

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年12月30日(30.12.2020)



(10) 国際公開番号

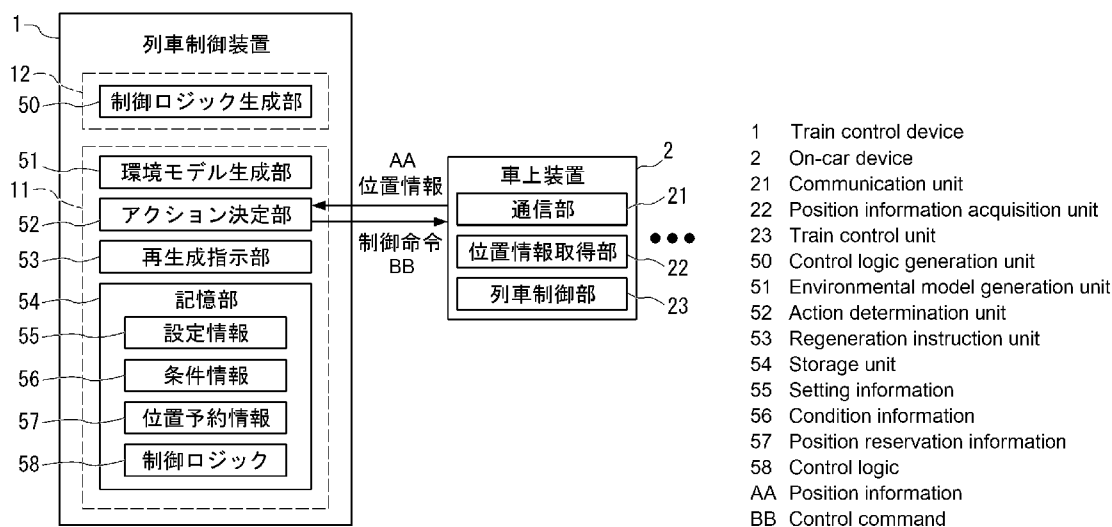
WO 2020/261637 A1

- (51) 国際特許分類:
B61L 27/00 (2006.01) B61L 23/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006587
- (22) 国際出願日: 2020年2月19日(19.02.2020)
- (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 2019-118980 2019年6月26日(26.06.2019) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 半田 隆信 (HANDA Takanobu);
〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). ▲柳▼井法貴(YANAI Noritaka); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 西面 敦義(SAIMEN Atsuyoshi); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

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

(54) 発明の名称: 列車制御装置、方法及びプログラム

[図2]



(57) Abstract: This train control device comprises: a control logic generation unit that uses an environmental model to generate control logic, which is logic causing a state transition in the environmental model in accordance with the state of the environmental model, so as to satisfy a prescribed condition, the environmental model being defined according to the number of closed sections constituting a track included in a prescribed region to be controlled, a connection state of the closed sections, and the number of trains present on the track, and the environmental model changing states discretely according to a combination of the position of one train to be controlled, which is a train subject to control, the position of zero or more other trains, the presence/absence of a reservation for the closed sections, and the like; and a regeneration instruction unit that, before the prescribed condition is satisfied, instructs the control logic generation unit to regenerate

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
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))

the control logic using the state of the environmental model at that time as an initial state.

(57) 要約: 所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である1の制御対象列車の位置、0以上の他の前記列車の位置、前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて、所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成する制御ロジック生成部と、前記所定条件が満たされる前に、前記制御ロジック生成部に対してそのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成を指示する再生成指示部とを備える列車制御装置である。

明 細 書

発明の名称：列車制御装置、方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、列車制御装置、方法及びプログラムに関する。

本願は、2019年6月26日に日本に出願された特願2019-118980号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 特許文献1に記載されている列車運行制御装置は、ネットワークを介して接続される、鉄道路線の各閉塞区間の始点に設置された信号機を制御対象として制御命令を生成して、個々の信号機に送信する。この特許文献1に記載されている列車運行制御装置は、状態情報記録部と、信号制御部と、制御命令記録部と、入出力制御部とを備える。状態情報記録部は、信号機の状態情報、列車位置情報源から得られる列車の現在位置情報、及び鉄道路線の特定の閉塞区間に設けられる設備の状態情報を、ネットワークを介して取得して、ログファイルに記録する。また、信号制御部は、ログファイルから最新の信号機の状態情報、列車の現在位置情報、及び設備の状態情報を取得して、信号機に対する制御指令を作成する。また、制御命令記録部は、作成された制御命令及び端末から送信されるマニュアル操作による制御命令をログファイルに記録する。また、入出力制御部は、信号制御部で作成された制御命令を、ネットワークを介して信号機に送信する。そして、信号制御部は、列車が存在する閉塞区間の次に位置する、列車が進行しようとする閉塞区間を、列車の運行ダイヤに基づいて、信号機をまとめて制御しなければならない複数の閉塞区間を予約対象閉塞区間として特定し、ログファイルからネットワークを介して取得した最新の信号機の状態情報、列車の現在位置情報及び設備の状態情報からみて、予約対象閉塞区間に属するすべての閉塞区間において列車を通過させてはいけない閉塞区間が存在しない場合は、予約対象閉塞区間の中の全ての閉塞区間の始点に存在する信号機を全て通行許可信号に制御

する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特許第5881078号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載されている列車運行制御装置では、複数の閉塞区間を対象として通過できるか否かを判断した結果に基づき運行制御が行われる。このような構成では、例えば、運行制御の自由度が大きい場合に最適解を求めるとき、計算時間が長くなる等、計算コストが増加してしまうという課題がある。すなわち、例えば通過することができる制御状態の組み合わせが複数組存在するような場合に、通過時間が最短となる制御状態の組み合わせ等の最適解を求めるようになると、計算時間が長くなる等、計算コストが増加してしまうという課題がある。

[0005] 本発明は、列車制御に係る計算コストの増加を抑えることができる列車制御装置、方法及びプログラムを提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様は、所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である1の制御対象列車の位置、0以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて、列車を制御する列車制御装置であって、前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択し、選択の結果に応じて前記環境モデルを状態遷移させる口

ジックである制御ロジックを生成する制御ロジック生成部と、前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するアクション決定部と、前記所定条件が満たされる前に、前記制御ロジック生成部に対してそのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成を指示する再生成指示部とを備える列車制御装置である。

- [0007] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記所定条件が、目標状態として到達すべき条件と、到達してはならない条件とを含む。
- [0008] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記制御ロジックは、前記制御対象領域に含まれる各閉塞区間の状態遷移の流れと前記制御対象列車が順次に行う各前記アクションとの対応づけを示す情報を含む。
- [0009] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記再生成指示部は、前記環境モデルの前記状態が複数回変化する毎に、前記制御ロジック生成部に対して前記制御ロジックの再生成を指示する。
- [0010] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記再生成指示部は、前記環境モデルが変化した場合に、前記制御ロジック生成部に対して変化した前記環境モデルを用いた前記制御ロジックの再生成を指示する。
- [0011] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記制御ロジック生成部が、前記制御対象領域を複数に分割した領域である部分制御領域毎に前記制御ロジックを生成するものであり、前記再生成指示部が、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域外から他の前記列車が入った場合、又は、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域から他の前記列車が出た場合に、前記制御ロジック生成部に対して前記制御ロジックの再生成を指示する。
- [0012] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域とは別の前記部分制御領域に前記制御対象列車が接近した場合に、前記制御ロジック生成部に対して、前記制御対象列車が

存在する前記部分制御領域に対する前記制御ロジックの生成に追加して、前記別の部分制御領域に対する前記制御ロジックの生成を指示する追加生成指示部をさらに備える。

[0013] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記制御対象列車の位置に応じて前記部分制御領域を再定義する領域再定義部をさらに備える。

[0014] また、本発明の一態様は、上記列車制御装置であって、前記列車に搭載されている。

[0015] また、本発明の一態様は、所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である 1 の制御対象列車の位置、0 以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて列車を制御する方法であって、前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択するステップと、選択の結果に応じて、前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成するステップと、前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するステップと、前記所定条件が満たされる前に、そのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成をするステップとを含む列車を制御する方法である。

[0016] また、本発明の一態様は、所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である 1 の制御対象列車の位置、0 以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによっ

て離散的に状態が変化する環境モデルを用いて列車を制御する方法であって、前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択するステップと、選択の結果に応じて、前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成するステップと、前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するステップと、前記所定条件が満たされる前に、そのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成をするステップとを列車を制御する装置を構成するコンピュータに実行させるプログラムである。

発明の効果

[0017] 本発明の各態様によれば、列車運行中に制御ロジックを更新することができるので、効率的な制御ロジックを更新しない場合と比較して計算コストを増加させることなく生成することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施形態に係る列車制御装置の構成例を示す構成図である。
[図2]図1に示す列車制御装置1と車上装置2の構成例を示すブロック図である。
[図3]図2に示す制御ロジック58の構成例を示す模式図である。
[図4]図2に示す列車制御装置1の動作例（第1実施形態）を示すフローチャートである。
[図5]図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第2実施形態）を示すフローチャートである。
[図6]図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第3実施形態）を示すフローチャートである。
[図7]図6に示す列車制御装置1の動作例（第3実施形態）を説明するための

模式図である。

[図8]図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第4実施形態）を示すフローチャートである。

[図9]図8に示す列車制御装置1の動作例（第4実施形態）を説明するための模式図である。

[図10]図8に示す列車制御装置1の動作例（第4実施形態）を説明するための模式図である。

[図11]図1に示す列車制御装置1と車上装置2の他の構成例（第5実施形態）を示すブロック図である。

[図12]図11に示す列車制御装置1aの動作例（第5実施形態）を示すフローチャートである。

[図13]図1に示す列車制御装置1と車上装置2の他の構成例（第6実施形態）を示すブロック図である。

[図14]図13に示す列車制御装置1bの動作例（第6実施形態）を説明するための模式図である。

[図15]少なくとも1つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

[図16]図1に示す列車制御装置1の説明に用いる模式図である。

[図17]図1に示す列車制御装置1の説明に用いる模式図である。

[図18]図1に示す列車制御装置1の説明に用いる模式図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、各図において、同一または対応する構成には同一の符号を用いて説明を適宜省略する。

[0020] 〈第1実施形態〉

本発明の第1実施形態について説明する。図1は、本発明の実施形態に係る列車制御装置1の構成例を示す構成図である。図1において、軌道システム3は、列車制御装置1と、軌道（「軌道路線」とも呼ばれる。）4と、1

又は複数の列車 T 1、T 2 等を備える。軌道 4 は、複数の閉塞区間（「閉塞区間」は「閉塞」（閉そく）とも称呼、記載される。）B 1、B 2、B 3、B 4、B 5 等から構成されている。各列車 T 1 及び T 2 は、軌道 4 上を走行する 1 又は複数の車両から構成されている。各列車 T 1 及び T 2 は、車上装置 2 をそれぞれ備える。

[0021] なお、閉塞区間は、一つの列車しか進入が許されない区間である。また、ある閉塞区間へ進入する場合、進入に先立って当該閉塞区間を予約し、予約できた場合に当該閉塞区間へ進入することができる。各閉塞区間の予約は一つの列車しか許されない。

[0022] 列車制御装置 1 は、中央制御装置 1 1 と、計算機 1 2 を備える。中央制御装置 1 1 は、1 又は複数のコンピュータとその周辺装置とから構成され、各列車 T 1 及び T 2 の位置情報を元に各列車 T 1 及び T 2 を論理制御（離散的制御）によって遠隔制御する。中央制御装置 1 1 は、各車上装置 2 が送信した各列車 T 1 及び T 2 の位置情報を受信し、受信した各列車 T 1 及び T 2 の位置情報を元に予め生成した制御ロジックに従い各列車 T 1 及び T 2 に対して制御命令を送り、各列車 T 1 及び T 2 を論理制御する。制御ロジックは論理制御のプログラムである（詳細は後述する。）。計算機 1 2 は、制御ロジックを計算し、生成する。その際、列車制御装置 1 は、軌道 4 上で予め定めた領域を制御対象領域 C 1 1 とし、制御対象領域 C 1 1 内に位置する特定の制御対象の列車（制御対象列車）毎に制御ロジックを生成する。図 1 に示す例では、制御対象領域 C 1 1 は閉塞区間 B 1、B 2、B 3、B 4 及び B 5 を含む。この場合、閉塞区間 B 3 は一つの線路が二つの線路に分岐する部分であり、枝分かれした部分を含めて一つの閉塞区間とみなす。閉塞区間を示す破線のブロック内の矢印は、その閉塞区間にいる列車が次に進める方向を示す。

[0023] 閉塞区間 B 1 は閉塞区間 B 2 に接続され、閉塞区間 B 2 は閉塞区間 B 3 に接続され、閉塞区間 B 3 は閉塞区間 B 4 と閉塞区間 B 5 に分岐部を介して接続されている。また、閉塞区間 B 1 に列車 T 2 が位置し、閉塞区間 B 5 に列

車 T 1 が位置している。また、閉塞区間 B 1 からは、白抜き矢印で示す閉塞区間 B 2 方向への移動が許されている。閉塞区間 B 2 からは、黒塗りの矢印で示す閉塞区間 B 3 方向への移動が許されている。閉塞区間 B 3 からは、閉塞区間 B 2 から進入した列車に対して閉塞区間 B 4 方向への移動が、また、閉塞区間 B 5 から進入した列車に対して閉塞区間 B 2 方向への移動が、許されている。閉塞区間 B 5 からは、白抜き矢印で示す閉塞区間 B 3 方向への移動が許されている。なお、白抜き矢印は、当該閉塞区間が予約された状態を示し、黒塗りの矢印は、当該閉塞区間の予約が解除された状態を示す。

[0024] 本実施形態において、制御ロジックとは、複数の閉塞区間 B 1 ～ B 5 に分割された軌道 4 と、軌道 4 上に存在する一つの制御対象列車（以下、列車 T 1 を制御対象列車 T 1 とする）と、同じく軌道 4 上に存在する 0 以上の他列車（以下、列車 T 2 を他列車 T 2 とする）とで構成された「環境モデル」上において、列車 T 1 及び T 2 の位置関係や閉塞区間の予約状況（環境モデルの状態）を元に、制御対象列車 T 1 のアクションを、「閉塞区間の予約／解除」、「予約した閉塞区間への移動」、「現在いる閉塞区間内での待機」のうちから決定するロジックである。この場合、環境モデルは、制御対象の環境を表すモデルであり、所定の制御対象領域 C 1 1 に含まれる軌道 4 を構成する複数の閉塞区間 B 1 ～ B 5 の数（この場合 5 個）及び接続形態（各閉塞区間 B 1 ～ B 5 の接続と進行方向の関係）と、軌道 4 上に存在する列車の数（この場合 2 個）によって定義される。そして、環境モデルは、制御対象の列車である 1 の制御対象列車 T 1 の位置（この場合閉塞区間 B 5）、0 以上の他の列車 T 2 の位置（この場合閉塞区間 B 1）、各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する。なお、以下では、制御対象列車 T 1 を（他列車 T 2 に対し）自列車と呼ぶ場合がある。また、環境モデルを定義する情報のうち、軌道を形成する閉塞区間の数と接続形態を示す情報を、軌道路線情報と呼ぶ場合がある。

