

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7493375号
(P7493375)

(45)発行日 令和6年5月31日(2024.5.31)

(24)登録日 令和6年5月23日(2024.5.23)

(51)国際特許分類

G 0 1 M	17/08 (2006.01)	F I	G 0 1 M	17/08
B 6 1 L	25/04 (2006.01)		B 6 1 L	25/04
B 6 1 L	25/02 (2006.01)		B 6 1 L	25/02
B 6 0 L	5/26 (2006.01)		B 6 0 L	5/26

請求項の数 17 (全26頁)

(21)出願番号	特願2020-68535(P2020-68535)	(73)特許権者	000006013
(22)出願日	令和2年4月6日(2020.4.6)		三菱電機株式会社
(62)分割の表示	特願2020-506384(P2020-506384 の分割		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
原出願日	令和1年10月23日(2019.10.23)	(74)代理人	弁理士 高村 順
(65)公開番号	特開2021-67667(P2021-67667A)	(72)発明者	山本 浩和
(43)公開日	令和3年4月30日(2021.4.30)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	令和4年10月17日(2022.10.17)	(72)発明者	三菱電機株式会社内
			堀内 謙二
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		審査官	岩永 寛道

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 診断システムおよび診断方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

鉄道車両に搭載される機器の検査データと、前記鉄道車両において取得された走行データと、前記鉄道車両の走行した路線を示す路線情報を取得するデータ取得部と、

取得した前記検査データ、前記走行データおよび前記路線情報を用いて前記機器の劣化を解析する劣化解析部と、

を備え、

前記路線情報は、前記鉄道車両がどの路線を走行したかを示す情報を特徴とする診断システム。

【請求項2】

前記劣化解析部による解析結果を用いて前記機器の将来の劣化量を予測する劣化予測部をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の診断システム。

【請求項3】

前記劣化予測部により予測された予測値と、前記検査データに基づいて算出された前記予測値に対応する日時の劣化量の実績値との差分を算出し、複数の日時の前記劣化量と前記差分とを学習する学習部をさらに備え、

前記劣化予測部は、前記解析結果と、前記学習部の学習により得られる前記差分の推定値と、に基づいて将来の劣化量を予測することを特徴とする請求項2に記載の診断システム。

【請求項4】

鉄道車両に搭載される機器の検査データと、前記鉄道車両において取得された走行データと、を取得するデータ取得部と、

取得した前記検査データおよび前記走行データを用いて前記機器の劣化を解析する劣化解析部と、

前記劣化解析部による解析結果を用いて前記機器の将来の劣化量を予測する劣化予測部と、

前記劣化予測部により予測された予測値と、前記検査データに基づいて算出された前記予測値に対応する日時の劣化量の実績値との差分を算出し、複数の日時の前記劣化量と前記差分とを学習する学習部と、備え、

前記劣化予測部は、前記解析結果と、前記学習部の学習により得られる前記差分の推定値と、に基づいて将来の劣化量を予測することを特徴とする診断システム。 10

【請求項 5】

前記劣化予測部による予測結果と、前記機器の交換または調整の条件と、に基づいて前記機器が交換または調整を要する状態となる時期を推定する推定部をさらに備えることを特徴とする請求項 2 から 4 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 6】

前記検査データは、複数の日時のそれぞれに対応する前記機器の劣化の度合いを示す劣化量を含むことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 7】

前記データ取得部は、車両基地または車両基地の周辺に設けられた検査システムから検査データを取得することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の診断システム。 20

【請求項 8】

前記走行データは、前記鉄道車両における制御指令、前記制御指令に対する応答、および鉄道車両の状態を計測した状態値のうち少なくとも 1 つを含むデータであることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 9】

前記路線情報は、列車種別を示す情報を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の診断システム。

【請求項 10】

前記路線情報は、前記鉄道車両が運行された時間帯を含むことを特徴とする請求項 1 または 9 に記載の診断システム。 30

【請求項 11】

前記劣化解析部は、前記機器が搭載された鉄道車両の走行距離を用いて前記機器の劣化を解析することを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 12】

前記劣化解析部は、前記機器が搭載された鉄道車両の走行した路線のカーブに関する情報を用いて前記機器の劣化を解析することを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 13】

前記劣化解析部による解析結果を、前記機器の製造メーカーごとに分類する分類部をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 つに記載の診断システム。 40

【請求項 14】

前記分類部は、前記劣化解析部による解析結果を、さらに製造年月日ごとに分類することを特徴とする請求項 1 3 に記載の診断システム。

【請求項 15】

前記劣化解析部による解析結果を表示する表示部をさらに備え、

前記表示部は、日付に対する前記機器の劣化量を示すグラフを表示することを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか 1 つに記載の診断システム。

【請求項 16】

10

20

30

40

50

鉄道車両に搭載される機器の診断方法であって、
前記機器の検査データと、前記鉄道車両において取得された走行データと、前記鉄道車両の走行した路線を示す路線情報を取得するステップと、

取得した前記検査データ、前記走行データおよび前記路線情報を用いて前記機器の劣化を解析するステップと、

を備え、

前記路線情報は、前記鉄道車両がどの路線を走行したかを示す情報であることを特徴とする診断方法。

【請求項 17】

鉄道車両に搭載される機器の診断方法であって、

前記機器の検査データと、前記鉄道車両において取得された走行データと、を取得する取得ステップと、

取得した前記検査データおよび前記走行データを用いて前記機器の劣化を解析する解析ステップと、

前記解析ステップによる解析結果を用いて前記機器の将来の劣化量を予測する予測ステップと、

前記予測ステップにより予測された予測値と、前記検査データに基づいて算出された前記予測値に対応する日時の劣化量の実績値との差分を算出し、複数の日時の前記劣化量と前記差分とを学習する学習ステップと、

