の制御対象物からなる構造を制御対象物単位とする場合について説明するが、例えば、 M^3 個分の大きさのメタモジュール内で上述の（１）（２）の条件を満たすよう構成された制御対象物単位であれば同様の効果を得ることができる。

[0030] [ホモジニアス隊列制御]

各制御対象物単位 j が初期位置の集合 S 内にて、任意の位置に存在する状態から、各制御対象物単位 j をそれぞれ目標位置の集合のうちのいずれかの位置($Xr_ue[j]$, $Yr_ue[j]$, $Zr_ue[j]$)に配置させるホモジニアス制御対象物隊列制御の方法について以下説明していく。

[0031] ここで、集合 S 、 G は、8マスの制御対象物単位で構成されているものとする。

[0032] 図5に示す通り、集合 S の状態にある制御対象物構造を集合 G の状態に変形させるには、タネリングと呼ばれる方法をとる。図5に示す動作においては、先頭の制御対象物単位 $Head$ と尾部の制御対象物単位 $Tail$ を結ぶ一連の制御対象物単位がいわば蛇のような形で、先頭制御対象物単位 $Head$ の動作を追従する方式で動作する。なお、他のタネリングを行う制御対象物単位、例えば非特許文献2に示すような伸長収縮制御対象物単位を使用した $2 \times 2 \times 2$ の制御対象物単位を使用した制御対象物構造においてもこのタネリング動作は同様であり、本発明で示すタネリングの $Head$ と $Tail$ の選択方法は、同様に適用可能である。タネリングを使用した隊列変形は障害物のある環境においても、隊列変形動作を初期位置の集合と目標位置の集合以外の位置を使用せずに実行可能である。

[0033] 図6に、8マス制御対象物単位のタネリング動作の1ステップを示す。 $Head$ 内から同時に2つの空隙が生成され、それにより、 $Head$ 内の2つの制御対象物が、 D 位置内に移動する。 $Head$ で生成された2つの空隙はその後、 $Tail$ 位置まで送られて、 $Tail$ 位置より制御対象物構造から放出される。その過程で、 $Tail$ 内の2つの制御対象物が、 $Tail$ 位置の外に出る(図6中、右隣の制御対象物単位内に移動する。)。図6の一連の動作により、 $Head$ と $Tail$ の間の制御対象物単位が1つだけ位置を進める。このプロセス中、 $Head$ と $Tail$ に挟まれる複数の制御対象物単位内に2つのボイドが含まれる場合が発生するが、ボイドを含む制御対象物単位同士が接する位置関係になることはなく、このような条件で $Head$ と $Tail$ に挟まれる複数の制御対象物単位において、非接続が生じることはない。

[0034] この過程にて、Headにて生成された空隙（ボイド）は、生成後にボイドの各時点での進行方向に接する2つの制御対象物を、ボイドの進行方向の逆方向にスライドさせることで移動をする。この移動方法を繰り返すことにより、ボイドはTailの1つ手前の制御対象物単位内（図6中Tail'）にて、Headで生成された時と同じ位置にたどり着く。この後、Tail' → Tailの方向にボイドと接する位置にあるTail内の制御対象物単位を、Tail → Tail' の方向にスライドさせることで、ボイドはTailから放出される。ここで注意しなければならないのは、Head内にてボイドを生成する際に、その生成位置を適切に選択しなければ、Headでのボイド生成時、およびTailからのボイド放出時に、制御対象物の非接続が生じてしまうことである。本発明においては、Headにて一度に一つのボイドしか生成しない非特許文献2の場合と異なり、Headにて一度に2つのボイドを生成するので、これについては特に注意を要する。これらを考慮したHeadでのボイド生成位置に関する条件は以下の通りである。以下Head → Dの方向をah, Tail → Tail' の方向をatとする。なお、以下に説明する [Void_Generation_Rule] の処理は、動作計画決定部6により行われる。

[0035] [Void_Generation_Rule]

(1) 1個目2個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接しない4つの制御対象物のうち、ah方向ではない2つのXYZ座標位置が2つとも異なる位置にある2つの制御対象物とする。

[0036] (2) 3個目4個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接しない4つの制御対象物のうち、1個目2個目のボイド生成位置にない2つの制御対象物とする。

[0037] (3) ahとatが逆方向の時、5個目6個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接しない4つの制御対象物のうち、ah方向ではない2つのXYZ座標位置が2つとも異なる位置にある2つの制御対象物とする。それ以外の時、5個目6個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接する4つの制御対象物のうち、ah方向ではない2つのXYZ座標位置が2つとも異なる位置にある2つの制御対象物とする。

[0038] (4) ahとatが逆方向の時、7個目8個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接しない4つの制御対象物のうち、5個目6個目のボイド生成位置にない2つの制御対象物とする。それ以外の時、7個目8個目のボイドの生成位置は、Head内Dに接する4つの制御対象物のうち、5個目6個目のボイド生成位置にない2つの制御対象物とする。

[0039] 具体的には、例えば図13の表のとおりである。なお、ボイド発生位置番号は図4に準ずる。また、ah, atに関して、1はX軸正方向、2はY軸正方向、3はX軸負方向、4はY軸負方向、5はZ軸正方向、6はZ軸負方向を意味する。

[0040] 図6では、Head→Dの方向はX軸正方向であるためah=1であり、Tail→Tail'の方向はX軸正方向であるためat=1である。このため、図6は、上記の表のah=1, at=1の場合に対応する。図6(2)ではHeadである制御対象物単位の6, 0の位置にボイドが発生している。これが図13の表のah=1, at=1の場合の「1つ目」の6、「2つ目」の0に対応している。また、図6(4)ではHeadである制御対象物単位に続く制御対象物単位の2, 4の位置にボイドが発生している。これが、図13の表のah=1, at=1の場合の「3つ目」の2、「4つ目」の4に対応している。また、図6(6)ではHeadである制御対象物単位の7, 1の位置にボイドが発生している。これが図13の表のah=1, at=1の場合の「5つ目」の7、「6つ目」の1に対応している。図6(8)ではHeadである制御対象物単位に続く制御対象物単位の3, 5の位置にボイドが発生している。これが、図13の表のah=1, at=1の場合の「7つ目」の3、「8つ目」の5に対応している。

[0041] つづいて、先頭制御対象物単位Headと尾部制御対象物単位Tailの選び方について述べる。初期位置の集合Sと目的位置の集合Gの共通部分の領域 $S \cap G$ は、互いに非接続なC個の領域 $A_{S \cap G1}, A_{S \cap G2}, A_{S \cap G3}, \dots, A_{S \cap GC}$ により構成されているとする。Cは、1以上の整数である。

[0042] まず先頭制御対象物単位Headの選択について注意すべきことは、変形動作中に全体の制御対象物構造からこれらのC個のうちのいずれも、制御対象物構造から非接続にならないようにすることである。例えば、S内の制御対象物単位を徐々にG内に移動させたとするとその分S内に残る制御対象物単位数は少

なくなる。この過程で注意を怠ると、共通部分が制御対象物構造から非接続とならないようにしつつも変形のために使用できる制御対象物がS内にもG内にも存在しないという事態が起こりうる。そのような事態を避けるために、非特許文献2とほぼ同様に、以下の手法を採用する。

[0043] [Head_Tail_Selection]

(1) 変形過程開始前に、複数の非接続な $S \cap G$ 領域を $A_{S \cap G1}$ 、 $A_{S \cap G2}$ 、 $A_{S \cap G3}$ 、 $A_{S \cap G4}$ 、、、とし、それらの1つを選択して $A_{S \cap Gstart}$ とする。 $A_{S \cap Gstart}$ 内の制御対象物単位位置をすべて集合Upのメンバーとする。この処理は、後述する集合選択部1により行われる。

[0044] (2) Up初期化時、および(4)でのUp更新時に、Upによって分断された $S-S \cap G$ の領域を $A_{S-S \cap G1}$ 、 $A_{S-S \cap G2}$ 、 $A_{S-S \cap G3}$ 、 $A_{S-S \cap G4}$ 、、、とし、Upによって分断された $G-S \cap G$ の領域を $A_{G-S \cap G1}$ 、 $A_{G-S \cap G2}$ 、 $A_{G-S \cap G3}$ 、 $A_{G-S \cap G4}$ 、、、とする。 $A_{G-S \cap G1}$ 、 $A_{G-S \cap G2}$ 、 $A_{G-S \cap G3}$ 、 $A_{G-S \cap G4}$ 、、、に接するUp内の位置をひとつずつ選び、 E_i とする。この処理は、後述する入口位置選択部2により行われる。 $i=1$ 、 $j=1$ とする。

[0045] (3) 各ステップでのHeadとTailの選択： $A_{G-S \cap G_i}$ 内の位置がすべて制御対象物で埋まっているならば、 i をインクリメントする。Up内にあり、かつまだ制御対象物で埋められていない $A_{G-S \cap G_i}$ 内の位置に接している制御対象物のうち E_i からの $A_{G-S \cap G_i}$ 内でのマンハッタン距離が最も近いものをHeadとする。このHeadの選択の処理を(3-1)とする。この(3-1)の処理は、後述する先頭制御対象物単位選択部3により行われる。

[0046] Headに接するまだ制御対象物で埋められていない $A_{G-S \cap G_i}$ 内の位置を1つ選びDとする。DをUpに追加する。このDをUpに追加する処理を(3-2)とする。この(3-2)の処理は、後述する目的位置選択部4により行われる。

