

明 細 書

発明の名称：

目標速度決定装置、目標速度決定方法及びプログラム、並びに、車両制御装置及び車両

技術分野

[0001] 本発明は、現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置、目標速度決定方法及びプログラム、並びに、目標速度決定装置が決定した目標速度に基づいて制御を行う車両制御装置及び車両に関する。

本願は、2013年2月15日に、日本に出願された特願2013-028355号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、交通システムの省エネルギー化への要望が強くなっている。特許文献1には、各種制約条件を満たした上で、消費電力を最小化する速度パターン生成手法が開示されている。速度パターンとは、時刻にブレーキのオン／オフ、力行のオン／オフを関連付けた情報のことである。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開平5-193502号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 車両の加速特性は、車両の乗客の人数や天候によって変化する。そのため、特許文献1に開示された技術によって決定された速度パターンで車両を走行させる場合、所定の各区間を必ずしも同じ時間で走行できるとは限らない。

本発明の目的は、各区間を同じ時間で走行でき、かつ消費電力を小さくす

ることができる目標速度決定装置、目標速度決定方法及びプログラム、並びに、車両制御装置及び車両を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0005] 本発明の第1の態様は、現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置である。第1の態様の目標速度決定装置は、消費電力算出部と、目標速度変更部と、評価値算出部と、目標速度決定部とを備える。消費電力算出部は、線路の複数の区間における目標速度を設定する。消費電力算出部は、当該目標速度に基づいて線路を走行した場合の消費電力を算出する。目標速度変更部は、消費電力算出部に設定される複数の区間における目標速度の組み合わせを変更する。評価値算出部は、目標速度の組み合わせごとに、評価関数に基づいて評価値を算出する。評価関数は、消費電力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する関数である。目標速度決定部は、評価値が最も小さくなる目標速度の組み合わせを、車両の各区間における目標速度に決定する。
- [0006] また、本発明の第2の態様は、感度算出部を備える第1の態様の目標速度決定装置である。感度算出部は、複数の区間について、目標速度の変化量に対する評価値の変化量の大きさを示す感度を算出する。当該評価値は、評価値算出部が算出した評価値である。目標速度変更部は、消費電力算出部が前回の消費電力の算出に用いた各区間の目標速度それぞれを、感度算出部が算出した当該区間の感度の高さに応じて増減させる。
- [0007] また、本発明の第3の態様は、ペナルティ値算出部を備える第1または第2の態様の目標速度決定装置である。ペナルティ値算出部は、ペナルティ値を算出する。ペナルティ値は、線路の走行において車両が満たすべき条件との乖離度を示す値である。評価関数は、消費電力に所定の重みを乗じた値とペナルティ値に消費電力の重みより大きい重みを乗じた値の総和をとるものである。
- [0008] また、本発明の第4の態様は、消費電力算出部と、評価値算出部と、目標充電率変更部と、目標充電率決定部とを備える第1から第3の何れかの態様

の目標速度決定装置である。車両は、二次電池を備える。車両は、二次電池の現在の充電率と目標充電率との差分に基づいて当該二次電池の充放電を制御する。消費電力算出部は、複数の区間における目標速度及び目標充電率を設定する。消費電力算出部は、当該目標速度及び目標充電率に基づいて線路を走行した場合の消費電力を算出する。評価値算出部は、目標速度及び目標充電率の組み合わせごとに、評価値を算出する。目標充電率変更部は、消費電力算出部に設定される複数の区間における目標充電率の組み合わせを変更する。目標充電率決定部は、評価値が最も小さくなる前記目標充電率の組み合わせを、車両の各区間における目標充電率に決定する。

[0009] また、本発明の第5の態様は、現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置を用いた目標速度決定方法である。消費電力算出部は、線路の複数の区間における目標速度を設定する。消費電力算出部は、当該目標速度に基づいて前記線路を走行した場合の消費電力を算出する。目標速度変更部は、消費電力算出部に設定される複数の区間における目標速度の組み合わせを変更する。評価値算出部は、目標速度の組み合わせごとに、評価関数に基づいて評価値を算出する。評価関数は、消費電力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する関数である。目標速度決定部は、評価値が最も小さくなる目標速度の組み合わせを、車両の各区間における目標速度に決定する。

[0010] また、本発明の第6の態様は、コンピュータを、消費電力算出部、目標速度変更部、評価値算出部、目標速度決定部として機能させるためのプログラムである。当該コンピュータは、現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置のコンピュータである。消費電力算出部は、線路の複数の区間における目標速度を設定する。消費電力算出部は、当該目標速度に基づいて線路を走行した場合の消費電力を算出する。目標速度変更部は、消費電力算出部に設定される複数の区間における目標速度の組み合わせを変更する。評価値算出部は、目標速度の組み合わせごとに、評価関数に基づいて評価値を算出する。評価関数は、消費電

力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する関数である。目標速度決定部は、評価値が最も小さくなる目標速度の組み合わせを、車両の各区間における目標速度に決定する。

[0011] また、本発明の第7の態様は、第1から第4の何れかの態様の目標速度決定装置が決定した目標速度に基づいて車両の加速度を制御する車両制御装置である。

[0012] また、本発明の第8の態様は、現在の速度と第1から第4の何れかの態様の目標速度決定装置が決定した目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両である。