[0025] また、本実施形態において、制御ロジックは、S a f e t y 条件（安全条

件) 及びゴール条件を満たす必要がある。

[0026] Safety条件とは、例えば「他列車がどのような動きをした場合でも、衝突などの危険な結果に陥らない」、「制御対象列車がどのような制御をしても身動きできなくなるデッドロックに陥らない」等の、いかなる場合でも到達してはならない条件である。

[0027] ゴール条件とは、例えば、「車庫から出庫した後、指定された駅に到着する」、「制御対象領域内の特定の閉塞区間に到達する」などの目標状態として必ず到達すべき条件である。なお、ゴール条件は、「ある中間状態を満たした後、他の最終状態に至る」等の複数の目標状態の組み合わせで構成される場合もある。

[0028] 本実施形態における具体事例は、信号制御等の他の安全システムにより、ある閉塞区間には一つの列車しか進入できない条件が担保されている事を前提とする。よって衝突は起こりえず、本実施形態が対象とする制御ロジックは、「デッドロックに陥ることなくゴール条件を達成する」事が目的である。すなわち、本実施形態において制御ロジックは、制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように生成される。ここで、所定条件は、「ゴール条件を達成する」という目標状態として到達すべき条件と、「デッドロックに陥ることなく」という到達してはならない条件とを含む。また、制御ロジックは、制御対象領域に含まれる各閉塞区間の状態遷移の流れと制御対象列車が順次に行う各アクションとの対応づけを示す情報を含んでいる。

[0029] 本実施形態では、連続的時間の概念は無く、ステップが進む度に不連続に状態が遷移する離散的状態遷移における制御ロジックのみを扱う。また、本実施形態では、列車が閉塞区間間を移動する際、一つの列車が二つの閉塞区間を同時にまたぐような中間状態は存在しないとして説明するが、同時にまたいでいる状態を一つの離散的状態と定義することで、そのような中間状態を含んだ離散的状態遷移を考慮してもよい。

[0030] 制御ロジックは、環境モデルの状態に従って、制御対象列車が取るアクシ

ョンを提示する。ゴール条件を達成するための制御対象列車が取ってよいアクション（ゴール条件に到達できるアクション）を複数提示するような制御ロジックを生成してもよい。実際の運用上は、提示された複数のアクションの中から、何らかの方法で一つのアクションだけを選んで実行する事となる。

[0031] なお、本実施形態における「環境モデル」と「制御ロジック」については次のようにまとめることができる。すなわち、本実施形態において、「環境モデル」は、（１）軌道を形成する閉塞区間の数および接続形態（接続形状）及び（２）軌道上に存在する列車の数で定義される。そして、「環境モデル」は、制御対象列車の位置、他列車の位置、各閉塞区間の予約の有無（自列車の予約か、他列車の予約か）などの組み合わせに基づく離散的な状態をとる（離散的に状態遷移する）。例えば、ある状態（１）は、「制御対象列車の位置＝〇〇、他列車（１）の位置＝××、…、閉塞区間（１）＝予約なし、閉塞区間（２）＝予約なし、…」である。また、他の状態（２）は、「制御対象列車の位置＝△△、他列車（１）の位置＝□□、…、閉塞区間（１）＝予約なし、閉塞区間（２）＝他列車（１）の予約あり、…」である。なお、「環境モデル」の状態は、列車ごとに定義される。例えば、列車が３台（列車（Ａ）、（Ｂ）、（Ｃ））の場合、列車（Ａ）の制御に用いられる環境モデルの状態は、（ａ）制御対象列車（列車Ａ）の位置、（ｂ）他列車（列車（Ｂ）、（Ｃ）それぞれ）の位置、（ｃ）各閉塞区間の自列車（列車（Ａ））の予約の有無、（ｄ）各閉塞区間の他列車（列車（Ｂ）、（Ｃ））の予約の有無、で決定される。また、列車（Ｂ）の制御に用いられる環境モデルの状態、列車（Ｃ）の制御に用いられる環境モデルの状態も同様にある。

[0032] また、本実施形態において、「制御ロジック」とは、「環境モデル」の状態に応じて、制御対象列車に対し、「閉塞区間の予約／解除」、「予約した閉塞区間への移動」、「現在いる閉塞区間内での待機」のアクションのうちのいずれかを決定し、「環境モデル」を状態遷移させるロジックである。また、「制御ロジック」は、（１）制御対象列車が現在いる閉塞区間から目的

の閉塞区間に到達するように生成され、かつ、（２）デッドロックが生じないように生成される。

[0033] なお、本実施形態における「制御ロジック」は、オープンソースとして公開されているツールであるMTSA (Modal Transition System Analyzer) などを利用して、自動生成することができる。MTSAは、は、インペリアル・カレッジ・ロンドン (Distributed Software Engineering (DSE) group at Imperial College London) とブエノスアイレス大学 (the Laboratory on Foundations and Tools for Software Engineering (LaFHIS) at University of Buenos Aires) で共同開発された、自動生成ツールであり、形式的に記述された環境モデルと要求条件を入力とし、正しさが保証された仕様モデル（環境モデルの状態）をゲーム理論に基づいて自動生成する（URL : <http://mtsa.dc.uba.ar>）。ただし、これに限らず、「制御ロジック」は、例えば特許文献１に記載されているように複数の条件判断を行う処理を組み合わせるプログラムを用いて生成してもよい。

[0034] 次に、本実施形態に係る論理制御（離散的制御）の例について図１６～図１８を参照して説明する。図１６～図１８は、図１に示す列車制御装置１の説明に用いる模式図である。

[0035] 図１６の（ａ）～（ｉ）は、軌道４上に制御対象列車Ｔ１だけが存在する場合、「閉塞区間Ｂ５にいる列車Ｔ１が閉塞区間Ｂ４に移動する事」というゴール条件を達成するための最小の状態遷移数での制御手順を示す。白抜き矢印を含む閉塞区間は、進入予約された閉塞区間であり、予約を実施した列車以外はその閉塞区間に入れない。また、この例では、分岐を含む閉塞区間Ｂ３から右側の閉塞区間Ｂ４に移動するためには、一旦閉塞区間Ｂ２に進入した後方向転換し再び閉塞区間Ｂ３に進入した後、閉塞区間Ｂ４に進入する必要がある。

[0036] 図16の(a)は、制御対象列車T1が閉塞区間B5に位置し、閉塞区間B5が制御対象列車T1に対して予約されている状態を示す。図16の(b)は、制御対象列車T1が閉塞区間B5に位置し、閉塞区間B5と閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約されている状態を示す。図16の(c)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に移動し、閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B5の予約が解除された状態を示す。図16の(d)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に位置し、閉塞区間B3と閉塞区間B2が制御対象列車T1に対して予約されている状態を示す。図16の(e)は、制御対象列車T1が閉塞区間B2に移動し、閉塞区間B2が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B3の予約が解除された状態を示す。図16の(f)は、制御対象列車T1が閉塞区間B2に位置し、閉塞区間B2と閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約されている状態を示す。図16の(g)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に移動し、閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B2の予約が解除された状態を示す。図16の(h)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に位置し、閉塞区間B3と閉塞区間B4が制御対象列車T1に対して予約されている状態を示す。図16の(i)は、制御対象列車T1が閉塞区間B4に移動し、閉塞区間B4が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B3の予約が解除された状態を示す。

[0037] 図17の(a)～(c)は、参考例として、軌道4上に制御対象列車T1及び一つ他列車T2が存在する場合に、両方が永遠に動けなくなるデッドロックに陥った状態を示す。この場合、デッドロックは、向かい合う閉塞区間を2台の列車T1及びT2がそれぞれ予約したために生じた。ただし、本実施形態では、このような制御ロジックは作成されない。

[0038] 図17の(a)は、制御対象列車T1が閉塞区間B5に位置し、他列車T2が閉塞区間B1に位置し、閉塞区間B5が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B1が他列車T2に対して予約されている状態を示す。図17の(b)は、制御対象列車T1が閉塞区間B5に位置し、閉塞区間B5と

閉塞区間 B 3 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 1 と閉塞区間 B 2 が他列車 T 2 に対して予約されている状態を示す。図 17 の (c) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 3 に移動し、閉塞区間 B 3 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 5 の予約が解除され、他列車 T 2 が閉塞区間 B 2 に移動し、閉塞区間 B 2 が他列車 T 2 に対して予約され、閉塞区間 B 1 の予約が解除された状態を示す。

[0039] 図 18 の (a) ~ (i) は、軌道 4 上に制御対象列車 T 1 及び一つ他列車 T 2 が存在する場合、デッドロックせずゴール条件までたどり着いた事例を示す。制御対象列車 T 1 が分岐を超えてもう一つ先までの閉塞区間を予約することで、デッドロックを回避している。

[0040] なお、列車 1 編成を構成する車両数は 1 車両以上で上限は無いが、列車の長さは最も短い閉塞区間の長さよりも短いものとする。

[0041] 図 18 の (a) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 5 に位置し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 5 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 1 が他列車 T 2 に対して予約されている状態を示す。図 18 の (b) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 5 に位置し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 5 と閉塞区間 B 2 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 1 が他列車 T 2 に対して予約されている状態を示す。図 18 の (c) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 5 に位置し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 5 と閉塞区間 B 2 と閉塞区間 B 3 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 1 が他列車 T 2 に対して予約されている状態を示す。図 18 の (d) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 3 に移動し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 2 と閉塞区間 B 3 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 1 が他列車 T 2 に対して予約され、閉塞区間 B 5 の予約が解除された状態を示す。図 18 の (e) は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 2 に移動し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、閉塞区間 B 2 が制御対象列車 T 1 に対して予約され、閉塞区間 B 1 が他列車 T 2 に対して予約され、閉塞区間 B 3 の予約が解除された

状態を示す。図18の(f)は、制御対象列車T1が閉塞区間B2に位置し、他列車T2が閉塞区間B1に位置し、閉塞区間B2と閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B1が他列車T2に対して予約されている状態を示す。図18の(g)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に移動し、他列車T2が閉塞区間B1に位置し、閉塞区間B3が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B1が他列車T2に対して予約され、閉塞区間B2の予約が解除された状態を示す。図18の(h)は、制御対象列車T1が閉塞区間B3に位置し、他列車T2が閉塞区間B1に位置し、閉塞区間B3と閉塞区間B4が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B1が他列車T2に対して予約されている状態を示す。図18の(i)は、制御対象列車T1が閉塞区間B4に移動し、他列車T2が閉塞区間B1に位置し、閉塞区間B4が制御対象列車T1に対して予約され、閉塞区間B1が他列車T2に対して予約され、閉塞区間B3の予約が解除された状態を示す。

[0042] 次に、図2を参照して、図1に示す列車制御装置1と車上装置2の機能的な構成例について説明する。図2は、図1に示す列車制御装置1と車上装置2の構成例を示すブロック図である。図2に示すように、列車制御装置1において、計算機12は、制御ロジック生成部50を有する。また、列車制御装置1において、中央制御装置11は、環境モデル生成部51と、アクション決定部52と、再生成指示部53と、記憶部54を有する。ここで、制御ロジック生成部50と、環境モデル生成部51と、アクション決定部52と、再生成指示部53と、記憶部54は、計算機12及び中央制御装置11を構成する1若しくは複数のコンピュータ及びそのコンピュータの周辺装置等のハードウェアと、そのコンピュータが実行するプログラム等のソフトウェアとの組み合わせで構成される機能的構成要素である。また、記憶部54は、設定情報55と、条件情報56と、位置予約情報57と、制御ロジック58を記憶する。

[0043] 設定情報55は、環境モデルを生成する際に用いる各種情報を含む。この各種情報とは、例えば、制御対象領域C11等に含まれる軌道4を構成する

複数の閉塞区間 B 1 ～ B 5 等の数及び接続形態（軌道路線情報という）と軌道 4 上に存在する列車 T 1、T 2 等の数の情報（列車数情報という）等である。

[0044] 条件情報 5 6 は、S a f e t y 条件と列車毎のゴール条件を表す情報等を含む。

[0045] 位置予約情報 5 7 は、閉塞区間毎に、列車の存在の有無及び存在する場合にどの列車が存在しているのかを表す情報（列車位置情報という）、予約の有無を表す情報（閉塞予約情報という）等であって、制御ロジックを生成する際の初期値として使用される情報、列車制御によって変化した履歴や最新の状態を表す情報等を含む。

[0046] 制御ロジック 5 8 は、制御ロジック生成部 5 0 が生成した列車毎の制御ロジックを表す情報を含む。ここで、図 3 を参照して制御ロジック 5 8 の構成例について説明する。図 3 は、図 2 に示す制御ロジック 5 8 の構成例を示す模式図である。図 3 は、状態遷移表の形式で示した制御ロジック 5 8 の例を示す。図 3 に示す制御ロジック 5 8 は、図 1 に示す制御対象領域 C 1 1 が含む軌道 4 に対応する環境モデルを状態遷移させるロジックであり、状態番号 1、2、3、4、5、…から構成される一連の制御ロジックと、状態番号 1 2、1 3、1 4、…から構成される他の一連の制御ロジックとを含む。状態番号 1、2、3、4、5、…から構成される一連の制御ロジックは、初期状態で、図 1 8 の（a）に示すように制御対象列車 T 1（図 3 では「自列車」と表記）が閉塞区間 B 5 に位置し（在線し）、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 4 を目標位置として移動する場合の状態遷移と制御対象列車 T 1 のアクションを示す情報を含む。状態番号 1 が図 1 8 の（a）に対応し、状態番号 2 が図 1 8 の（b）に対応し、状態番号 3 が図 1 8 の（c）に対応し、状態番号 4 が図 1 8 の（d）に対応し、状態番号 5 が図 1 8 の（e）に対応する。図 3 に示す制御ロジック 5 8 によれば、制御対象領域 C 1 1 の各閉塞区間 B 1 ～ B 5 の状態が例えば状態番号 1 の状態に一致した場合、閉塞区間 B 2 を予約するとのアクションが選択される

。そして、状態番号 1 に規定されたアクションが実行されたことに続いて各閉塞区間 B 1 ～ B 5 の状態が状態番号 2 の状態に一致した場合、閉塞区間 B 3 を予約するとのアクションが選択される。一方、状態番号 1 2、1 3、1 4、…から構成される一連の制御ロジックは、閉塞区間 B 2 が他列車 T 2 によって予約済みであるため、制御対象列車 T 1 による予約ができず制御対象列車 T 1 が待機している場合である。状態番号 1 2、1 3、1 4、…から構成される一連の制御ロジックは、初期状態で、図 1 8 の (a) に示すように制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 5 に位置し、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 に位置し、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 4 を目標位置として移動する場合で、他列車 T 2 が閉塞区間 B 4 を目標位置として制御対象列車 T 1 より先に移動するときの状態遷移の内容と制御対象列車 T 1 のアクションを示す情報を含む。状態番号 1 2、1 3 及び 1 4 では、制御対象列車 T 1 は閉塞区間 B 5 に位置し、アクションは「待機」である。

