

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-107687
(P2015-107687A)

(43) 公開日 平成27年6月11日(2015.6.11)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
B 6 1 L 27/00 (2006.01) B 6 1 L 27/00 K 5 H 1 6 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2013-250503 (P2013-250503)
 (22) 出願日 平成25年12月3日 (2013.12.3)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100089118
 弁理士 酒井 宏明
 (74) 代理人 100112656
 弁理士 宮田 英毅
 (72) 発明者 外崎 幸徳
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 (72) 発明者 山本 純子
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内

最終頁に続く

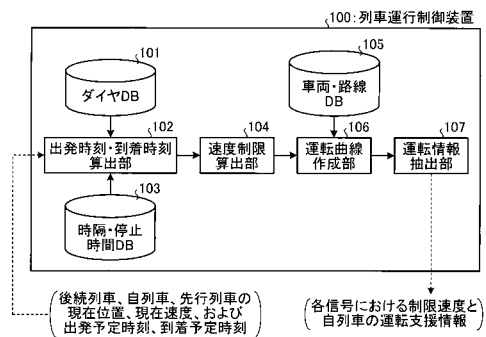
(54) 【発明の名称】 列車運行制御装置、制御方法及び制御プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 遅延が発生した場合においても、遅延の回復と無駄な消費エネルギーの増加を防止することによる省エネを実現する。

【解決手段】 列車運行制御装置の運転曲線作成部 106 は、自列車が次の出発駅となるいずれかの駅に到着した時点において、自列車、自列車の直前を走行する列車である先行列車及び自列車の直後を走行する列車である後続列車のそれぞれの次の出発駅を予め設定された運転ダイヤ通りに出発することが可能な状態にあるか否かに基づいて、自列車が、次の出発駅を出発してから次に停車する駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

自列車が次の出発駅となるいずれかの駅に到着した時点において、前記自列車、前記自列車の直前を走行する列車である先行列車及び前記自列車の直後を走行する列車である後続列車のそれぞれの次の出発駅を予め設定された運転ダイヤ通りに出発することが可能な状態にあるか否かに基づいて、前記自列車が、前記次の出発駅を出発してから次に停車する前方駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する運転曲線作成部を備えた、

列車運行制御装置。

【請求項 2】

前記運転ダイヤ通りに出発可能な状態とは、列車が前記次の出発駅に早着あるいは定刻に到着可能な状態である、

請求項 1 記載の列車運行制御装置。

【請求項 3】

前記自列車の次の出発駅の予定出発時刻と次の到着駅である前方駅の予定到着時刻を算出する出発時刻・到着時刻算出部と、

前記先行列車による各閉塞進入位置における速度制限を算出する速度制限算出部と、をさらに備え、

前記運転曲線作成部は、前記速度制限算出部の算出結果を制約に用い、前記自列車が、前記次の出発駅を出発してから前記前方駅に到着するためのより累積消費エネルギーが小さい運転曲線を作成する、

請求項 1 又は請求項 2 記載の列車運行制御装置。

【請求項 4】

前記出発時刻・到着時刻算出部は、前記先行列車の遅延時間、前記後続列車の遅延時間、前記先行列車の次の出発駅における予定出発時刻及び、前記後続列車の次の出発駅における予定出発時刻、自列車の余裕時分及び自列車の遅延時間に基づいて、前記自列車の次の出発駅の予定出発時刻と次の到着駅である前方駅の予定到着時刻を算出する、

請求項 3 記載の列車運行制御装置。

【請求項 5】

前記運転曲線の作成対象の路線を走行する車両の乗車率に対する各ノッチの特性およびモータ・インバータの特性と、前記路線の位置に対する速度制限と、前記路線の位置に対する勾配と、前記路線の位置に対する曲率半径と、を格納した車両・路線データベースを備え、

前記運転曲線作成部は、前記車両・路線データベースを参照して前記運転曲線を作成する、

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の列車運行制御装置。

【請求項 6】

前記運転ダイヤの情報を格納しているダイヤデータベースと、

前記運転ダイヤに対する過去の運転時隔、駅における停車時間の実績値を格納している時隔・停止時間データベースと、を備え、

前記運転曲線作成部は、前記ダイヤデータベース及び時隔・停止時間データベースを参照して、前記運転曲線を作成する、

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の列車運行制御装置。

【請求項 7】

自列車が、次の出発駅を出発してから次に停車する前方駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する列車運行制御装置において実行される制御方法であって、

自列車が次の出発駅となるいずれかの駅に到着した時点において、前記自列車、前記自列車の直前を走行する列車である先行列車及び前記自列車の直後を走行する列車である後続列車のそれぞれの次の出発駅を予め設定された運転ダイヤ通りに出発することが可能な

10

20

30

40

50

状態にあるか否かを判別する過程と、

前記判別の結果に基づいて、前記自列車が、前記次の出発駅を出発してから次に停車する前方駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する過程と、を備えた制御方法。

【請求項 8】

自列車が、次の出発駅を出発してから次に停車する前方駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する列車運行制御装置をコンピュータにより制御する制御プログラムであって、

前記コンピュータを、

自列車が次の出発駅となるいずれかの駅に到着した時点において、前記自列車、前記自列車の直前を走行する列車である先行列車及び前記自列車の直後を走行する列車である後続列車のそれぞれの次の出発駅を予め設定された運転ダイヤ通りに出発することが可能な状態にあるか否かに基づいて、前記自列車が、前記次の出発駅を出発してから次に停車する前方駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する運転曲線作成手段として機能させる制御プログラム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、列車運行制御装置、制御方法及び制御プログラムに関する。

【背景技術】

20

【0002】

近年の電力不足からエネルギー効率のよい鉄道に対しても更なる省エネが求められている。鉄道における省エネとは空調、照明等の補機をエネルギー効率のよい機器に変更することや、列車の走行時のエネルギーを削減することなどである。特に列車の走行時のエネルギーを削減するためには、力行に要するエネルギーを削減し、エネルギーの回収効率のよい状況を作って回生ブレーキをかけるなどの方法が提案されている。

【0003】

これらを実現すると結果的に列車はゆっくり走ることになり、なるべく次の駅までゆっくり走ること自体がそのまま省エネルギー（以下、省エネという）につながる。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2011 - 045226 号公報

【特許文献 2】特開平 09 - 104347 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】「宮武，高：動的計画法を用いた列車運転曲線最適化問題の求解法，電気学会（2004）」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

ところで、本来の鉄道は多くの利用者をなるべく早く、かつ、時間通りに運ぶことを目的とするため、省エネのためにゆっくり走らせるのには限界がある。

また実際の運行では、列車がダイヤで想定した通りに運行することはほとんどなく、利用者の乗降やドアにものが挟まることや列車自体の故障が発生することによって遅延が発生する。遅延を起こした列車が遅延を回復するためには、なるべく早く走るように運転するしかない。この時、ダイヤで想定している運転に比べて、走行時分が短いためにエネルギー消費量は増加することになる。

【0007】

もし仮に、遅延が発生しても列車がダイヤを回復させない運転を行えば、その遅延は他

50

列車へも伝播して、列車全体としてダイヤ通りに運行できない状況になる。

そのため、実運転時にはなるべくダイヤ通りの運行に回復させることも考慮しながら、列車全体を制御することが行われている。すると省エネで運転したくとも、遅延が発生している場合には遅延を回復させるためには消費エネルギーが増加する運転をしなくてはならない。

【0008】

また、ある路線において複数の列車が計画したダイヤに基づいて運行するに際しては、乗降客が多いことによる停車時間の増加やドアに鞆が挟まるなどによる突発的な事象によって、当初計画したダイヤ通りに運行ができなくなることがある。

【0009】

この計画したダイヤに比べて、駅への到着時刻・出発時刻が遅くなる遅延が発生した場合、なるべく遅延を回復するように各列車は運行することが行われている。

しかしながら、都市近郊路線の朝のラッシュ時のような場合には、先行列車が存在するために遅延も回復できず、かつ、遅延に適した運転を行わないことにより、信号で減速を強いられ、無駄な加減速を行って運行してしまい、消費エネルギーの増大を招く虞がある。

【0010】

そこで、本発明は、遅延が発生した場合においても、遅延の回復と無駄な消費エネルギーの増加を防止することによる省エネを実現することが可能な列車運行制御装置、制御方法及び制御プログラムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

実施形態の列車運行制御装置の運転曲線作成部は、自列車が次の出発駅となるいずれかの駅に到着した時点において、自列車、自列車の直前を走行する列車である先行列車及び自列車の直後を走行する列車である後続列車のそれぞれの次の出発駅を予め設定された運転ダイヤ通りに出発することが可能な状態にあるか否かに基づいて、自列車が、次の出発駅を出発してから次に停車する駅に到着するまでの運転曲線を、累積消費エネルギーを考慮して作成する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、実施形態の列車運行制御装置の概要構成図である。

【図2】図2は、列車と駅との関係説明図である。

【図3】図3は、自列車、先行列車及び後続列車の状態の説明図である。

【図4】図4は、先行列車による速度制限算出方法の説明図である。

【図5】図5は、図4に対応する状態における速度制限設定例の説明図である。

【図6】図6は、実施形態の省エネ運転曲線の作成処理フローチャートである。

【図7】図7は、最短時間運転曲線の作成処理フローチャートである。

【図8】図8は、最大加速度及び最大減速度の利用可能条件の説明図である。

【図9】図9は、加速限界曲線の作成処理の処理フローチャートである。

【図10】図10は、減速限界曲線の作成処理の処理フローチャートである。

【図11】図11は、最短時間運転曲線の作成処理の処理フローチャートである。

【図12】図12は、省エネ運転曲線の作成処理の処理フローチャートである。

【図13】図13は、横軸に時刻、縦軸に列車の位置をとった(x-t)グラフである。

【図14】図14は、速度条件の説明図である。

【図15】図15は、量子化処理の説明図である。

【図16】図16は、速度制限値の設定例の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

次に図面を参照して実施形態について説明する。

図1は、実施形態の列車運行制御装置の概要構成図である。

10

20

30

40

50

図 2 は、列車と駅との関係説明図である。

以下の説明においては、いずれかの駅 (= 次に出発駅となる駅：現在駅) に停車している列車を自列車 T R 1 とした場合に、自列車 T R 1 の進行方向前方を進行している直前の列車を先行列車とし、自列車 T R 1 の進行方向後方を進行している直後の列車を後続列車 (後行列車) とし、自列車 T R 1、先行列車及び後続列車の運行状況に応じて、自列車 T R 1 の運行制御を行うものとする。このような構成としているのは、自列車 T R 1 の運行が直接的に影響を与えるのは先行列車と後続列車のみであるとの仮定からである。このため、本実施形態においては、自列車 T R 1 の現在駅の出発時刻および次駅の到着時刻を決めるのに用いる列車の情報は、先行列車と後続列車のみの情報としている。