を備え、

前記予測ステップでは、前記解析結果と、前記学習ステップの学習により得られる前記差分の推定値と、に基づいて将来の劣化量を予測することを特徴とする診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鉄道車両に搭載される機器の劣化を診断する診断システムおよび診断方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、鉄道車両（以下、単に車両とも呼ぶ）では、正常な走行、乗客の快適性等のため、搭載される機器の保守点検が行われている。保守点検では、パンタグラフ、車輪、ブレーキといった各機器の劣化の確認が行われる。機器の劣化は、作業者による目視確認、計測装置による機器の形状の計測等により行われる。例えば、特許文献1には、パンタグラフのすり板をステレオカメラにより撮影し、撮影された画像を用いて算出された形状情報から、パンタグラフのすり板の摩耗量を求める技術が開示されている。特許文献1に記載の技術では、新たに取得された形状情報を、同一の編成番号の同一の設置位置の過去の形状情報と比較することにより、パンタグラフのすり板の摩耗量を求めている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-191648号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

パンタグラフのすり板の摩耗量が、あらかじめ定められた限界値を超えないようにするために、すり板の時間変化の傾向を解析して、将来の摩耗量を予測することが望まれる。すり板の摩耗量を予測することで、使用するための下限値として定められた使用限界値を下回る前にすり板を交換することができる。特許文献1には、車両の走行距離が取得できる場合には、走行距離に基づいて摩耗量を推定することもできる旨も記載されているが、具体的にどのように走行距離を取得するかの記載はない。

10

20

30

40

50

【0005】

機器の劣化の解析は、予測の目的に限らず、パンタグラフの製品自体の評価等のためにも用いることができる。このように、機器の劣化の解析は、機器の保守点検のために有用であるが、すり板の摩耗量をはじめとした各機器の劣化量は、走行距離だけに依存するとは限らない。例えば、機器の劣化量は、車両が走行した路線におけるカーブの数、車両の速度、車両の重さといった様々な情報のうちの少なくとも1つにも依存する可能性がある。このため、機器の劣化の解析において、走行距離を考慮しただけでは、精度の高い解析が実施できない可能性がある。また、走行距離を考慮しただけでは、効率的な解析ができない場合もある。

【0006】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、機器の劣化の高精度な解析および効率的な解析のうち少なくとも一方を実現できる可能性を高めることができる診断システムを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる診断システムは、鉄道車両に搭載される機器の検査データと、鉄道車両において取得された走行データと、鉄道車両の走行した路線を示す路線情報を取得するデータ取得部と、取得した検査データ、走行データおよび路線情報を用いて機器の劣化を解析する劣化解析部と、を備え、路線情報は、鉄道車両がどの路線を走行したかを示す情報である。

【発明の効果】**【0008】**

本発明にかかる診断システムは、機器の劣化の高精度な解析および効率的な解析のうち少なくとも一方を実現できる可能性を高めることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】**【0009】**

【図1】本発明の実施の形態1にかかる鉄道管理システムの構成例を示す図

【図2】実施の形態1のデータ収集装置および計測システムの一例を示す図

【図3】実施の形態1の解析装置の構成例を示す図

【図4】実施の形態1の車上装置の構成例を示す図

【図5】実施の形態1の診断システムの構成例を示す図

【図6】実施の形態1の鉄道管理システムを実現するコンピュータシステムの構成例を示す図

【図7】実施の形態1の劣化の診断対象の一例である、パンタグラフのすり板を示す図

【図8】実施の形態1の計測システムにより計測されたすり板の形状の一例を示す図

【図9】実施の形態1の解析装置の解析結果の一例を示す図

【図10】実施の形態1の診断システムにおける診断処理手順の一例を示すフローチャート

【図11】実施の形態1の検査データの構成例を示す図

【図12】実施の形態1の走行データの一例を示す図

【図13】実施の形態1の運行情報に含まれる路線状態情報の一例を示す図

【図14】実施の形態1の路線情報の一例を示す図

【図15】実施の形態1の、機器の劣化の実績の解析結果の一例を示す図

【図16】実施の形態1におけるすり板の摩耗量の予測結果の表示例を示す図

【図17】実施の形態1の劣化の一例である車輪断面の摩耗を示す図

【図18】実施の形態2にかかる診断システムの構成例を示す図

【図19】実施の形態3にかかる診断システムの構成例を示す図

【図20】実施の形態3の検査データの一例を示す図

【図21】実施の形態3のグルーピング結果の一例を示す図

【図22】実施の形態3のトレース情報の一例を示す図

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【0010】

以下に、本発明の実施の形態にかかる診断システムおよび診断方法を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0011】

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1にかかる鉄道管理システムの構成例を示す図である。鉄道管理システム3は、鉄道車両である車両5のさまざまな情報を収集して分析することで、車両5のライフサイクルを管理する装置である。これにより、車両5のメンテナンスの効率化を図ることができる。

【0012】

本実施の形態の鉄道管理システム3は、図1に示すように、本発明にかかる診断システム1と、データベースシステム2とを備える。鉄道管理システム3は、例えばクラウドシステムにより実現されるが、これに限定されない。

【0013】

データベースシステム2は、図1に示すように、各種のデータを記憶する記憶部21と、通信部22と、データ管理部23とを備える。データベースシステム2の通信部22は、車両5の走行データを無線装置42を介して受信し、運行情報を運行管理システム41から受信し、検査データを検査システム60から受信し、これらを記憶部21へ格納する。データ管理部23は、記憶部21に格納されたデータを管理する。データ管理部23は、検査データ、運行情報および走行データそれぞれに含まれる少なくとも車両番号を含む編成情報を用いて、これらを対応付けて管理する。

10

【0014】

診断システム1は、データベースシステム2に蓄積されたデータを用いて、車両5の劣化を診断する診断装置である。これにより、診断システム1は、鉄道事業者、車両5の製造業者、車両5に搭載される機器の製造メーカー等の利用者に、メンテナンスの効率化に供する情報を提供することができる。また、診断システム1は、鉄道管理システム3の解析結果等を、利用者の端末装置9へ送信することもできる。