[0047] なお、図 3 に示す制御ロジック 5 8 では、列車が在線している閉塞区間は必ず在線列車による予約がされており、在線列車以外による予約はできない。また、図 3 に示す制御ロジック 5 8 では、列車が移動した後、移動前に在線した閉塞区間の予約は移動と同時に解除される。

[0048] 環境モデル生成部 5 1 は、所定の制御対象領域 C 1 1 に含まれる軌道 4 を構成する複数の閉塞区間 B 1 ～ B 5 の数及び接続形態と軌道 4 上に存在する列車 T 1 及び T 2 の数によって定義され、制御対象の列車である 1 の制御対象列車 T 1 の位置、0 以上の他の列車の位置 T 2、各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを生成する。環境モデル生成部 5 1 は、例えばオペレータの入力操作に従って環境モデルを生成したり、予め用意された環境モデルを生成するための情報を含む所定のファイルを読み込んだりすることで環境モデルを生成する。

[0049] 制御ロジック生成部 5 0 は、例えば上述した M T S A などを利用し、環境モデル生成部 5 1 が生成した環境モデルを用いて、所定の S a f e t y 条件とゴール条件を満たすように、環境モデルの状態に応じて、制御対象列車に

よる、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択することで、「環境モデル」を状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成する。ここで、制御ロジックは、環境モデルに定義された各閉塞区間の状態とその状態で選択すべきアクション、及び、そのアクションを実行した後の各閉塞区間の状態とその状態で選択すべきアクションを順次規定する。制御ロジック生成部50は、生成した制御ロジックを記憶部54に制御ロジック58として記憶する。

[0050] アクション決定部52は、制御対象列車T1（及び他の列車T2等）の車上装置2から位置情報を取得し、ゴール条件が満たされるまで、制御ロジック生成部50が生成した制御ロジックに基づき、環境モデルの状態に応じて、制御対象列車T1が行うアクションを順次決定し、決定したアクションに基づく制御命令を制御対象列車T1の車上装置2に対して順次指示する。

[0051] 再生成指示部53は、ゴール条件が満たされる前に、少なくとも1回、制御ロジック生成部50に対してそのときの環境モデルの状態を初期状態として制御ロジックの再生成を指示する。再生成指示部53は、例えば、制御対象領域C11に対応する環境モデルにおいて何らかの状態遷移が発生する度に制御ロジックの再生成を指示する。

[0052] 一方、図2に示す車上装置2は、通信部21と、位置情報取得部22と、列車制御部23を有する。通信部21は、例えば、CBTC（Communications-Based Train Control）等の列車情報収集システムを介して列車制御装置1と通信し、列車T1、T2等の位置情報を列車制御装置1へ送信したり、制御命令を列車制御装置1から受信したりする。位置情報取得部22は、例えば軌道4上の所定位置を基準として車輪の回転情報等を用いて自列車の位置を算出して、算出した位置情報を通信部21を介して例えば所定の周期で列車制御装置1へ通知する。列車制御部23は、通信部21を介して列車制御装置1から受信した制御命令に従い列車の駆動装置を制御する。

[0053] なお、各列車の位置情報は、例えば軌道４に設置されている図示していない装置で取得し、列車制御装置１へ通知するようにしてもよい。

[0054] 次に、図４を参照して、図２に示す列車制御装置１の動作例について説明する。図４は、図２に示す列車制御装置１の動作例（第１実施形態）を示すフローチャートである。図４に示す処理が開始されると、まず、環境モデル生成部５１が、オペレータの入力操作に従ってあるいは記憶部５４から設定情報５５を読み込むことで、軌道路線情報や列車数情報等の環境モデルの定義情報を設定し、環境モデルを生成する（ステップＳ１１）。次に、例えばアクション決定部５２（あるいは図示していない処理の流れの制御部）が、オペレータの入力操作に従ってあるいは記憶部５４から条件情報５６を読み込むことで、Ｓａｆｅｔｙ条件及びゴール条件を設定する（ステップＳ１２）。次に、例えばアクション決定部５２（あるいは図示していない処理の流れの制御部）が、オペレータの入力操作に従ってあるいは記憶部５４から位置予約情報５７を読み込むことで、列車位置情報と閉塞予約情報の初期状態を設定する（ステップＳ１３）。

[0055] 次に、制御ロジック生成部５０が、ステップＳ１１で生成された環境モデルを用い、ステップＳ１２で設定された初期状態を環境モデルの初期状態とし、ステップＳ１３で設定されたＳａｆｅｔｙ条件及びゴール条件を満たすように、制御ロジック生成計算を行い、制御ロジックを生成する（ステップＳ１４）。

[0056] 次に、アクション決定部５２が、ステップＳ１４で生成された制御ロジックに基づき、制御対象列車Ｔ１の次のアクションを決定し、制御対象列車Ｔ１にアクションを指示する（ステップＳ１５）。

[0057] 次に、アクション決定部５２が、環境モデルにおいて状態遷移が発生した場合に、列車位置情報と閉塞予約情報を最新情報に更新する（ステップＳ１６）。次に、再生成指示部５３が、図４に示す処理を終了するか否かを判断し（ステップＳ１７）、終了すると判断した場合は（ステップＳ１７で「Ｙｅｓ」の場合は）図４に示す処理を終了し、終了すると判断しなかった場合

は（ステップS 1 7で「N o」の場合は）ステップS 1 4へ戻り、制御ロジック生成部5 0に対してそのときの環境モデルの状態を初期状態として制御ロジックの再作成を指示する。なお、ステップS 1 7では、例えば、ゴール条件を達成した場合や、当日の列車制御が完了した場合、オペレータが終了を指示する入力操作を行った場合に、処理を終了すると判断される。

[0058] 図4に示す動作によれば、リアルタイムの他列車位置情報や閉塞予約情報を元に、最新の列車位置情報を前提とした制御ロジックがリアルタイムに自動生成され、列車の制御ロジックが運行中に更新される。また、第1実施形態では、制御ロジック自動生成計算と更新が、何らかの状態遷移が発生する度に行われる。

[0059] ところで、既定された環境モデルの中であらゆる状態遷移に対応できる制御ロジックを自動生成できる場合、制御対象列車が何らかの状態遷移をした前後どちらにおいても、制御ロジックはS a f e t y条件とゴール条件を満足しているので、運行中に新たに制御ロジックを生成する必要はない。

[0060] しかし、計算時間を実用的な範囲に収めるため、探索範囲を限定するなどの計算高速化施策を施し、“必ずしも最適ではない”制御ロジックを適用せざるを得ない場合もある。ここで、“必ずしも最適ではない”とは、例えば、S a f e t y条件とゴール条件は完全に満たしているが、最小の状態遷移ステップ数でゴールに到達できるとは限らない制御ロジックの事である。

[0061] ある状態遷移が確定した後の制御ロジック生成計算で探索する必要のあるゴールまでの状態数は、その状態遷移が確定する前に探索する必要があったゴールまでの状態数よりも少ないので、探索する状態遷移の網羅性向上と計算時間短縮効果があり、より正確な計算が可能となる。よって、状態遷移が発生する度に、より最適に近い制御ロジックを生成できる。

[0062] 直近の状態が制御ロジックに反映されるため、運行前に生成した制御ロジックに基づいた制御と比較し、より適切な（ゴールまでの状態遷移ステップが少ない、（かつ、もしくは）ゴールまでの到達時間が早い）制御ロジックを用いる事ができ、制御が効率化され、運行時間の短縮や電力削減等運行コ

ストの低減につながる。

[0063] なお、制御ロジックを生成するための実用的な計算時間は、一般的なサーバ向け計算機を用いた場合において、事前計算の場合は24時間以内が例示される。また、運行中に制御ロジックを更新する場合は、閉塞区間を列車が移動する時間より短い例えば数秒以内が例示される。

[0064] 〈第2実施形態〉

第1実施形態では図2に示す再生成指示部53が制御ロジックを更新するタイミングを制御対象列車T1の状態遷移後毎回としているのに対し、第2実施形態は、制御ロジックを更新するタイミングの頻度を減らしている。第2実施形態の構成は、図1及び図2を参照して説明した第1実施形態の構成と同一であり、第1実施形態と第2実施形態では図2に示す再生成指示部53の動作が一部異なる。

[0065] 図5は、図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第2実施形態）を示すフローチャートである。図5に示す処理では、図4に示す処理に対して、ステップS18の処理が追加されている。図5に示す処理において、再生成指示部53は、図5に示す処理を終了するか否かを判断し（ステップS17）、終了すると判断した場合は（ステップS17で「Yes」の場合は）図5に示す処理を終了し、終了すると判断しなかった場合は（ステップS17で「No」の場合は）ステップS18において制御ロジックを更新するか否かを判断する。

[0066] ステップS18において、再生成指示部53は、例えば、制御ロジックが生成（あるいは最後に更新）された後、予め設定された複数回、環境モデルにおいて状態遷移が発生した場合に、制御ロジックを更新すると判断する。再生成指示部53が制御ロジックを更新しないと判断した場合（ステップS18で「No」の場合）、アクション決定部52が、ステップS14で生成された制御ロジックに基づき、制御対象列車T1の次のアクションを決定し、制御対象列車T1にアクションを指示する（ステップS15）。制御ロジックを更新すると判断した場合（ステップS18で「Yes」の場合）、再

生成指示部53は、ステップS14へ戻り、制御ロジック生成部50に対してそのときの環境モデルの状態を初期状態として制御ロジックの再作成（すなわち更新）を指示する。この場合、再生成指示部53は、環境モデルの状態が複数回変化する毎に、制御ロジック生成部50に対して制御ロジックの再生成を指示することになる。

[0067] 第2実施形態によれば、第1実施形態のように制御ロジックを状態遷移後に毎回更新する場合と比較し、計算量や通信量を削減できる。

[0068] 〈第3実施形態〉

第3実施形態は、第1実施形態及び第2実施形態と比較し、環境モデルが変化した場合に環境モデルを再生成（再定義）する処理を追加した点が異なる。第3実施形態の構成は、図1及び図2を参照して説明した第1実施形態及び第2実施形態の構成と同一であり、第3実施形態は、第2実施形態と比較して図2に示す再生成指示部53の動作が一部異なる。第3実施形態において、再生成指示部53は、環境モデルが変化した場合に、制御ロジック生成部50に対して変化した環境モデルを用いた制御ロジックの再生成を指示する。

[0069] 図6は、図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第3実施形態）を示すフローチャートである。図6に示す処理では、図5に示す処理（第2実施形態）に対して、ステップS17-2の処理が追加されている。図6に示す処理において、再生成指示部53は、図6に示す処理を終了するか否かを判断し（ステップS17）、終了すると判断した場合は（ステップS17で「Yes」の場合は）図6に示す処理を終了し、終了すると判断しなかった場合は（ステップS17で「No」の場合は）ステップS17-2において制御対象領域C11の環境モデルが変化したか否かを判断し、環境モデルが変化した場合は（ステップS17-2で「Yes」の場合は）ステップS11へ処理を戻し、環境モデルが変化していない場合は（ステップS17-2で「No」の場合は）ステップS18において制御ロジックを更新するか否かを判断する。

- [0070] 本実施形態において、環境モデルが変化した場合とは、当初予期しておらず、制御ロジック生成の前提条件として考慮していなかった環境モデルの変化であり、主として下記異常時を想定する。（１）故障や事故などの予期せぬ理由により、制御対象列車以外の列車が停止し動作不能になった場合。（２）故障や事故などの予期せぬ理由により、一つもしくは複数の閉塞区間が使用不能になった場合。
- [0071] 例えば、図 7 に示すように、閉塞区間 B 1 2 7 がレール破断などによって使用できなくなった場合、閉塞区間 B 1 2 7 を通る当初のルート R 1 1 は使用できなくなる。このような場合、第 3 実施形態によれば、制御対象領域 C 1 2 から閉塞区間 B 1 2 7 を除いた場合の環境モデルを再生成し、再生成した環境モデルを用いて制御ロジックを生成することで、例えば閉塞区間 B 1 2 7 を通らない新たなルート R 1 2 にルートを変更することができる。
- [0072] なお、図 7 は、図 6 に示す列車制御装置 1 の動作例（第 3 実施形態）を説明するための模式図である。図 7 は、閉塞区間が利用不可になった場合の代替ルート制御に更新した例を示す。図 7 は、閉塞区間 B 1 0 1 ～ B 1 1 2 と閉塞区間 B 1 2 1 ～ B 1 3 2 を含む制御対象領域 C 1 2 を模式的に示す。図 7 において、制御対象列車 T 1 は矢印 T 1 a の方向に移動し、他列車 T 2 は矢印 T 2 a の方向に移動する。また、制御対象列車 T 1 は、閉塞区間 B 1 1 2 への到達をゴール条件 G 1 とする。
- [0073] 第 1 実施形態及び第 2 実施形態では、環境モデルが変化した場合は考慮されておらず、異常時は例えば制御を止めざるを得ない。第 3 実施形態を用いれば、想定外の環境モデルの変化が起こる異常時でもそれに対応した制御を生成でき、S a f e t y 条件とゴール条件を保証した制御を継続できる。
- [0074] 第 1 実施形態で異常時の制御も可能にするには、上記環境モデル変化の全ての場合を事前に考慮した上で制御ロジックを生成する必要があるため、制御ロジック生成の計算時間が実用的な時間を超える、もしくは計算機のメモリ不足等能力を超えるため計算不能となる場合が考えられる。環境モデルが変化した場合においても、第 3 実施形態を用いればより高速に制御ロジック

を自動生成する計算が可能になり計算時間が実用的な範囲に収まり、製品に適用可能になる。

[0075] なお、環境モデルの変化の発生については、例えば、オペレータが手動で列車制御装置 1 へその旨を入力したり、車上装置 2 や軌道 4 に設けたカメラやセンサを用いて自動で検知し、列車制御装置 1 へ通知するようにしたりすることで、列車制御装置 1（再生成指示部 5 3）で認識することができる。

[0076] 〈第 4 実施形態〉

次に、図 8～図 10 を参照して第 4 実施形態について説明する。第 4 実施形態は、第 1～第 3 実施形態と異なり、図 9 及び図 10 に示すように、図 7 を参照して説明した制御対象領域 C 1 2 を 3 つの部分制御領域 C 1 2 A、C 1 2 B 及び C 1 2 C に分割し、制御ロジック生成部 5 0 が部分制御領域毎に制御ロジックを生成する。この場合、部分制御領域 C 1 2 A、C 1 2 B 及び C 1 2 C のうち制御対象列車 T 1 が位置する領域が制御対象領域となる。