[0047] $A_{S-S \cap G_j}$ 内にもう制御対象物単位がない場合は、 j をインクリメントする。ある $A_{S-S \cap G_j}$ 内にある制御対象物単位のうち、 E_i からのS内マンハッタン距離が最も大きい制御対象物単位をTailとする。このTailの選択の処理を(3-3)とする。この(3-3)の処理は、後述する尾部制御対象物単位選択部5により行われる。

[0048] (4) Upが $A_{S \cap G_{start}}$ 以外のUpに含まれない $A_{S \cap G_1}$ 、 $A_{S \cap G_2}$ 、 $A_{S \cap G_3}$ 、 $A_{S \cap G_4}$ 、 $\dots$ 内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位からG内で接続している位置にある制御対象物単位位置をすべてUpに追加する。このUpへの追加の処理は、後述する集合追加部7により行われる。

[0049] 図7及び図8を用いて、制御対象物単位の初期位置Sから目標位置Gへの移動の例を説明する。図7(1)は、制御対象物単位の初期位置Sを示している。図7(2)は、制御対象物単位の目標位置Gを示している。

[0050] 図7(1)(2)において、非接続な $S \cap G$ 領域は、薄いドットで示された $A_{S \cap G_1}$ と、濃いドットで示された $A_{S \cap G_2}$ とである。この例では、 $A_{S \cap G_{start}}$ として、 $A_{S \cap G_1}$ が選択される。 $A_{S \cap G_1}$ の位置がUpに追加される。

[0051] 図7(1)において、Upによって分断された $S-S \cap G$ の領域は、太い破線で示された $A_{S-S \cap G_1}$ と、太い一点鎖線で示された $A_{S-S \cap G_2}$ とである。

[0052] 図7(2)において、Upによって分断された $G-S \cap G$ の領域は、太い破線で示された $A_{G-S \cap G_1}$ と、太い一点鎖線で示された $A_{G-S \cap G_2}$ である。この例では、 $A_{G-S \cap G_1}$ に接するUp内の位置としてE1が選択され、 $A_{G-S \cap G_2}$ に接するUp内の位置としてE2が選択されている。E1は、 $A_{G-S \cap G_1}$ への入口であり、E2は $A_{G-S \cap G_2}$ への入口とも言える。

[0053] 図8(1)から図8(8)において、Headとして選択された制御対象物単位を太線で示し、Dを破線で示す、Tailとして選択された制御対象物単位を太い一点鎖線で示す。 $i=1, \dots, 8$ として、図8(i)で選択されたHeadからTailまでの一連の制御対象物単位（タネリングスネイク）を、HeadがDに移動し、他の一連の制御対象物単位がHeadの動作を追従するように移動させると、図8(i+1)の隊列になる。この例では、図8(1)から図8(8)のように、Head, Tail, Dを選択すると、最終的に図8(9)の隊列となり、全ての制御対象物単位が目標位置Gに移動することになる。

[0054] なお、図8(1)において、先に述べたように、 $A_{S \cap G_1} = \text{Up}$ とされる。図8(1)から図8(4)において、DがUpに追加される。図8(5)において、Dと $A_{S \cap G_2}$ の1つがUpに追加される。図8(6)において、 $A_{S-S \cap G_1}$ の最後の1つがTailになり、 $A_{G-S \cap G_1}$

の最後の空隙がDとなる。図8(7)において、 $A_{s-s \cap G_2}$ の1つがTailになり、 $A_{s \cap G_2}$ が全部埋まる（ここで埋められる $A_{s \cap G_2}$ の空隙は、(5)のUp更新にて新たな $A_{g-s \cap G_2}$ となり、図7の旧 $A_{g-s \cap G_2}$ は、 $A_{g-s \cap G_3}$ となる。）。(8)にて、 $A_{s \cap G_2}$ の最後の1つがTailになり、図7の旧 $A_{g-s \cap G_2}$ が埋まる。

[0055] 従来の手法（非特許文献2）と異なるのは、[Head_Tail_Selection]の(2)にて設定されているEiの扱いである。従来ではHeadの選択の際、Up内のどの位置からでもG内の空隙に接する位置であればHeadとして選択できたが、ここでは、できる限り同じ $A_{g-s \cap G_j}$ 内にDを設定できるようにHeadを選ぶようにしている。これは、後述の隊列変形動作の線形化において、同じ $A_{g-s \cap G_i}$ 内に連続してDを設定できるようにHeadを選んで行くほうが、あるHeadとTailの組で行うタネリング動作の開始から、次のHeadとTailの組のタネリング動作の開始までの時間を短くすることが可能だからである。例えば、ある時点でEiからのマンハッタン距離が δ_{Ei} である $A_{g-s \cap G_i}$ 位置をHeadとした場合、次にHeadとして選択される位置のEiからのマンハッタン距離は δ_{Ei} か $\delta_{Ei} + 1$ となり、新しいHeadの位置は1つ前のHeadかDの位置である場合が多い。後述する「あるHeadとTailの組で行うタネリング動作の開始から、次のHeadとTailの組のタネリング動作の開始までの時間」を計算する式において、このような場合の時間間隔は取りうる最小の値に近い値になる。

[0056] 従来手法では図6に示すタネリング動作が各HeadTailごとに終了してから、次のタネリングHeadTailでのタネリング動作を開始していたので、各HeadTailでのタネリング動作ごとに待ち時間が長く、そのため隊列変形に要する時間が長かった。そこで、あるHeadとTailの組で行うタネリング動作が終了する前に、次のHeadとTailの組のタネリング動作を開始することで、各HeadTailでのタネリング動作ごとの待ち時間を短縮する。

[0057] 各HeadTail選択時（tステップ目）における「あるHeadとTailの組で行うタネリング動作の開始から、次のHeadとTailの組のタネリング動作の開始までの時間」の算出は例えば以下のように行う。なお、以下に説明する[Time_Interval]の処理は、動作計画決定部6により行われる。

[0058] [Time_Interval]

(1) t ステップ目のHeadとTailを結ぶ E_i を経由する制御対象物構造内の経路を $P[t][l]$ ($l=0, 1, 2, \dots, n_t$)、 $t-1$ ステップ目のHeadとTailを結ぶ E_i を経由する制御対象物構造内の経路を $P[t-1][l]$ ($l=0, 1, 2, \dots, n_{t-1}$)とする。これらの経路はHeadから発生したボイドがTailに至るまでたどる経路である。 $P[t][0]$ 、 $P[t-1][0]$ にHead位置が格納され、 $P[t][n_t]$ 、 $P[t-1][n_{t-1}]$ にTail位置が格納される。

(2) $l \leftarrow 0$ とする。 $tl \leftarrow 1$ とする。 $Delay_buf \leftarrow 0$ とする。

[0059] (3) $Interval_Cand[tl] \leftarrow 0$ とする。 $P[t][l]$ の位置と同じ位置が $P[t-tl][m]$ ($m=0, 1, 2, \dots, n_{t-tl}$)内にあるか探索する。ない場合、 l をインクリメントし(3)を繰り返す。あった場合(4)へ

(4) $P[t][l]=P[t-tl][m]$ のとき、その時の l 、 m を lc 、 mc とする。すべての mc 値に対して小さい値のものから順に以下の計算をし、計算が済んだ後 $Delay_buf += Interval_Cand[tl]$ 。そのあとで $l=n_t$ でないなら l をインクリメントして(3)へ、 $l=n_t$ で $t-tl=0$ なら(5)へ、 $l=n_t$ で $t-tl \neq 0$ なら $l \leftarrow 0$ として tl をインクリメントし(3)へ

$Wt \leftarrow 7$ 。

If ($mc = 0$) {

 If ($Interval_Cand[tl] < Wt + 2 - lc - Delay_buf$) {

$Interval_Cand[tl] \leftarrow Wt + 2 - lc - Delay_buf$;

 }

}

Else{

 If ($Interval_Cand[tl] < Wt + 1 + mc - lc - Delay_buf$) {

$Interval_Cand[tl] \leftarrow Wt + 1 + mc - lc - Delay_buf$;

 }

}

(5) $Interval_Cand[tl]$ ($tl=1 \sim t$)の値の中で最も大きいものを $t-1$ ステップ

目と t ステップ目のタネリングの開始時刻の時間差Interval[t]とする。

[0060] 以上の処理は、 t ステップ目のHeadからTailに至るボイドの経路が、以前に実行されたタネリング動作で発生したボイドの動作経路に重なる場合には、先に発生したボイドがその新旧経路同士が重なる位置を通り過ぎるのを待つのに必要な待ち時間を計算している。

[0061] 言い換えれば、以上の処理により、図9に例示するように、Head $t-1$ を出発した8つ目のボイドが太線で示した□を通過した直後にHead t を出発した最初のボイドが太線で示した□を通過するようにHead t と、Head $t-1$ のボイド生成開始時間差が設定される。なお、図9において、Head t からTail t の一連の制御対象物単位（タネリングスネイク）はドットで、Head $t-1$ からTail $t-1$ の一連の制御対象物単位（タネリングスネイク）は斜線で示されている。横ストライプで示されているのは、これらのタネリングスネイクの動作経路が重なる位置である。

[0062] W_t は1つの制御対象物単位からすべてのボイドの生成が終了するのに要する動作ステップ数である。図6において、斜線で示すHeadである制御対象物単位からボイドの生成が始まるのは図6(2)のときであり、すべてのボイドの生成が終了するのは図6(8)のときである。このため、ボイドが同時に2個発生する図6の例では、 $W_t=7$ となる。なお、同時に発生するボイドの数が1である場合には、 $W_t=15$ となる。

[0063] このような処理を行うことで、各ボイドが衝突することなく、各HeadTailでのタネリング動作ごとの待ち時間が短縮される。

[0064] 以上に述べたタネリング手法をまとめると以下のようなプロセスになる。

[0065] [Tunneling_Linear]