【0015】

車両5は、パンタグラフ51、車輪52、床下機器53および車上装置54を備える。床下機器53は、例えば、VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータ装置、断流器、補助電源装置、コンプレッサーである。パンタグラフ51、車輪52および床下機器53は、車両5に搭載される車載機器（以下、単に機器ともいう）の例であり、車両5にはこれら以外にも図示しないブレーキ、台車、歯車、歯車箱等の機器も搭載されており、車両5に搭載される機器は図1に示した例に限定されない。また、車両5の車体も車両5に搭載される機器の一例であるとする。すなわち、本実施の形態の診断対象となる、車両5に搭載される機器は、パンタグラフ51、車輪52、ブレーキ、車体、モータ、台車のうち少なくとも1つ含む。車上装置54は、車両5に搭載される機器に制御指令を送信するとともに、各機器から、制御指令に対する応答、各機器の状態を示す情報等を受信する。なお、図1では、車両5と車両5に搭載される各機器とを模式的に示しており、実際の車両5の形状、各機器の形状および搭載位置を示すものではない。また、車両5には、各機器の状態だけでなく、走行距離、速度等を計測しており、車上装置54は、これらの計測結果も取得する。また、車両5が列車重量、車内温度および外気温等を計測している場合には、車上装置54は、これらの計測結果も取得する。

20

30

【0016】

車上装置54は、各機器を制御するための制御指令、および各機器から受信した応答および情報、各計測結果を、走行データとして無線により送信する。車両5から送信された無線信号は、無線装置42により受信される。無線装置42は、受信した走行データを運行管理システム41へ送信し、運行管理システム41は受信した走行データをデータベースシステム2へ送信する。無線装置42は、受信した走行データを運行管理システム41へ送信し、運行管理システム41は受信した走行データをデータベースシステム2へ送信

40

50

する。これにより、データベースシステム 2 は、無線装置 4 2 および運行管理システム 4 1 を介して車両 5 の走行データを取得することができる。なお、図 1 では、図の簡略化のため無線装置 4 2 を 1 つ図示しているが、一般には、複数の無線装置 4 2 が、例えば、線路に沿って配置される。また、図 1 では、1 つの車両 5 を示しているが、複数の車両 5 が 1 編成の列車を構成してもよい。

【 0 0 1 7 】

また、運行管理システム 4 1 は、複数の路線における複数の車両 5 の運行を管理する。運行管理システム 4 1 は、複数の路線の運行計画を保持しており、運行計画に従って、複数の車両 5 の運行を管理する。複数の車両 5 が 1 編成の列車を構成する場合、編成ごとに、いつどの路線を走行するかが運行計画として定められる。また、運行管理システム 4 1 は、各編成で、どの車両 5 が用いられるかを示す情報（車両番号）を編成情報として保持している。さらに、運行管理システム 4 1 は、どの編成がどの路線を走行したかを示す運行実績も保持している。また、運行管理システム 4 1 は、路線ごとの、距離、停車駅数を示す路線状態情報を含む。運行管理システム 4 1 は、運行計画、運行実績、路線状態情報および編成情報を含む情報を運行情報を、データベースシステム 2 へ送信する。なお、運行実績を車上装置 5 4 も管理している場合には、データベースシステム 2 は、車上装置 5 4 から運行実績を取得してもよい。

10

【 0 0 1 8 】

データベースシステム 2 の通信部 2 2 は、検査システム 6 0 から検査データを取得し、記憶部 2 1 に格納する。検査システム 6 0 は、例えば、車両基地または車両基地の周辺に設けられる。検査システム 6 0 は、解析装置 6 、データ収集装置 7 および計測システム 8 を備える。なお、解析装置 6 は、鉄道管理システム 3 に含まれてもよい。

20

【 0 0 1 9 】

図 2 は、本実施の形態のデータ収集装置 7 および計測システム 8 の一例を示す図である。計測システム 8 は、一般には車両基地の周辺または車両基地内に設けられる。図 2 に示した例では、計測システム 8 は、車両 5 を上部から計測する計測装置である架線上装置 8 1 と、車両 5 の走行する軌道 8 4 に設けられる計測装置である軌道内装置 8 2 と、車両 5 を側面から計測する計測装置である軌道脇装置 8 3 とを備える。架線上装置 8 1 は、例えば、ステレオカメラ、超音波センサである。軌道内装置 8 2 は、例えば、振動センサ、加速度センサ、カメラ等である。データ収集装置 7 は、例えばパーソナルコンピュータである。軌道脇装置 8 3 は、例えば、カメラである。軌道脇装置 8 3 は、車両 5 の車両番号を読み取るセンサを含んでいてもよい。

30

【 0 0 2 0 】

なお、ここでは、計測システム 8 が、これら 3 種類の計測装置を備える例を説明したが、計測装置の種類はこれらに限定されない。計測システム 8 は、これらの 3 種類のうちの 1 種類または 2 種類であってもよいし、これら 3 種類以外の計測装置を含んでいてもよい。なお、パンタグラフ 5 1 のすり板の摩耗量を計測する場合には架線上装置 8 1 を備え、車輪 5 2 の劣化を計測する場合には、軌道内装置 8 2 を備えるといったように、検査の対象に応じて計測装置を設置すればよい。

30

【 0 0 2 1 】

計測システム 8 を構成する各計測装置は、計測した計測データを、データ収集装置 7 に送信する。データ収集装置 7 は、各計測装置から受信した計測データを解析装置 6 へ送信する。

40

【 0 0 2 2 】

解析装置 6 は、各計測装置から受信した計測データを用いて、車両 5 に搭載される各機器の検査のための解析を行う。図 3 は、本実施の形態の解析装置 6 の構成例を示す図である。図 3 に示すように、解析装置 6 は、通信部 6 1 、計測データ記憶部 6 2 、解析部 6 3 、解析結果提示部 6 4 、反映部 6 5 および検査データ生成部 6 6 を備える。