[0077] なお、図 9 及び図 10 において、部分制御領域 C 1 2 A は、閉塞区間 B 1 0 1～B 1 0 4 と閉塞区間 B 1 2 1～B 1 2 4 を含む。部分制御領域 C 1 2 B は、閉塞区間 B 1 0 5～B 1 0 8 と閉塞区間 B 1 2 5～B 1 2 8 を含む。部分制御領域 C 1 2 C は、閉塞区間 B 1 0 9～B 1 1 2 と閉塞区間 B 1 2 9～B 1 3 2 を含む。また、制御対象列車 T 1 と他列車 T 2 が部分制御領域 C 1 2 B 内に位置し、他列車 T 3 が部分制御領域 C 1 2 C 内に位置している。

[0078] また、図 9 の（a）において、制御対象列車 T 1 は閉塞区間 B 1 2 5 に位置していて矢印 T 1 a の方向に移動しようとしている。また、他列車 T 2 は閉塞区間 B 1 0 5 に位置していて矢印 T 2 a の方向に移動しようとしている。また、他列車 T 3 は閉塞区間 B 1 0 9 に位置していて矢印 T 3 a の方向に移動しようとしている。図 9 の（b）は、他列車 T 2 が閉塞区間 B 1 0 5 から閉塞区間 B 1 0 4 へ移動し、部分制御領域 C 1 2 B 外に出た場合を示す。図 10 の（a）は、他列車 T 3 が閉塞区間 B 1 0 9 から閉塞区間 B 1 0 8 へ移動し、部分制御領域 C 1 2 B 内に入った場合を示す。図 10 の（b）は、制御対象列車 T 1 が閉塞区間 B 1 2 5 から閉塞区間 B 1 2 9 へ移動し、部分

制御領域C 1 2 Bから部分制御領域C 1 2 Cへ移った場合を示す。

[0079] 第4実施形態において、再生成指示部53は、制御対象列車が存在する部分制御領域外から他の列車が入った場合、又は、制御対象列車が存在する部分制御領域から他の列車が出た場合に、制御ロジック生成部50に対して制御ロジックの再生成を指示する。なお、図8は、図2に示す列車制御装置1の他の動作例（第4実施形態）を示すフローチャートである。図9及び図10は、図8に示す列車制御装置1の動作例（第4実施形態）を説明するための模式図である。

[0080] 図8に示す処理では、図6に示す処理（第3実施形態）に対して、冒頭のステップS01の処理と、ステップS17-1の処理が追加されている。

[0081] ステップS01では、例えば環境モデル生成部51（あるいは図示していない処理の流れの制御部）が、制御対象領域C12を複数（例えば3個）に分割し、そのうち制御対象列車T1が位置する部分制御領域（例えば部分制御領域C12B）を制御対象領域に設定する。この場合、ステップS11～S16では、ステップS01で制御対象領域に設定された部分制御領域（例えば部分制御領域C12B）を基準として、軌道路線情報や列車数情報等の環境モデルの入力（ステップS11）、Safety条件及びゴール条件の入力（ステップS12）、列車位置情報と閉塞予約情報の初期状態を入力（ステップS13）、制御ロジック生成計算（ステップS14）、制御ロジックに基づく制御対象列車の次のアクションの決定と制御対象列車へのアクションの指示（ステップS15）、及び列車位置情報と閉塞予約情報を最新情報に更新する処理（ステップS16）が実行される。

[0082] また、再生成指示部53は、図8に示す処理を終了するか否かを判断し（ステップS17）、終了すると判断した場合は（ステップS17で「Yes」の場合は）図8に示す処理を終了し、終了すると判断しなかった場合は（ステップS17で「No」の場合は）ステップS17-1において制御対象領域の変更が必要か否かを判断し、制御対象領域の変更が必要な場合は（ステップS17-1で「Yes」の場合は）ステップS01へ処理を戻し、例

例えば環境モデル生成部51（あるいは図示していない処理の流れの制御部）によって制御対象領域を再設定する（ステップS01）。

[0083] 例えば図10の（b）に示すように、制御対象列車T1が現在の制御対象領域である部分制御領域C12Bから別の部分制御領域C12Cへ移動した場合、再生成指示部53は、制御対象領域の変更が必要であると判断した場合（ステップS17-1で「Yes」の場合）、例えば環境モデル生成部51（あるいは図示していない処理の流れの制御部）によって制御対象領域を部分制御領域C12Cに設定し直させる（ステップS01）。

[0084] 一方、制御対象領域の変更が必要でない場合（ステップS17-1で「No」の場合）、再生成指示部53は、ステップS17-2において制御対象領域（例えば部分制御領域C12B）の環境モデルが変化したか否かを判断し、環境モデルが変化した場合は（ステップS17-2で「Yes」の場合は）ステップS11へ処理を戻し、環境モデルが変化していない場合は（ステップS17-2で「No」の場合は）ステップS18において制御ロジックを更新するか否かを判断する。

[0085] 例えば、図9の（b）に示すように他列車T2が現在の制御対象領域である部分制御領域C12Bから別の部分制御領域C12Aへ移動した場合、あるいは、図10の（a）に示すように他列車T3が別の部分制御領域C12Cから現在の制御対象領域である部分制御領域C12Bへ移動した場合、環境モデルを定義する情報である列車数が増加するので、再生成指示部53は、環境モデルが変化したと判断し（ステップS17-2で「Yes」の場合）、ステップS11へ処理を戻す。

[0086] 第1～第3実施形態では、制御対象領域が広い（閉塞区間数が多い）場合、計算量が多く計算時間がかかり計算のためのリソースも多く必要になるときがあるが、第4実施形態では、一つの制御対象領域が狭くなるので、計算量を削減でき、リソース削減によるコスト削減や重量低減に貢献する。

[0087] 第4実施形態において、制御対象領域を複数に分割するだけで運用中の制御ロジック更新を行わない場合は、制御対象列車以外の列車の制御対象領域

への出入りを想定したうえで制御ロジックを生成する必要がある。その場合、想定すべき状態数が多く制御ロジック生成の計算に実用的な時間以上の時間がかかるもしくは計算機のメモリ不足等能力を超えるため計算不能となる場合がある。第4実施形態では、運用中の制御ロジック更新を行う事で、計算時間が短くなり、実用的な計算時間に収まる。

[0088] 〈第5実施形態〉

次に、図11と図12を参照して第5実施形態について説明する。図11は、図1に示す列車制御装置1（図11では列車制御装置1a）と車上装置2の他の構成例（第5実施形態）を示すブロック図である。図12は、図11に示す列車制御装置1aの動作例（第5実施形態）を示すフローチャートである。

[0089] 第5実施形態は、第1～第3実施形態と比較して、図11に示すように、列車制御装置1a（図2に示す列車制御装置1に対応）が新たに追加生成指示部61を有する。また、図12に示す第5実施形態の動作例では、図8に示す処理（第4実施形態）に対して、ステップS17-0-1の処理と、ステップS17-0-2の処理が追加されている。また、図12に示す第5実施形態の動作例では、図8に示すステップS11～S14（第4実施形態）の処理内容が一部変更されている（図12ではステップS11a～S14aとして示す）。

[0090] 第5実施形態において、追加生成指示部61は、例えば図9の（a）に示す制御対象列車T1が存在する制御対象領域である部分制御領域C12Bとは別の部分制御領域C12Cに制御対象列車T1が接近した場合に、制御ロジック生成部50に対して、制御対象列車T1が存在する部分制御領域C12Bに対する制御ロジックの生成に追加して、別の部分制御領域C12Cに対する制御ロジックの生成を指示する。別の部分制御領域に接近する場合とは、例えば、制御対象領域の、他の領域との境界に近い閉塞区間に制御対象列車が入ったときである。このとき、追加生成指示部61は、境界の向こう側の別の制御領域の制御ロジックの生成を制御ロジック生成部50に対して

指示する。境界の近くの定義は、境界に接する閉塞区間に到達するまでに移動する閉塞区間数が0ないし2となる閉塞区間に制御対象列車が入った場合が例示される。

[0091] 図12に示す処理において、再生成指示部53は、ステップS17で、図12に示す処理を終了するか否かを判断する。終了すると判断した場合（ステップS17で「Yes」の場合）、再生成指示部53は、図12に示す処理を終了する。

[0092] 再生成指示部53が終了すると判断しなかった場合（ステップS17で「No」の場合）、追加生成指示部61が制御対象列車が隣接（部分）制御領域に接近しているか否かを判断する（ステップS17-0-1）。制御対象列車が隣接（部分）制御領域に接近している場合（ステップS17-0-1で「Yes」の場合）、追加生成指示部61は隣接制御領域を制御ロジックの生成対象に追加し（ステップS17-0-2）、処理をステップS11aへ戻す。隣接制御領域が制御ロジックの生成対象に追加された場合、ステップS11a～S13aでは、ステップS17-0-2で制御ロジックの生成対象に追加された部分制御領域を基準として、軌道路線情報や列車数情報等の環境モデルの入力（ステップS11a）、Safety条件及びゴール条件の入力（ステップS12a）、及び列車位置情報と閉塞予約情報の初期状態を入力（ステップS13a）が実行される。また、ステップS14aでは、制御対象領域を基準とする制御ロジックの生成計算と、隣接制御領域を基準とする制御ロジックの生成計算が行われる。

[0093] 一方、追加生成指示部61が制御対象列車が隣接（部分）制御領域に接近していないと判断した場合（ステップS17-0-1で「No」の場合）、再生成指示部53は、隣接制御対象領域の変更が必要か否かを判断する（ステップS17-1）。

[0094] 第4実施形態では、環境モデルの変化が生じた後に制御ロジックを更新するので、制御対象列車が隣の制御領域に入った時は新たな制御ロジック生成が完了するまでの待ち時間が生じる場合がある。これに対して、第5実施形

態では、隣の制御領域に入った場合の環境モデル変化を予測して事前に制御ロジックを生成しておくことで、制御の空白時間を無くすることができる。

[0095] 〈第6実施形態〉

次に、図13と図14を参照して第6実施形態について説明する。図13は、図1に示す列車制御装置1（図13では列車制御装置1b）と車上装置2の他の構成例（第6実施形態）を示すブロック図である。図14は、図13に示す列車制御装置1bの動作例（第6実施形態）を説明するための模式図である。

[0096] 第6実施形態は、第5実施形態と比較して、図13に示すように、列車制御装置1b（図11に示す列車制御装置1aに対応）が新たに領域再定義部62を有する。領域再定義部62は、制御対象列車の位置に応じて例えば図14に示すように部分制御領域を再定義する。

[0097] 図14の（a）は部分制御領域の再定義前の例を示す。図14の（a）に示す例では、部分制御領域C12Aは、閉塞区間B101～B104と閉塞区間B121～B124を含む。部分制御領域C12Bは、閉塞区間B105～B108と閉塞区間B125～B128を含む。部分制御領域C12Cは、閉塞区間B109～B112と閉塞区間B129～B132を含む。また、制御対象列車T1は閉塞区間B128に位置していて矢印T1aの方向に移動しようとしている。また、他列車T2は閉塞区間B106に位置していて矢印T2aの方向に移動しようとしている。また、他列車T3は閉塞区間B111に位置していて矢印T3aの方向に移動しようとしている。

[0098] 一方、図14の（b）は部分制御領域の再定義後の例を示す。図14の（b）に示す例では、部分制御領域C12Aは、閉塞区間B103～B106と閉塞区間B123～B126を含む。部分制御領域C12Bは、閉塞区間B107～B110と閉塞区間B127～B130を含む。部分制御領域C12Cは、閉塞区間B111～B112と閉塞区間B131～B132を含む。なお、図14の（a）と同様、制御対象列車T1は閉塞区間B128に位置していて矢印T1aの方向に移動しようとしている。また、他列車T2

は閉塞区間 B 1 0 6 に位置していて矢印 T 2 a の方向に移動しようとしている。また、他列車 T 3 は閉塞区間 B 1 1 1 に位置していて矢印 T 3 a の方向に移動しようとしている。

[0099] 第 4 実施形態や第 5 実施形態では、境界付近で制御ロジックが急に生成されるので、境界を行き来するような制御の場合、何度も計算をやり直す事になる。そこで、第 6 実施形態では、制御対象列車が制御対象領域の境界付近にたどり着かないよう、境界に近づきそうになった時、制御対象列車が制御対象領域の中心付近に位置するよう制御対象領域を再定義する。あるいは、制御領域内で進行方向に存在する閉塞区間の数が常に一定数確保されるように制御対象領域を再定義してもよい。この構成によれば、第 6 実施形態では、より安定した制御が可能になる。

[0100] なお、制御対象列車の制御としては部分制御領域 C 1 2 A と部分制御領域 C 1 2 C の制御領域定義は必須ではないが、例えば状況によって第 4 実施形態や第 5 実施形態を併用する場合は部分制御領域 C 1 2 A と部分制御領域 C 1 2 C の定義・再定義は必須となる。

[0101] 〈第 7 実施形態〉

なお、第 1 ～第 6 実施形態において、制御ロジック生成用の計算機 1 2 （制御ロジック生成部 5 0）と中央制御装置 1 1 の一部の機能的構成要素等（例えば、アクション決定部 5 2、再生成指示部 5 3、追加生成指示部 6 1、領域再定義部 6 2 等）を制御対象列車 T 1 に搭載するようにしてもよい。

[0102] 第 1 ～第 6 実施形態では、中央制御装置 1 1 に付属する計算機 1 2 が全ての列車の制御ロジックを作成するため計算時間がかかる。また、状態情報の収集と制御指示に関する通信も中央制御装置 1 1 に集中するので、中央制御装置 1 1 に負担が集中する。第 7 実施形態では計算及び通信負荷を各列車に分散させ、中央制御装置 1 1 は安価で軽量のシステム構築が可能になる。また、各列車で自律制御が可能になるので、中央制御装置 1 1 が故障した場合に路線全ての制御が止まる事なく列車制御を継続できる。

[0103] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して説明してきたが、具体

的な構成は上記実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。例えば、第1～第6の実施形態における構成や動作は、適宜組み合わせたり省略したりすることができる。例えば図13において追加生成指示部61を省略することができる。

[0104] 〈コンピュータ構成〉

図15は、少なくとも1つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

コンピュータ90は、プロセッサ91、メインメモリ92、ストレージ93、インタフェース94を備える。

上述の列車制御装置1、中央制御装置11及び計算機12置は、コンピュータ90に実装される。そして、上述した各処理部の動作は、プログラムの形式でストレージ93に記憶されている。プロセッサ91は、プログラムをストレージ93から読み出してメインメモリ92に展開し、当該プログラムに従って上記処理を実行する。また、プロセッサ91は、プログラムに従って、上述した各記憶部に対応する記憶領域をメインメモリ92に確保する。

[0105] プログラムは、コンピュータ90に発揮させる機能の一部を実現するためのものであってもよい。例えば、プログラムは、ストレージに既に記憶されている他のプログラムとの組み合わせ、または他の装置に実装された他のプログラムとの組み合わせによって機能を発揮させるものであってもよい。なお、他の実施形態においては、コンピュータは、上記構成に加えて、または上記構成に代えてPLD (Programmable Logic Device) などのカスタムLSI (Large Scale Integrated Circuit) を備えてもよい。PLDの例としては、PAL (Programmable Array Logic)、GAL (Generic Array Logic)、CPLD (Complex Programmable Logic Device)、FPGA (Field Programmable Gate Array) が挙げられる。この場合、プロセッサによって実現される機能の一部または全部が当該集積回路によって実現されてよい。