(1) [Head_Tail_Selection]の(1)(2)を実行する。 $t=0$ とする。なお、[Tunneling_Linear]の(1)から(6)までの処理は仮想制御対象物によるシミュレーションで実行される。

[0066] [Tunneling_Linear]の(1)の処理は、後述するステップS1及びステップS2の処理に対応している。

[0067] (2) [Head_Tail_Selection]の(3)を実行する。

[0068] [Tunneling_Linear] の(2)の処理は、後述するステップS 3からステップS 5の処理に対応している。

[0069] (3) $t > 0$ の時[Time_Interval]を実行する。[Tunneling_Linear] の(3)から(5)の処理は、後述するステップS 6の処理に対応している。

[0070] (4) $tn=0$ とする。

[0071] (5) $tn = 2 \times tv$ ($tv=0, 1, 2, 3$)のとき、 $2 \times tv + 1$ 番目と $2 \times tv + 2$ 番目のボイドを[Void_Generation_Rule]に従って生成させる（例えば、図6参照。）
。すでに生成済みのボイドについては、 $tn=n_t - 1$ 以外のとき、 $P[st][tn] \rightarrow P[st][tn+1]$ の方向にボイドに接する2つの制御対象物をボイドの進行方向の逆方向にスライドさせることで、ボイドを移動させる（図6）。 $tn=n_t - 1$ のとき、 $P[st][tn] \rightarrow P[st][tn+1]$ の方向にボイドに接するTail内の制御対象物をボイドの進行方向の逆方向にスライドさせることで、ボイドを放出する（図6）。 t ステップ目の時刻 tn で移動をした制御対象物の動作のみを $history[t][i][tn]$ に記録する。（ $i=t$ ステップ目で動作をした制御対象物すべて。 $tn=0, 1, 2, \dots, n_t$ ）。8つのボイドがすべて放出されてないならば、 tn をインクリメントする。放出されたならば(6)へ。

[0072] (6) [Head_Tail_Selection] の(4)を実行して、Upに新たな位置が追加されたならば [Head_Tail_Selection] の(2)を実行する。まだG内に空隙があるならば、 t をインクリメントし [Head_Tail_Selection] の(2)に戻る。

[0073] [Tunneling_Linear] の(6)の処理は、後述する繰り返し制御部8によるステップS 8の処理に対応している。

[0074] (7) $history[t][i][tn]$ に記録された t ステップ目のタネリングにおける制御対象物単位の動作を $t-1$ ステップ目のタネリング開始からInterval[t]時刻ステップ後に開始することを全 t において実行する。

[0075] [Tunneling_Linear] の(7)の処理は、後述する移動部9によるステップS 9に対応している。

[0076] [制御装置及び方法]

制御装置は、図 10 に示すように、集合選択部 1、入口位置選択部 2、先頭制御対象物単位選択部 3、目的位置選択部 4、尾部制御対象物単位選択部 5、動作計画決定部 6、集合追加部 7、制御部 8 及び移動部 9 を例えば備えている。

[0077] 制御方法は、制御装置の各構成部が、以下に説明する及び図 11 に示すステップ S 1 からステップ S 9 の処理を行うことにより例えば実現される。

[0078] 以下、制御装置の各構成部について説明する。

[0079] <集合選択部 1>

集合選択部 1 は、[Head_Tail_Selection]の(1)の処理を行う。

[0080] すなわち、集合選択部 1 は、複数の部分共通位置領域 $A_{S \cap G1}$ 、 $A_{S \cap G2}$ 、 $A_{S \cap G3}$ 、 $A_{S \cap G4}$ 、 $\dots$ の中から、ある 1 つの部分共通位置領域 $A_{S \cap Gstart}$ を集合Upとして選択する（ステップ S 1）。

[0081] 選択された集合Upについての情報は、入口位置選択部 2 に出力される。

[0082] <入口位置選択部 2>

入口位置選択部 2 は、[Head_Tail_Selection]の(2)の処理を行う。

[0083] すなわち、入口位置選択部 2 は、少なくとも 1 つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap Gi}$ ($i=1, \dots, I$)のそれぞれに接する集合Up内の位置を入口位置 Ei ($i=1, \dots, I$)として選択する（ステップ S 2）。

[0084] 選択された入口位置 Ei ($i=1, \dots, I$)についての情報は、先頭制御対象物単位選択部 3 に出力される。

[0085] ここで、Jは所定の正の整数として、初期位置Sから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S-S \cap G$ は前記集合Upによって分断された少なくとも 1 つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap Gj}$ ($j=1, \dots, J$)で構成されているとする。

[0086] また、Iは所定の正の整数として、目標位置Gから共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G-S \cap G$ は集合Upによって分断された少なくとも 1 つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap Gi}$ ($i=1, \dots, I$)で構成されているとする。

[0087] <先頭制御対象物単位選択部 3>

先頭制御対象物単位選択部 3 は、[Head_Tail_Selection]の(3-1)の処理を

行う。

[0088] すなわち、先頭制御対象物単位選択部 3 は、集合Upに属する位置にあり、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち入口位置Eiからの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位Headとして選択する（ステップS 3）。

[0089] 選択された先頭制御対象物単位Headについての情報は、目的位置選択部 4、動作計画決定部 6 に出力される。

[0090] <目的位置選択部 4>

目的位置選択部 4 は、[Head_Tail_Selection]の(3-2)の処理を行う。

[0091] すなわち、目的位置選択部 4 は、先頭制御対象物単位Headに接する位置であって、部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置Dとして選択し、集合Upに追加する（ステップS 4）。

[0092] 選択された目的位置Dについての情報は、動作計画決定部 6 に出力される。追加により更新された集合Upについての情報は、集合追加部 7 に出力される。

[0093] <尾部制御対象物単位選択部 5>

尾部制御対象物単位選択部 5 は、[Head_Tail_Selection]の(3-3)の処理を行う。

[0094] すなわち、尾部制御対象物単位選択部 5 は、部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち入口位置Eiからの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位Tailとして選択する（ステップS 5）。

[0095] 選択された尾部制御対象物単位Tailについての情報は、動作計画決定部 6 に出力される。

[0096] <動作計画決定部 6>

動作計画決定部 6 は、[Tunneling_Linear] の(3)から(5)の処理を行う。

[0097] すなわち、動作計画決定部 6 は、先頭制御対象物単位選択部で選択された

先頭制御対象物単位Headから尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、先頭制御対象物単位Headが目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する（ステップS6）。

[0098] 動作計画決定部6は、以下の(i)(ii)の少なくとも一方の条件が満たされるように、動作計画を決定する。

[0099] (i)動作計画では、一連の制御対象物単位を構成する制御対象物の位置の中でボイドを発生させる2個の位置を決定し、決定した2個の位置及び決定した2個の位置に隣接する先頭方向にある一連の制御対象物を先頭方向に移動させる処理が繰り返し行われる。

[0100] (ii)動作計画では、一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドと重ならないように、一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が決定される。

[0101] 動作計画が(i)の条件を満たす場合には、従来と比較して、同時に発生するボイドの数が2倍になるため、その分タネリングの動作を高速化することができる。

[0102] 動作計画が(ii)の条件を満たす場合には、一時刻前に決定されたタネリング動作と、現時刻に決定されたタネリング動作とを並列して行うことができる。

[0103] このため、動作計画が(i)(ii)の少なくとも一方の条件を満たす場合には、従来よりも隊列変形に要する時間を短くすることができる。

[0104] <集合追加部7>

集合追加部7は、[Head_Tail_Selection]の(4)の処理を行う。

[0105] すなわち、集合追加部7は、集合Upが集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを集合Upに追加する（ステップS7）。

[0106] 追加により更新された集合Upについての情報は、先頭制御対象物単位選択

部３に出力される。

[0107] <繰り返し制御部８>

繰り返し制御部８は、[Tunneling_Linear]の(6)の処理を行う。

[0108] すなわち、繰り返し制御部８は、先頭制御対象物単位選択部３、目的位置選択部４、尾部制御対象物単位選択部５及び動作計画決定部６の処理を、動作計画により、制御対象物単位の全てが目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す（ステップＳ８）。

[0109] 最終的に生成された動作計画は、移動部９に出力される。

[0110] <移動部９>

移動部９は、[Tunneling_Linear]の(7)の処理を行う。

[0111] 移動部９は、決定された動作計画に従って、制御対象物単位を移動させる（ステップＳ９）。

[0112] [変形例]

以上、本発明の実施の形態について説明したが、具体的な構成は、これらの実施の形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜設計の変更等があっても、本発明に含まれることはいうまでもない。

[0113] 実施の形態において説明した各種の処理は、記載の順に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的にあるいは個別に実行されてもよい。

[0114] 例えば、制御装置の構成部間のデータのやり取りは直接行われてもよいし、図示していない記憶部を介して行われてもよい。

[0115] [プログラム、記録媒体]

上述した各装置の各部の処理をコンピュータにより実現してもよく、この場合は各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムを図１２に示すコンピュータ１０００の記憶部１０２０に読み込ませ、演算処理部１０１０、入力部１０３０、出力部１０４０などに動作させることにより、前記各装置における各種の処理機能がコンピュータ上で実現される。

- [0116] この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体は、例えば、非一時的な記録媒体であり、具体的には、磁気記録装置、光ディスク、等である。
- [0117] また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録したDVD、CD-ROM等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。
- [0118] このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の非一時的な記憶装置である補助記録部1050に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の非一時的な記憶装置である補助記録部1050に格納されたプログラムを記憶部1020に読み込み、読み込んだプログラムに従った処理を実行する。また、このプログラムの別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを記憶部1020に読み込み、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP (Application Service Provider) 型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの（コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等）を含むものとする。