【 0 0 2 3 】

通信部 6 1 は、データ収集装置 7 から、各計測装置の計測データを受信し、計測データ

50

記憶部 6 2 へ格納する。計測データ記憶部 6 2 は、各計測装置の計測データを記憶する。解析部 6 3 は、計測データ記憶部 6 2 に記憶されている計測データを用いて、車両 5 に搭載される各機器の検査のための解析を行う。解析結果提示部 6 4 は、解析部 6 3 による解析により得られた解析結果を、検査を行う作業者等に提示する。反映部 6 5 は、検査を行う作業者等からの解析結果に関する入力を受け付け、入力された情報を検査データ生成部 6 6 へ出力する。検査データ生成部 6 6 は、解析結果と入力された情報に基づいて、検査データを生成する。検査データ生成部 6 6 は、検査データを作業者等に提示する。また、検査データ生成部 6 6 は、検査データを通信部 6 1 へ出力し、通信部 6 1 は、検査データをデータベースシステム 2 へ送信する。なお、通信部 6 1 は、計測データ記憶部 6 2 に記憶されている計測データ、解析部 6 3 の解析結果についても、データベースシステム 2 へ送信してもよい。解析結果および検査データの詳細については後述する。

【 0 0 2 4 】

次に、車両 5 に搭載される車上装置 5 4 の構成例を説明する。図 4 は、本実施の形態の車上装置 5 4 の構成例を示す図である。図 4 に示すように、車上装置 5 4 は、無線装置 5 4 1 および制御装置 5 4 2 を備える。無線装置 5 4 1 は、無線装置 4 2 との間でデータの送受信を行う。制御装置 5 4 2 は、車両 5 内部の制御情報に基づいて車両 5 に搭載される複数の車載機器である車載機器 5 0 - 1 , 5 0 - 2 , ··· を制御することにより、車両 5 を制御する。車載機器 5 0 - 1 , 5 0 - 2 , ··· は、例えば、図 1 に示したパンタグラフ 5 1 、車輪 5 2 、床下機器 5 3 、図示しないブレーキ等である。また、制御装置 5 4 2 は、上述した走行データを収集し、無線装置 5 4 1 を介して、無線装置 4 2 へ送信する。以下、車載機器 5 0 - 1 , 5 0 - 2 , ··· のそれぞれを個別に区別しないで示すときには、車載機器 5 0 とも記載する。

【 0 0 2 5 】

次に、本実施の形態の鉄道管理システム 3 における診断システム 1 の構成例を説明する。図 5 は、本実施の形態の診断システム 1 の構成例を示す図である。図 5 に示すように、本実施の形態の診断システム 1 は、通信部 1 1 、データ取得部 1 2 、データ記憶部 1 3 、劣化解析部 1 4 、劣化予測部 1 5 、交換時期推定部 1 6 および表示部 1 7 を備える。

【 0 0 2 6 】

通信部 1 1 は、データベースシステム 2 、端末装置 9 等と通信を行うことができる。データ取得部 1 2 は、通信部 1 1 を介してデータベースシステム 2 から機器の診断に用いるデータを取得し、データ記憶部 1 3 へ格納する。機器の診断に用いるデータは、診断対象の機器に関する検査データ、走行データおよび運行情報を含む。検査データは、後述するように、計測データに基づいて算出された複数の日時のそれぞれに対応する機器の劣化の度合いを示す劣化量を含む。なお、本実施の形態の機器の診断は、機器の劣化の実績の解析、機器の劣化の予測、機器の劣化の評価等のうちの少なくとも 1 つを含む。診断対象の機器は、利用者により指定されてもよいし、あらかじめ定められた手順に従い、劣化の解析等が必要な、全ての車載機器 5 0 に関する診断を自動で行うようにしてもよい。例えば、利用者によって機器の診断の開始が指示された場合に、診断システム 1 は、自動的に劣化の解析等が必要な、全ての車載機器 5 0 に関する診断を行ってもよい。利用者による機器の診断の開始の指示、および利用者による診断対象の機器の指定は、端末装置 9 を介して行われてもよいし、診断システム 1 の図 5 では図示しない入力手段を用いて行われてもよい。

【 0 0 2 7 】

走行データは、上述したように、車両 5 から取得されたデータであって車両 5 における制御指令、制御指令に対する応答および車両 5 の状態を計測した状態値のうち少なくとも 1 つを含むデータである。

【 0 0 2 8 】

また、データ取得部 1 2 は、運行実績および編成情報から、各車両 5 の走行した路線を示す、すなわち各車両 5 がどの路線を走行したかを示す路線情報を取得してデータ記憶部 1 3 へ格納する。なお、1 編成が 1 車両で構成される場合には、編成情報は不要である。

10

20

30

40

50

路線情報は、車両 5 ごとの当該車両がどの路線を走行する予定であるかの計画を含んでいいてもよい。路線情報の詳細については後述する。

【 0 0 2 9 】

劣化解析部 1 4 は、データ記憶部 1 3 に格納されたデータに基づいて、機器の劣化の解析を行う。具体的には、劣化解析部 1 4 は、路線情報を用いて、車両 5 の走行の状態の実績を示す第 1 情報を取得し、第 1 情報と複数の日時の劣化量とを用いて機器の劣化を解析する。第 1 情報は、例えば、診断対象の機器が搭載された鉄道車両の走行距離の実績値である。機器の劣化の解析は、例えば、パンタグラフ 5 1 の摩耗量の時間変化の傾向の算出、車輪 5 2 の摩耗量の解析、車輪 5 2 に発生する平らな傷であるフラットの発生状況の解析、ブレーキの摩耗の解析、台車の劣化度合いの解析等である。機器の劣化の解析は、これらに限定されない。機器の劣化の解析の具体例については後述する。劣化解析部 1 4 は、データ取得部 1 2 とデータ記憶部 1 3 を用いずに記憶部 2 1 に格納されたデータに基づいて、機器の劣化の解析を行ってもよい。劣化解析部 1 4 が、記憶部 2 1 に格納されたデータに基づいて、機器の劣化の解析を行う場合は、データ取得部 1 2 が実施する路線情報の生成をデータ管理部 2 3 が行い、路線情報を記憶部 2 1 で管理すればよい。