[0106] ストレージ93の例としては、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM (Compact

Disc Read Only Memory)、DVD-ROM (Digital Versatile Disc Read Only Memory)、半導体メモリ等が挙げられる。ストレージ93は、コンピュータ90のバスに直接接続された内部メディアであってもよいし、インタフェース94または通信回線を介してコンピュータ90に接続される外部メディアであってもよい。また、このプログラムが通信回線によってコンピュータ90に配信される場合、配信を受けたコンピュータ90が当該プログラムをメインメモリ92に展開し、上記処理を実行してもよい。少なくとも1つの実施形態において、ストレージ93は、一時的でない有形の記憶媒体である。

産業上の利用可能性

[0107] 本発明の各態様によれば、列車運行中に制御ロジックを更新することができるので、効率的な制御ロジックを更新しない場合と比較して計算コストを増加させることなく生成することができる。

符号の説明

[0108] 1 列車制御装置

2 車上装置

3 軌道システム

4 軌道

11 中央制御装置

12 計算機

50 制御ロジック生成部

51 環境モデル生成部

52 アクション決定部

53 再生成指示部

61 追加生成指示部

62 領域再定義部

T1、T2、T3 列車

B1～B5、B101～B112、B121～B132 閉塞区間

C 1 1、C 1 2 対象制御領域

C 1 2 A、C 1 2 B、C 1 2 C 部分制御領域

請求の範囲

- [請求項1] 所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である1の制御対象列車の位置、0以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて、列車を制御する列車制御装置であって、
- 前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択し、選択の結果に応じて前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成する制御ロジック生成部と、
- 前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するアクション決定部と、
- 前記所定条件が満たされる前に、前記制御ロジック生成部に対してそのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成を指示する再生成指示部と
- を備える列車制御装置。
- [請求項2] 前記所定条件が、目標状態として到達すべき条件と、到達してはならない条件とを含む
- 請求項1に記載の列車制御装置。
- [請求項3] 前記制御ロジックは、前記制御対象領域に含まれる各閉塞区間の状態遷移の流れと前記制御対象列車が順次に行う各前記アクションとの対応づけを示す情報を含む
- 請求項1又は2に記載の列車制御装置。

- [請求項4] 前記再生成指示部は、前記環境モデルの前記状態が複数回変化する毎に、前記制御ロジック生成部に対して前記制御ロジックの再生成を指示する
- 請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の列車制御装置。
- [請求項5] 前記再生成指示部は、前記環境モデルが変化した場合に、前記制御ロジック生成部に対して変化した前記環境モデルを用いた前記制御ロジックの再生成を指示する
- 請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の列車制御装置。
- [請求項6] 前記制御ロジック生成部が、前記制御対象領域を複数に分割した領域である部分制御領域毎に前記制御ロジックを生成するものであり、
- 前記再生成指示部が、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域外から他の前記列車が入った場合、又は、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域から他の前記列車が出た場合に、前記制御ロジック生成部に対して前記制御ロジックの再生成を指示する
- 請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の列車制御装置。
- [請求項7] 前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域とは別の前記部分制御領域に前記制御対象列車が接近した場合に、前記制御ロジック生成部に対して、前記制御対象列車が存在する前記部分制御領域に対する前記制御ロジックの生成に追加して、前記別の部分制御領域に対する前記制御ロジックの生成を指示する追加生成指示部を
- さらに備える請求項 6 に記載の列車制御装置。
- [請求項8] 前記制御対象列車の位置に応じて前記部分制御領域を再定義する領域再定義部を
- さらに備える請求項 6 又は 7 に記載の列車制御装置。
- [請求項9] 前記列車に搭載されている
- 請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の列車制御装置。
- [請求項10] 所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制

御対象の前記列車である 1 の制御対象列車の位置、0 以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて列車を制御する方法であって、

前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択するステップと、

選択の結果に応じて、前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成するステップと、

前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するステップと、

前記所定条件が満たされる前に、そのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成をするステップとを含む列車を制御する方法。

[請求項11]

所定の制御対象領域に含まれる軌道を構成する複数の閉塞区間の数及び接続形態と前記軌道上に存在する列車の数によって定義され、制御対象の前記列車である 1 の制御対象列車の位置、0 以上の他の前記列車の位置、及び前記各閉塞区間の予約の有無等の組み合わせによって離散的に状態が変化する環境モデルを用いて列車を制御する方法であって、

前記制御対象領域を通過するための条件である所定条件を満たすように、前記環境モデルの前記状態に応じて、前記制御対象列車による、「前記閉塞区間の予約又は予約の解除」、「予約した前記閉塞区間への移動」、又は、「現在位置している前記閉塞区間内での待機」の各アクションのうちのいずれかを選択するステップと、

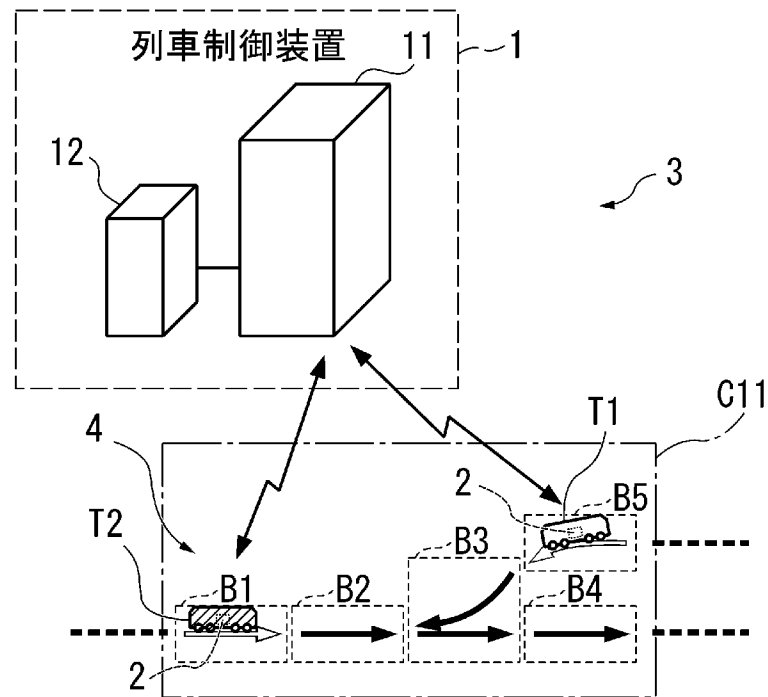
選択の結果に応じて、前記環境モデルを状態遷移させるロジックである制御ロジックを生成するステップと、

前記所定条件が満たされるまで、生成された前記制御ロジックに基づき、前記環境モデルの前記状態に応じた前記制御対象列車が行う前記アクションを順次決定するステップと、

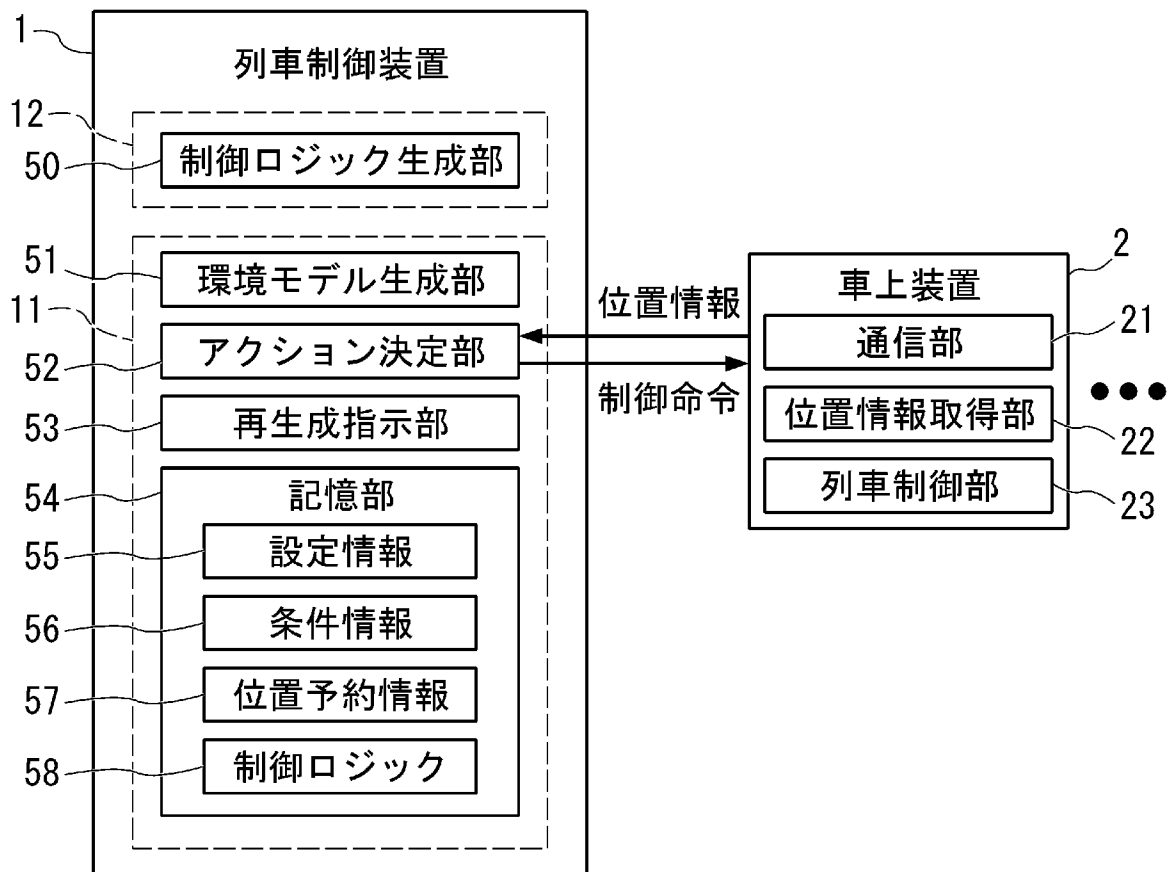
前記所定条件が満たされる前に、そのときの前記環境モデルの前記状態を初期状態として前記制御ロジックの再生成をするステップと

を列車を制御する装置を構成するコンピュータに実行させるプログラム。

[図1]



[図2]

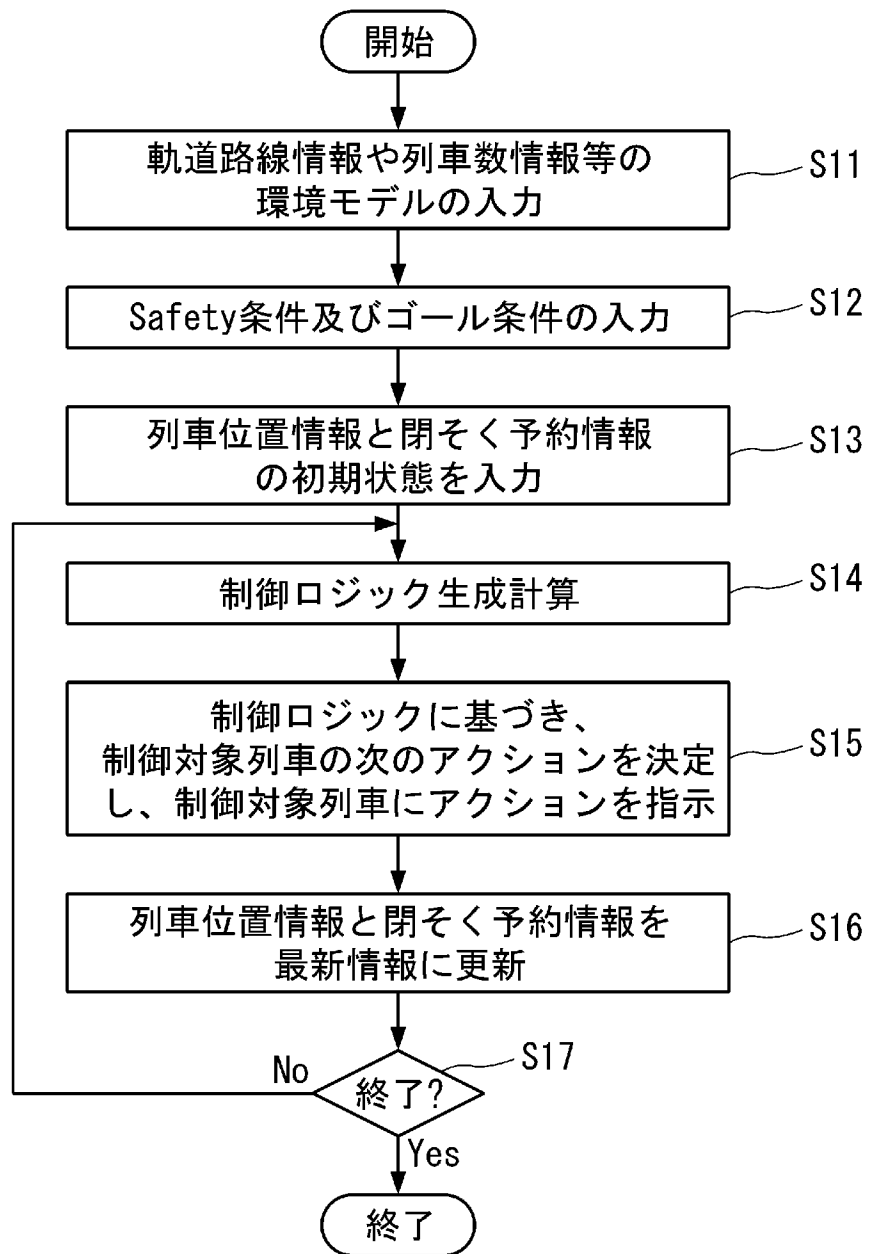


[図3]