発明の効果

[0013] 上述した態様によれば、目標速度決定装置は、車両の走行パターンではなく、車両の区間ごとの目標速度を算出する。これにより、天候や乗客数の変化によらず、車両の走行の定時性を確保することができる。また、上述した態様によれば、目標速度決定装置は、各区間の目標速度を、消費電力に所定の重みを乗算して得られる評価値が最も小さくなるような目標速度に決定する。これにより、消費電力を小さくすることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の第1の実施形態に係る車両100の構成を示す概略ブロック図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る目標速度決定装置300の構成を示す概略ブロック図である。

[図3]複数の区間のうち1つの区間の目標速度のみを変更した場合の評価値の変化を示す図である。

[図4]本発明の第1の実施形態に係る目標速度決定装置300の動作を示すフローチャートである。

[図5]本発明の第2の実施形態に係る車両100の構成を示す概略ブロック図である。

[図6]本発明の第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400の構成を示す

概略ブロック図である。

[図7]本発明の第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400の動作を示すフローチャートである。

[図8]本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300の構成を示す概略ブロック図である。

[図9]本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300の動作を示すフローチャートである。

[図10]本発明の第3の実施形態の変形例に係る構成を示す概略ブロック図である。

発明を実施するための形態

[0015] 《第1の実施形態》

以下、図面を参照しながら第1の実施形態について詳しく説明する。

第1の実施形態に係る目標速度決定装置は、車両の目標速度を決定する装置である。目標速度決定装置が決定した目標速度に基づいて走行する車両は、線路を複数の区間（例えば、閉塞区間）に分けたときに、各区間に目標速度を設定する。当該車両は、現在の速度と目標速度との差に基づいて加減速（ノッチの切り替え）を行う。具体的には、車両のATO装置（Automatic Train Operation：自動列車運転）は現在速度が目標速度より所定値以上遅い場合に力行をオンに切り替える。ATO装置は、現在速度と目標速度との差が所定値以下である場合に力行及びブレーキをオフ（惰行）に切り替える。ATO装置は、現在速度が目標速度より所定値以上速い場合にブレーキをオンに切り替える。

[0016] 図1は、本発明の第1の実施形態に係る車両100の構成を示す概略ブロック図である。

車両100は、集電部101、電動機102、補機103、抵抗器104、保安ブレーキ105、放電制御部106、ATO装置200（車両制御装置）を備える。

[0017] 集電部101は、路線に設けられる架線から電気を得る。集電部101は

、電動機１０２及び補機１０３に当該電気を供給する。集電部１０１は、電動機１０２の回生電力のうち、抵抗器１０４で消費されなかった回生電力を架線に供給する。

電動機１０２は、集電部１０１から供給される電気により車両１００を加速させる。電動機１０２は、発電機として作動することで車両１００を減速させる。電動機１０２は、発電した回生電力をＳＩＶ（Static Inverter：静止型インバータ）及び放電制御部１０６に供給する。電動機１０２は、ＶＶＶＦ（Variable Voltage Variable Frequency：可変電圧可変周波数）インバータを介して他の機器と接続されている。

補機１０３は、車両１００に搭載される電動機１０２以外の機器である。補機１０３は、集電部１０１から供給される電力によって動作する。補機１０３の例としては、エアコンディショナなどが挙げられる。なお、補機１０３は、ＳＩＶを介して他の機器と接続されている。

[0018] 抵抗器１０４は、電動機１０２の回生電力を消費する。抵抗器は、回生電力の消費によって、その電圧を架線の許容電圧以下に減圧させる。

保安ブレーキ１０５は、機械ブレーキである。保安ブレーキ１０５は、電動機１０２による回生ブレーキと別個に設けられる。保安ブレーキ１０５は、車両１００の速度が制限速度を超過した場合に駆動する。保安ブレーキ１０５は、駆動により車両１００を減速させる。

放電制御部１０６は、電動機１０２の回生ブレーキによって生じる電力が補機１０３で消費される電力より大きい場合に、電動機１０２の回生電力を抵抗器１０４に供給する。

[0019] ＡＴＯ装置２００は、電動機１０２の回転数から車両１００の速度を算出する。ＡＴＯ装置２００は、算出した速度に基づいて電動機１０２のノッチを制御する。すなわち、ＡＴＯ装置２００は、電動機１０２の回転数から算出された車両１００の速度に基づいて車両１００の加減速を制御する。

ＡＴＯ装置２００は、目標速度記憶部２０１、駅停車時目標速度記憶部２

０２、制限速度記憶部２０３、目標速度選択部２０４、速度算出部２０５、指令値算出部２０６、加減速指令部２０７を備える。

[0020] 目標速度記憶部２０１は、目標速度決定装置が決定した各区分における目標速度を記憶する。

駅停車時目標速度記憶部２０２は、車両１００を駅の所定位置に停車させるための目標速度を記憶する。具体的には、駅手前の一定区分外の目標速度は、許容最大限の速度である。駅手前の一定区分内の目標速度は、距離に対して単調減少するように設定される。すなわち、駅に近づくほど目標速度は減少する。目標速度を適切に設定しておくことで、ＡＴＯ装置２００は、車両１００を確実に駅の所定位置に停車させることができる。なお、駅に停車するまでのロジックはこれに限られず、ＡＴＯ装置２００によって異なるものであっても良い。

制限速度記憶部２０３は、各区分における制限速度を記憶する。例えば、線路のうち勾配やカーブがある区分は制限速度が低く設定される。

[0021] 目標速度選択部２０４は、目標速度記憶部２０１が記憶する目標速度と駅停車時目標速度記憶部２０２が記憶する目標速度のうち値の低いものを、車両１００の制御に用いる目標速度として選択する。