[0119] また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、本装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

[0120] その他、この発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

請求の範囲

[請求項1] 所定の初期位置Sにある複数の制御対象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御装置であって、

各前記制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより前記制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象物構造の接続性と言うとし、前記初期位置Sと前記目標位置Gの共通部分を共通位置とし、前記共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位置領域から構成されているとして、

ある1つの部分共通位置領域を集合Upとして選択する集合選択部と、

I, Jは所定の正の整数であり、前記初期位置Sから前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は前記集合Upによって分断された少なくとも1つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、前記目標位置Gから前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は前記集合Upによって分断された少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、前記少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する前記集合Up内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択部と、

前記集合Upに属する位置にあり、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位Headとして選択する先頭制御対象物単位選択部と、

前記先頭制御対象物単位Headに接する位置であって、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置Dとして選択し、前記集合Upに追加する目的位置選択部と、

前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち前記入口位

置 E_i からの前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位Tailとして選択する尾部制御対象物単位選択部と、

前記先頭制御対象物単位選択部で選択された先頭制御対象物単位Headから前記尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、前記先頭制御対象物単位Headが前記目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定部と、

前記動作計画では、前記一連の制御対象物単位を構成する制御対象物の位置の中でボイドを発生させる2個の位置を決定し、決定した2個の位置及び前記決定した2個の位置に隣接する先頭方向にある一連の制御対象物を先頭方向に移動させる処理が繰り返し行われ、

前記集合Upが前記集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から前記目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを前記集合Upに追加する集合追加部と、

前記先頭制御対象物単位選択部、前記目的位置選択部、前記尾部制御対象物単位選択部及び前記動作計画決定部の処理を、前記動作計画により、前記制御対象物単位の全てが前記目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御部と、

前記決定された動作計画に従って、前記制御対象物単位を移動させる移動部と、

を含む制御装置。

[請求項2]

請求項1の制御装置であって、

前記動作計画では、前記一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが重ならないように、前記一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が更に決定される、

制御装置。

[請求項3]

所定の初期位置Sにある複数の制御対象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御装置であって、

各前記制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより前記制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象物構造の接続性と言うとし、前記初期位置Sと前記目標位置Gの共通部分を共通位置とし、前記共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位置領域から構成されているとして、

ある1つの部分共通位置領域を集合 U_p として選択する集合選択部と、

I, J は所定の正の整数であり、前記初期位置Sから前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも1つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、前記目標位置Gから前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、前記少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する前記集合 U_p 内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択部と、

前記集合 U_p に属する位置にあり、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位Headとして選択する先頭制御対象物単位選択部と、

前記先頭制御対象物単位Headに接する位置であって、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置Dとして選択し、前記集合 U_p に追加する目的位置選択部と、

前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち前記入口位

置 E_i からの前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位Tailとして選択する尾部制御対象物単位選択部と、

前記先頭制御対象物単位選択部で選択された先頭制御対象物単位Headから前記尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、前記先頭制御対象物単位Headが前記目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定部と、

前記動作計画では、前記一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドと重ならないように、前記一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が決定され、

前記集合Upが前記集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から前記目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを前記集合Upに追加する集合追加部と、

前記先頭制御対象物単位選択部、前記目的位置選択部、前記尾部制御対象物単位選択部及び前記動作計画決定部の処理を、前記動作計画により、前記制御対象物単位の全てが前記目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御部と、

前記決定された動作計画に従って、前記制御対象物単位を移動させる移動部と、

を含む制御装置。

[請求項4]

所定の初期位置Sにある複数の制御対象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御方法であって、

各前記制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより前記制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象

物構造の接続性と言うとし、前記初期位置 S と前記目標位置 G の共通部分を共通位置とし、前記共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位置領域から構成されているとして、

集合選択部が、ある1つの部分共通位置領域を集合 U_p として選択する集合選択ステップと、

入口位置選択部が、 I, J は所定の正の整数であり、前記初期位置 S から前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも1つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、前記目標位置 G から前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、前記少なくとも1つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する前記集合 U_p 内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択ステップと、

先頭制御対象物単位選択部が、前記集合 U_p に属する位置にあり、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位 $Head$ として選択する先頭制御対象物単位選択ステップと、

目的位置選択部が、前記先頭制御対象物単位 $Head$ に接する位置であって、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置 D として選択し、前記集合 U_p に追加する目的位置選択ステップと、

尾部制御対象物単位選択部が、前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位 $Tail$ として選択する尾部制御対象物単位選択ステップと、

動作計画決定部が、前記先頭制御対象物単位選択部で選択された先

頭制御対象物単位Headから前記尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位Tailまでの一連の制御対象物単位を、前記先頭制御対象物単位Headが前記目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定ステップと、

前記動作計画では、前記一連の制御対象物単位を構成する制御対象物の位置の中でボイドを発生させる2個の位置を決定し、決定した2個の位置及び前記決定した2個の位置に隣接する先頭方向にある一連の制御対象物を先頭方向に移動させる処理が繰り返し行われ、

集合追加部が、前記集合Upが前記集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から前記目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを前記集合Upに追加する集合追加ステップと、

繰り返し制御部が、前記先頭制御対象物単位選択ステップ、前記目的位置選択ステップ、前記尾部制御対象物単位選択ステップ及び前記動作計画決定ステップの処理を、前記動作計画により、前記制御対象物単位の全てが前記目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御ステップと、

移動部が、前記決定された動作計画に従って、前記制御対象物単位を移動させる移動ステップと、

を含む制御方法。

[請求項5]

所定の初期位置Sにある複数の制御対象物単位を所定の目標位置Gに移動させる制御方法であって、

各前記制御対象物単位には複数の制御対象物が含まれているとし、各制御対象物単位が他の制御対象物単位と隣接することにより前記制御対象物単位が一塊の制御対象物構造を形成していることを制御対象物構造の接続性と言うとし、前記初期位置Sと前記目標位置Gの共通部分を共通位置とし、前記共通位置は互いに非接続な複数の部分共通位

置領域から構成されているとして、

集合選択部が、ある 1 つの部分共通位置領域を集合 U_p として選択する集合選択ステップと、

入口位置選択部が、 I, J は所定の正の整数であり、前記初期位置 S から前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $S - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも 1 つの部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j} (j=1, \dots, J)$ で構成されており、前記目標位置 G から前記共通位置 $S \cap G$ を除いた領域 $G - S \cap G$ は前記集合 U_p によって分断された少なくとも 1 つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ で構成されており、前記少なくとも 1 つの部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i} (i=1, \dots, I)$ のそれぞれに接する前記集合 U_p 内の位置を入口位置 $E_i (i=1, \dots, I)$ として選択する入口位置選択ステップと、

先頭制御対象物単位選択部が、前記集合 U_p に属する位置にあり、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ の中の制御対象物単位が存在していない位置に隣接する位置にある制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ でのマンハッタン距離が最も小さいものを先頭制御対象物単位 $Head$ として選択する先頭制御対象物単位選択ステップと、

目的位置選択部が、前記先頭制御対象物単位 $Head$ に接する位置であって、前記部分目標位置領域 $A_{G-S \cap G_i}$ 内の制御対象物単位が存在していない位置を目的位置 D として選択し、前記集合 U_p に追加する目的位置選択ステップと、

尾部制御対象物単位選択部が、前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ 内の制御対象物単位のうち前記入口位置 E_i からの前記部分初期位置領域 $A_{S-S \cap G_j}$ でのマンハッタン距離が最も大きいものを尾部制御対象物単位 $Tail$ として選択する尾部制御対象物単位選択ステップと、

動作計画決定部が、前記先頭制御対象物単位選択部で選択された先頭制御対象物単位 $Head$ から前記尾部制御対象物単位選択部で選択された尾部制御対象物単位 $Tail$ までの一連の制御対象物単位を、前記先頭

制御対象物単位Headが前記目的位置Dに移動し、先頭の制御対象物単位の動作を追従するように移動するための動作計画を決定する動作計画決定ステップと、

前記動作計画では、前記一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが、一時刻前に移動する一連の制御対象物単位を移動させるためのボイドが重ならないように、前記一連の制御対象物単位の移動の待ち時間が決定され、

集合追加部が、前記集合Upが前記集合Upに含まれない部分共通位置領域内の位置にある制御対象物単位に接しているとき、その制御対象物単位から前記目標位置G内で接続している位置にある制御対象物単位の位置の全てを前記集合Upに追加する集合追加ステップと、

繰り返し制御部が、前記先頭制御対象物単位選択ステップ、前記目的位置選択ステップ、前記尾部制御対象物単位選択ステップ及び前記動作計画決定ステップの処理を、前記動作計画により、前記制御対象物単位の全てが前記目標位置に移動することができるようになるまで繰り返す繰り返し制御ステップと、