10

【 0 0 3 0 】

劣化予測部 1 5 は、劣化解析部 1 4 による解析結果を用いて機器の将来の劣化量を予測する。詳細には、劣化解析部 1 4 の解析結果とデータ記憶部 1 3 に格納されたデータとに基づいて、将来の機器の劣化を予測する。推定部である交換時期推定部 1 6 は、機器の劣化の予測結果に基づいて、機器が交換または調整を要する状態となる時期を推定する。機器の劣化の予測、および交換時期の推定の具体例については後述する。表示部 1 7 は、劣化解析部 1 4 の解析結果、劣化予測部 1 5 の予測結果、交換時期推定部 1 6 の推定結果等を表示する。

20

【 0 0 3 1 】

次に、本実施の形態の各システムおよび各装置のハードウェア構成について説明する。上述したように、本実施の形態の鉄道管理システム 3 は、例えば、クラウドシステムにより実現される。クラウドシステムでは、コンピュータシステムのハードウェアと、機能ごとのサーバ等の装置との切り分けを任意に設定できる。例えば、1 台のコンピュータシステムが複数の装置としての機能を有していてもよいし、複数台のコンピュータシステムで 1 つの装置としての機能を有していてもよい。したがって、鉄道管理システム 3 は、1 台のコンピュータシステムで実現されてもよいし、複数台のコンピュータにより実現されてもよい。なお、この例に限らず、鉄道管理システム 3 は、クラウドシステム以外で実現されてもよい。例えば、鉄道管理システム 3 が 1 台のコンピュータシステムにより実現されてもよく、診断システム 1 と、データベースシステム 2 とがそれぞれ 1 台のコンピュータシステムにより実現されてもよい。いずれにしても、鉄道管理システム 3 は、1 台以上のコンピュータシステムにより実現される。

30

【 0 0 3 2 】

鉄道管理システム 3 を実現するコンピュータシステムの構成例を説明する。図 6 は、本実施の形態の鉄道管理システム 3 を実現するコンピュータシステムの構成例を示す図である。図 6 に示すように、このコンピュータシステムは、制御部 1 0 1 と入力部 1 0 2 と記憶部 1 0 3 と表示部 1 0 4 と通信部 1 0 5 と出力部 1 0 6 とを備え、これらはシステムバス 1 0 7 を介して接続されている。

40

【 0 0 3 3 】

図 6 において、制御部 1 0 1 は、例えば、C P U (Central Processing Unit) 等である。制御部 1 0 1 は、本実施の形態の鉄道管理システム 3 が実施する各処理が記述された鉄道管理プログラムを実行する。入力部 1 0 2 は、たとえばキーボード、マウス等で構成され、コンピュータシステムのユーザが、各種情報の入力をを行うために使用する。記憶部 1 0 3 は、R A M (Random Access Memory), R O M (Read Only Memory) 等の各種メモリおよびハードディスク等のストレージデバイスを含み、上記制御部 1 0 1 が実行すべきプログラム、処理の過程で得られた必要なデータ等を記憶する。また、記憶

50

部103は、プログラムの一時的な記憶領域としても使用される。表示部104は、LCD (Liquid Crystal Display : 液晶表示パネル) 等で構成され、コンピュータシステムのユーザに対して各種画面を表示する。通信部105は、通信処理を実施する通信回路等である。通信部105は、複数の通信方式にそれぞれ対応する複数の通信回路で構成されていてもよい。出力部106は、プリンタ、外部記憶装置等の外部の装置へデータを出力する出力インターフェイスである。なお、図6は、一例であり、コンピュータシステムの構成は図6の例に限定されない。例えば、コンピュータシステムは出力部106を備えていなくてもよい。また、鉄道管理システム3が複数のコンピュータシステムにより実現される場合、これらの全てのコンピュータシステムが図6に示したコンピュータシステムでなくともよい。例えば、一部のコンピュータシステムは図6に示した表示部104、出力部106および入力部102のうち少なくとも1つを備えていなくてもよい。

10

【0034】

ここで、本実施の形態の鉄道管理プログラムのうち診断システム1の処理が記述された診断プログラムが実行可能な状態になるまでのコンピュータシステムの動作例について説明する。上述した構成をとるコンピュータシステムには、たとえば、図示しないCD (Compact Disc) - ROMドライブまたはDVD (Digital Versatile Disc) - ROMドライブにセットされたCD - ROMまたはDVD - ROMから、診断プログラムが記憶部103にインストールされる。そして、診断プログラムの実行時に、記憶部103から読み出された診断プログラムが記憶部103の主記憶装置となる領域に格納される。この状態で、制御部101は、記憶部103に格納された診断プログラムに従って、本実施の形態の診断システム1としての処理を実行する。鉄道管理プログラムのうちデータベースシステム2の処理が記述されたプログラムが実行可能な状態になるまでのコンピュータシステムの動作例は鉄道管理プログラムの場合と同様である。

20

【0035】

なお、上記の説明においては、CD - ROMまたはDVD - ROMを記録媒体として、診断システム1における処理を記述したプログラムを提供しているが、これに限らず、コンピュータシステムの構成、提供するプログラムの容量等に応じて、たとえば、通信部105を経由してインターネット等の伝送媒体により提供されたプログラムを用いることとしてもよい。

30

【0036】

図1に示したデータベースシステム2の通信部22は、図6に示した通信部105により実現され、図1に示した記憶部21は図6に示した記憶部103の一部であり、図1に示したデータ管理部23は図6に示した制御部101により実現される。

【0037】

また、図5に示した診断システム1の通信部11は、図6に示した通信部105により実現される。図5に示したデータ記憶部13は、図6に示した記憶部103の一部である。図5に示したデータ取得部12、劣化解析部14、劣化予測部15および交換時期推定期部16は、図6に示した制御部101により実現される。図5に示した表示部17は、図6に示した制御部101および表示部104により実現される。