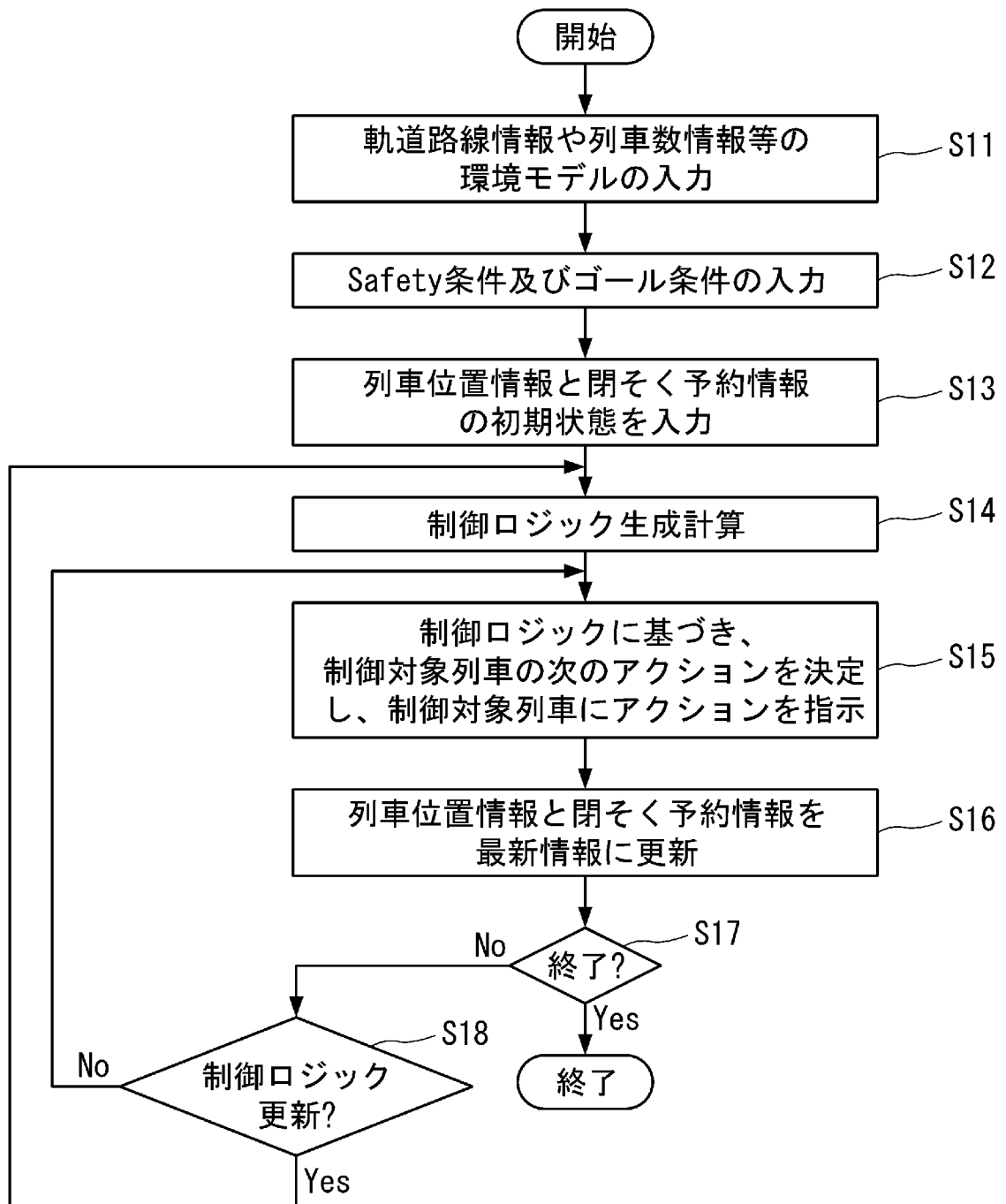
58

状態 番号	状態[閉そく区間B1～B5の在線列車または予約状況]					自列車の アクション
	B1	B2	B3	B4	B5	
1	他列車T2	—	—	—	自列車	B2を予約
2	他列車T2	予約(自列車)	—	—	自列車	B3を予約
3	他列車T2	予約(自列車)	予約(自列車)	—	自列車	B3に移動
4	他列車T2	予約(自列車)	自列車	—	—	B2に移動
5	他列車T2	自列車	—	—	—	B3を予約
...	...	...	...	...	...	...
12	他列車T2	予約(他列車T2)	—	—	自列車	待機
13	—	他列車T2	—	—	自列車	待機
14	—	他列車T2	予約(他列車T2)	—	自列車	待機
...	...	...	...	...	...	...

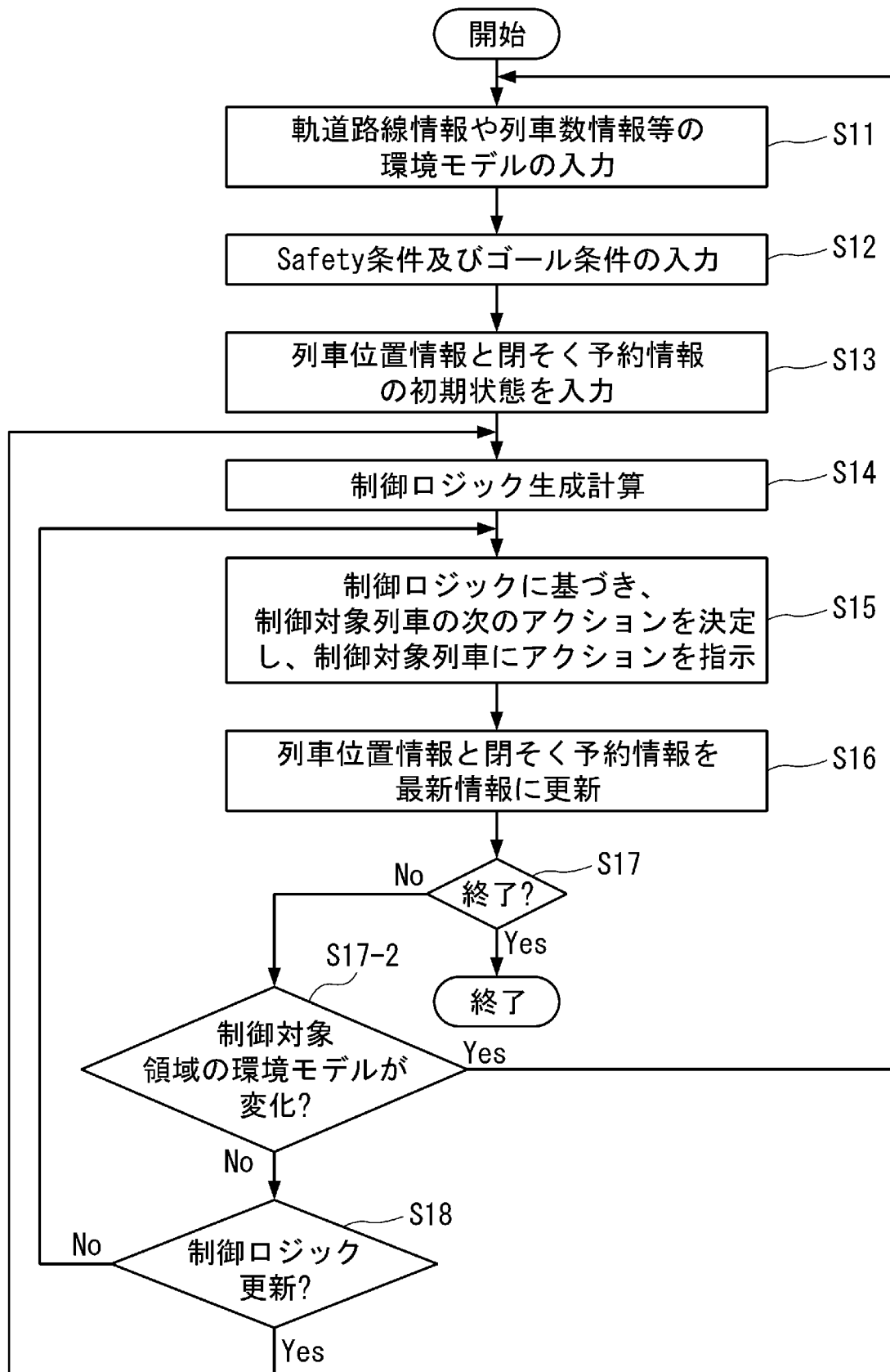
[図4]



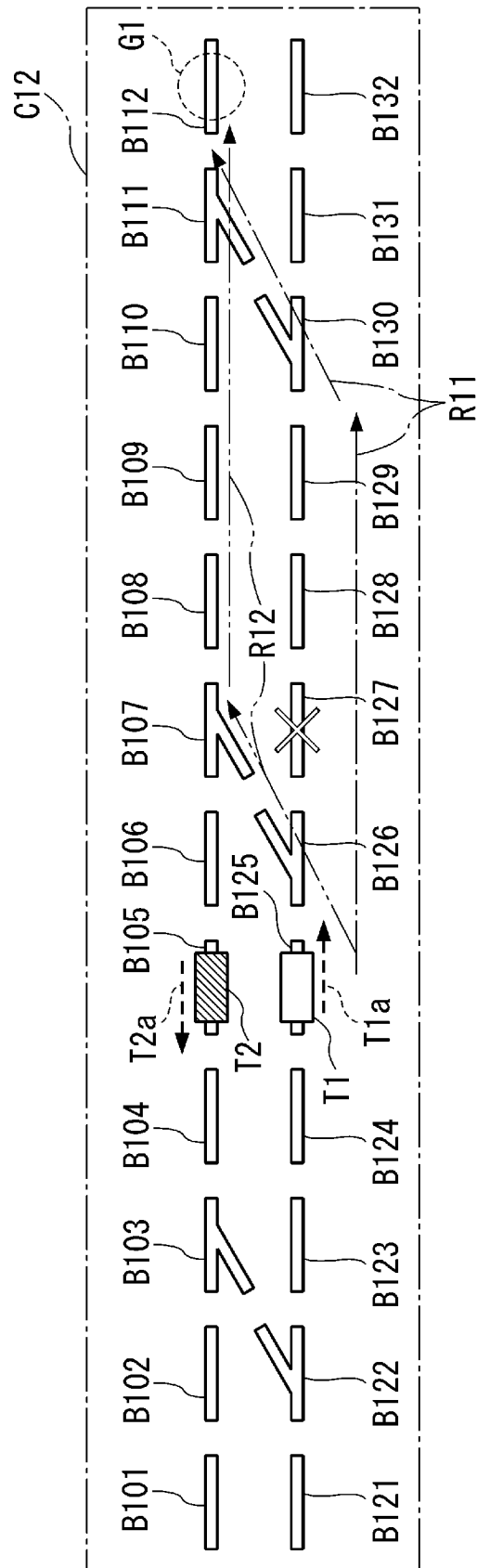
[図5]



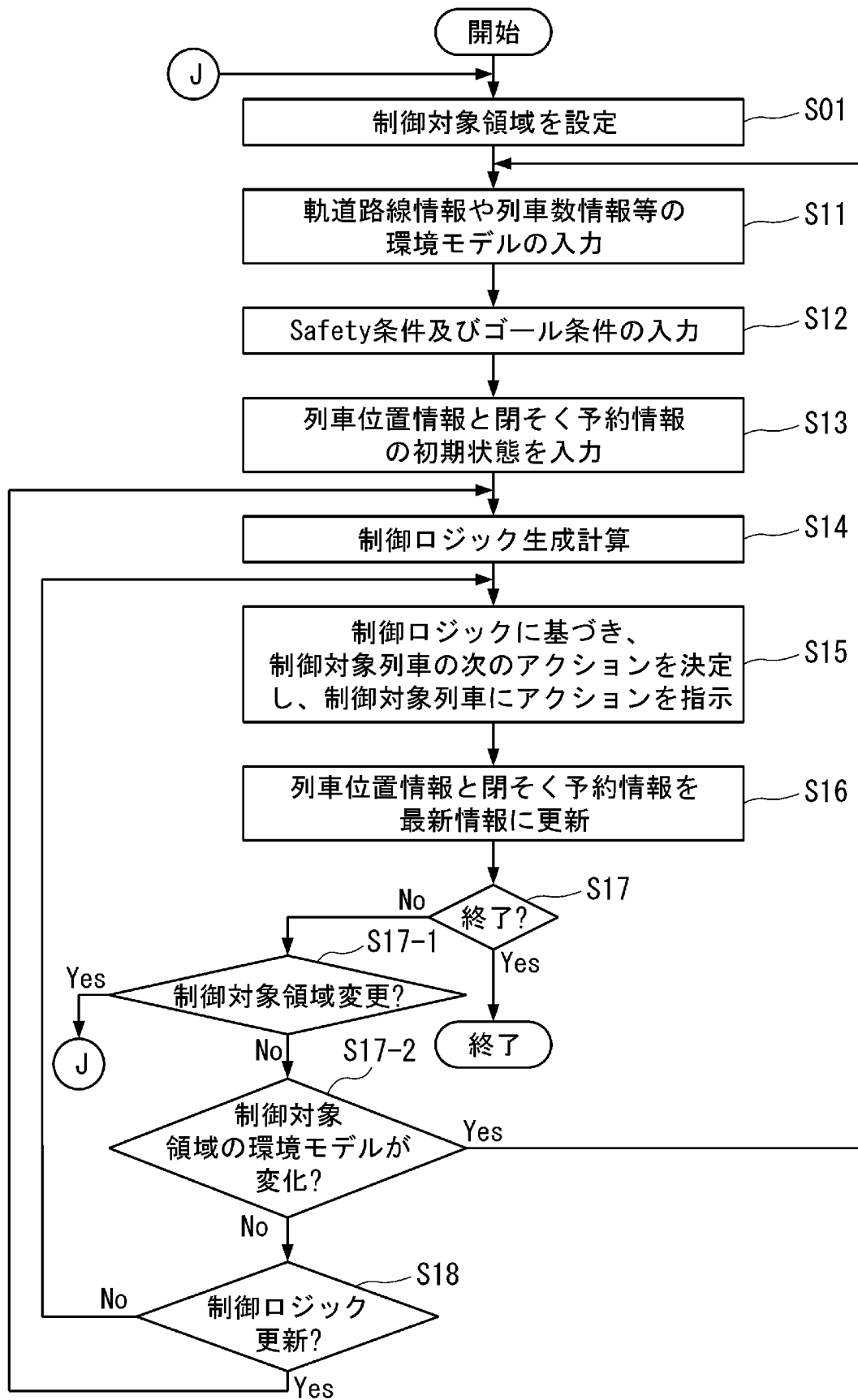
[図6]



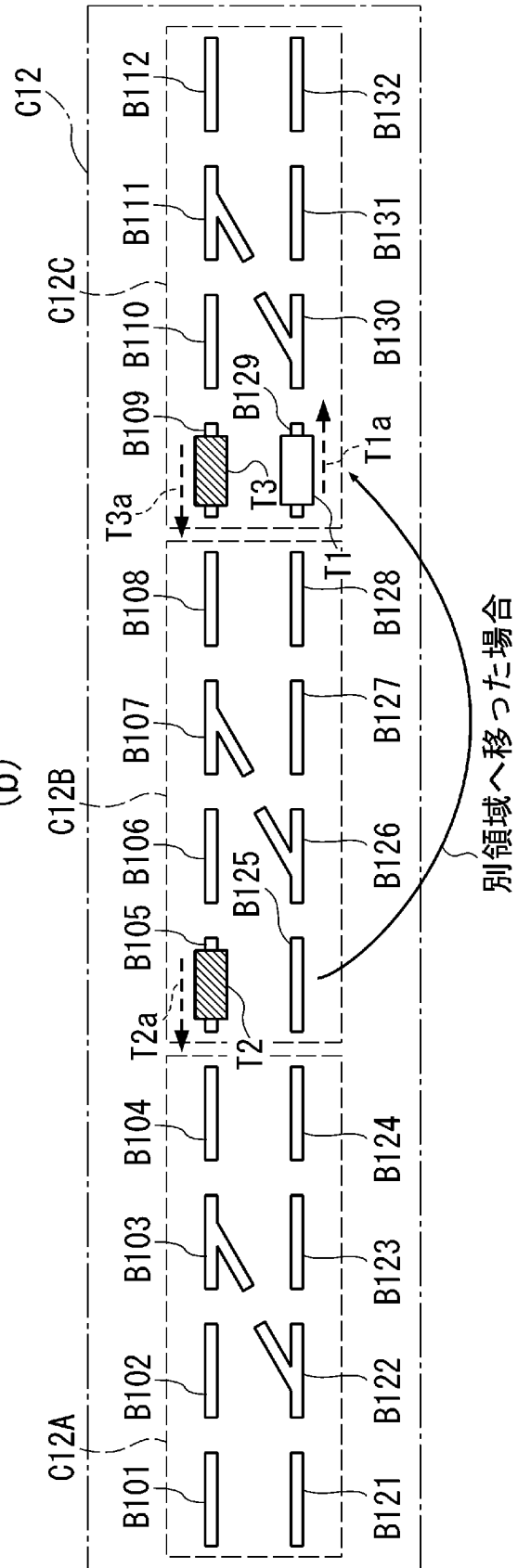
[図7]