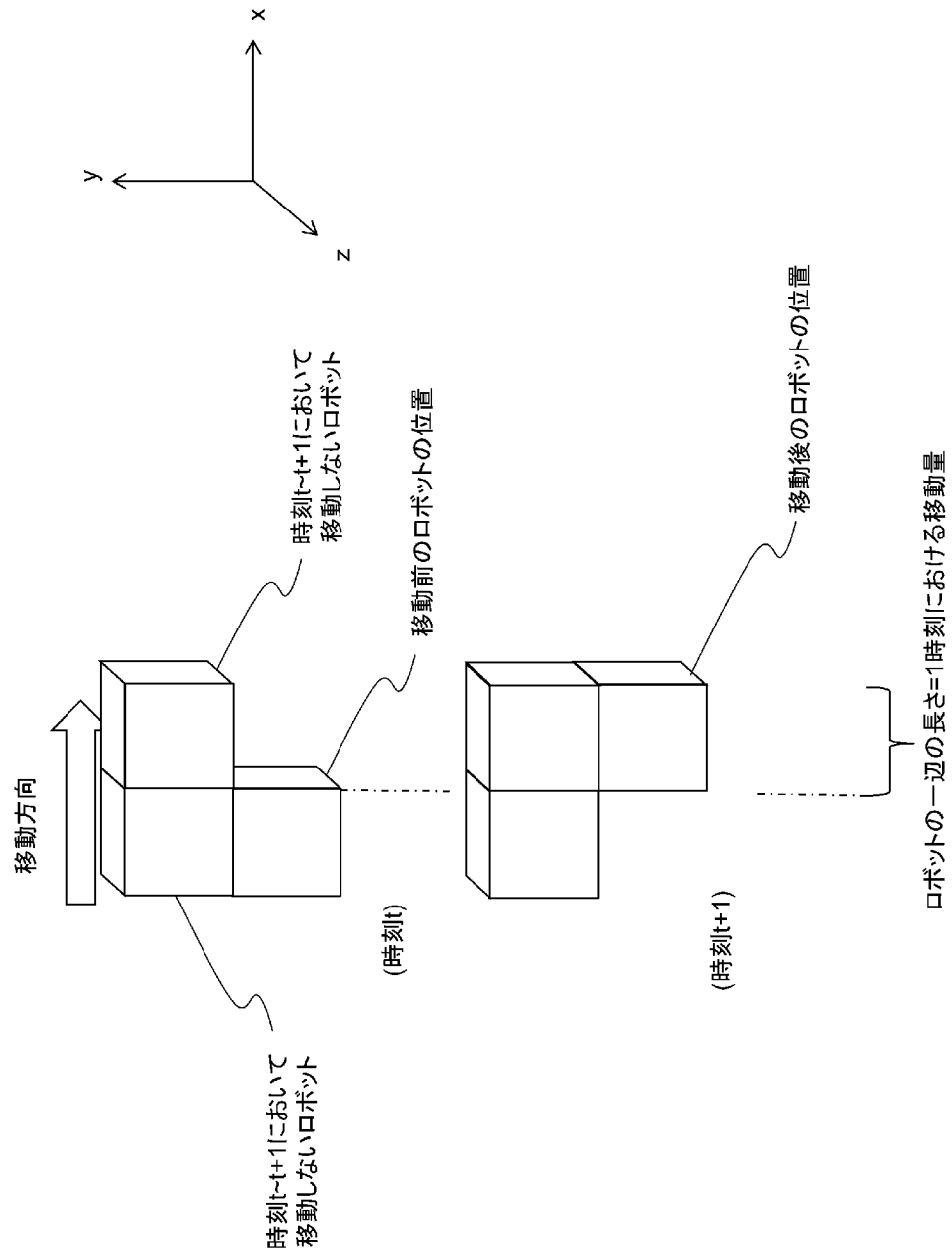
移動部が、前記決定された動作計画に従って、前記制御対象物単位を移動させる移動ステップと、

を含む制御方法。

[請求項6]

請求項 1 から 3 の何れかの制御装置の各部としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

[図1]



ⓧ

[図2]

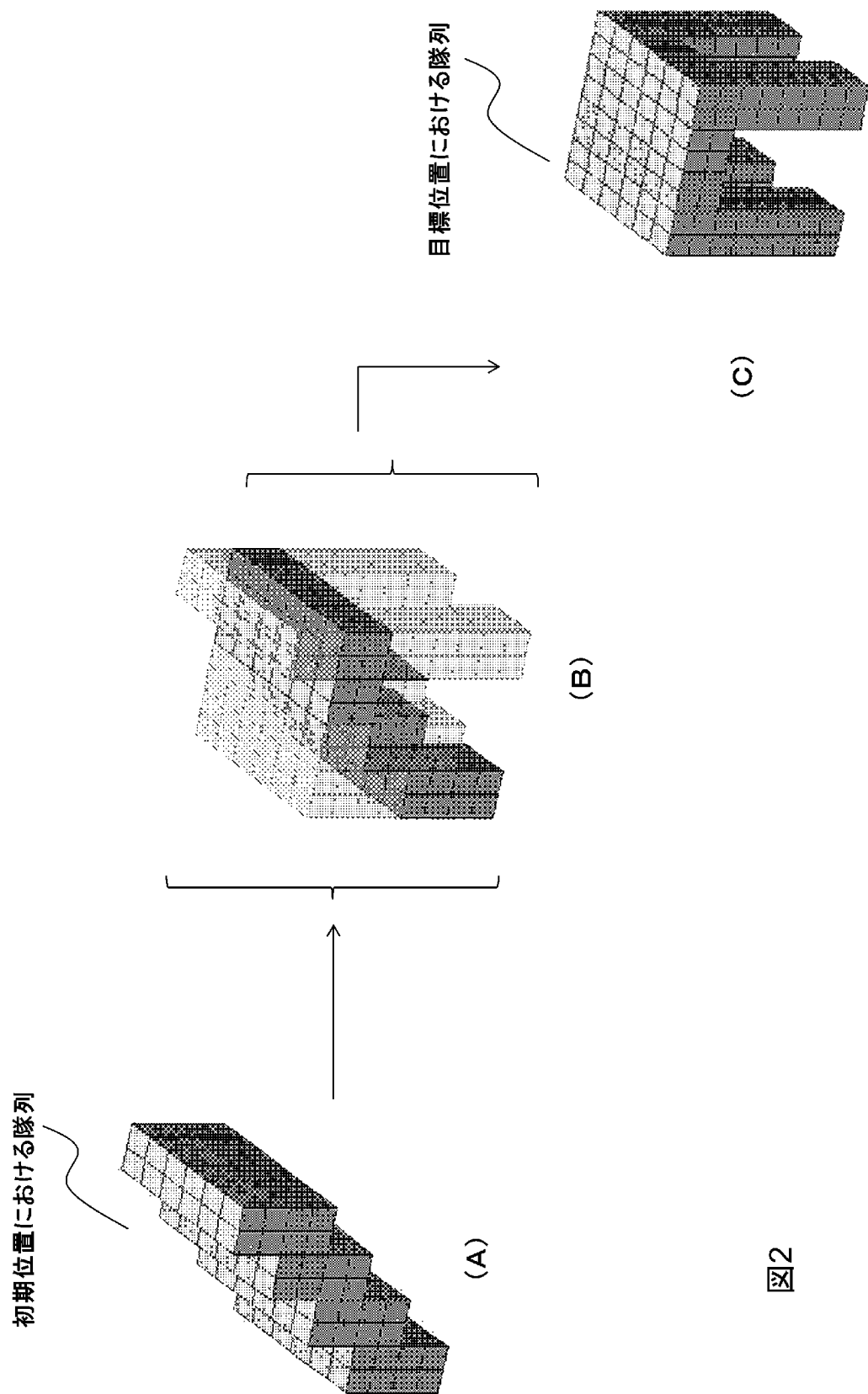
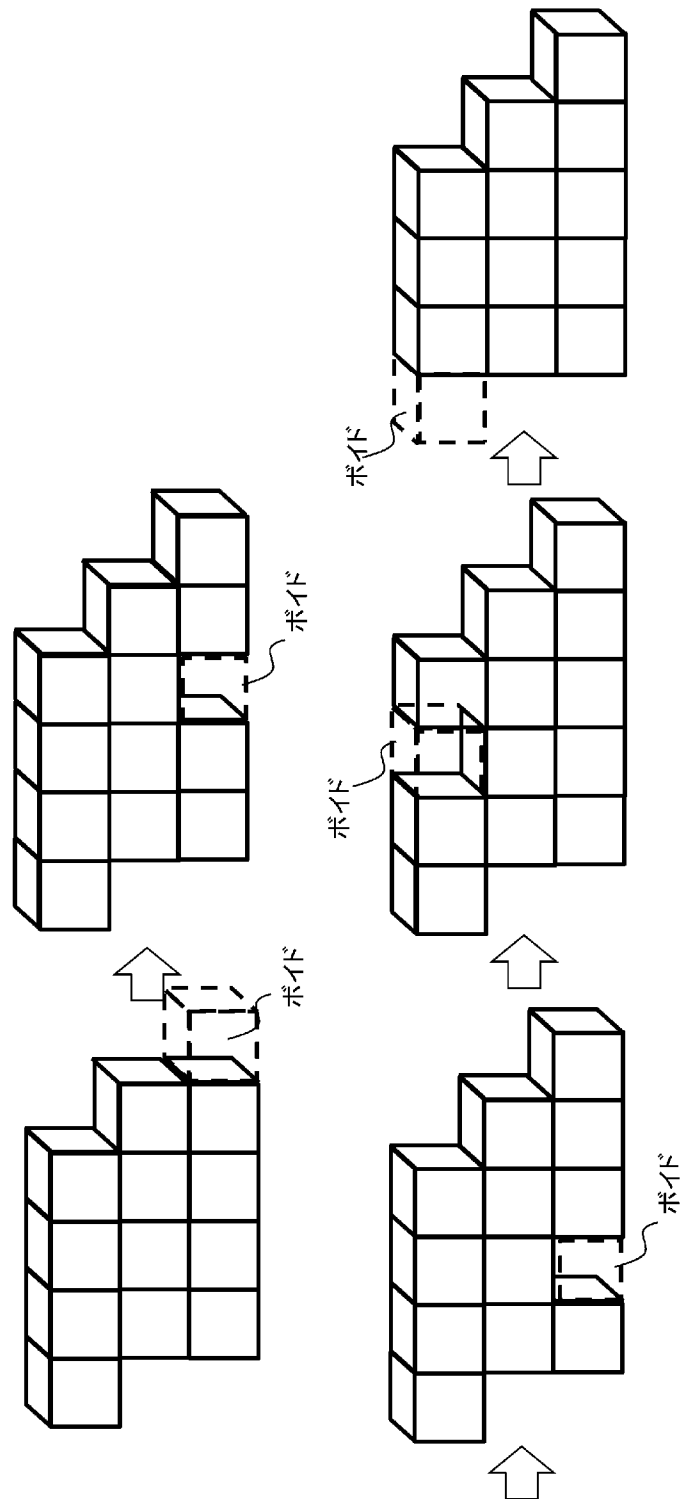
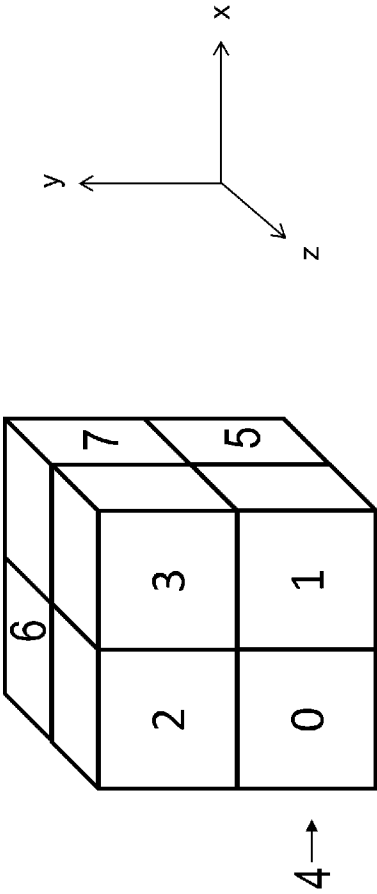