40

【0038】

図3に示した解析装置6はコンピュータシステムにより実現される。解析装置6を実現するコンピュータシステムの構成は、図6に示したコンピュータシステムと同様である。解析装置6は、複数台のコンピュータシステムによって構成されていてもよい。解析装置6が複数台のコンピュータシステムによって構成される場合、これらのうちの一部が表示部104、出力部106および入力部102のうち少なくとも1つを備えていなくてもよい。図3に示した通信部61は、図6に示した通信部105により実現される。図3に示した計測データ記憶部62は、図6に示した記憶部103の一部である。図3に示した解析部63は、図6に示した制御部101により実現される。図3に示した解析結果提示部64および検査データ生成部66は、図6に示した制御部101および表示部104により実現される。検査データ生成部66が検査データの表示を行う場合、検査データ生成部

50

66の実現にはさらに表示部104も用いられる。図3に示した反映部65は、図6に示した入力部102により実現される。

【0039】

図4に示した車上装置54の制御装置542もコンピュータシステムにより実現される。制御装置542を実現するコンピュータシステムの構成は、図6に示したコンピュータシステムと同様である。運行管理システム41もコンピュータシステムにより実現される。運行管理システム41を実現するコンピュータシステムの構成は、図6に示したコンピュータシステムと同様である。制御装置542および運行管理システム41についても、それぞれ複数台のコンピュータシステムによって構成されていてもよい。制御装置542および運行管理システム41が複数台のコンピュータシステムによって構成される場合、これらのうちの一部が表示部104、出力部106および入力部102のうち少なくとも1つを備えていなくてもよい。

10

【0040】

端末装置9は、コンピュータシステムにより実現される。端末装置9を実現するコンピュータシステムの構成は、図6に示したコンピュータシステムと同様である。また、端末装置9は、タブレット、スマートフォン等のコンピュータシステムであってもよい。

【0041】

次に、本実施の形態の動作について説明する。まず、本実施の形態の機器の診断の一例として、パンタグラフ51のすり板の摩耗量に関する診断を説明する。パンタグラフ51のすり板の摩耗量は、機器の劣化の度合いを示す劣化量の一例である。図7は、本実施の形態の劣化の診断対象の一例である、パンタグラフ51のすり板を示す図である。図7に示したすり板511の形状は一例であり、すり板511の形状は図7に示した例に限定されない。パンタグラフ51はすり板511を備えており、すり板511が、架線であるトロリ線55と接触することで、パンタグラフ51はトロリ線55から電力を集電する。なお、本実施の形態において車両5に搭載される機器として、パンタグラフ51、車輪52等を例示したが、パンタグラフ51を構成するすり板511等についても車両5に搭載される機器である。すなわち、ある機器を構成する部品も車両5に搭載される機器である。

20

【0042】

すり板511は、トロリ線55との機械的接触と、トロリ線55から離れる際に生じるアーク放電との主に2つの要因により摩耗が発生する。すり板511の摩耗が進むと、集電できなくなる可能性があるため、一般に、すり板511の摩耗量には、すり板511を使用可能な限界値が定められている。この限界値は、例えば、鉄道事業者ごとに定められる。車両5の検査を行う際には、すり板511の摩耗量の確認が行われ、摩耗量が限界値を超えた場合には、すり板511の交換が行われる。

30

【0043】

このため、検査システム60では、計測システム8によりすり板511の摩耗量を検知するための計測が行われている。この計測の一例は、ステレオカメラによる画像の撮影、超音波センサによるすり板511の形状の計測等である。計測の具体的な方法は、これらに限定されず、すり板511の形状を把握可能な計測であればよい。解析装置6は、計測システム8により計測された計測データを、データ収集装置7を介して取得し、取得した計測データを解析する。

40

【0044】

図7に示すように、すり板511の長手方向をX軸とし、すり板511の短手方向をY軸とする。X軸の正方向は、紙面の右側へ向かう方向とし、Y軸の正方向をX軸の正方向を90度回転させた方向とし、Z軸を、XYZ座標系が右手系となるように定義する。このとき、すり板511のうち法線がZ軸正方向を向く面である上面がトロリ線55と接触することになる。図7に示すように、XYZ座標系の原点を、摩耗が生じていないときの上面に設ける。この場合、概ねZ軸の負の方向に摩耗が進むことになる。

【0045】

図8は、本実施の形態の計測システム8により計測されたすり板511の形状の一例を

50

示す図である。図 8 は、図 7 に示すように X Y Z 座標系を定義したときのすり板 511 の形状を示している。図 8 の縦軸は、図 7 の X Y Z 座標系の Z 軸に相当する。図 8 の縦軸の数値は、原点すなわち摩耗が無い状態からの変位量を示している。このため、図 8 の縦軸の数値の絶対値が摩耗量である。また、図 8 の縦軸に直交する面は図 7 の X Y 面に相当する。図 8 において、縦軸に直交する軸に示した数値は、すり板 511 の X 軸方向の位置を示している。数値は示されていないが同様に、図 8 の紙面の奥行方向は、すり板 511 の Y 軸方向の位置を示している。なお、図 7 および図 8 で示した X Y Z 座標系の定義は一例であり、すり板 511 の形状がわかるように定義されていればよく、座標系の定義は図 7 および図 8 に示した例に限定されない。

【 0 0 4 6 】

すり板 511 の摩耗量は、一般には時間が経過すると増加する。すなわち、時間の経過とともに摩耗が進行する。検査システム 60 では、摩耗の進行を把握できる情報を、検査を行う作業者に提示することができる。具体的には、解析装置 6 が、計測データを蓄積し、蓄積した計測データを用いて解析して、解析結果を表示する。これにより、作業者は、すり板 511 の摩耗の時間変化の傾向を把握しやすくなる。