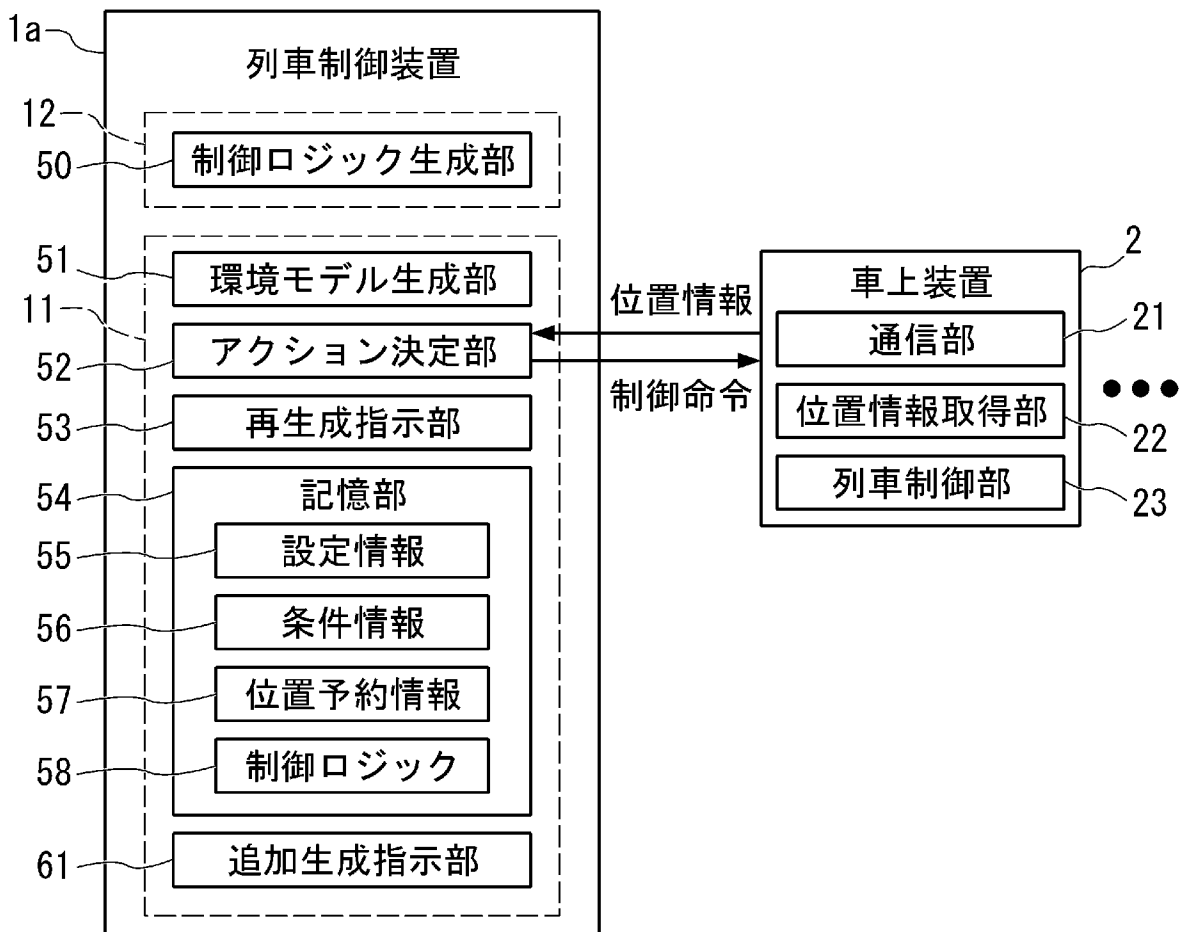
[図8]



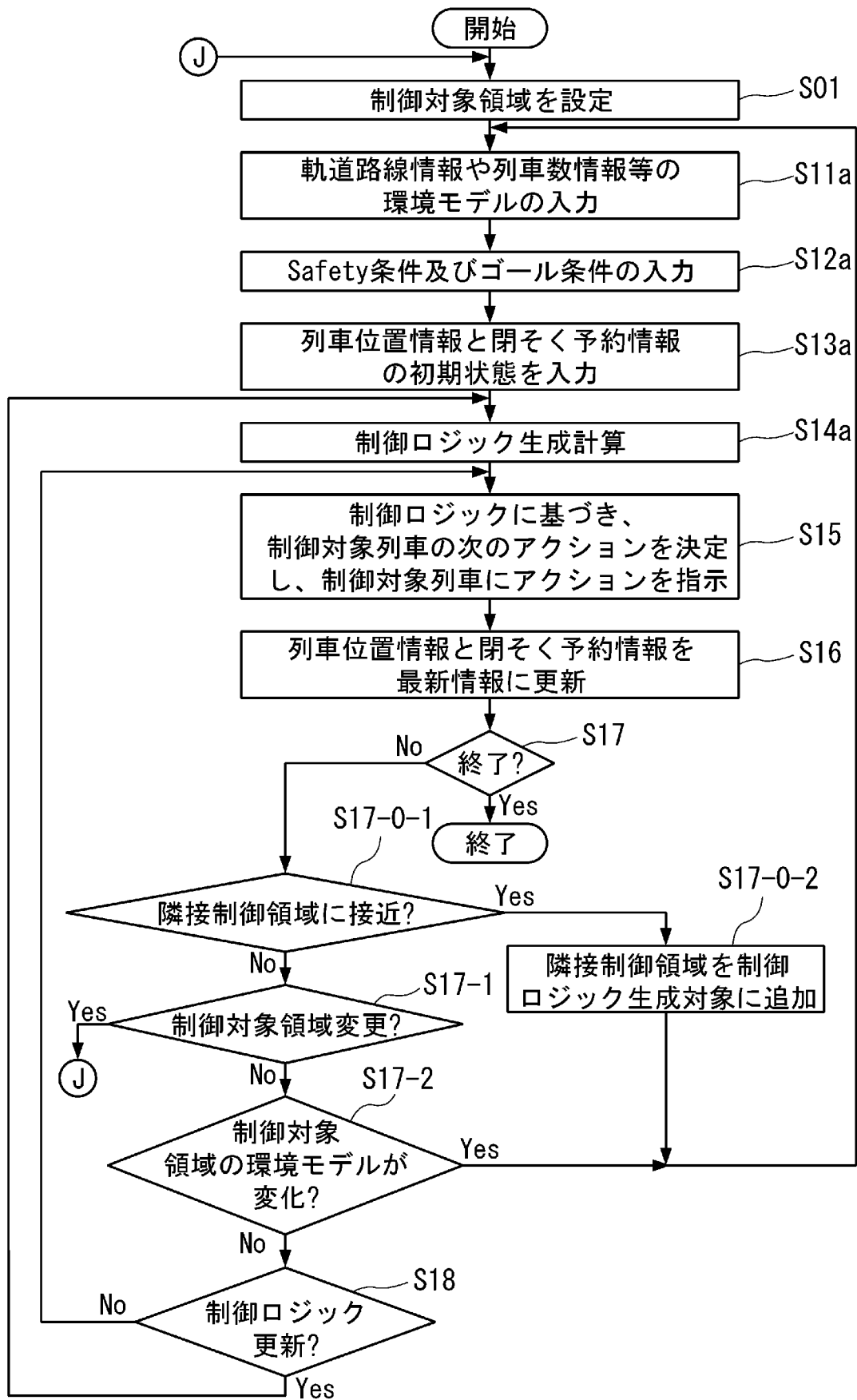
領域内に入った場合



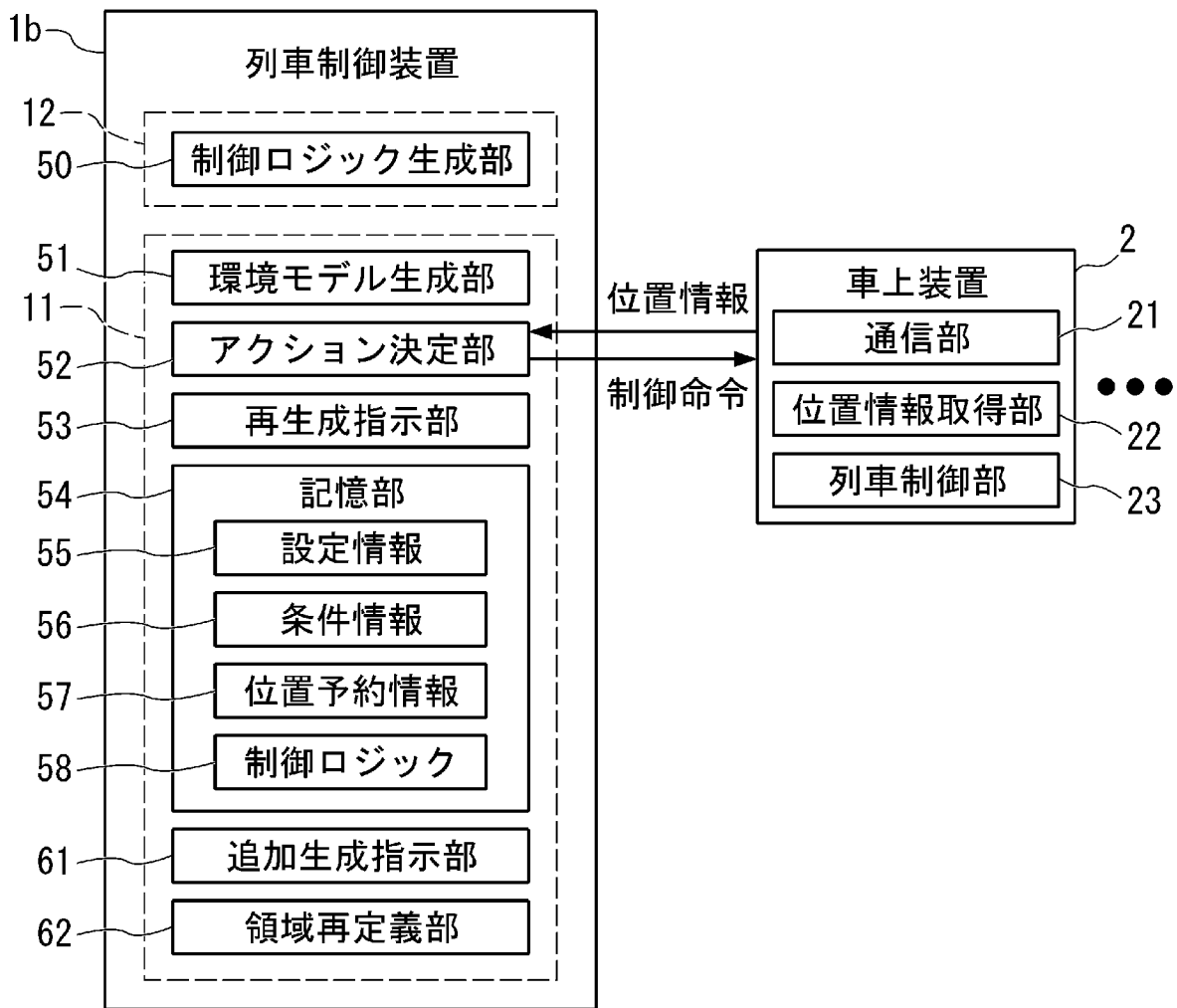
[図11]



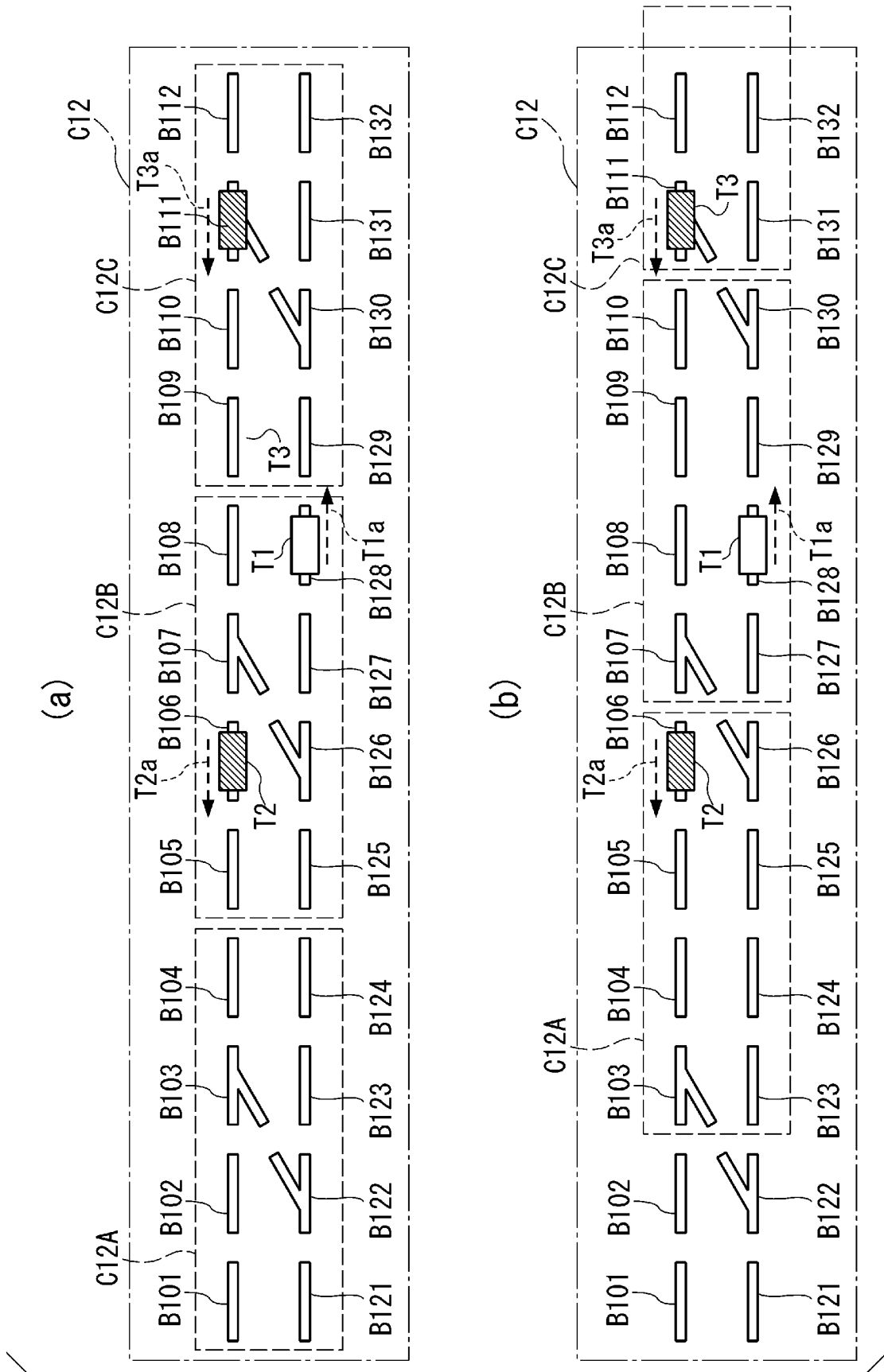
[図12]