速度算出部２０５は、電動機１０２の回転数に基づいて車両１００の速度を算出する。

指令値算出部２０６は、目標速度選択部２０４が選択した目標速度と速度算出部２０５が算出した速度との差について比例制御をかける。これにより、指令値算出部２０６は、電動機１０２を制御するためのブレーキのオン・オフ及び力行のオン・オフを示すノッチ指令値を算出する。

[0022] 加減速指令部２０７は、速度算出部２０５が算出した速度と制限速度記憶部２０３が記憶する制限速度とに基づいて車両１００を制御する。具体的には、加減速指令部２０７は、速度算出部２０５が算出した速度が制限速度を超える場合に保安ブレーキ１０５を起動させる。加減速指令部２０７は、速度算出部２０５が算出した速度が制限速度以内である場合に、指令値算出部

206が算出したノッチ指令値を電動機102に出力する。

[0023] 上述した車両100の運行に用いる目標速度を決定する目標速度決定装置300について説明する。

図2は、第1の実施形態に係る目標速度決定装置300の構成を示す概略ブロック図である。

[0024] 目標速度決定装置300は、シミュレータ部301、消費電力算出部302、ペナルティ値算出部303、評価値算出部304、評価情報記録部305、評価情報記憶部306、感度算出部307、目標速度変更部308、目標速度決定部309を備える。

[0025] シミュレータ部301は、線路データ及び車両データ、並びに各区間の目標速度に基づいて車両100の走行をシミュレートする。線路データ及び車両データは、予め入力されたデータである。各区間の目標速度は、目標速度変更部308から入力されるデータである。線路データには、駅の位置、駅間走行時間、区間ごとの制限速度、線路のカーブ及び勾配などの情報が含まれる。車両データには、編成数、車両重量、乗車定員などの情報が含まれる。また、シミュレータ部301は、シミュレーションの結果として時刻ごとに、車両100の消費電力、車両100が駅に到着したか否か、車両100の座標、ノッチパターン、車両100の速度を出力する。

[0026] 消費電力算出部302は、車両100が線路の走行に要した総消費電力を算出する。消費電力算出部302は、シミュレータ部301によるシミュレーションの結果に基づいて、総消費電力を算出する。

ペナルティ値算出部303は、ペナルティ値を算出する。ペナルティ値とは、シミュレータ部301によるシミュレーションの結果と線路の走行において車両100が満たすべき条件との乖離度を示す値である。線路の走行において車両100が満たすべき条件としては、例えば、ジャークリミット、駅の到着時刻、駅の到着座標、制限速度などが挙げられる。なお、ジャークリミットとは、車両100のジャーク値（加速度の時間変化率、加加速度）の上限を示す。車両100のジャーク値が高いほど乗り心地が悪くなること

が知られている。本実施形態においてペナルティ値算出部303は、車両100の乗り心地、到着時刻、到着座標、及び制限速度について、それぞれペナルティ値を算出する。なお、本実施形態では、ペナルティ値算出部303は、制限値からの超過幅の二乗を、ペナルティ値として算出する。本発明の実施形態はこれに限られず、例えば、ペナルティ値算出部303は、制限値からの超過幅の四乗によりペナルティ値を算出しても良い。つまり、ペナルティ値算出部303は、超過幅が大きいほどペナルティ値が大きくなるように、ペナルティ値を算出する。

[0027] 評価値算出部304は、評価関数に基づいて、目標速度の適正度を示す評価値を算出する。評価関数は、消費電力算出部302が算出した消費電力及びペナルティ値算出部303が算出したペナルティ値にそれぞれ所定の係数を乗算した値の総和を求める関数である。評価関数において、ペナルティ値に掛かる係数は、消費電力に掛かる係数より十分に大きい値とする。例えば、ペナルティ値に係る係数は、桁あふれが生じない程度の値にすることが好ましい。これにより、線路の走行において車両100が満たすべき条件を満たさない場合に評価値が高い値となる。なお、評価値はその値が低いほど目標速度が適正であることを示す。

[0028] 図3は、複数の区間のうち1つの区間の目標速度のみを変更した場合の評価値の変化を示す図である。

図3では、ある区間の目標速度をV1以下としてシミュレーションを行った場合に、車両100が定刻に駅に到着しないというシミュレーション結果が出た例を示している。この場合、ペナルティ値算出部303は、予め定められた到着時刻とシミュレーション結果の到着時刻との差の時間の二乗に、所定の係数を乗じた値をペナルティ値として算出する。これにより、目標速度がV1より小さくなるほど評価値は高い値となる。

また、図3では、ある区間の目標速度をV2以上としてシミュレーションを行った場合に、車両100の速度が制限速度を超えるというシミュレーション結果が出た例を示している。この場合、ペナルティ値算出部303は、

予め定められた制限速度とシミュレーション結果の速度との差の二乗に、所定の係数を乗じた値をペナルティ値として算出する。これにより、目標速度が V_2 より大きくなるほど評価値は高い値となる。

また、ペナルティ値に乗算される係数は、上述したように消費電力に掛かる係数より十分に大きい値である。これにより、目標速度決定装置300は、評価値が低い値となる目標速度を選択することで、線路の走行において車両100が満たすべき条件を満たした上で、消費電力が小さくなる目標速度を特定することができる。