【 0 0 1 4 】

列車運行制御装置 1 0 0 は、当日のダイヤ (ダイヤグラム：運行計画線図) に対する車両の割当を行った後の情報が格納されているダイヤデータベース (DB) 1 0 1 と、駅に到着した運行制御対象の列車を自列車 T R 1 とし、自列車 T R 1 の進行方向前方に存在する先行列車 T R 0 と自列車 T R 1 の進行方向後方に存在する後続列車 T R 2 の運行状況を表す遅延時間と先行列車 T R 0 と後続列車 T R 2 それぞれの予定出発時刻、予定到着時刻と自列車 T R 1 の余裕時分および遅延時間から、自列車 T R 1 の現在駅からの予定出発時刻と次の停車駅である前方駅の予定到着時刻とを算出する、出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 と、ダイヤに対する過去の運転時隔、駅での停車時間の実績値を保存している時隔・停止時間データベース (DB) 1 0 3 と、先行列車 T R 0 による各時刻に対する各閉塞進入位置における速度制限を定める速度制限算出部 1 0 4 と、当該路線を走行する車両の乗車率に対する各ノッチの特性およびモータ・インバータの特性と当該路線の位置に対する速度制限と位置に対する勾配と当該路線の位置に対する曲率半径を保存した車両・路線データベース (DB) 1 0 5 と、速度制限算出部 1 0 4 の算出結果を制約条件として用い、自列車 T R 1 の現在駅から前方駅への走行に関する最も累積消費エネルギーが小さい運転曲線を作成する運転曲線作成部 1 0 6 と、運転曲線作成部 1 0 6 の算出結果を用いて、各閉塞進入位置 (閉塞区間進入位置) における速度制限を抽出する運転情報抽出部 1 0 7 と、を備えている。

【 0 0 1 5 】

列車運行制御装置 1 0 0 は、運行制御対象の列車である自列車 T R 1 が駅に停車している間に処理を行うように構成されており、自列車 T R 1 が駅 (= 次に出発駅となる駅：現在駅) に到着した直後に処理を開始するようにされている。

【 0 0 1 6 】

自列車 T R 1 がある駅に到着すると、出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 は、到着した当該自列車 T R 1 の到着した時刻、後続列車 T R 2 の現在位置と後続列車 T R 2 が出発した駅 (後方駅 S T 2) とその出発時刻、後続列車 T R 2 の次駅 (現在駅 S T 1) の到着予定時刻、先行列車 T R 0 の現在位置と先行列車 T R 0 が出発した駅 (前方駅 S T 0) とその出発時刻、先行列車 T R 0 の次駅到着予定時刻を取得する (入力される)。

【 0 0 1 7 】

次に、出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 は、上述した情報 (データ) を取得したならば、ダイヤ DB 1 0 1 を参照し、ダイヤで想定されている自列車 T R 1 の予定到着時刻を取得する。そして、出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 は、ダイヤ DB 1 0 1 に登録してある予定到着時刻と実際の運行における到着時刻との差を算出し、自列車 T R 1 が遅延しているか否かを判定する。

【 0 0 1 8 】

次に出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 は、現在駅 S T 1 の予定出発時刻を算出する。ここで、現在駅 S T 1 の予定出発時刻は、現在駅 S T 1 の到着時刻に停車時間を加算した時刻である。また、停車時間は、予めダイヤ DB 1 0 1 に格納 (設定) されている値を用いるか、過去の同じ予定到着時刻の列車の実績値の平均値を用いる。

【 0 0 1 9 】

次に自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 を出発する予定出発時刻と自列車 T R 1 が前方駅 S T

10

20

30

40

50

0 に到着する予定到着時刻とを算出するために必要な自列車 T R 1 の情報、先行列車 T R 0 の情報及び後続列車 T R 2 の情報について述べる。

【 0 0 2 0 】

自列車 T R 1 の情報としては、以下に示す自列車 T R 1 の遅延時間、自列車 T R 1 の余裕時分及び自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 における停車時間が必要となる。

(1) 自列車 T R 1 の遅延時間 =

$$\begin{aligned} & \text{実際の自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 への予定到着時刻} \\ & - \text{自列車 T R 1 がダイヤ上の現在駅 S T 1 への予定到着時刻} \end{aligned}$$

(2) 自列車 T R 1 の余裕時分 =

$$\begin{aligned} & \text{自列車 T R 1 がダイヤ上で現在駅 S T 1 から前方駅 S T 0 まで走行する時間} \\ & - \text{自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 から前方駅 S T 0 まで走行する最短の時} \end{aligned}$$

間

(3) 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 における停車時間 = 自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 で乗客の乗降に要する時間と調整時間の合計

【 0 0 2 1 】

先行列車 T R 0 の情報としては、先行列車 T R 0 の遅延時間、先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻及び先行列車 T R 0 の前方駅における停車時間が必要となる。

(4) 先行列車 T R 0 の遅延時間 = 実際の先行列車 T R 0 が前方駅 S T 0 への予定到着時刻 - 先行列車 T R 0 がダイヤ上で前方駅 S T 0 への予定到着時刻

(5) 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 = 先行列車 T R 0 が前方駅 S T 0 位置における閉塞を通過する時刻

(6) 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 における停車時間 = 先行列車 T R 0 が前方駅 S T 0 で乗客の乗降に要する時間と調整時間の合計

【 0 0 2 2 】

後続列車 T R 2 の情報としては、後続列車 T R 2 の遅延時間及び後続列車 T R 2 の後方駅 S T 2 における停車時間が必要となる。

(7) 後続列車 T R 2 の遅延時間 = 実際の後続列車 T R 2 が後方駅 S T 2 への予定到着時刻 - 後続列車 T R 2 がダイヤ上で後方駅 S T 2 への予定到着時刻

(8) 後続列車 T R 2 の後方駅 S T 2 における停車時間 = 後続列車 T R 2 が後方駅 S T 2 で乗客の乗降に要する時間と調整時間の合計

【 0 0 2 3 】

これらの情報に基づいて、列車運行制御装置 1 0 0 は、自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 に到着した時点で、自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 を出発する予定出発時刻、自列車 T R 1 が前方駅 S T 0 に到着する予定到着時刻及び自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 から前方駅 S T 0 まで走行するのに要する時間（走行時分）を算出する。

【 0 0 2 4 】

ここで、自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 から前方駅 S T 0 まで走行するのに要する時間（走行時分）については、次式により算出する。

$$\text{走行時分} = \text{現在駅 S T 1 の予定出発時刻} - \text{前方駅 S T 0 の予定到着時刻}$$

【 0 0 2 5 】

次に列車運行制御装置 1 0 0 は、(1) ~ (8) の情報を算出したら、以下の手順に従って、自列車 T R 1 が現在駅 S T 1 から前方駅 S T 0 まで走行するための省エネ運転曲線を算出する。

自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻と自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の到着予定時刻は、先行列車 T R 0 と後続列車 T R 2 の運行状況を考慮して決められる。自列車 T R 1 及び先行列車 T R 0 ・後続列車 T R 2 の現在の状況は遅延時間によって評価する。

【 0 0 2 6 】

ここで自列車 T R 1、先行列車 T R 0 あるいは後続列車 T R 2 の遅延時間 t_d 及び定刻許容時間 (> 0) を用いてそれぞれの列車の運行状況を以下のように定義する。

定刻許容時間 は、定刻と見なして取り扱う時間範囲を表すパラメータである。

10

20

30

40

50

早着：遅延時間 $t_d < -$
 定刻：- 遅延時間 t_d
 遅延：遅延時間 $t_d >$

【0027】

本実施形態においては、早着の場合は、当該早着した停車駅で停車時間を延ばすことによって時間調整を行い、当該早着した停車駅からダイヤ上設定されている予定出発時刻で駅を出発するものとしている。

【0028】

このようにすることにより、早着の場合及び定刻の場合は、ともに当該停車駅でダイヤ上設定された予定出発時刻で出発できるため、駅出発時点での状態は同じものとみなせる。よって、自列車TR1の状態、先行列車TR0の状態及び後続列車TR2の状態が、それぞれ早着または定刻の場合、及び遅延の場合の2通りに分けて処理することができる。

10

【0029】

図3は、自列車、先行列車及び後続列車の状態の説明図である。

自列車TR1、先行列車TR0及び後続列車TR2のそれぞれについて2通りの状態が存在し、自列車TR1、先行列車TR0及び後続列車TR2の全てについて考慮する場合には、図3に示すように、全部で $2^3 = 8$ 通りの状態(状態ID = 1 ~ 8)が存在する。

【0030】

次に、これらの8通りの状態(状態ID = 1 ~ 8)のそれぞれについて、

- ・自列車TR1の自列車TR1が現在駅ST1を出発する予定出発時刻
- ・自列車TR1が前方駅ST0に到着する予定到着時刻
- ・自列車TR1が現在駅ST1から前方駅ST0まで走行するのに要する時間(走行時分)

20

を設定する。

【0031】

以下に図3に示した8通りの状態(状態ID = 1 ~ 8)についてそれぞれ説明する。

[1] 状態ID = 1 : 後続列車TR2、自列車TR1、先行列車TR0がすべて早着または定刻の場合。

【0032】

後続列車TR2、自列車TR1及び先行列車TR0がすべて早着または定刻の場合、自列車TR1はダイヤ上設定されている現在駅ST1の予定出発時刻で出発し、前方駅ST0へはダイヤ上設定されている予定到着時刻で到着するように設定する。

30

これにより、自列車TR1の走行時分は、以下の通りとなる。

【0033】

- ・自列車TR1の走行時分 = 次駅の予定到着時刻 - 現在駅ST1の予定出発時刻
 = ダイヤ上の次駅の予定到着時刻
 - ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻
 = ダイヤ上の走行時分

したがって、状態ID = 1の場合には、自列車TR1は、ダイヤ上で設定された運転曲線に従って運転することとなる。

40

【0034】

[2] 状態ID = 2 : 後続列車TR2が遅延、自列車TR1及び先行列車TR0が早着または定刻の場合。

後続列車TR2のみが遅延している場合、自列車TR1は現在駅ST1をダイヤ上設定されている予定出発時刻で出発できるが、ダイヤ上設定されている予定出発時刻で出発すると後続列車TR2との時隔が大きくなってしまふ。時隔が大きくなると、後続列車TR2が現在駅ST1に到着するまでに現在駅ST1にはダイヤ通りの運行時と比較して、多くの乗客が発生する可能性があり、後続列車TR2が現在駅ST1でさらに遅延を増大させる可能性がある。

そこで、本実施形態では、自列車TR1自身の遅延を増加させない範囲で後続列車TR

50

2 との時隔を調整するように現在駅 S T 1 の予定出発時刻を定める。

【 0 0 3 5 】

[2 . 1] 後続列車 T R 2 の遅延時間 自列車 T R 1 の余裕時分の場合。

この場合には、自列車 T R 1 は、ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 + (自列車 T R 1 の余裕時分 - 後続列車 T R 2 の遅延時間) で出発し、ダイヤ上の次駅の予定到着時刻に到着するように計画する。

その際、自列車 T R 1 の走行時分は、以下のように定める。

【 0 0 3 6 】

$$\begin{aligned} \cdot \text{自列車 T R 1 の走行時分} &= \text{次駅の予定到着時刻} - \text{現在駅 S T 1 の予定出発時刻} \\ &= \text{ダイヤ上の次駅の予定到着時刻} \\ &\quad - \{ \text{ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻} \\ &\quad \quad + (\text{自列車 T R 1 の余裕時分} \\ &\quad \quad - \text{後続列車 T R 2 の遅延時間}) \} \\ &= \text{ダイヤ上の走行時分} \\ &\quad - (\text{自列車 T R 1 の余裕時分} \\ &\quad \quad - \text{後続列車 T R 2 の遅延時間}) \quad \text{最短走行時分} \end{aligned}$$

10

【 0 0 3 7 】

つまり、ダイヤ上の走行時分に対して、(自列車 T R 1 の余裕時分 - 後続列車 T R 2 の遅延時間) だけ早く走行する。

したがって、予め残しておいた時間的な余裕を走行時分に転化することで消費エネルギー的には、増加を招くが、後続列車 T R 2 との運転時隔を大きくし、後続列車 T R 2 へ乗車する人の偏りを自列車 T R 1 により吸収でき、後続列車 T R 2 への乗車が集中することによる遅延増加の要因を小さくできる。