図2

[図3]

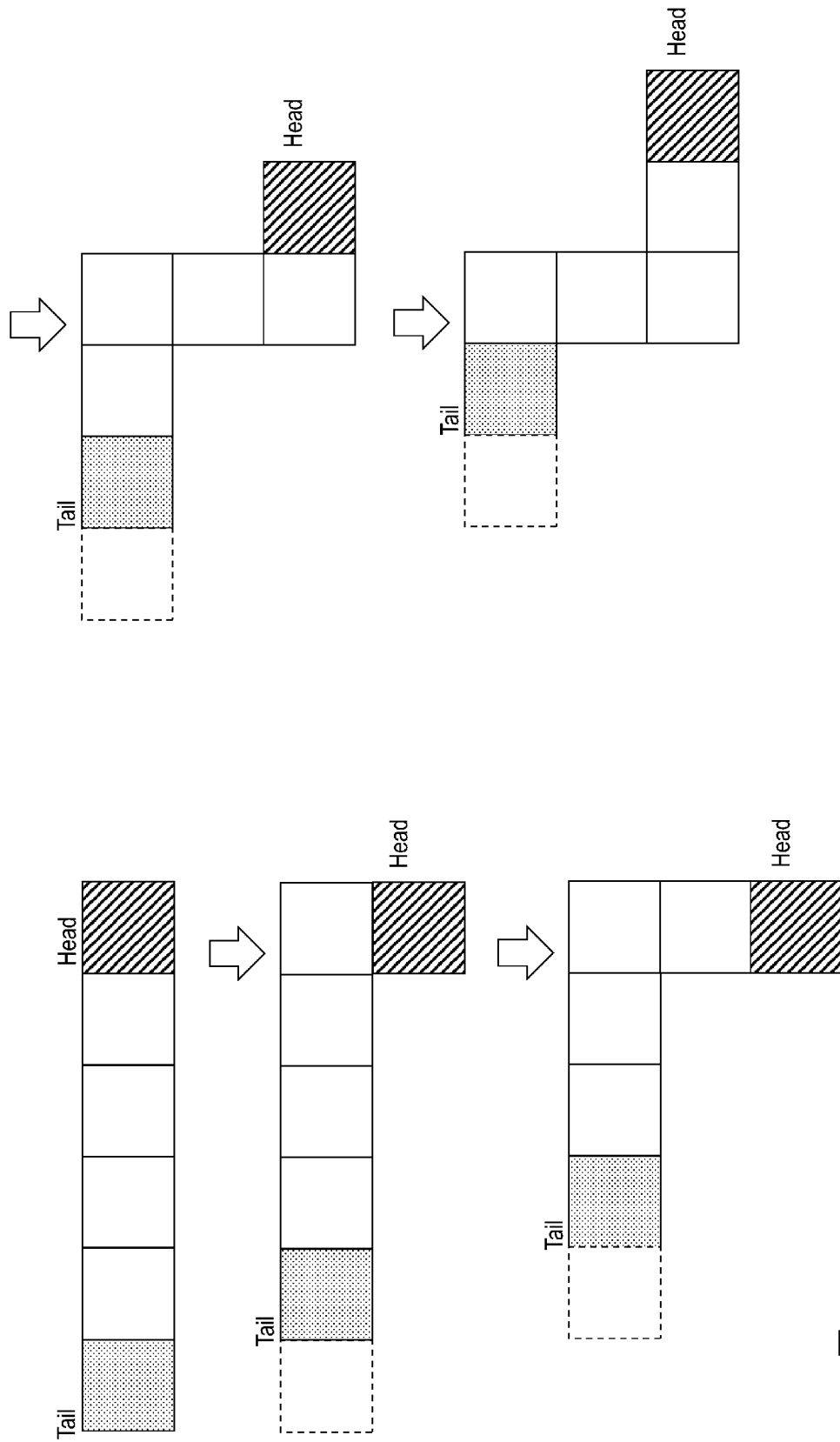


[図4]



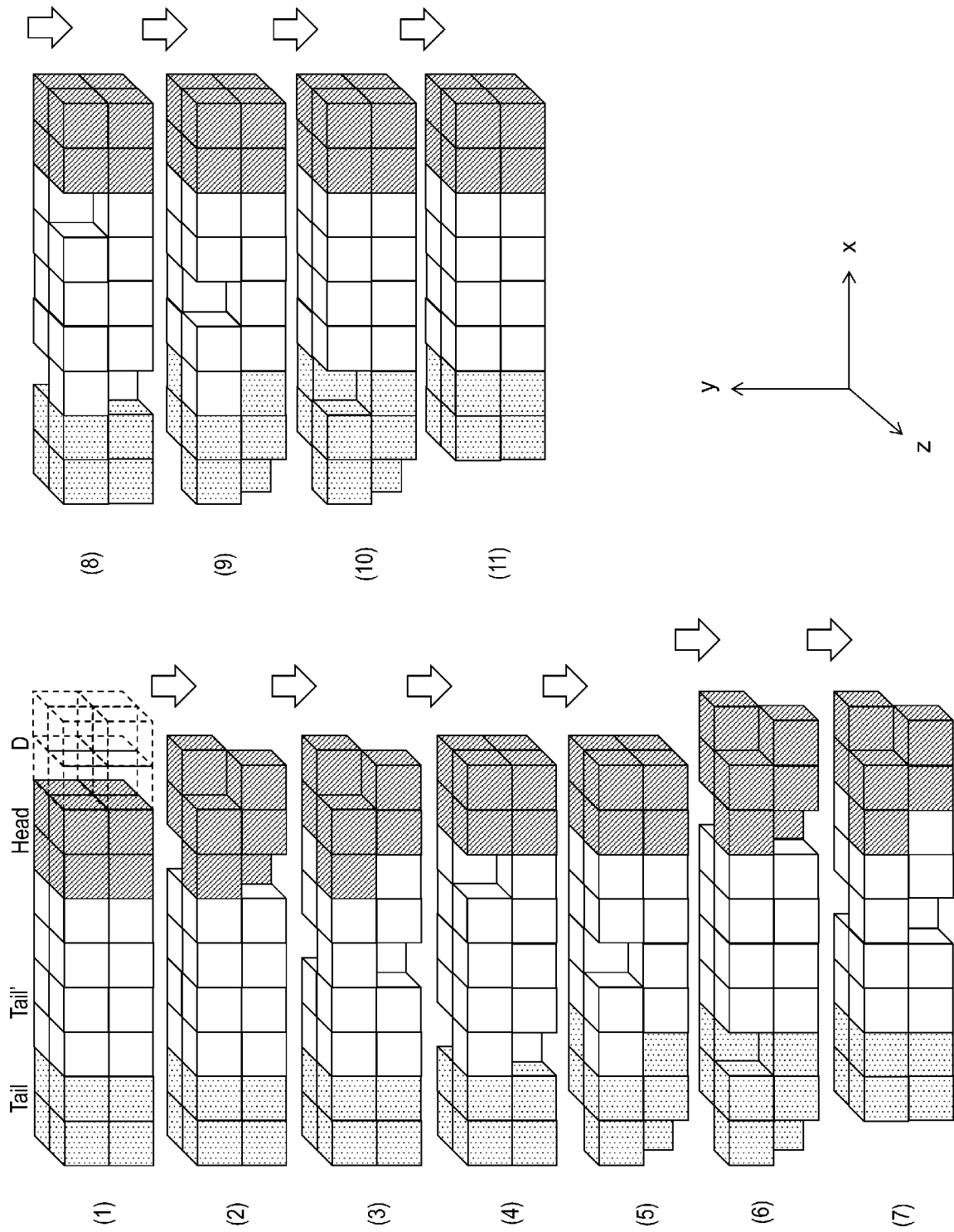
[図4]