[0029] 評価情報記録部305は、評価値と各区間の目標速度とを関連付けて評価情報記憶部306に記録する。当該評価値は、評価値算出部304が算出した評価値である。各区間の目標速度は、シミュレータ部301がシミュレーションに使用した目標速度である。

評価情報記憶部306は、過去に算出された評価値と当該評価値を得たときの各区間の目標速度とを関連付けて記憶する。

[0030] 感度算出部307は、線路の複数の区間について、目標速度の変化量に対する評価値の変化量の大きさを示す感度を算出する。感度算出部307は、評価値算出部304が算出した評価値と各区間の目標速度とに基づいて感度を算出する。感度算出部307は、各区間の目標速度を独立変数とし評価値を従属変数とする式を偏微分し、その傾きを調べることにより感度を算出する。

[0031] 目標速度変更部308は、各区間の目標速度それぞれを、感度算出部307が算出した各区間の感度に応じて増減させる。各区間の目標速度とは、シミュレータ部301が前回のシミュレーションに用いた目標速度である。具体的には、目標速度変更部308は、感度が高い区間ほど目標速度の変化度を大きくする。目標速度変更部308は、感度が低い区間ほど目標速度の変化度を小さくする。

[0032] 目標速度決定部309は、評価情報記憶部306が記憶する評価値の最小値が収束したか否かを判定する。目標速度決定部309は、評価値の最小値

が収束したと判定した場合に、最小の評価値に関連付けられた各区間の目標速度を、車両 100 の走行に用いる目標速度に決定する。

[0033] 次に、第 1 の実施形態に係る目標速度決定装置 300 の動作について説明する。

図 4 は、第 1 の実施形態に係る目標速度決定装置 300 の動作を示すフローチャートである。

まず、目標速度決定装置 300 のシミュレータ部 301 は、各区間の目標速度の初期値を用いて、車両 100 の走行をシミュレートする（ステップ S1）。次に、消費電力算出部 302 は、車両 100 が目標速度に基づいて線路を走行した場合の消費電力を算出する（ステップ S2）。消費電力算出部 302 は、シミュレータ部 301 によるシミュレーション結果から、各時刻における消費電力値の総和を算出することで、当該消費電力を算出する。

[0034] また、ペナルティ値算出部 303 は、シミュレータ部 301 によるシミュレーション結果から、ペナルティ値を算出する（ステップ S3）。ペナルティ値算出部 303 は、車両 100 の乗り心地、到着時刻、到着座標、及び制限速度について、それぞれペナルティ値を算出する。具体的には、ペナルティ値算出部 303 は、シミュレーション結果におけるノッチ時間変化量が、予め定められた最低限の乗り心地を得るためのノッチ時間変化量より大きい場合に、その差の二乗を乗り心地のペナルティ値として算出する。また、ペナルティ値算出部 303 は、シミュレーション結果における駅への到着時刻が、予め定められた到着時刻より遅い場合に、その差の二乗を到着時刻のペナルティ値として算出する。また、ペナルティ値算出部 303 は、シミュレーション結果における駅の到着座標と予め定められた到着座標との差の二乗を到着座標のペナルティ値として算出する。また、ペナルティ値算出部 303 は、シミュレーション結果における車両 100 の速度が、予め定められた制限速度より速い場合に、その差の二乗を制限速度のペナルティ値として算出する。

[0035] 次に、評価値算出部 304 は、消費電力算出部 302 が算出した消費電力

とペナルティ値算出部303が算出した各ペナルティ値とを、所定の評価関数に代入することで、評価値を算出する（ステップS4）。評価関数は、消費電力及び各ペナルティ値のそれぞれに所定の係数を乗算した値の総和をとる関数である。上述したように、ペナルティ値の係数は消費電力の係数より大きく、桁あふれが生じない程度の値である。

[0036] 次に、評価情報記録部305は、評価値算出部304が算出した評価値と、シミュレータ部301がシミュレーションに用いた目標速度の組み合わせとを、関連付けて評価情報記憶部306に記録する（ステップS5）。次に、目標速度決定部309は、評価情報記憶部306が記憶する評価値に基づいて、評価値の最小値が収束したか否を判定する（ステップS6）。本実施形態では、収束計算の手法としては、内点法を用いる。これに限られず、他の実施形態では、目標速度決定部309は、例えば最後に算出された所定数の評価値の偏差が所定値以内である場合に、収束したと判定しても良い。

[0037] 目標速度決定部309が、評価値の最小値が収束していないと判定した場合（ステップS6：NO）、感度算出部307は、各区間における評価値に対する感度を算出する（ステップS7）。感度算出部は、評価情報記憶部306が記憶する評価値と各区間の目標速度に基づいて、感度を算出する。具体的には、感度算出部307は、所定の関数について偏微分を行うことで、各区間について感度を算出する。当該関数は、各区間の目標速度を独立変数とし、評価値を従属変数とする関数である。なお、本実施形態では、感度計算の手法としては、アジョイント法を用いる。

[0038] 次に、目標速度変更部308は、シミュレータ部301が前回のシミュレーションに用いた各区間の目標速度を変更する（ステップS8）。目標速度変更部308は、感度算出部307が算出した感度に基づいて、目標速度を変更する。具体的には、目標速度変更部308は、感度が高い区間の目標速度の値を相対的に大きく変化させる。目標速度変更部308は、感度が低い区間の目標速度の値を相対的に小さく変化させる。本実施形態では、目標速度の変更方法としては、準ニュートン法を用いる。