20

【 0 0 3 8 】

[2 . 2] 後続列車 T R 2 の遅延時間 > 自列車 T R 1 の余裕時分の場合。

自列車 T R 1 は、(ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 + 自列車 T R 1 の余裕時分) で出発し、ダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に到着するように計画する。したがって、自列車 T R 1 の走行時分は現在駅 S T 1 と前方駅 S T 0 との間の最短走行時分と等しくなる。

したがって、この場合にも、後続列車 T R 2 へ乗車する人の偏りを自列車 T R 1 により吸収でき、後続列車 T R 2 への乗車が集中することによる遅延増加の要因を小さくできる。

30

【 0 0 3 9 】

[3] 状態 I D = 3 : 自列車 T R 1 が遅延、後続列車 T R 2 ・先行列車 T R 0 が早着または定刻の場合。

自列車 T R 1 のみが遅延している場合、自列車 T R 1 は遅延を回復させるように運転を行う。

【 0 0 4 0 】

[3 . 1] 自列車 T R 1 の遅延時間 自列車 T R 1 の余裕時分の場合。

この場合には、以下のように計画する。

$$\begin{aligned} \cdot \text{自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の出発予定時刻} \\ &= \text{ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻} + \text{遅延時間} \\ \cdot \text{自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻} \\ &= \text{ダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻} \end{aligned}$$

この際に、自列車 T R 1 の走行時分は、以下のように定める。

【 0 0 4 1 】

$$\begin{aligned} \cdot \text{自列車 T R 1 の走行時分} &= \text{前方駅 S T 0 の予定到着時刻} \\ &\quad - \text{現在駅 S T 1 の予定出発時刻} \\ &= \text{ダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻} \\ &\quad - \{ \text{ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻} \end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
 & + (\text{自列車TR1の余裕時分} \\
 & \quad - \text{自列車TR1の遅延時間}) \} \\
 = & \text{ダイヤ上の走行時分} \\
 & - (\text{自列車TR1の余裕時分} \\
 & \quad - \text{自列車TR1の遅延時間}) \\
 & \quad \text{最短走行時分}
 \end{aligned}$$

【0042】

つまり、(自列車TR1の余裕時分 - 自列車TR1の遅延時間)だけ早く走行する。したがって、予め残しておいた時間的な余裕を走行時分に転化することで消費エネルギー的には、増加を招くが、自列車TR1の遅延を後続列車TR2に影響を与えないで、前方駅ST0までに遅延を回復させることができる。

10

【0043】

[3.2] 自列車TR1の遅延時間 > 自列車TR1の余裕時分の場合。

この場合には、自列車TR1は、出発時刻及び自列車TR1の前方駅ST0への予定到着時刻を以下のように定める。

・ 出発時刻 = ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻 + 遅延時間

・ 自列車TR1の前方駅ST0の予定到着時刻

= 現在駅ST1の予定出発時刻

+ 遅延時間 + 前方駅ST0までの最短走行時分

【0044】

この場合、次駅である前方駅ST0までには、ダイヤ通りの運行への回復はできないが、次駅以降でも遅延が検知されるために、再びダイヤ上の走行時分よりも短い走行時分で運行することとなり、ダイヤ上の走行時分よりも短い走行時分での運行を繰り返すことで遅延を徐々に回復させることができる。

20

【0045】

[4] 状態ID = 4 : 先行列車TR0が遅延、後続列車TR2及び自列車TR1が早着または定刻の場合。

先行列車TR0のみが遅延している場合、自列車TR1は先行列車TR0の遅延の程度によってはダイヤ上設定されている前方駅ST0への予定到着時刻で到着することができなくなる。そこで先行列車TR0が遅延を起こしている場合には先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻を考慮して、現在駅ST1の予定出発時刻を定める。

30

【0046】

[4.1] 先行列車TR0の前方駅ST0における閉塞開通時刻が自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻以前の場合。

先行列車TR0の前方駅ST0における閉塞開通時刻が、自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻以前(先行列車TR0の前方駅ST0閉塞開通時刻 自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻)の場合には、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻、自列車TR1の前方駅ST0の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

【0047】

・ 自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻

= ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻

・ 自列車TR1の前方駅ST0の予定到着時刻

= ダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻

・ 自列車TR1の走行時分 = ダイヤ上の現在駅ST1の予定到着時刻

- ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻

= ダイヤ上の走行時分

40

【0048】

[4.2] 先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻が自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻経過後の場合。

50

先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻が自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻経過後（先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻 > 自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻）の場合。

自列車TR1はダイヤ上で設定されている走行時分で運行することは不可能である。そのため、自列車TR1の次駅の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

【0049】

- ・自列車TR1の次駅の予定到着時刻 = 先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻
- ・自列車TR1の走行時分 = 次駅の予定到着時刻 - 現在駅ST1の予定出発時刻
= 先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻
- ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻
ダイヤ上の走行時分

10

ダイヤ上の走行時分よりも長いことと、先行列車TR0の存在による閉塞区間における速度制限を考慮し、上述した自列車TR1の走行時分で省エネ運転曲線を作成する。

【0050】

[5] 状態ID = 5 : 先行列車TR0が早着または定刻、後続列車TR2及び自列車TR1が遅延の場合。

先行列車TR0が早着または定刻で、自列車TR1と後続列車TR2が遅延している場合、自列車TR1は自身の遅延を回復させるためにはなるべく前方駅ST0に着くまでの間に遅延を回復させたいが、遅延回復のために早く出発すると、後続列車TR2に対する運転時隔が大きくなり、後続列車TR2が現在駅ST1で遅延を増大させる原因を作ることになり得る。

20

そこで、本実施形態においては、自列車TR1は後続列車TR2との運転時隔を考慮しつつ、遅延を回復させるように現在駅ST1の予定出発時刻を定めている。

【0051】

[5.1] 自列車TR1の遅延時間が自列車TR1の余裕時分以下である場合。

[5.1.1] 後続列車TR2の遅延時間が自列車TR1の余裕時分から自列車TR1の遅延時間を差し引いた時間以下である場合。

後続列車TR2の遅延時間が自列車TR1の余裕時分から自列車TR1の遅延時間を差し引いた時間以下 [続列車の遅延時間 (自列車TR1の余裕時分 - 自列車TR1の遅延時間)] である場合には、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

30

- ・自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻
+ 後続列車TR2の遅延時間
- ・自列車TR1の走行時分 = ダイヤ上の走行時分 - 後続列車TR2の遅延時間

【0052】

[5.1.2] 後続列車TR2の遅延時間が自列車TR1の余裕時分から自列車TR1の遅延時間を差し引いた時間を超える場合。

後続列車TR2の遅延時間が自列車TR1の余裕時分から自列車TR1の遅延時間を差し引いた時間を超える [後続列車TR2の遅延時間 > (自列車TR1の余裕時分 - 自列車TR1の遅延時間)] 場合には、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻、自列車TR1の前方駅ST0の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

40

【0053】

- ・自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻
+ (自列車TR1の余裕時分 - 自列車TR1の遅延時間

)

- ・自列車TR1の前方駅ST0の予定到着時刻
= ダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻

50

- ・ 自列車 T R 1 の走行時分 = ダイヤ上の次駅の予定到着時刻
 - ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
 = ダイヤ上の走行時分
 - (自列車 T R 1 の余裕時分 - 自列車 T R 1 の遅延時間)

【 0 0 5 4 】

[5 . 2] 自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超える場合。

自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超える (自列車 T R 1 の遅延時間 > 自列車 T R 1 の余裕時分) 場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻及び自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻を以下の通りとする。

10

【 0 0 5 5 】

- ・ 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
 - = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
 - + 自列車 T R 1 の遅延時間
- ・ 自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻
 - = 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 + 最短走行時分

【 0 0 5 6 】

[6] 状態 I D = 6 : 自列車 T R 1 が早着または定刻、後続列車 T R 2 及び先行列車 T R 0 が遅延の場合。

自列車 T R 1 が早着または定刻で、先行列車 T R 0 ・後続列車 T R 2 が遅延をしている場合、自列車 T R 1 は先行列車 T R 0 の遅延の程度によってはダイヤ上設定された前方駅 S T 0 の予定到着時刻で到着することが不可能である。また、後続列車 T R 2 に対してもダイヤ上設定された現在駅 S T 1 の予定出発時刻で出発することで、後続列車 T R 2 が現在駅 S T 1 に到着した時に遅延を増大させる可能性もある。そこで自列車 T R 1 は先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻を考慮して、現在駅 S T 1 の予定出発時刻を定める。

20

【 0 0 5 7 】

[6 . 1] 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻以前である場合。

先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻以前 (先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 < 自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻) である場合には、後続列車 T R 2 の遅延時間及び自列車 T R 1 の余裕時分に基づいて、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

30

【 0 0 5 8 】

[6 . 1 . 1] 後続列車 T R 2 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分以下である場合。

後続列車 T R 2 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分以下 (後続列車 T R 2 の遅延時間 < 自列車 T R 1 の余裕時分) である場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

40

【 0 0 5 9 】

- ・ 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
 - = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
 - + 後続列車 T R 2 の遅延時間
- ・ 自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻 = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定到着時刻
- ・ 自列車 T R 1 の走行時分 = ダイヤ上の走行時分 - 後続列車 T R 2 の遅延時間

【 0 0 6 0 】

[6 . 1 . 2] 後続列車 T R 2 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超えている場合。

後続列車 T R 2 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超えている (後続列車 T R 2 の遅延時間 > 自列車 T R 1 の余裕時分) 場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発

50

時刻、自列車TR1の次駅の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

【0061】

- ・自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻 + 余裕時分
- ・自列車TR1の次駅の予定到着時刻 = ダイヤ上の現在駅ST1の予定到着時刻
- ・自列車TR1の走行時分 = ダイヤ上の最短走行時分

【0062】

[6.2] 先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻が自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻を超えている場合。

先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻が自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻を超えている（先行列車TR0の前方駅ST0の閉塞開通時刻 > 自列車TR1のダイヤ上の前方駅ST0の予定到着時刻）場合には、後続列車TR2の遅延時間、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻及び自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻に基づいて、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻、自列車TR1の次駅の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

10

【0063】

[6.2.1] 後続列車TR2の遅延時間が、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻から自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻を差し引いた時間以下である場合。

後続列車TR2の遅延時間が、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻から自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻を差し引いた時間以下である〔後続列車TR2の遅延時間（先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻 - 自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻）〕場合には、後続列車TR2の遅延時間、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻及び自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻に基づいて、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻、自列車TR1の次駅の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

20

【0064】

- ・自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅ST1の予定出発時刻
+ 後続列車TR2の遅延時間
- ・自列車TR1の次駅の予定到着時刻 = 先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻
- ・自列車TR1の走行時分 = 先行列車TR0の次駅閉塞時刻
- 自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻

30

【0065】

[6.2.2] 後続列車TR2の遅延時間が、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻から自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻を差し引いた時間を超えている場合。

後続列車TR2の遅延時間が、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻から自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻を差し引いた時間を超えている〔後続列車TR2の遅延時間 > （先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻 - 自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻）〕である場合には、後続列車TR2の遅延時間、先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻及び自列車TR1のダイヤ上の次駅の予定到着時刻に基づいて、自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻、自列車TR1の次駅の予定到着時刻及び自列車TR1の走行時分を以下の通りとする。

40

【0066】

- ・自列車TR1の現在駅ST1の予定出発時刻
= 先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻
- 自列車TR1の現在駅ST1と前方駅ST0間の最短走行時分
- ・自列車TR1の次駅の予定到着時刻 = 先行列車TR0の次駅閉塞開通時刻
- ・自列車TR1の走行時分 = ダイヤ上の最短走行時分