[図5]



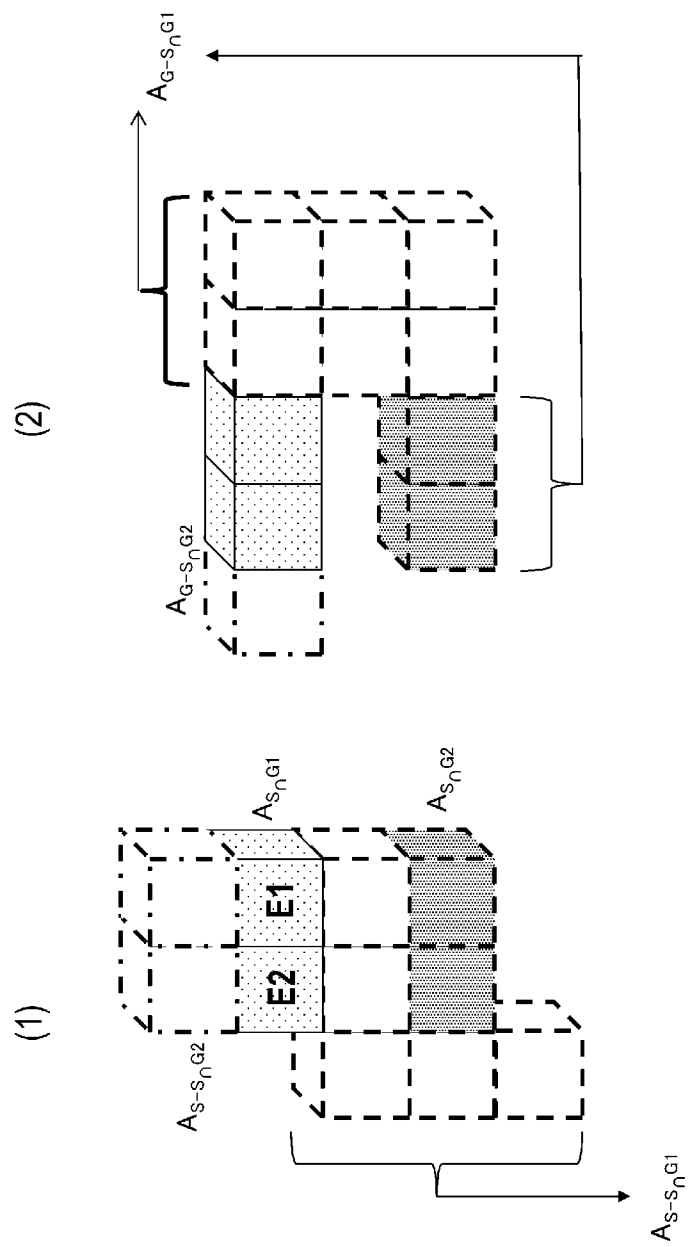
[図5]

[図6]



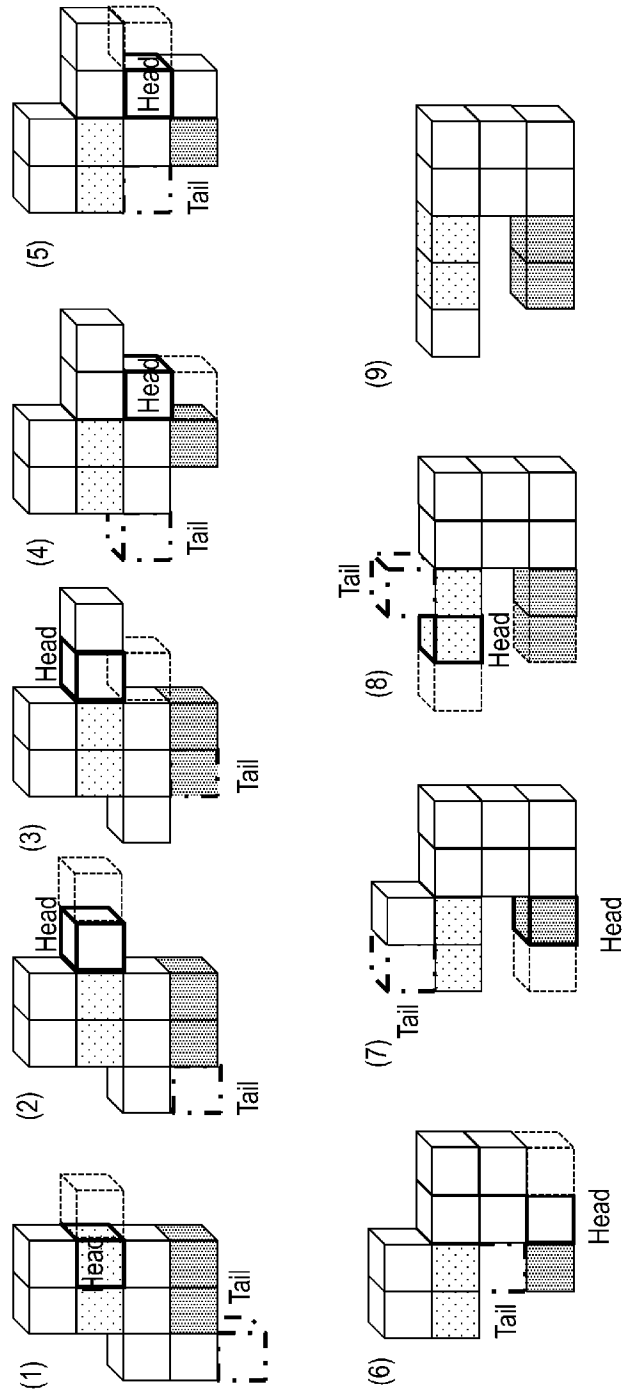
[図6]

[図7]

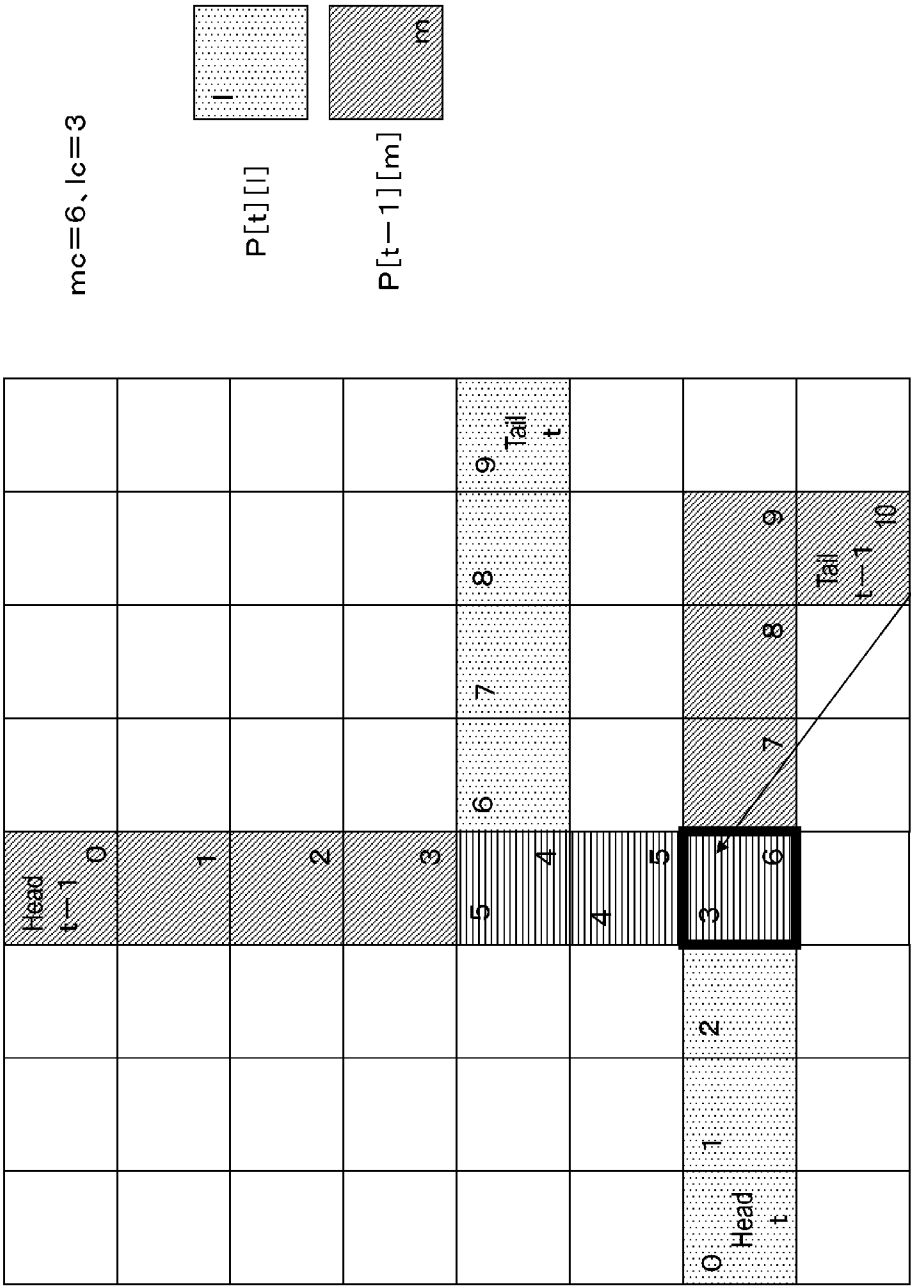


[図7]