そして、ステップＳ１に戻り、変更後の目標速度を用いて車両１００の走行のシミュレーションを行う。

[0039] 他方、目標速度決定部３０９がステップＳ６において、評価値の最小値が収束したと判定した場合（ステップＳ６：ＹＥＳ）、目標速度決定部３０９は、車両１００の運行に用いる目標速度を決定する（ステップＳ９）。目標速度決定部３０９は、評価情報記憶部３０６が記憶する最小の評価値に関連付けられた目標速度を、車両１００の運行に用いる目標速度を決定する。

[0040] これにより、目標速度決定装置３００は、線路の走行において車両１００が満たすべき条件を満たしつつ、最も省エネルギーとなる目標速度の組み合わせを得ることができる。また、目標速度決定装置３００は、天候や乗客数の変化に依らず、運行の定時性を確保することができる。これは、目標速度決定装置３００が、最適なノッチパターンではなく、最適な目標速度を算出し、車両１００を当該目標速度に基づいて走行させるためである。

[0041] 《第２の実施形態》

次に、図面を参照しながら本発明の第２の実施形態について詳しく説明する。

本発明の第２の実施形態として、車両に搭載される二次電池の目標充電率を算出する目標充電率決定装置について説明する。第２の実施形態に係る目標充電率決定装置は、第１の実施形態に係る目標速度決定装置３００と異なる構成の車両１００の目標速度を決定する。

[0042] 図５は、本発明の第２の実施形態に係る車両１００の構成を示す概略ブロック図である。ここで、第１の実施形態に係る車両１００と同じ構成については、同じ符号を用いて説明する。

車両１００は、第１の実施形態に係る車両１００の構成に加えて、ＤＣＤＣコンバータ１０７、二次電池１０８、目標充電率記憶部１０９、充放電電力算出部１１０を備える。

ＤＣＤＣコンバータ１０７は、集電部１０１が電動機１０２、補機１０３、二次電池１０８に供給する電力量を制御する。

二次電池１０８は、集電部１０１が供給する電気及び電動機１０２が生成した電気を充電する。二次電池１０８は、充電した電気を放電して電動機１０２及び補機１０３に供給する。

目標充電率記憶部１０９は、目標充電率決定装置が算出した線路の各区分における二次電池１０８の目標充電率を記憶する。

充放電電力算出部１１０は、二次電池１０８の充電率と目標充電率記憶部１０９が記憶する目標充電率との差について比例制御をかける。これにより、充放電電力算出部１１０は、二次電池１０８の充放電に要する電力を算出する。

[0043] 第２の実施形態に係る車両１００の放電制御部１０６は、ＤＣＤＣコンバータ１０７に出力させる電力と二次電池１０８に充放電させる電力を算出する。放電制御部１０６は、充放電電力が算出した充放電電力、ＤＣＤＣコンバータ１０７の電力制限値、並びに電動機１０２及び補機１０３が要する電力に基づいてＤＣＤＣコンバータ１０７に出力させる電力と二次電池１０８に充放電させる電力を算出する。

[0044] 次に、上述した車両１００の運行に用いる二次電池１０８の目標充電率を決定する目標充電率決定装置４００について説明する。

図６は、本発明の第２の実施形態に係る目標充電率決定装置４００の構成を示す概略ブロック図である。ここで、第１の実施形態に係る目標速度決定装置３００と同じ処理部については、同じ符号を用いて説明する。

[0045] 目標充電率決定装置４００は、シミュレータ部３０１、消費電力算出部３０２、ペナルティ値算出部３０３、評価値算出部３０４、評価情報記録部３０５、評価情報記憶部３０６、感度算出部３０７、目標充電率変更部３１０、目標充電率決定部３１１を備える。

[0046] シミュレータ部３０１は、線路データ、車両データ及び各区分の目標速度、並びに各区分の目標充電率に基づいて、車両１００の走行をシミュレートする。

線路データ、車両データ及び各区分の目標速度は、予め入力されたデータで

ある。各区間の目標充電率は、目標充電率変更部 310 から入力されるデータである。つまり、第 2 の実施形態に係るシミュレータ部 301 においては、同じ目標速度を用いて車両 100 の走行をシミュレートする。

[0047] 消費電力算出部 302 は、シミュレータ部 301 によるシミュレーションの結果に基づいて、車両 100 が線路の走行に要した総消費電力を算出する。

ペナルティ値算出部 303 は、ペナルティ値を算出する。ペナルティ値は、シミュレータ部 301 によるシミュレーションの結果と線路の走行において車両 100 が満たすべき条件との乖離度を示す値である。第 2 の実施形態に係るペナルティ値算出部 303 は、第 1 の実施形態に係るペナルティ値算出部 303 が算出するペナルティ値に加えて、充電率の時間変化、充電率の運用範囲、及び駅到着時の充電率についてのペナルティ値も算出する。充電率の時間変化のペナルティ値は、二次電池 108 の充電率の変化が過大となって二次電池 108 が劣化することを防ぐために設けられる。充電率の運用範囲のペナルティ値は、二次電池 108 の充電率が運用範囲を超えて二次電池 108 が劣化することを防ぐために設けられる。駅到着時の充電率のペナルティ値は、車両 100 が駅に到着した後も、当該車両 100 による引き続きの走行ができる程度に二次電池 108 の充電率を保持するために設けられる。

[0048] 評価値算出部 304 は、評価関数に基づいて、目標充電率の適正度を示す評価値を算出する。評価関数は、消費電力算出部 302 が算出した消費電力及びペナルティ値算出部 303 が算出したペナルティ値にそれぞれ所定の係数を乗算した値の総和を求める関数である。