【0067】

50

[7] 状態 I D = 7 : 後続列車 T R 2 が早着または定刻、自列車 T R 1 及び先行列車 T R 0 が遅延の場合。

後続列車 T R 2 が早着または定刻、自列車 T R 1 及び先行列車 T R 0 が遅延している場合、自列車 T R 1 は後続列車 T R 2 の進行をふさがないようになるべく現在駅 S T 1 を早く出発する必要がある。しかしながら、先行列車 T R 0 の遅延の程度によっては、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻よりも遅い時刻にしか到着できないことがある。

そこで、後続列車 T R 2 が早着または定刻、自列車 T R 1 及び先行列車 T R 0 が遅延の場合には、自列車 T R 1 は先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻を考慮して、現在駅 S T 1 の予定出発時刻を定める。

【 0 0 6 8 】

10

[7 . 1] 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加えるとともに、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻以前である場合。

【 0 0 6 9 】

先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加えるとともに、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻以前である [先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 (自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻 + 自列車 T R 1 の遅延時間 - 自列車 T R 1 の余裕時分)] の場合には、自列車 T R 1 の遅延時間及び自列車 T R 1 の余裕時分に基づいて、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

20

【 0 0 7 0 】

[7 . 1 . 1] 自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分以下である場合。

自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分以下 (自列車 T R 1 の遅延時間 自列車 T R 1 の余裕時分) である場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 7 1 】

- ・ 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
+ 自列車 T R 1 の遅延時間
- ・ 自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻
= ダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻
- ・ 自列車 T R 1 の走行時分
= ダイヤ上の走行時分
- (自列車 T R 1 の余裕時分 - 自列車 T R 1 の遅延時間)
最短走行時分

30

【 0 0 7 2 】

[7 . 1 . 2] 自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超えている場合。

自列車 T R 1 の遅延時間が自列車 T R 1 の余裕時分を超えている (自列車 T R 1 の遅延時間 > 自列車 T R 1 の余裕時分) 場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

40

【 0 0 7 3 】

- ・ 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
+ 自列車 T R 1 の遅延時間
- ・ 自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定到着時刻
+ (自列車 T R 1 の遅延時間 - 自列車 T R 1 の余裕時分)

50

)

・自列車 T R 1 の走行時分 = 最短走行時分

【 0 0 7 4 】

[7 . 2] 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻を越えている場合。

先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻を越えている [先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 > (自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻 + 自列車 T R 1 の遅延時間 - 自列車 T R 1 の余裕時分)] 場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 7 5 】

・自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
+ 自列車 T R 1 の遅延時間

・自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻
= 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の駅閉塞開通時刻

・自列車 T R 1 の走行時分 = 自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻
- 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻

【 0 0 7 6 】

[8] 状態 I D = 8 : 後続列車 T R 2、自列車 T R 1 及び先行列車 T R 0 がすべて遅延の場合。

自列車 T R 1、先行列車 T R 0 及び後続列車 T R 2 のすべてが遅延している場合、自列車 T R 1 は自身の遅延時間を含め、後続列車 T R 2 と先行列車 T R 0 の遅延まですべて考慮して現在駅 S T 1 の予定出発時刻と前方駅 S T 0 の予定到着時刻を定めなければならない。

【 0 0 7 7 】

そこで自列車 T R 1 は、先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻を考慮して、現在駅 S T 1 の予定出発時刻を定める。

【 0 0 7 8 】

[8 . 1] 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻以前の場合。

【 0 0 7 9 】

先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻以前である [先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 (自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻 + 自列車 T R 1 の遅延時間 - 自列車 T R 1 の余裕時分)] 場合には、後続列車 T R 2 の遅延時間に基づいて以下の通りに設定する。

【 0 0 8 0 】

[8 . 1 . 1] 後続列車 T R 2 の遅延時間が、自列車 T R 1 の余裕時分から自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間以下である場合。

【 0 0 8 1 】

後続列車 T R 2 の遅延時間が、自列車 T R 1 の余裕時分から自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間以下である [自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 + 後続列車 T R 2 の遅延時間 自列車 T R 1 の余裕時分 - 自列車 T R 1 の遅延時間] 場合には、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 8 2 】

10

20

30

40

50

- ・自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻 = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定到着時刻
- ・自列車 T R 1 の走行時分 = ダイヤ上の走行時分 - 後続列車 T R 2 の遅延時間

【 0 0 8 3 】

[8 . 1 . 2] 後続列車 T R 2 の遅延時間が、自列車 T R 1 の余裕時分から自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間を超えている場合。

後続列車 T R 2 の遅延時間が、自列車 T R 1 の余裕時分から自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間を超えている（後続列車 T R 2 の遅延時間 > 自列車 T R 1 の余裕時分 - 自列車 T R 1 の遅延時間）場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 8 4 】

- ・自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻 + 余裕時分
- ・自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻 = ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定到着時刻
- ・自列車 T R 1 の走行時分 = ダイヤ上の最短走行時分

【 0 0 8 5 】

[8 . 2] 先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻を超えている場合。

【 0 0 8 6 】

先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻が、自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻に自列車 T R 1 の遅延時間を加算し、自列車 T R 1 の余裕時分を差し引いた時刻を超えている [先行列車 T R 0 の前方駅 S T 0 の閉塞開通時刻 > (自列車 T R 1 のダイヤ上の前方駅 S T 0 の予定到着時刻 + 自列車 T R 1 の遅延時間 - 自列車 T R 1 の余裕時分)] 場合には、後続列車 T R 2 の遅延時間に基づいて以下の通りに設定する。

【 0 0 8 7 】

[8 . 2 . 1] 後続列車 T R 2 の遅延時間が、先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻から自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間以下である場合。

【 0 0 8 8 】

後続列車 T R 2 の遅延時間が、先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻から自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間以下である [後続列車 T R 2 の遅延時間 (先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻 - 自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻 - 自列車 T R 1 の遅延時間)] である場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 8 9 】

- ・自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= ダイヤ上の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
+ 後続列車 T R 2 の遅延時間
- ・自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻 = 先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻
- ・自列車 T R 1 の走行時分 = 先行列車 T R 0 の次駅閉塞時刻
- 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻

【 0 0 9 0 】

[8 . 2 . 2] 後続列車 T R 2 の遅延時間が、先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻から自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間を超えている場合。

【 0 0 9 1 】

後続列車 T R 2 の遅延時間が、先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻から自列車 T R 1 のダイヤ上の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の遅延時間を差し引いた時間を超えている [後続列車 T R 2 の遅延時間 > (先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻 - 自列車 T R 1 の

10

20

30

40

50

ダイヤ上の次駅の予定到着時刻 - 自列車 T R 1 の遅延時間)] 場合には、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻及び自列車 T R 1 の走行時分を以下の通りとする。

【 0 0 9 2 】

- ・ 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻
= 先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻
- 自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 と前方駅 S T 0 間の最短走行時分
- ・ 自列車 T R 1 の次駅の予定到着時刻 = 先行列車 T R 0 の次駅閉塞開通時刻
- ・ 自列車 T R 1 の走行時分 = ダイヤ上の最短走行時分

【 0 0 9 3 】

出発時刻・到着時刻算出部 1 0 2 により、自列車 T R 1、先行列車 T R 0 及び後続列車 T R 2 の運行状態に関しての 8 通り (状態 I D = 1 ~ 8) について、自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 の予定出発時刻、自列車 T R 1 の前方駅 S T 0 の予定到着時刻および自列車 T R 1 の現在駅 S T 1 と前方駅 S T 0 間の走行時分が算出されると、速度制限算出部 1 0 4 は、自列車 T R 1 の省エネ運転曲線作成に必要な時間に依存した速度制限を算出する。

先行列車 T R 0 による速度制限は、先行列車 T R 0 の運転曲線に基づいて算出される。その作成方法に関して図 4 を参照して、具体的に説明する。なお、ここでの運転曲線は列車先頭位置を基準にして作成されているものとする。

【 0 0 9 4 】

図 4 は、先行列車 T R 0 による速度制限算出方法の説明図である。

ここで、先行列車 T R 0 の運転曲線については、すでに決まっているものとする。

先行列車 T R 0 が出発した駅 (4 7 0 0 [m] 地点) から到着駅 (6 7 5 0 [m] 地点) の間に存在する閉塞区間が同時にわかる。現行の鉄道では保安のために 1 つの閉塞に複数の列車が存在できないことになっている。そこで先行列車 T R 0 が駅を出発した時刻 (ここでは 2 0 0 秒を出発時刻とした) からの経過時間で、閉塞区間から列車が通過したかを算出する。それは各閉塞の切れ目から列車長だけ進んだ位置の通過時間を見ればよい。

【 0 0 9 5 】

図 4 においては、例えば、第 1 閉塞区間 ~ 第 3 閉塞区間のそれぞれについて、以下の通りに算出される。

第 1 閉塞区間 C A 1 を通過 : 2 4 5 秒

第 2 閉塞区間 C A 2 を通過 : 2 6 5 秒

第 3 閉塞区間 C A 3 を通過 : 2 8 4 秒

【 0 0 9 6 】

図 5 は、図 4 に対応する状態における速度制限設定例の説明図である。

続いて、各閉塞区間の経過時間に対して、自列車 T R 1 の速度制限を設定する。

ここで簡単化のため、速度制限は存在する列車に近い方から 0、30、60、90 [k m / h] で定められるものとする。なお、図 5 は、一例であり、速度制限の決め方は各鉄道事業者によっても異なるため、この限りではない。

図 5 の例の場合、時刻 2 0 0 秒 ~ 時刻 2 4 5 秒までは、先行列車 T R 0 が第 1 閉塞区間 C A 1 内に存在しているので、第 1 閉塞区間 C A 1 における自列車 T R 1 の速度制限は、0 k m、すなわち、停車となり、進入が禁止される。

【 0 0 9 7 】

同様に時刻 2 4 5 秒 ~ 時刻 2 6 5 秒までは、先行列車 T R 0 が第 2 閉塞区間 C A 2 内に存在しているので、第 2 閉塞区間 C A 2 における自列車 T R 1 の速度制限は、0 k m、すなわち、停車となり、進入が禁止される。また、第 2 閉塞区間 C A 2 の手前隣の第 1 閉塞区間 C A 1 における自列車 T R 1 の速度制限は、30 k m となる。

【 0 0 9 8 】

同様に時刻 2 6 5 秒 ~ 時刻 2 8 4 秒までは、先行列車 T R 0 が第 3 閉塞区間 C A 3 内に存在しているので、第 3 閉塞区間 C A 3 における自列車 T R 1 の速度制限は、0 k m、すなわち、停車となり、進入が禁止される。また、第 3 閉塞区間 C A 3 の手前隣の第 2 閉塞

10

20

30

40

50

区間 C A 2 における自列車 T R 1 の速度制限は、30 km となる。さらに、第 1 閉塞区間 C A 1 は、第 3 閉塞区間 C A 3 に対して、第 2 閉塞区間 C A 2 を介して設けられているので、自列車 T R 1 の速度制限は、第 2 閉塞区間 C A 2 より高い 60 km となる。

【0099】

同様に時刻 284 秒以降は、先行列車 T R 0 が第 4 閉塞区間 C A 4 内に存在しているので、第 4 閉塞区間 C A 4 における自列車 T R 1 の速度制限は、0 km、すなわち、停車となり、進入が禁止される。また、第 4 閉塞区間 C A 4 の手前隣の第 3 閉塞区間 C A 3 における自列車 T R 1 の速度制限は、30 km となる。さらに、第 2 閉塞区間 C A 2 は、第 4 閉塞区間 C A 4 に対して、第 3 閉塞区間 C A 3 を介して設けられているので、自列車 T R 1 の速度制限は、第 3 閉塞区間 C A 3 より高い 60 km となる。さらにまた、第 1 閉塞区間 C A 1 は、第 4 閉塞区間 C A 4 に対して、第 3 閉塞区間 C A 3 及び第 2 閉塞区間 C A 2 を介して設けられているので、自列車 T R 1 の速度制限は、第 2 閉塞区間 C A 2 より高い 90 km となる。