[図8]



[図9]



Head $t-1$ を出発した8つ目のボイドが
口を通過した直後にHead t を出発した
最初のボイドが口を通過するようにHead t
とHead $t-1$ のボイド生成開始時間差を設定する。

図9

[図10]

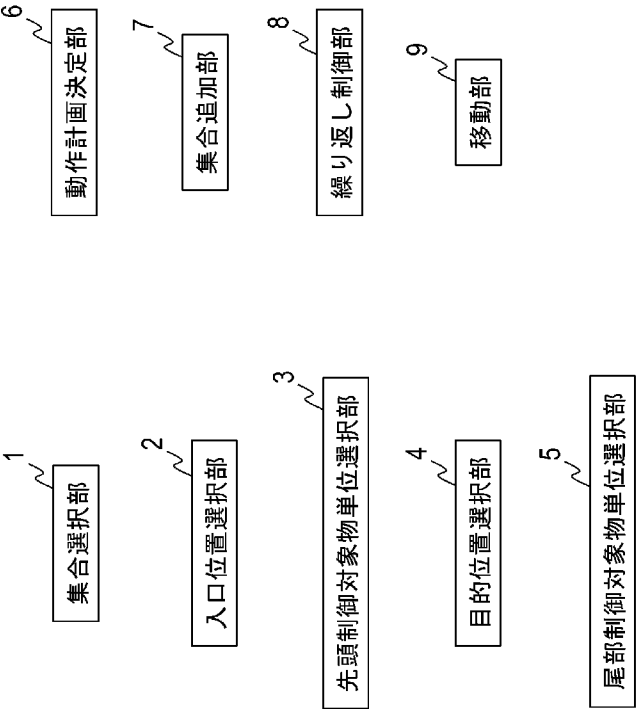


図10

[図11]

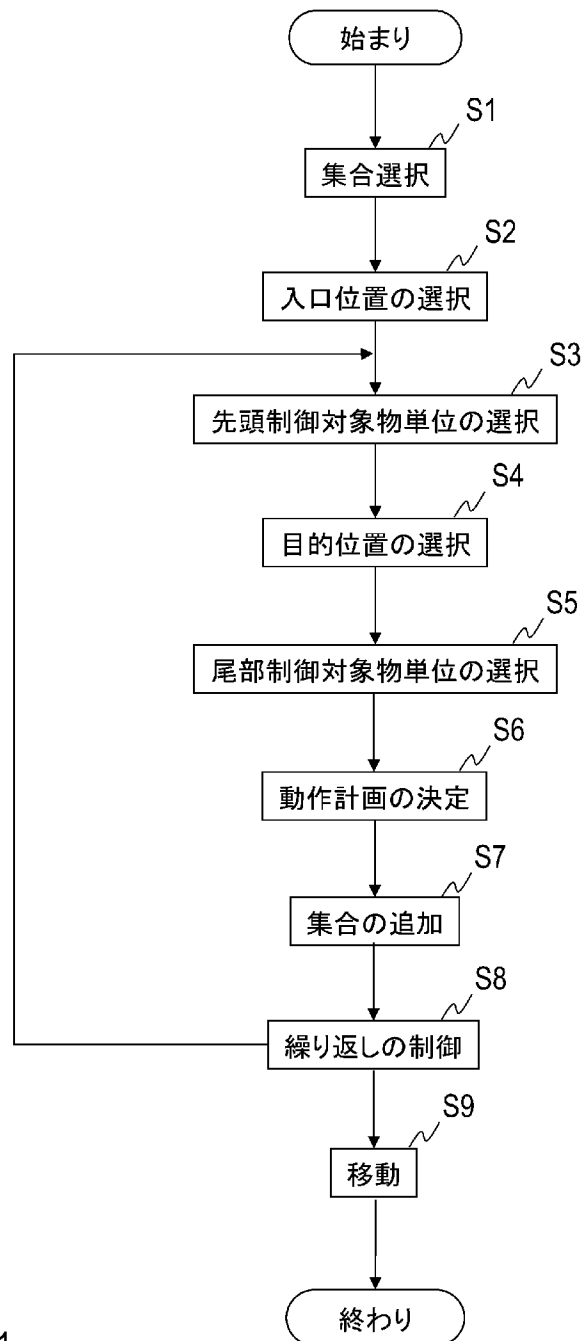


図11

[図12]

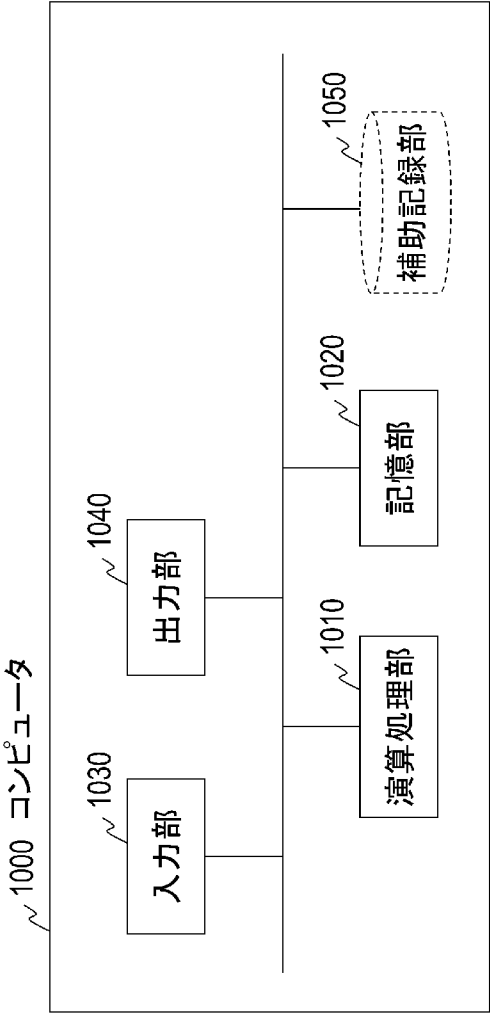


図12

[図13]

ah	at	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	6	0	2	4	7	1	3	5
1	2	6	0	2	4	7	1	3	5
1	3	6	0	2	4	6	0	2	4
1	4	6	0	2	4	7	1	3	5
1	5	6	0	2	4	7	1	3	5
1	6	6	0	2	4	7	1	3	5
2	1	6	5	7	4	2	1	3	0
2	2	6	5	7	4	2	1	3	0
2	3	6	5	7	4	2	1	3	0
2	4	6	5	7	4	6	5	7	4
2	5	6	5	7	4	2	1	3	0
2	6	6	5	7	4	2	1	3	0
3	1	7	1	3	5	7	1	3	5
3	2	7	1	3	5	6	0	2	4
3	3	7	1	3	5	6	0	2	4
3	4	7	1	3	5	6	0	2	4
3	5	7	1	3	5	6	0	2	4
3	6	7	1	3	5	6	0	2	4
4	1	2	1	3	0	6	5	7	4
4	2	2	1	3	0	2	1	3	0
4	3	2	1	3	0	6	5	7	4
4	4	2	1	3	0	6	5	7	4
4	5	2	1	3	0	6	5	7	4
4	6	2	1	3	0	6	5	7	4
5	1	0	5	1	4	2	7	3	6
5	2	0	5	1	4	2	7	3	6
5	3	0	5	1	4	2	7	3	6
5	4	0	5	1	4	2	7	3	6
5	5	0	5	1	4	2	7	3	6
5	6	0	5	1	4	0	5	1	4
6	1	2	7	3	6	0	5	1	4
6	2	2	7	3	6	0	5	1	4
6	3	2	7	3	6	0	5	1	4
6	4	2	7	3	6	0	5	1	4
6	5	2	7	3	6	2	7	3	6
6	6	2	7	3	6	0	5	1	4

[図13]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/017699

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 1/00(2006.01)i

FI: G05D1/00 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)

G05D1/00

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.
A	JP 2018-10493 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 18 January 2018 (2018-01-18)	1-6
A	US 2014/0274416 A1 (ARIE QUIRINUS BASTIAAN BRANDWIJK) 18 September 2014 (2014-09-18)	1-6

☐ 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
06 July 2021 (06.07.2021)

Date of mailing of the international search report
13 July 2021 (13.07.2021)

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/JP2021/017699

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2018-10493 A	18 Jan. 2018	(Family: none)	
US 2014/0274416 A1	18 Sep. 2014	US 2014/0273730 A1	
		US 2014/0274417 A1	
		US 2016/0184993 A1	
		US 2018/0229142 A1	
		US 2019/0054370 A1	
		WO 2014/142665 A1	
		EP 3323483 A1	
		EP 3326703 A1	
		CN 105246569 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05D 1/00(2006.01)i FI: G05D1/00 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）） G05D1/00														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table>			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				
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												
A	JP 2018-10493 A（日本電信電話株式会社）18.01.2018（2018 - 01 - 18）	1-6												
A	US 2014/0274416 A1（ARIE QUIRINUS BASTIAAN BRANDWIJK）18.09.2014（2014 - 09 - 18）	1-6												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 06.07.2021	国際調査報告の発送日 13.07.2021													
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） 牧 初 3U 9064 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/JP2021/017699

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2018-10493	A	18.01.2018	(ファミリーなし)	
US	2014/0274416	A1	18.09.2014	US	2014/0273730 A1
				US	2014/0274417 A1
				US	2016/0184993 A1
				US	2018/0229142 A1
				US	2019/0054370 A1
				WO	2014/142665 A1
				EP	3323483 A1
				EP	3326703 A1
				CN	105246569 A