[0049] 評価情報記録部 305 は、評価値算出部 304 が算出した評価値とシミュレータ部 301 がシミュレーションに使用した各区間の目標充電率とを関連付けて評価情報記憶部 306 に記録する。

評価情報記憶部 306 は、過去に算出された評価値と当該評価値を得たときの各区間の目標充電率とを関連付けて記憶する。

[0050] 感度算出部307は、評価値算出部304が算出した評価値と各区間の目標充電率とに基づいて、線路の複数の区間について、目標充電率の変化量に対する評価値の変化量の大きさを示す感度を算出する。

[0051] 目標充電率変更部310は、シミュレータ部301が前回のシミュレーションに用いた各区間の目標充電率それぞれを、感度算出部307が算出した各区間の感度に応じて増減させる。具体的には、感度が高い区間ほど目標充電率の変化度を大きくし、感度が低い区間ほど目標充電率の変化度を小さくする。

[0052] 目標充電率決定部311は、評価情報記憶部306が記憶する評価値の最小値が収束したか否かを判定する。目標充電率決定部311は、評価値の最小値が収束したと判定した場合に、最小の評価値に関連付けられた各区間の目標充電率を、車両100の走行に用いる目標速度に決定する。

[0053] 次に、本発明の第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400の動作について説明する。

図7は、本発明の第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400の動作を示すフローチャートである。

まず、目標充電率決定装置400のシミュレータ部301は、予め定められた各区間の目標速度と、各区間の目標充電率の初期値とを用いて、車両100の走行をシミュレートする（ステップS11）。次に、消費電力算出部302は、シミュレータ部301によるシミュレーション結果から、各時刻における消費電力値の総和を算出する。これにより、消費電力算出部302は、車両100が目標速度に基づいて線路を走行した場合の消費電力を算出する（ステップS12）。

[0054] また、ペナルティ値算出部303は、シミュレータ部301によるシミュレーション結果から、ペナルティ値を算出する（ステップS13）。ペナルティ値算出部303は、車両100の乗り心地、到着時刻、到着座標、制限速度、充電率の時間変化、充電率の運用範囲、及び駅到着時の充電率について、それぞれペナルティ値を算出する。次に、評価値算出部304は、消費

電力算出部 302 が算出した消費電力とペナルティ値算出部 303 が算出した各ペナルティ値とを、所定の評価関数に代入することで、評価値を算出する（ステップ S14）。

[0055] 次に、評価情報記録部 305 は、評価値算出部 304 が算出した評価値と、シミュレータ部 301 がシミュレーションに用いた目標充電率の組み合わせとを、関連付けて評価情報記憶部 306 に記録する（ステップ S15）。次に、目標充電率決定部 311 は、評価値の最小値が収束したか否を判定する（ステップ S16）。目標充電率決定部 311 は、評価情報記憶部 306 が記憶する評価値に基づいて、収束を判定する。

[0056] 目標充電率決定部 311 が、評価値の最小値が収束していないと判定した場合（ステップ S16：NO）、各区分における評価値に対する感度を算出する（ステップ S17）。目標充電率決定部 311 は、感度算出部 307 は、評価情報記憶部 306 が記憶する評価値と各区分の目標充電率に基づいて感度を算出する。具体的には、感度算出部 307 は、所定の関数について偏微分を行うことで、各区分について感度を算出する。当該関数は、各区分の目標充電率を独立変数とし、評価値を従属変数とする関数である。

[0057] 次に、目標充電率変更部 310 は、感度算出部 307 が算出した感度に基づいて、前回シミュレータ部 301 がシミュレーションに用いた各区分の目標充電率を変更する（ステップ S18）。具体的には、感度が高い区分の目標充電率の値を相対的に大きく変化させ、感度が低い区分の目標充電率の値を相対的に小さく変化させる。

そして、ステップ S11 に戻り、変更後の目標充電率を用いて車両 100 の走行のシミュレーションを行う。

[0058] 他方、目標充電率決定部 311 がステップ S16 において、評価値の最小値が収束したと判定した場合（ステップ S16：YES）、目標充電率決定部 311 は、評価情報記憶部 306 が記憶する最小の評価値に関連付けられた目標充電率を、車両 100 の運行に用いる目標充電率に決定する（ステップ S19）。

[0059] これにより、目標充電率決定装置400は、線路の走行において車両100が満たすべき条件を満たしつつ、最も省エネルギーとなる目標充電率の組み合わせを得ることができる。また、第2の実施形態では、目標充電率を最適化しているため、二次電池108の劣化による変化に依らず、二次電池108の安定運用を図ることができる。

[0060] 《第3の実施形態》

次に、図面を参照しながら本発明の第3の実施形態について詳しく説明する。

本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300は、第1の実施形態に係る目標速度決定装置300と第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400とを組み合わせたものである。目標速度決定装置300は、第2の実施形態に係る車両100と同じ構成の車両100について、各区間の目標速度及び目標充電率を算出する。

図8は、本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300の構成を示す概略ブロック図である。第1の実施形態に係る目標速度決定装置300または第2の実施形態に係る目標充電率決定装置400と同じ処理部については、同じ符号を用いて説明する。