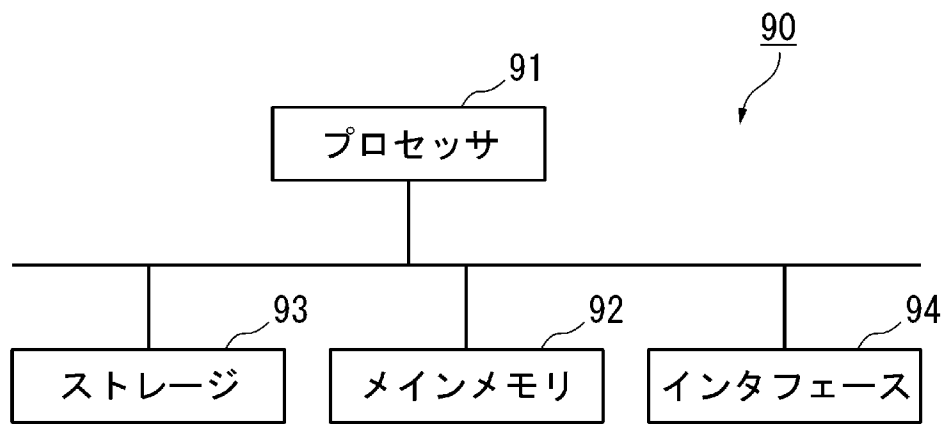
[図13]



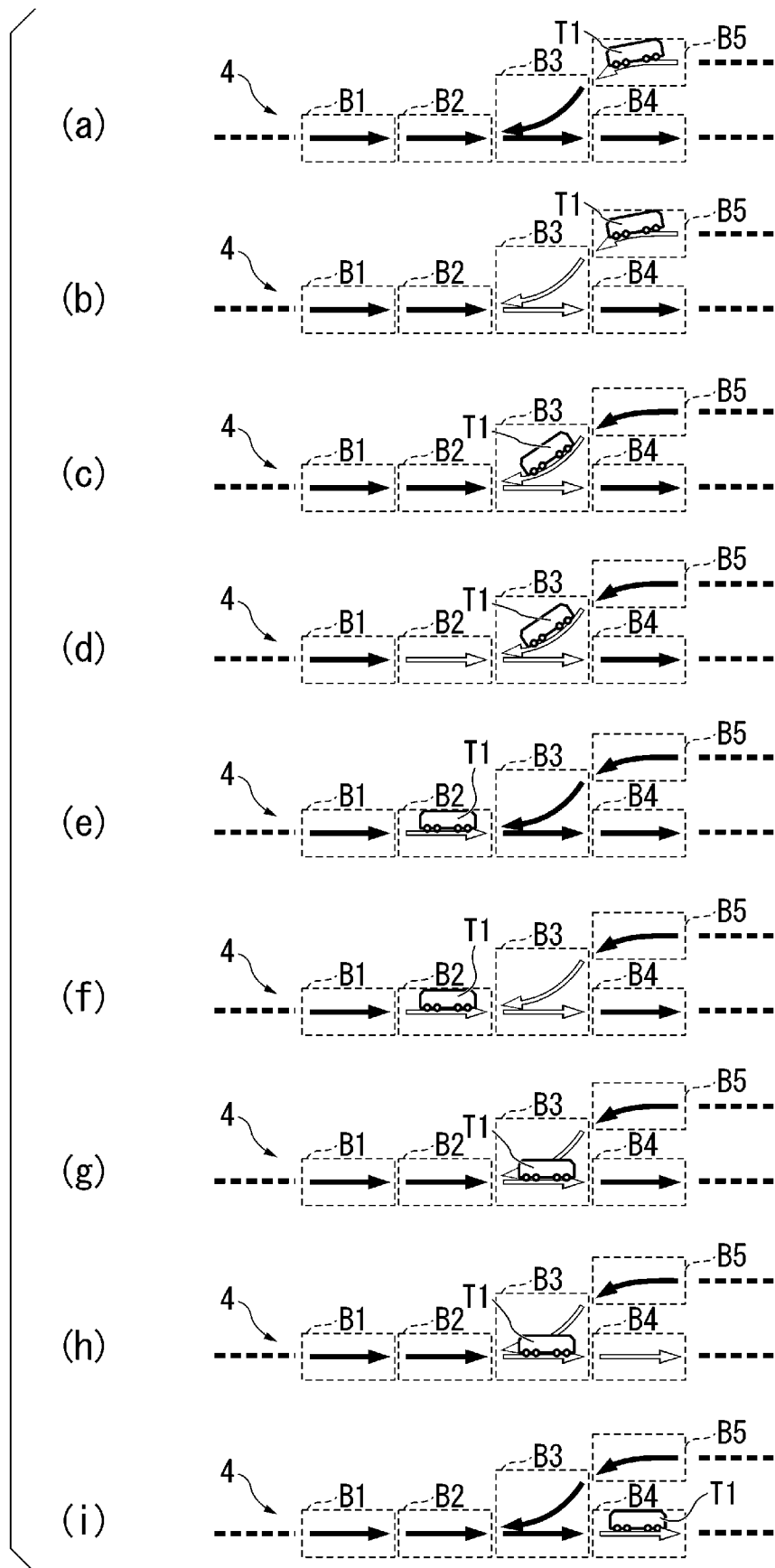
[図14]



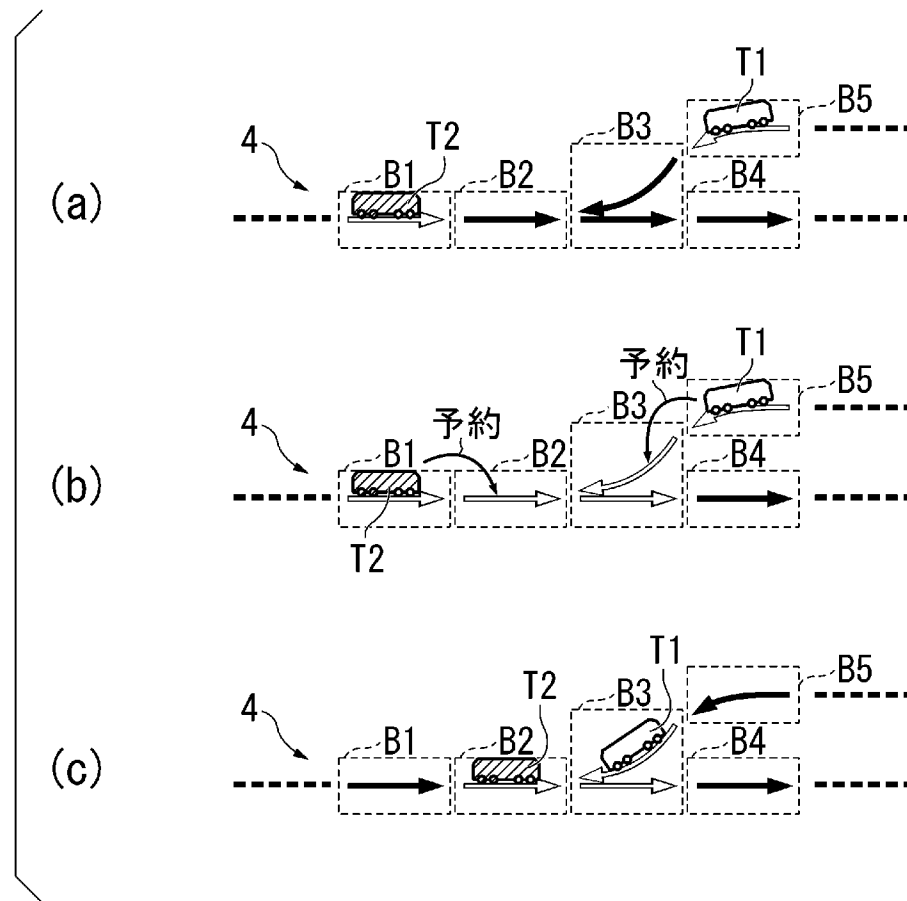
[図15]



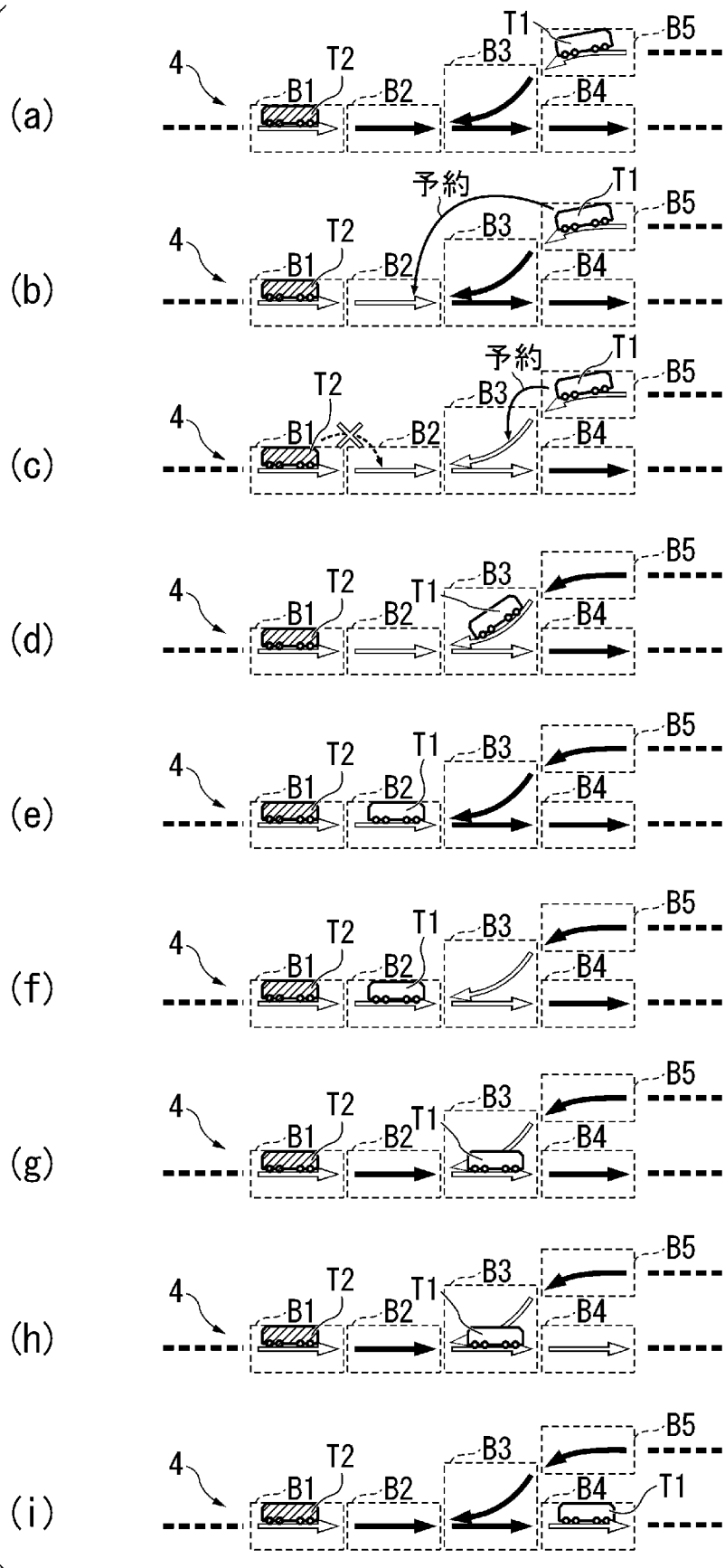
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B61L27/00 (2006.01) i, B61L23/16 (2006.01) i
FI: B61L27/00K, B61L23/16Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. B61L27/00, B61L23/16

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.
A	JP 2014-139052 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 31.07.2014 (2014-07-31), entire text	1-11
A	WO 2016/017740 A1 (EAST JAPAN RAILWAY COMPANY) 04.02.2016 (2016-02-04), entire text	1-11
A	JP 2016-52194 A (HITACHI, LTD.) 11.04.2016 (2016-04-11), entire text	1-11

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

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

Date of the actual completion of the international search
08.05.2020

Date of mailing of the international search report
19.05.2020

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/JP2020/006587

JP 2014-139052 A	31.07.2014	US 2015/0344050 A1 entire text WO 2014/112159 A1
WO 2016/017740 A1	04.02.2016	EP 3176050 A1 entire text US 2017/0217461 A1
JP 2016-52194 A	11.04.2016	GB 2544221 A entire text WO 2016/035390 A1 CN 106573552 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B61L 27/00(2006.01)i; B61L 23/16(2006.01)i FI: B61L27/00 K; B61L23/16 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）） B61L27/00; B61L23/16														
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 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020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 - 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				
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												
A	JP 2014-139052 A（三菱重工業株式会社）31.07.2014（2014 - 07 - 31） 全文	1-11												
A	WO 2016/017740 A1（東日本旅客鉄道株式会社）04.02.2016（2016 - 02 - 04） 全文	1-11												
A	JP 2016-52194 A（株式会社日立製作所）11.04.2016（2016 - 04 - 11） 全文	1-11												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<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、一般的な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、一般的な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、一般的な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 08.05.2020	国際調査報告の発送日 19.05.2020													
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） 大内 俊彦 3H 9824 電話番号 03-3581-1101 内線 3316													

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/JP2020/006587

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2014-139052	A	31.07.2014	US	2015/0344050	A1	
				全文			
				WO	2014/112159	A1	
WO	2016/017740	A1	04.02.2016	EP	3176050	A1	
				全文			
				US	2017/0217461	A1	
JP	2016-52194	A	11.04.2016	GB	2544221	A	
				全文			
				WO	2016/035390	A1	
				CN	106573552	A	