10

【0100】

先行列車 T R 0 の位置による各閉塞区間での速度制限が設定できたら、次に運転曲線作成部 106 は、自列車 T R 1 が設定した走行時分で現在駅 S T 1 と前方駅 S T 0 間の省エネ運転曲線を作成する。

【0101】

ここで、省エネ運転曲線の作成について一例を説明する。

まず、省エネ運転曲線の作成の原理的な考え方について説明する。

20

列車の省エネ運転曲線は、制約として走行抵抗および勾配抵抗などを含んだ運動方程式と、出発してから経過時間 t 、速度 v 及び出発駅からの距離 x で表した、出発駅での状態（初期状態）を、 $(t, v, x) = (0, 0, 0)$ とし、到着駅での状態（終端状態）を $(t, v, x) = (T, 0, X)$ とした 2 点境界値を有する。

ここで、 T は、出発駅から到着駅に至るのに要した経過時間、 X は、出発駅と到着駅との間の距離である。

【0102】

一方、評価関数は、出発駅と到着駅との間で消費するエネルギーの総和 E （累積消費エネルギー）とした最適制御問題を解くことによって求まる。この時、列車の運動を指定する制御変数は加速度、減速度を指定するノッチとなる。現在、広く普及している列車は複数あるノッチによって列車の加減速を実現するものであり、運転曲線は各時刻においてどのノッチを選択して運転するかの多段意思決定問題とみなすことができる。

30

【0103】

ところで、一般に多段意思決定問題を解く際に課題となるのが、解候補の組み合わせ爆発である。

以下、組み合わせ爆発について簡単に説明する。

例えば、ノッチの選択肢が 10 個あり、走行時間が 100 秒の運転曲線を最小制御時間単位 1 秒として作成する場合には、 10^{10} 個の解候補の中から制約を満たす解を見つけ出さなければならない。この中からしらみつぶしに制約を満たす解を見つけることは現実的な時間の範囲では不可能である。

40

【0104】

そこで、この組み合わせ爆発の課題を解決する方法として、動的計画法を用いた最適解の探索法が提案されている。

動的計画法を用いた運転曲線の作成は列車の（時間、速度、位置）の状態を格子点上に定義し、その格子点を最も累積消費エネルギーが小さくなる経路を探索するものである。その際、ある状態 (t, v, x) に到達する複数の経路がある場合に、最も累積した消費エネルギーが小さい経路のみを記憶し、探索を続ける。動的計画法を用いる場合、予め状態空間を格子状に分割するが、一般に格子点から格子点へ移動するのはまれである。そのため、格子点に乗らない場合には何らかの補正を施し、格子点に移動したもとしている。この方法では格子点への補正が多くなると、最適解と比較して誤差が大きくなる問題点

50

がある。

【0105】

そこで、本実施形態では、多段意思決定問題の解候補を全数列举せず、各段（時刻）において、許容解の候補となりえるかをチェック（枝刈り）しながら、段を進める毎に解候補を生成していく方法を提案している。

【0106】

ここで、枝刈りとは、オペレーションズ・リサーチの分野で知られている組み合わせ最適化問題を解くための汎用的な手法である。生成操作においては解候補を生成し、枝刈り操作においては最適解となりえない解候補を枝刈りし、解候補のリストから削除する方法である。生成操作、枝刈り操作を繰り返しながら、最適解を探索する。全数列举に近い考えであるが、解候補になりえないものは探索を行わないところが全数列举法よりも効率がよい。

10

【0107】

図6は、実施形態の省エネ運転曲線の作成処理フローチャートである。

運転曲線作成部106は、車両情報、駅間情報、走行時間情報等の各種データが入力されると、車両・路線DB105を参照し、入力された車両情報及び駅間情報に基づいて、運転曲線作成に必要なデータを取得する（ステップS101）。

続いて、運転曲線作成部106は、入力された駅間での最短時間の運転曲線を作成する（ステップS102）。

【0108】

20

図7は、最短時間運転曲線の作成処理フローチャートである。

最短時間運転極性作成処理は、大別すると、加速限界曲線作成処理（ステップS201）、減速限界曲線作成処理（ステップS202）及び枝刈りアルゴリズムによる最短時間運転曲線作成処理（ステップS203）を備えて構成されている。

【0109】

以下、具体的に説明する。

最短時間運転曲線を作成するには、初期条件と終端条件を持つ最短時間制御の解を求めることになる。一般に最短時間制御はbang-bang制御と呼ばれる最大加速度または最大減速度によって制御されるものである。しかしながら、列車の運行時には主に位置による速度制限が加わるために必ずしも最大加速度と最大減速度のみで制御できるわけではない。そこで最大加速度と最大減速度で列車を動かすことができる範囲を求める。

30

【0110】

図8は、最大加速度及び最大減速度の利用可能条件の説明図である。

図9は、加速限界曲線の作成処理の処理フローチャートである。

図10は、減速限界曲線の作成処理の処理フローチャートである。

列車の運行時において、最大加速度と最大減速度を用いることができるのは、図8に示すように、ケースCase1～Case4の4通りの場合である。

Case1：出発駅を出発する時、最大加速度を用いる

Case2：到着駅に到着する時、最大減速度を用いる

Case3：制限速度が進行方向で増加する時、最大加速度を用いる

Case4：制限速度が進行方向で減少する時、最大減速度を用いる

40

【0111】

図8において、右上がりの線が最大加速度で列車を動かした場合のものであり、左下がりの線が最大減速度で列車を動かした場合のものである。

一つの駅間において、Case1の状態と、Case2の状態とは必ず一つずつしか存在しない。

【0112】

これに対し、Case3の状態と、Case4の状態とは、一つの駅間に複数存在する可能性があるため、それらの全てに対して、加速限界曲線と減速限界曲線を算出する必要がある。

50

【0113】

はじめに図8を用いて、図9と図10に示す変数STについて説明する。まず、速度制限が次のような構造体配列で与えられているものとする。

```
struct velocity_limitation {
double position; //速度制限の開始位置
double velocity; //上記開始位置以降の制限速度
};
```

【0114】

図8では

```
struct velocity_limitation ST[3]
= { {0, vmax}, {x1, v2}, {x2, vmax} };
```

10

となる。

ここで $ST[0].position < ST[1].position < ST[2].position < ST[3].position$ のように、構造体のインデックスが小さいほど、開始位置は小さいものとする。

【0115】

次に加速限界曲線と減速限界曲線のターゲットとなる位置を検出する。デフォルトで

加速限界曲線のターゲット位置 = 0; // Case 1

加速限界曲線のターゲット速度 = 0; // Case 1

減速限界曲線のターゲット位置 = X; // Case 2 (出発駅から到着駅までの距離)

20

減速限界曲線のターゲット速度 = 0; // Case 2

とする。それ以外は以下の条件に一致する位置を加速限界曲線と減速限界曲線のターゲット位置に設定する。

【0116】

```
for (int i = 1; i < sizeof(ST) / sizeof(ST[0]); i++) {
```

```
if (ST[i-1].velocity < ST[i].velocity) {
```

加速限界曲線のターゲット位置

= ST[i].position; // Case 3

30

加速限界曲線のターゲット速度

= ST[i-1].velocity; // Case 3

```
} else {
```

減速限界曲線のターゲット位置

= ST[i].position; // Case 4

減速限界曲線のターゲット速度

= ST[i].velocity; // Case 3

```
}
```

```
}
```

【0117】

40

図9においては、加速限界曲線作成に必要なターゲット位置とターゲット速度をデフォルトの駅を出発する時点の Case 1 と複数の速度制限がある場合で上記条件を満たす、すべてのターゲット位置、ターゲット速度を配列STに設定してある。

【0118】

同様に図10においては、減速限界曲線作成に必要なターゲット位置とターゲット速度をデフォルトの駅に到着する時点の Case 2 と複数の速度制限がある場合で上記条件を満たす、すべてのターゲット位置、ターゲット速度を配列STに設定してある。

【0119】

具体的には図8を例にすると、
加速限界曲線の場合は、

50

```

struct velocity_limitation ST[2]
    = { { 0, 0 }, { x2, v2 } };

```

になり、減速限界曲線の場合は

```

struct velocity_limitation ST[2]
    = { { x1, v2 }, { X, 0 } };

```

になる。

【0120】

加速限界曲線作成処理（ステップS201）においては、まず初めにこの最大加速度と最大減速度を用いた時の（速度、位置）を算出する。

【0121】

図8に示したケースcase1～case4における各曲線を、それぞれ加速限界曲線、減速限界曲線と呼ぶことにする。

ところで、加速限界曲線は、最大加速を用いる速度と位置の初期条件を与えることで容易に求めることができる。

【0122】

まず、図9に示すように、運転曲線作成部106は、変数sを初期化し、初期値の0とする（ステップS401）。

次に加速限界曲線のターゲット位置、すなわち、加速経過時刻 $i = 0$ 、加速限界曲線における初期速度 $v(0) = ST[s].velocity$ 及び初期位置 $x(0) = ST[s].position$ を設定する（ステップS402）。

【0123】

次に運転曲線作成部106は、時刻iに1を加算する（ステップS403）。

続いて運転曲線作成部106は、時刻iにおける状態（ $v(i)$ 、 $x(i)$ ）を最大加速ノッチ（最大の加速度を得ることが可能なノッチ位置に相当）で運動方程式を解いて、算出する（ステップS404）。

【0124】

次に運転曲線作成部106は、時刻iにおける速度 $v(i)$ が制限速度 v_{max} を超えたか、すなわち、

$$v(i) > v_{max}$$

あるいは、時刻iにおける位置 $x(i)$ がターゲット位置 $ST[s].position$ を超えたか否かを判別する（ステップS405）。

【0125】

ステップS405の判別において、時刻iにおける速度 $v(i)$ が制限速度 v_{max} を超えておらず、かつ、時刻iにおける位置 $x(i)$ がターゲット位置 $ST[s].position$ を超えていない場合には（ステップS405; No）、運転曲線作成部106は、処理を再びステップS403に移行して、以下、同様の処理を繰り返す。

【0126】

ステップS405の判別において、時刻iにおける速度 $v(i)$ が制限速度 v_{max} を超えている、あるいは、時刻iにおける位置 $x(i)$ がターゲット位置 $ST[s].position$ を超えている場合には（ステップS405; Yes）、運転曲線作成部106は、加速限界曲線のターゲット位置に至ったか否かを判別し、すなわち、

$$s = \text{size of } (ST[s]) / \text{size of } (ST[0])$$

となったか否かを判別する（ステップS406）。

【0127】

ステップS406の判別において、加速限界曲線のターゲット位置に至っていない場合には（ステップS406; No）、運転曲線作成部106は、変数sに1を加算し（ステップS407）、処理を再びステップS402に移行して、以下、同様の処理を繰り返す。

ステップS406の判別において、加速限界曲線のターゲット位置に至った場合には（ステップS406; Yes）、運転曲線作成部106は、加速限界曲線の作成処理を終了

10

20

30

40

50

する。

【0128】

次に運転曲線作成部106は、加速限界曲線の算出と同様に減速限界曲線を算出する（ステップS202）。

本実施形態においては、減速限界曲線の場合、終端条件を満たす初期条件を反復法で探索する。一般には終端条件と正確に一致することがほぼ不可能なため、終端条件に許容範囲（及び）を与えて、その範囲を満たす初期条件を求めている。

【0129】

まず、運転曲線作成部106は、変数 s を初期化して初期値の0とし、変数 a を初期化して初期値の0とし、変数 $b = ST[s].position$ とし、変数 $Distance = ST[s].position$ とする（ステップS501）。