【 0 0 4 7 】

図 9 は、本実施の形態の解析装置 6 の解析結果の一例を示す図である。図 9 では、解析装置 6 が、異なる複数の日に計測されたすり板 511 の形状の計測データに基づいて解析を行った結果を示している。なお、ここでは、計測周期すなわち、計測日から次の計測日までの日数は固定であるとするが、計測周期は固定されていなくてもよい。図 9 の上部には、計測日の異なる 3 つの計測データが示されている。これら 3 つの計測データは、複数の日時においてそれぞれ計測した計測データの一例である。各計測日の計測データは、図 8 に示した例と同様に、すり板 511 の形状を X Y Z 座標系で表したものである。図 9 の下部には、解析装置 6 の解析部 63 が、これらの 3 つの計測データから、それぞれの摩耗量の最大値 200 を算出し、算出した最大値 200 を計測日と対応付けて解析結果として求めた例を示している。図 9 に示す摩耗量実績値 201 は、横軸を日付としたときの摩耗量の変化を示している。なお、図 8 と同様に、図 9 の縦軸は実際には、摩耗が生じていないときからの Z 軸方向の変位であるため、摩耗量実績値 201 は負の値で示されているが、この値の絶対値が、摩耗した量としての摩耗量の実績値である。解析結果提示部 64 は、このような解析結果を、図 9 に示すようなグラフとして表示することにより、作業者に解析結果を提示する。摩耗量実績値 201 は、計測データに基づいて算出された複数の日時のそれに対応する機器の劣化の度合いを示す劣化量の一例である。また、このとき、解析結果提示部 64 は、図 9 の上部に示された計測データを解析結果とともに表示する。なお、ここでは、計測データを解析結果とともに表示する例を示したが、解析対象の機器、解析の内容によっては、解析結果だけが表示されてもよい。

【 0 0 4 8 】

作業者は、解析結果を視認することにより、すり板 511 の摩耗量の時間変化の様子を確認することができる。また、図 9 の摩耗量実績値 201 は、各計測日における摩耗量の最大値 200 に相当しているが、すり板 511 の劣化を評価する際に検査すべき箇所は、摩耗量の最大値であるとは限らない。例えば、すり板 511 の Y 軸方向の位置により摩耗の影響が異なっている等の理由により、最大値ではない箇所の摩耗量が検査の対象となることがある。このような場合、作業者は、計測データから抽出すべき点を最大値 200 から評価対象点 202 に変更する。詳細には、例えば、図 9 に示した図が表示され、表示画面上で、評価対象点 202 をマウスで選択することにより入力可能としてもよいし、評価対象点 202 とする X Y 面内の位置座標を数値で入力できるようにしてもよい。反映部 65 は、評価対象点 202 を示す情報の入力を受け付け、検査データ生成部 66 へ渡す。検査データ生成部 66 は、反映部 65 から受け取った情報に基づいて解析結果を修正して検査データを生成する。図 9 に示した摩耗量実績値 301 は、検査データの一例である。

【 0 0 4 9 】

なお、解析装置 6 は、計測データと、反映部 65 が受け付けた入力情報との対応を保持

10

20

30

40

50

して蓄積しておき、蓄積した情報を機械学習してもよい。例えば、ニューラルネットワーク等の機械学習モデルを用い、入力である計測データと、結果である入力情報とを教師データとして学習する。これにより、解析装置6は、計測データを受け取ると、学習済モデルを用いて入力情報を推定して、解析結果とともに推定した入力情報を表示するようにしてもよい。なお、解析装置6は、計測データと入力情報との組をデータベースシステム2へ送信し、診断システム1がデータベースシステム2から、これらの情報を受け取ることにより、診断システム1が、上述した機械学習を行ってもよい。

【0050】

以上のように、検査システム60では、作業者が実績値を確認して検査を行うことが可能である。また、作業者は、検査データに基づいて、すり板511の摩耗量の今後の変化をある程度予測することはできるが、すり板511の摩耗量は実際には経過日数自体に依存するものではない。上述したように、すり板511の摩耗の主たる要因は、機械的接触とアーク放電である。したがって、例えば、車両5が故障等の要因により運行されずに車両基地に留まっていた場合には摩耗の進行は抑制される。このため、すり板511の摩耗量を予測するには、経過時間だけでなく他の情報との相関も考慮することが望ましい。すり板511の摩耗の主要因が機械的接触とアーク放電であることを考慮すると、すり板511の摩耗量は、概ね車両5の走行距離に依存すると考えられる。したがって、走行距離の関数として摩耗量を表せば、経過時間の関数として摩耗量を表す場合より正確な関数が求められると予想できる。一方、すり板511の摩耗がどのような要因でどのように進行するかの詳細については明らかになっていない面もある。このため、すり板511の摩耗量を、車両5に関する様々な情報と関連付けて解析することができる。すり板511の摩耗の発生のメカニズムの解明のために有効であると考えられる。すり板511に限らず、車両5の車載機器50全般に関しても、計測データを、車両5に関する様々な情報と関連付けて解析することで、劣化のメカニズムの解明のために有効であると考えられる。

【0051】

例えば、すり板511の摩耗が、 a_1 から a_{10} までの10個の、車両5の状態量に依存すると仮定する。この場合、すり板511の摩耗量は a_1 から a_{10} に関する関数 $f(a_1, a_2, \dots, a_{10})$ で表すことができる。車両5の状態量は、例えば、走行距離、走行した経路のカーブの数、ある値以上の速度で走行した回数等である。このうち、1つの状態量だけを考慮して摩耗量を示す関数を求めるとき、 a_1 から a_{10} の10個の状態量の関数として求めるときに比べて、関数の精度は低くなるため、この関数を用いて予測を行う場合の予測の精度も低くなる。このため、 a_1 から a_{10} の状態量が何であるかがわかっている場合には、これら全てを計測して、計測データに基づいて関数を求める高精度な予測を実現できる。しかしながら、実施には、すり板511の摩耗のメカニズムは完全には解明されていないため、どのような状態量を考慮すべきかを決めることができない。また、すり板511の摩耗が、 a_1 から a_{10} の10個の状態量に依存するとしても、これらの状態量のなかには、すり板511の摩耗に対する寄与度が少なく、当該状態量を考慮せずにすり板511の摩耗量を十分な精度で予測できるものも含まれる可能性がある。