[0061] 目標速度決定装置300は、第1の実施形態の構成に加えて、第2の実施形態に係る目標充電率変更部310及び目標充電率決定部311を備える。

[0062] 第3の実施形態において、シミュレータ部301は、目標速度変更部308から入力される各区間の目標速度と目標充電率変更部310から入力される各区間の目標充電率に基づいて、車両100の走行をシミュレートする。評価情報記録部305は、評価値と各区間の目標速度と各区間の目標充電率とを関連付けて評価情報記憶部306に記録する。当該評価値は、評価値算出部304が算出した評価値である。各区間の目標速度は、シミュレータ部301がシミュレーションに使用した目標速度である。評価情報記憶部306は、過去に算出された評価値と当該評価値を得たときの各区間の目標速度及び目標充電率とを関連付けて記憶する。感度算出部307は、線路の複数

の区間の目標速度と目標充電率とについて、目標充電率の変化量に対する評価値の変化量の大きさを示す感度を算出する。感度算出部307は、評価値算出部304が算出した評価値と各区間の目標速度及び目標充電率とに基づいて、感度を算出する。

[0063] 次に、本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300の動作について説明する。

図9は、本発明の第3の実施形態に係る目標速度決定装置300の動作を示すフローチャートである。

まず、目標速度決定装置300のシミュレータ部301は、各区間の目標速度及び目標充電率の初期値を用いて、車両100の走行をシミュレートする（ステップS21）。次に、消費電力算出部302は、シミュレータ部301によるシミュレーション結果から、各時刻における消費電力値の総和を算出する。これにより、消費電力算出部302は、線路を走行した場合の消費電力を算出する（ステップS22）。つまり、消費電力算出部302は、車両100が目標速度及び目標充電率に基づいて、線路を走行した場合の消費電力を算出する。

[0064] また、ペナルティ値算出部303は、シミュレータ部301によるシミュレーション結果から、ペナルティ値を算出する（ステップS23）。ペナルティ値算出部303は、車両100の乗り心地、到着時刻、到着座標、制限速度、充電率の時間変化、充電率の運用範囲、及び駅到着時の充電率について、それぞれペナルティ値を算出する。次に、評価値算出部304は、消費電力算出部302が算出した消費電力とペナルティ値算出部303が算出した各ペナルティ値とを、所定の評価関数に代入することで、評価値を算出する（ステップS24）。

[0065] 次に、評価情報記録部305は、評価値算出部304が算出した評価値と、シミュレータ部301がシミュレーションに用いた目標速度及び目標充電率の組み合わせとを、関連付けて評価情報記憶部306に記録する（ステップS25）。次に、目標速度決定部309は、評価情報記憶部306が記憶

する評価値に基づいて、評価値の最小値が収束したか否を判定する（ステップS 2 6）。

[0066] 目標速度決定部3 0 9が、評価値の最小値が収束していないと判定した場合（ステップS 2 6：N O）、感度算出部3 0 7は、各区間の目標速度と目標充電率とについて評価値に対する感度を算出する（ステップS 2 7）。感度算出部3 0 7は、評価情報記憶部3 0 6が記憶する評価値と各区間の目標速度と目標充電率とに基づいて、感度を算出する。具体的には、感度算出部3 0 7は、所定の関数について偏微分を行うことで、各区間の目標速度と目標充電率とについて感度を算出する。当該関数は、各区間の目標速度及び目標充電率を独立変数とし、評価値を従属変数とする関数である。

[0067] 次に、目標速度変更部3 0 8は、感度算出部3 0 7が算出した感度に基づいて、前回シミュレータ部3 0 1がシミュレーションに用いた各区間の目標速度を変更する。また、目標充電率変更部3 1 0は、感度算出部3 0 7が算出した感度に基づいて、前回シミュレータ部3 0 1がシミュレーションに用いた各区間の目標充電率を変更する（ステップS 2 8）。

そして、目標速度決定装置3 0 0は、ステップS 2 1に戻り、変更後の目標速度及び目標充電率を用いて車両1 0 0の走行のシミュレーションを行う。

[0068] 他方、目標速度決定部3 0 9がステップS 2 6において、評価値の最小値が収束したと判定した場合（ステップS 2 6：Y E S）、目標速度決定部3 0 9は、車両1 0 0の運行に用いる目標速度を決定する。目標速度決定部3 0 9は、評価情報記憶部3 0 6が記憶する最小の評価値に関連付けられた目標速度を、車両1 0 0の運行に用いる目標速度に決定する。また、目標充電率決定部3 1 1は、評価情報記憶部3 0 6が記憶する最小の評価値に関連付けられた目標充電率を、車両1 0 0の運行に用いる目標充電率に決定する（ステップS 2 9）。

[0069] これにより、目標速度決定装置3 0 0は、線路の走行において車両1 0 0が満たすべき条件を満たしつつ、最も省エネルギーとなる目標速度及び目標

充電率の組み合わせを得ることができる。

[0070] 以上、図面を参照していくつかの実施形態について詳しく説明した。しかしながら、具体的な構成は上述のものに限られることはない。具体的な構成は、要旨を逸脱しない範囲内において様々な設計変更等を行うことが可能である。

[0071] 例えば、第3の実施形態に係る車両100は、電動機102、補機103、抵抗器104及び二次電池108がそれぞれDCDCコンバータ107を介して集電部101に接続される場合について説明したが、これに限られない。

図10は、本発明の第3の実施形態の変形例に係る構成を示す概略ブロック図である。

車両100は、図10に示すように、二次電池108がDCDCコンバータ107を介して集電部101に接続され、電動機102、補機103及び抵抗器104が直接集電部101と接続される構成であっても良い。