次に運転曲線作成部106は、減速限界曲線のターゲット位置、すなわち、減速経過時刻 $i = 0$ 、減速限界曲線における初期速度 $v(0) = v_{max}$ 及び初期位置 $x(0) = (a + b) / 2.0$ を設定する（ステップS502）。

【0130】

次に運転曲線作成部106は、時刻 i に1を加算する（ステップS503）。

そして、運転曲線作成部106は、時刻 i における列車の状態を最大減速ノッチで運動方程式を解き、算出する（ステップS504）。

続いて運転曲線作成部106は、時刻 i における速度 $v(i)$ が許容値 に対応する次式を満たしているか否かを判別する（ステップS505）。

$$0 < v(i) <$$

【0131】

ステップS505の判別において、

$$v(i)$$

である場合には（ステップS505；No）、運転曲線作成部106は、再び処理をステップS503に移行して以下、同様の処理を行う。

【0132】

ステップS505の判別において、

$$0 < v(i) <$$

である場合には（ステップS505；Yes）、運転曲線作成部106は、時刻 i における位置 $x(i)$ が許容値 に対応する次式を満たしているか否かを判別する（ステップS506）。

$$|x(i) - Distance| <$$

【0133】

ステップS506の判別において、

$$|x(i) - Distance|$$

である場合には（ステップS506；No）、運転曲線作成部106は、

$$x(i) < Distance$$

であるか否かを判別する（ステップS507）。

【0134】

ステップS507の判別において、

$$x(i) < Distance$$

である場合には（ステップS507；Yes）、運転曲線作成部106は、

$$a = (a + b) / 2.0$$

として処理を再びステップS502に移行して以下、同様の処理を行う（ステップS508）。

【0135】

ステップS507の判別において、

$$x(i) < Distance$$

である場合には（ステップS507；No）、運転曲線作成部106は、

10

20

30

40

50

$$b = (a + b) / 2 . 0$$

として(ステップS509)、処理を再びステップS502に移行して以下、同様の処理を行う。

【0136】

一方、ステップS506の判別において、

$$|x(i) - Distance| <$$

である場合には(ステップS506; Yes)、運転曲線作成部106は、減速限界曲線のターゲット位置に至ったか否かを判別し、すなわち、

$$s = size\ of\ (ST[s]) / size\ of\ (ST[0])$$

となったか否かを判別する(ステップS510)。

10

【0137】

ステップS510の判別において、減速限界曲線のターゲット位置に至っていない場合には(ステップS510; No)、運転曲線作成部106は、変数sに1を加算し(ステップS511)、処理を再びステップS502に移行して、以下、同様の処理を繰り返す。

ステップS510の判別において、減速限界曲線のターゲット位置に至った場合には(ステップS510; Yes)、運転曲線作成部106は、減速限界曲線の作成処理を終了する。

【0138】

ところで、減速限界曲線を算出するために、時間を逆向きに進めながら運動方程式を解く、逆引きの方法が使われることがあるが、勾配が存在する場合には逆引きの方法では時間を順方向で解く一般的な微分方程式の数値解法と解がずれることがある。

20

これに対し、本実施形態の手法によれば、微分方程式をより正確に解くための方法を用いており、逆引きの方法に比べて精度がよい減速限界曲線が得られる。

【0139】

次に運転曲線作成部106は、枝刈りアルゴリズムに基づいて最短時間運転曲線を作成する(ステップS203)。

図11は、最短時間運転曲線の作成処理の処理フローチャートである。

ここで、図11に示す変数previous__state、変数current__state及び変数middle__stateについて説明する。

30

【0140】

本実施形態においては、運転曲線作成処理を実現する制御プログラムとしては、C++やJAV A(登録商標)などの高級言語によって開発された制御プログラムを想定している。

特にC++やJAV Aでは、要素数によって配列の大きさを変えられる可変長配列を使うことができる。このため、本実施形態では、各時刻での解候補を可変長配列を用いて表現するものとする。

【0141】

具体的には、C++などで解候補を

```
struct phase {
    double position; // 位置
    double velocity; // 速度
    double energy; // 瞬時のエネルギー消費量
    double total__energy; // 累積のエネルギー消費量
    int notch[500]; // 各時刻でのノッチ番号
    int change__count; // ノッチ切替回数
    int notch__continuous__time; // 現在のノッチの継続時間};
```

40

のような構造体で表現する。

【0142】

50

そして、

```
vector<struct phase> previous__state ;
vector<struct phase> current__state ;
vector<struct phase> middle__state ;
```

として解候補を表現すればよい。

【0143】

まず、出発駅の初期条件として経過時間 $t = 0$ 、速度 $v = 0$ 、位置 $x = 0$ を変数 `previous__state` に設定する（ステップ S601）。

次に経過時間 $t + 1$ の解候補それぞれに対して、すべてのノッチでの運動方程式（微分方程式）を解き経過時間 t の解候補を（経過時間 t の解候補個数） \times （ノッチ選択数）個作成し、その解候補を変数 `current__state` として保存し、変数 `previous__state` をメモリから解放（クリア）する（ステップ S602）。

10

【0144】

ここで、経過時間 $t + 1$ における解候補の作り方を具体的に説明する。

まず、経過時間 t において解候補が N 個あったものとする。

N 個中の第 n 番目の解候補の状態を $(t, v_n(t), x_n(t))$ と記述すれば、 n 番目の状態 $(t, v_n(t), x_n(t))$ を数値計算上の初期値として、 k 番目のノッチ `NOTCH(k)` の与える加速度または減速度を用いて、4 次のルンゲ・クッタ法などの数値計算によって経過時間 $t + 1$ の状態を計算する。ここでは 4 次のルンゲ・クッタ法を数値計算例に挙げたが、運動方程式の数値解法はこの限りではない。

20

これにより、経過時間 $t + 1$ の解候補は NK 個だけ生成される。

【0145】

続いて、運転曲線作成部 106 は、変数 `current__state` のそれぞれの解候補の速度に対して、加速限界曲線と減速限界曲線および位置による速度制限より小さい値であるかをチェックし、小さいもののみ変数 `middle__state` に保存し、変数 `current__state` はメモリから解放（クリア）する（ステップ S603）。

【0146】

運転曲線作成部 106 は、変数 `middle__state` の位置に対して、降順（大きい順）でソートし、上位 K 個を変数 `previous__state` に保存し、変数 `middle__state` をメモリから解放（クリア）する（ステップ S604）。

30

【0147】

ここで、上位 K 個を残すのは、解候補がなくなることを防止するためである。 K の値は大きいほど、解候補がなくなる可能性が低くなる。しかしながら K の値が、大きすぎると計算時間が大きくなるため、実用的には $K = 20$ 程度でよいと考えられる。

そこで、以下の説明においては、 $K = 20$ として考える。

【0148】

さらに運転曲線作成部 106 は、減速限界曲線と同様に、終端条件に許容幅を持たせた条件が成り立つまで（ステップ S605；Yes）繰り返し、その条件を満たす解候補が出た経過時間 t に対して $t + 1$ を最短走行時分とする（ステップ S607）。

ステップ S605 の判別において条件を満たさない場合は（ステップ S605；No）、経過時間 t に 1 を加算して（インクリメントして）（ステップ S606）、処理を再びステップ S602 に移行し、以下同様の処理を繰り返す。

40

【0149】

次に省エネ運転曲線の作成処理について説明する。

図 12 は、省エネ運転曲線の作成処理の処理フローチャートである。

まず、運転曲線作成部 106 は、走行時間 T の省エネ運転曲線を作成する（ステップ S103）。

このため、運転曲線作成部 106 は、上述した最短時間運転曲線の結果を上限值に、最短時間運転曲線の結果を時間方向に走行時間 T だけ移動したものを下限値としてセットする（ステップ S700）。

50

まず、運転曲線作成部 106 は、出発駅の初期条件として経過時間 $t = 0$ 、速度 $v = 0$ 、位置 $x = 0$ を変数 `previous__state` に設定する (ステップ S701)。

【0150】

次に運転曲線作成部 106 は、経過時間 $t + 1$ の解候補それぞれに対して、すべてのノッチでの運動方程式 (微分方程式) を解き経過時間 t の解候補を (経過時間 t の解候補個数) \times (ノッチ選択数) 個作成し、その解候補を変数 `current__state` として保存し、変数 `previous__state` をメモリから解放 (クリア) する (ステップ S702)。

【0151】

続いて、運転曲線作成部 106 は、変数 `current__state` の中で解の条件 (位置、速度、ノッチ切替回数、ノッチ継続時間) を満たすものを変数 `middle__state` に保存し、変数 `current__state` はメモリから解放 (クリア) する (ステップ S703)。

10

【0152】

運転曲線作成部 106 は、経過時間 $t + 1$ における変数 `middle__state` を状態 (量子化した位置、量子化した速度、ノッチ切替回数) でソートする。そして同じ状態とみなしている状態で最も累積エネルギー消費量が小さいものを解候補の一つとして選択し、変数 `previous__state` に保存し、変数 `middle__state` をメモリから解放 (クリア) する (ステップ S704)。

【0153】

次に運転曲線作成部 106 は、経過時間 $t =$ 走行時間 T であるか否かを判別する (ステップ S705)。

20

ステップ S705 の判別において、未だ経過時間 $t <$ 走行時間 T である場合には (ステップ S705 ; No)、運転曲線作成部 106 は、経過時間 t に 1 を加算して (インクリメントして: ステップ S706)、処理を再びステップ S702 に移行し、以下同様の処理を繰り返す。

【0154】

ステップ S705 の判別において、経過時間 $t =$ 走行時間 T である場合には (ステップ S705 ; Yes)、運転曲線作成部 106 は、変数 `previous__state` に保存されている解候補のうち、最も累積エネルギー消費量が小さいものを最適解として選択する (ステップ S707)。

30

【0155】

次に解候補をチェックする条件について詳細に説明する。

簡単化のため、ここではある駅間を走行時間 $T_{min} + 10$ で走行した場合の運転曲線を算出することを例に挙げて、説明する。ここで最短走行時間 T_{min} は、その駅間を最短で走行した場合の走行時間 (最短走行時間) である。

最短走行時間 T_{min} に対して 10 秒長い走行時間 $T_{min} + 10$ で駅間を走行することを考える。

【0156】

図 13 は、横軸に時刻、縦軸に列車の位置をとった ($x - t$) グラフである。

40

上のグラフは、最短走行時間 T_{min} で走行した場合の位置 x と経過時間 t との関係を表しており、下のグラフは、出発駅で 10 秒待機してから最短走行時間 T_{min} で走行した場合の位置 x と経過時間 t との関係を表している。

【0157】

ここで、最短走行時間 T_{min} は、車両の性能を最大限に活用して走行したものであり、同じ車両特性であるならば、それ以上は早く走れないことを表している。

つまり、車両特性が決まれば、最短走行時間 T_{min} が一意に求まる。

したがって、ある時刻において、下のグラフよりも位置 x が出発駅に近い場合には、走行時間 $T_{min} + 10$ では、到着駅 (次駅) に到着できないことを表している。

【0158】

50

ゆえに、次のことが言える。

ある駅間を走行時間 $T_{min} + 10$ で走行する時、その駅間で最短走行時間 T_{min} で走行する場合の経過時間 t における位置を $Upper[t]$ 、最短走行時間での $(t, Upper[t])$ を時間軸方向に 10 秒だけ平行移動したグラフを $(t, Lower[t])$ とする。ただし、 $t < 10$ では $Lower[t] = 0$ とする。

【0159】

走行時間 $T_{min} + 10$ でのエネルギー消費量が最小になる解の軌道を $(t, v(t), x(t))$ とすれば、

$$Lower[t] \leq x(t) \leq Upper[t]$$

が成り立つ。

ここで、 $t : 0, 1, 2, \dots, T_{min} + 10$ である。

【0160】

図 14 は、速度条件の説明図である。

一般に鉄道業界においては、このグラフを運転曲線と呼ぶ。ここで $(v-x)$ グラフにおいて、走行時間 T に対応する位置 x における速度 V を $V_T[x]$ と書くことにする。すると、先行研究の結果からは次の特性があることがわかっている。

$$0 \leq V_T[x] \leq V_{T_{min}}[x]$$

ここで、 $0 \leq x \leq X$ である。

【0161】

つまり、 $(v-x)$ グラフで見た場合には、走行時間 T の運転曲線は最短時間運転曲線よりも内側に存在する。

ただし、最短時間運転曲線の結果も離散経過時間 t における列車の速度、位置しかわかっておらず、 $V_{T_{min}}[x]$ と同様に算出することは難しい。

【0162】

そこで上述した $V_T[x]$ と $V_{T_{min}}[x]$ との関係式の代わりに、次の式を用いる。まず、走行時間 T_{min} の最適運転曲線に対して、経過時間 t における速度、および位置をそれぞれ $V_{T_{min}}(t)$ 、 $X_{T_{min}}(t)$ とする。経過時間 t における解候補 $(t, v(t), x(t))$ に対して、 $X_{T_{min}}(t-1) < x(t) < X_{T_{min}}(t)$ を満たす t (自然数) を見つける。見つけた t に対して、以下の式が成り立つかを判定する。

【0163】

【数 1】

$$0 \leq v(t) \leq \frac{V_{T_{min}}(\alpha) - V_{T_{min}}(\alpha-1)}{X_{T_{min}}(\alpha) - X_{T_{min}}(\alpha-1)} \times (x(t) - X_{T_{min}}(\alpha-1)) + V_{T_{min}}(\alpha-1)$$

【0164】

これは位置による速度の上限を与える走行時間 T_{min} の結果を用いて、 $V_{T_{min}}(x)$ を線形補間して近似したものである。

【0165】

ところで、単純に上述した方法で運転曲線を求めた場合には、累積エネルギー消費量が少ない運転曲線を生成することとなるため、必ずしも運転手にとって操作性が良い運転曲線を生成するとは限らない。

例えば、生成される運転曲線に沿って車両の運転を行うためには、各時刻で細かくノッチを操作しなければならない可能性があり、実用的ではない可能性がある。

【0166】

そこで、本実施形態では、解候補の選択条件として、その時刻までのノッチ切替回数をカウントして、一定値以上ならば解候補から除くようにしている。例えば、ある駅間の走行に対して次の駅に到着するまではノッチの切替回数を 10 回までとするならば、ノッチ切替回数を記憶する変数 `current_state[i].change_count`

10

20

30

40

50

10の条件を満たす変数 $current_state[i]$ のみ変数 $middle_state$ に保存する。

【0167】

また、ノッチ切替回数と同様、ノッチ継続条件は短い時間間隔でノッチを切り替えないための条件である。ノッチ継続条件を5秒以上とするならば、ノッチ継続時間を格納する変数 $current_state[i].notch_continuous_time$

5の条件を満たす変数 $current_state[i]$ のみ変数 $middle_state$ に保存する。

【0168】

このため、上述したステップS703では、すべての解候補に対して、位置条件、速度条件、ノッチ切替回数条件、ノッチ継続時間条件を用いて判定を行い、これら条件を満たすものだけを変数 $middle_state$ に保存するようにしているのである。

さらにステップS704では、ステップS703でそれぞれの条件を満たす解候補が保存してある変数 $middle_state$ の中で経過時間 $t+1$ における状態 $(t, v(t), x(t))$ を速度と位置に関して量子化し、量子化された速度と位置、ノッチ切替回数、ノッチ継続時間が同じものをグルーピングし、グルーピングした中でその中で最も累積エネルギー消費量が小さいものだけを解候補として残していた。

また、本実施形態においては、瞬時のエネルギー消費量に関しても上限値を超えないようにノッチを選択するといった拡張も容易に行える。

【0169】

ここで、量子化処理についてより詳細に説明する。

図15は、量子化処理の説明図である。

位置と速度は連続値のため、量子化をするためには、例えば位置に関しては $1[m]$ 、速度に対しても $0.1[m/sec]$ といった一定幅によって値を量子化したり、位置に関しては時刻 t における上限値 $Upper[t]$ と下限値 $Lower[t]$ が定まるため、 $Upper[t]$ と $Lower[t]$ を N 分割することで量子化したりする方法がある。ここでは位置と速度は一定幅に量子化することを前提にして、以降説明を行う。

【0170】

本実施形態においては、位置条件、速度条件、ノッチ切替回数条件、ノッチ継続時間条件の4つを使うため、4つの軸で解候補の状態を定義しているが、4次元以上の状態を图示しにくいいため、ここでは位置条件、速度条件、ノッチ切替回数条件の3つで説明する。

【0171】

ある経過時間 t における解候補を枝刈り操作した結果が図15(a)に示すような状態であったとする。

量子化処理は $(v(t), x(t), n(t))$ 空間上を、図15(a)に示すように、格子状(矩形状)に分割し、同じ領域内は同じ状態(条件)とみなす。ここで $n(t)$ は経過時間 t におけるノッチ切替回数とする。

【0172】

そして、同じ領域に複数の解候補が存在するならば、同一領域内で最も累積エネルギー消費量が小さいもの1つだけを解候補として残すのである。この結果、より多くを枝刈りすることが可能となり、より処理時間を短縮することができる。

図15(b)中、黒点は各領域内で解候補として残ったものを表す。

【0173】

ステップS705では、運転曲線作成部106は、経過時間 t が走行時間 T に一致するかを判定し、一致しなければ(ステップS705; No)、ステップS706に進み、経過時間 t をインクリメントし、再び処理をステップS702に移行している。

【0174】

ステップS705において、経過時間 t と走行時間 T が一致したならば(ステップS705; Yes)、運転曲線作成部106は、解候補の中から最も累積エネルギー消費量が小さいものを最適解として選択する(ステップS707)。

10

20

30

40

50

【0175】

そして、ステップS707の処理において、最終的に累積エネルギー消費量が小さいものを選ぶには、累積エネルギー消費量を昇順（小さい順）にソートし、その中から選ばばよい。

また、終了時点で解候補が複数ある場合には、運転曲線作成部106は、累積エネルギー消費量 + penalty (v , x) が最も小さい解を最適解とする。

【0176】

ここで penalty (v (T) , x (T)) は、経過時間 t おける状態 (T , v (T) , x (T)) と終端状態 (T , 0 , X) との誤差のペナルティを表す。一般に運動方程式で速度と位置を算出する場合には、浮動小数点型の変数を用いるために、速度と位置は完全に終端状態と一致することはほとんどない。そのため、関数 penalty (v (T) , x (T)) を用意して、誤差を含めて累積エネルギー消費量を評価する。

10

【0177】

penalty (v (T) , x (T)) の決め方は非特許文献1と同様に次式を採用している。

【0178】

【数2】

$$\text{penalty}(v(T),x(T))=\{v(T)\}^2+\{x(T)-X\}^2$$

【0179】

上述した手順により、運転曲線作成部106で自列車TR1の省エネ運転曲線が作成できたならば、運転曲線作成部106は、走行時間Tの省エネ運転曲線の結果を運転曲線作成結果記憶部としての図示しないハードディスクドライブ、半導体メモリ装置等に記憶する（ステップS104）。

20

これにより、運転情報抽出部107は、作成した省エネ運転曲線を用いて各閉塞進入地点での速度制限値を抽出し、抽出した速度制限値を信号機に通信する。

【0180】

図16は、速度制限値の設定例の説明図である。

図16の例においては、2000m地点での速度制限値 = 110 km/h、3000m地点での速度制限値 = 100 km/h、4000m地点での速度制限値 = 90 km/hとされ、前方駅ST0に向かうに従って、徐々に速度制限値が低くなるようにされており、安全かつ省エネで、よりダイヤに沿った運行が行える。

30

【0181】

以上の説明のように、本実施形態によれば、実運行時に発生する遅延に対して遅延を回復させる運行をすると同時に、先行列車の遅延に対しては、先行列車の位置によって決まる停止信号によって自列車TR1が停止する無駄な減速を行うことを防止することによる省エネが図れる。

【0182】

また、後続列車の遅延に対しては時隔が広がることによる後続列車の乗車人数が増加することによるさらなる遅延の増加の抑制及び出発時刻を遅らせることによる自列車TR1の遅延防止の両立が図れる。

40

【0183】

本実施形態の列車運行制御装置は、CPUなどの制御装置と、ROM (Read Only Memory) やRAMなどの記憶装置と、HDD、CDドライブ装置などの外部記憶装置と、ディスプレイ装置などの表示装置と、キーボードやマウスなどの入力装置を備えており、通常のコンピュータを利用したハードウェア構成とすることが可能である。

【0184】

本実施形態の列車運行制御装置で実行される制御プログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、フレキシブルディスク (FD)、CD-R、DVD (Digital Versatile Disk) 等のコンピュータで読

50

み取り可能な記録媒体に記録されて提供される。

【 0 1 8 5 】

また、本実施形態の列車運行制御装置で実行される制御プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成しても良い。また、本実施形態の列車運行制御装置で実行される制御プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供または配布するように構成しても良い。

また、本実施形態の列車運行制御装置の制御プログラムを、ROM等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

【 0 1 8 6 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

10

【 符号の説明 】

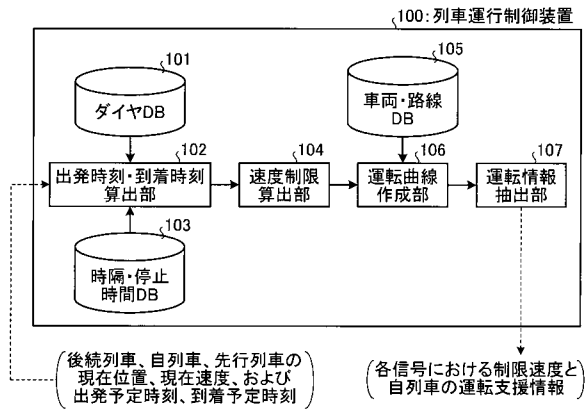
【 0 1 8 7 】

- 1 0 0 列車運行制御装置
- 1 0 1 ダイヤデータベース (D B)
- 1 0 2 出発時刻・到着時刻算出部
- 1 0 4 速度制限算出部
- 1 0 5 車両・路線データベース (D B)
- 1 0 6 運転曲線作成部
- 1 0 7 運転情報抽出部
- C A 1 第 1 閉塞区間
- C A 2 第 2 閉塞区間
- C A 3 第 3 閉塞区間
- C A 4 第 4 閉塞区間
- S T 0 前方駅 (先行列車の次の出発駅)
- S T 1 現在駅 (自列車の次の出発駅)
- S T 2 後方駅 (後続列車の次の出発駅)
- T R 0 先行列車
- T R 1 自列車
- T R 2 後続列車