[0072] 上述の目標速度決定装置300及び目標充電率決定装置400、並びにATO装置200は内部に、コンピュータシステムを有している。そして、上述した各処理部の動作は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な一時的でない有形の記録媒体に記憶されている。このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な一時的でない有形の記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

[0073] また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良い。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であっても良い。

産業上の利用可能性

[0074] 目標速度決定装置は、車両の走行パターンではなく、車両の区間ごとの目標速度を算出する。これにより、目標速度決定装置は、天候や乗客数の変化によらず、車両の走行の定時性を確保することができる。また、目標速度決定装置は、各区間の目標速度を、消費電力に所定の重みを乗算して得られる評価値が最も小さくなるような目標速度に決定する。これにより、目標速度決定装置は、消費電力を小さくすることができる。

符号の説明

[0075] 100…車両 101…集電部 102…電動機 103…補機 104…抵抗器 105…保安ブレーキ 106…放電制御部 107…DCDCコンバータ 108…二次電池 109…目標充電率記憶部 110…充放電電力算出部 200…ATO装置 201…目標速度記憶部 202…駅停車時目標速度記憶部 203…制限速度記憶部 204…目標速度選択部 205…速度算出部 206…指令値算出部 207…加減速指令部 300…目標速度決定装置 301…シミュレータ部 302…消費電力算出部 303…ペナルティ値算出部 304…評価値算出部 305…評価情報記録部 306…評価情報記憶部 307…感度算出部 308…目標速度変更部 309…目標速度決定部 310…目標充電率変更部 311…目標充電率決定部

請求の範囲

- [請求項1] 現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置であって、
- 線路の複数の区間における目標速度を設定して、当該目標速度に基づいて前記線路を走行した場合の消費電力を算出する消費電力算出部と、
- 前記消費電力算出部に設定される前記複数の区間における目標速度の組み合わせを変更する目標速度変更部と、
- 前記目標速度の組み合わせごとに、前記消費電力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する評価関数に基づいて評価値を算出する評価値算出部と、
- 前記評価値が最も小さくなる前記目標速度の組み合わせを、前記車両の各区間における目標速度に決定する目標速度決定部と
- を備える目標速度決定装置。
- [請求項2] 前記複数の区間について、目標速度の変化量に対する前記評価値算出部が算出した評価値の変化量の大きさを示す感度を算出する感度算出部を備え、
- 前記目標速度変更部は、前記消費電力算出部が前回の消費電力の算出に用いた各区間の目標速度それぞれを、前記感度算出部が算出した当該区間の感度の高さに応じて増減させる
- 請求項1に記載の目標速度決定装置。
- [請求項3] 前記線路の走行において前記車両が満たすべき条件との乖離度を示すペナルティ値を算出するペナルティ値算出部を備え、
- 前記評価関数は、前記消費電力に所定の重みを乗じた値と前記ペナルティ値に前記消費電力の重みより大きい重みを乗じた値の総和をとるものである
- 請求項1または請求項2に記載の目標速度決定装置。
- [請求項4] 前記車両は、二次電池を備え、当該二次電池の現在の充電率と目標

充電率との差分に基づいて当該二次電池の充放電を制御する車両であって、

前記消費電力算出部は、複数の区間における目標速度及び目標充電率を設定して、当該目標速度及び目標充電率に基づいて前記線路を走行した場合の消費電力を算出し、

前記評価値算出部は、前記目標速度及び前記目標充電率の組み合わせごとに、前記評価値を算出し、

前記消費電力算出部に設定される前記複数の区間における目標充電率の組み合わせを変更する目標充電率変更部と、

前記評価値が最も小さくなる前記目標充電率の組み合わせを、前記車両の各区間における目標充電率に決定する目標充電率決定部と

を備える請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の目標速度決定装置。

[請求項5]

現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標速度を決定する目標速度決定装置を用いた目標速度決定方法であって、

消費電力算出部は、線路の複数の区間における目標速度を設定して、当該目標速度に基づいて前記線路を走行した場合の消費電力を算出し、

目標速度変更部は、前記消費電力算出部に設定される前記複数の区間における目標速度の組み合わせを変更し、

評価値算出部は、前記目標速度の組み合わせごとに、前記消費電力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する評価関数に基づいて評価値を算出し、

目標速度決定部は、前記評価値が最も小さくなる前記目標速度の組み合わせを、前記車両の各区間における目標速度に決定する

目標速度決定方法。

[請求項6]

現在の速度と目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両の目標

速度を決定する目標速度決定装置のコンピュータを、

線路の複数の区間における目標速度を設定して、当該目標速度に基づいて前記線路を走行した場合の消費電力を算出する消費電力算出部、

前記消費電力算出部に設定される前記複数の区間における目標速度の組み合わせを変更する目標速度変更部、

前記目標速度の組み合わせごとに、前記消費電力算出部が算出した消費電力に所定の重みを乗算する評価関数に基づいて評価値を算出する評価値算出部、

前記評価値が最も小さくなる前記目標速度の組み合わせを、前記車両の各区間における目標速度に決定する目標速度決定部

として機能させるためのプログラム。

[請求項7] 請求項1に記載の目標速度決定装置が決定した目標速度に基づいて前記車両の加速度を制御する車両制御装置。

[請求項8] 現在の速度と請求項1に記載の目標速度決定装置が決定した目標速度との差分に基づいて加減速を行う車両。