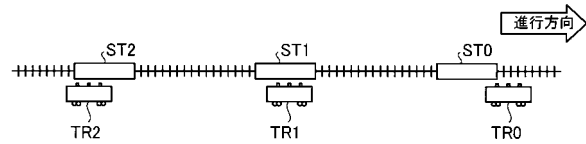
20

30

【 図 1 】



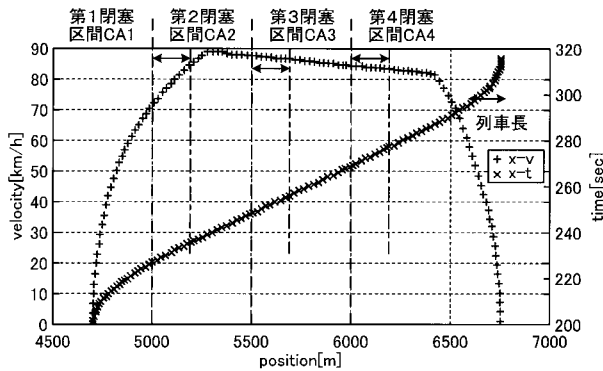
【 図 2 】



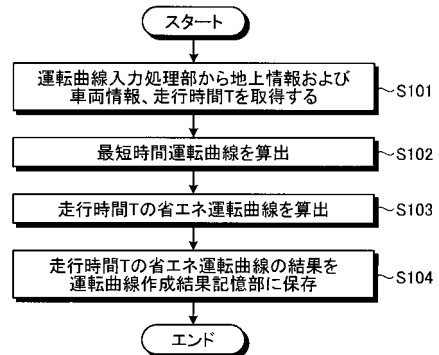
【 図 3 】

ID	後続列車	自列車	先行列車
1	早着、定刻	早着、定刻	早着、定刻
2	遅延	早着、定刻	早着、定刻
3	早着、定刻	遅延	早着、定刻
4	早着、定刻	早着、定刻	遅延
5	遅延	遅延	早着、定刻
6	遅延	早着、定刻	遅延
7	早着、定刻	遅延	遅延
8	遅延	遅延	遅延

【 図 4 】



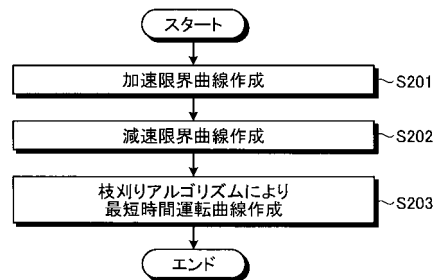
【 図 6 】



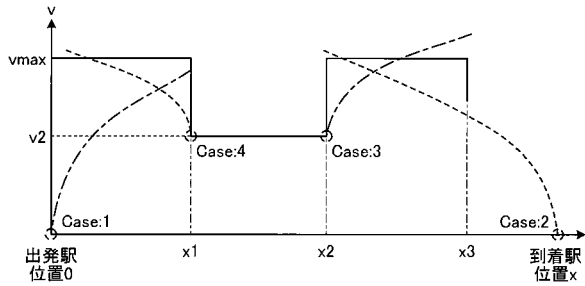
【 図 5 】

開始時刻	終了時刻	閉塞区間1	閉塞区間2	閉塞区間3	閉塞区間4
200	245	0			
245	265	30	0		
265	284	60	30	0	
284	...	90	60	30	0

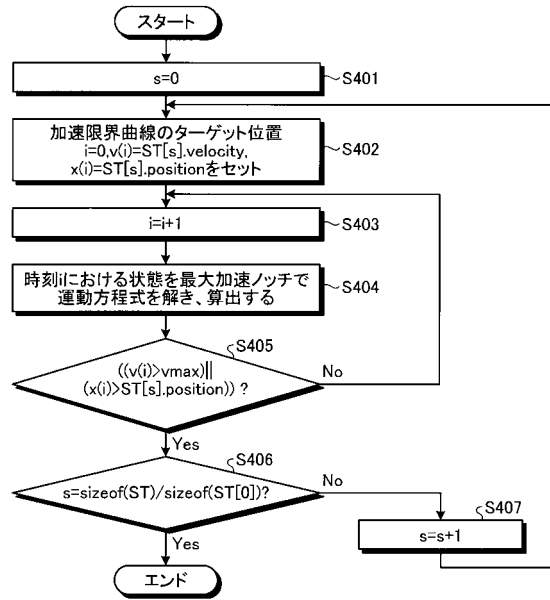
【 図 7 】



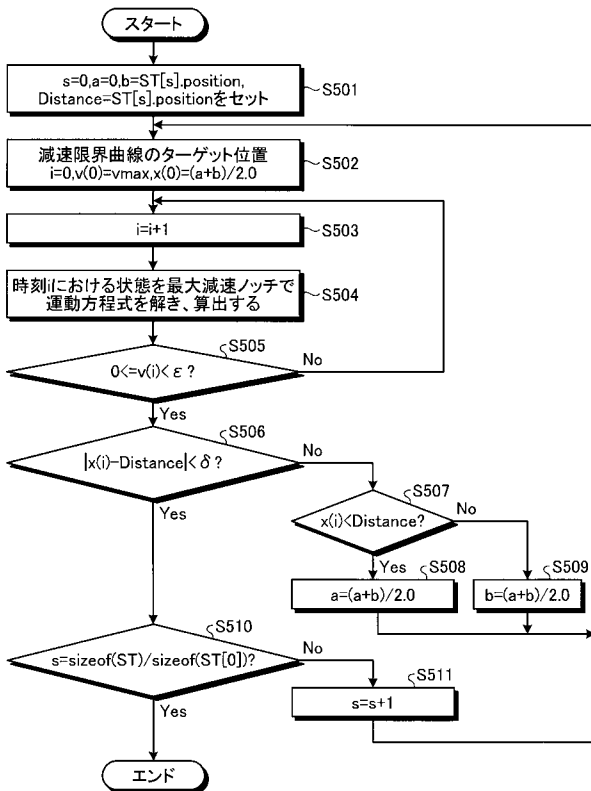
【 図 8 】



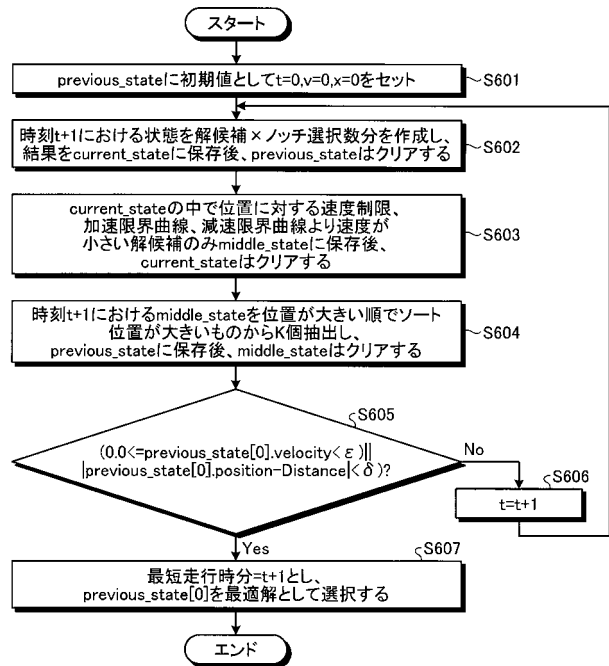
【 図 9 】



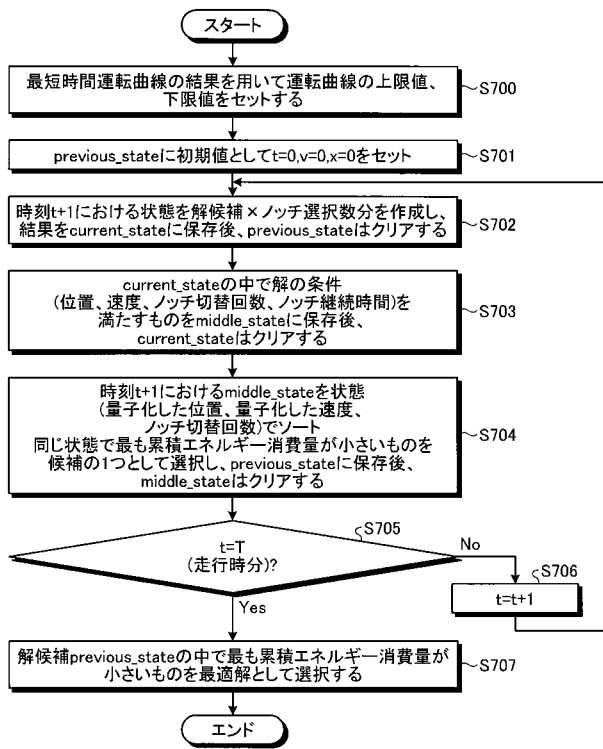
【 図 10 】



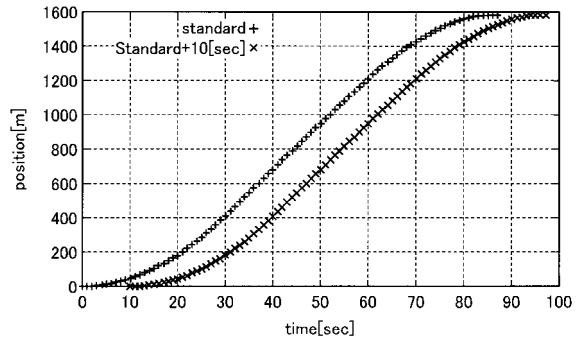
【 図 11 】



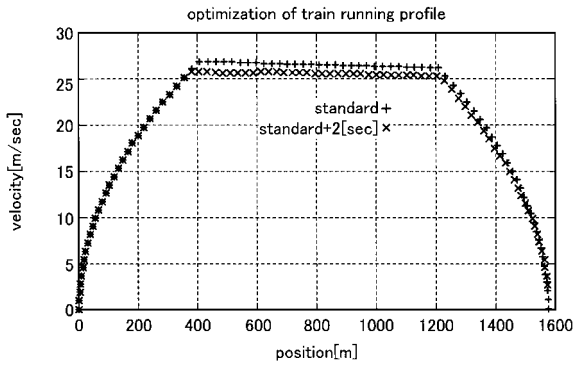
【 図 1 2 】



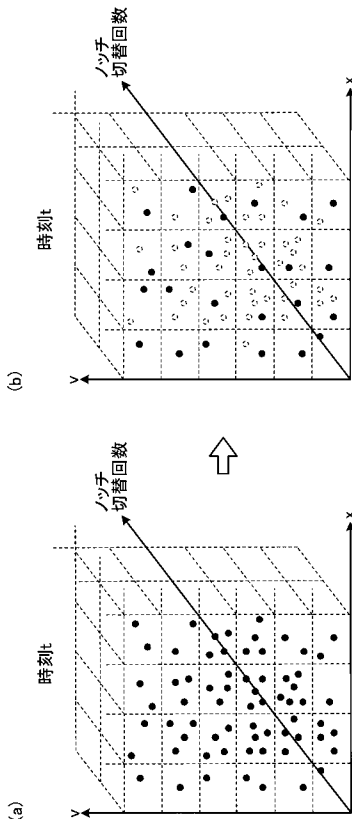
【 図 1 3 】



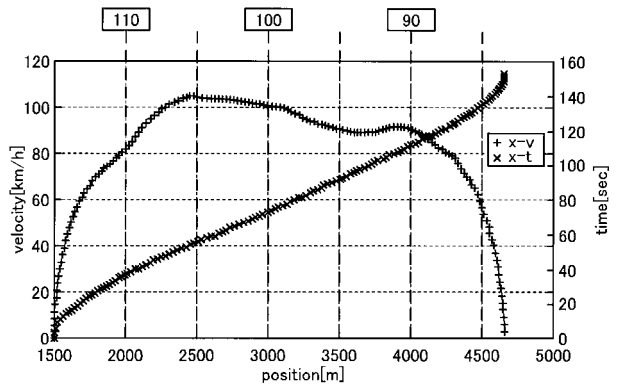
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 小池 修
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 田嶋 真大
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- Fターム(参考) 5H161 AA01 JJ22 JJ23 JJ24 JJ27 JJ40