【0052】

以上のことから、すり板511の摩耗量の検査データを、車両5に関する様々な情報と対応付けることができるようになることで、すり板511の摩耗量を示す関数の算出等の解析の精度の向上を実現できる可能性が高まる。本実施の形態では、図1に示したように、鉄道管理システム3が、走行データ、運行情報、検査データを収集して蓄積し、これらを用いて、すり板511の摩耗量の解析をはじめとした各機器の劣化の解析を行うことでの機器の劣化の高精度な解析および効率的な解析のうち少なくとも一方の実現を図る。

【0053】

解析装置6は、検査データを生成すると、データベースシステム2へ検査データを送信する。なお、図9で例示したように、過去の計測データも用いて検査データが生成されている場合には、検査データのなかには、既に送信済みの部分が含まれている場合もある。この場合には、解析装置6は、更新されたデータだけをデータベースシステム2へ送信し

10

20

30

40

50

てもよい。データベースシステム2は、受信した検査データを記憶部21へ記憶する。このとき、データ管理部23は、各車両5の機器ごとに検査データを記憶部21へ記憶する。

【0054】

以下、本実施の形態の診断システム1の動作について説明する。図10は、本実施の形態の診断システム1における診断処理手順の一例を示すフローチャートである。図10に示すように、診断システム1は、診断対象の機器に対応する検査データ、該検査データに対応する走行データおよび運行情報を取得する(ステップS1)。具体的には、データ取得部12が、通信部11を介して、データベースシステム2から診断対象の機器に対応する検査データ、該検査データに対応する走行データおよび運行情報を取得し、データ記憶部13に格納する。なお、検査データ、走行データ及び運行情報は、編成情報を用いて対応付けて管理されてもよい。なお、データベースシステム2と診断システム1が同一のコンピュータシステムにより実現される場合には、ステップS1の実施は不要である。この場合、データ記憶部13は記憶部21に統合されている。

10

【0055】

図11は、本実施の形態の検査データの構成例を示す図である。検査データは、例えば、図11に示すように、車両5を識別するための編成情報(車両番号)と、機器を示す機器ID(IDentifier)と、日時ごとの解析結果とを含む。すなわち、検査データは、複数の日時においてそれぞれ計測した計測データに基づいて算出された複数の日時のそれに対応する機器の劣化量を含む。なお、検査データに含まれる解析結果は、上述した反映部65を介した作業者からの入力が反映された解析結果であるが、検査データに、解析装置6の解析部63による解析結果自体も含めてもよい。また、検査データに、計測システム8の計測データを含めてもよい。このように、データベースシステム2において、検査データは、各車両5の機器ごとに管理される。このため、診断システム1は、診断対象の車両5と機器を指定することにより、データベースシステム2から、診断対象の機器の検査データを取得することができる。検査データの具体的な形式は図11に示した例に限定されない。

20

【0056】

図12は、本実施の形態の走行データの一例を示す図である。図12に示した例では、走行データは、編成情報(車両番号)と日時ごとの各機器に対応する制御指令、応答、状態値等とを含む。なお、制御指令、応答、状態値が周期的に取得される場合には、個別に日時が付加されている必要はなく、これらのデータのはじめのデータの日時だけが示されればよい。走行データの具体的な形式は図12に示した例に限定されない。制御指令は、例えば、ノッチ指令、ブレーキ指令等である。状態値は、例えば、車両5の速度、車両5の重量、車両5の車内温度、外気温、台車の空気ばね圧力、ブレーキ管圧力、ブレーキシリンダ圧力等である。

30

【0057】

図13は、本実施の形態の運行情報に含まれる路線状態情報の一例を示す図である。路線状態情報は、図13に示すように、路線名と、路線の総距離である距離と、停車駅数と、カーブ情報と、点検情報とを含む。なお、図示はしないが運行情報には、編成情報(車両番号)が含まれてもよい。なお、図13では、路線を識別する路線識別情報の一例として路線名を記載しているが、路線識別情報は路線名に限定されない。停車駅数は、快速、普通、特急といった列車種別ごとに示される。カーブ情報は、当該路線におけるカーブの位置、曲率等を含む。カーブ情報は、路線のカーブに関する情報であればよく、上述した例に限定されず、カーブの総数であってもよい。点検情報は、当該路線の点検において、なんらかの異常が検出されたことを示す情報である。点検情報は、例えば、トロリ線がいつ更新されたかを示す情報、トロリ線の異常の有無等を含んでいてもよい。このようなトロリ線に関する情報が点検情報に含まれていると、劣化解析部14は、例えば、トロリ線の状態とパンタグラフ51のすり板511の摩耗量との関係を解析することができる。なお、路線状態情報のうち、カーブ情報と点検情報は、運行情報に含まれていなくてもよく、診断システム1に直接これらの情報が入力されてもよい。または、データベースシステ

40

50

ム 2 が、カーブ情報と点検情報を他の装置から収集して、運行管理システム 4 1 から取得した運行情報の路線状態情報を追加してもよい。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 の説明に戻る。ステップ S 1 の後、診断システム 1 は、走行データおよび運行情報から、対応する車両の路線情報を取得する（ステップ S 2）。詳細には、データ取得部 1 2 が、データ記憶部 1 3 に格納されている走行データおよび運行情報から、対応する車両の路線情報に対応する情報を抽出することにより、路線情報を生成して、路線情報をデータ記憶部 1 3 に格納する。路線情報は、少なくとも車両の走行した路線を示す情報を含むが、ここでは、将来、車両 5 が走行する路線を示す情報も含むこととする。路線情報が、将来車両 5 が走行する路線を示す情報を含む場合には、後述する劣化量の予測で路線情報を用いることができる。データ取得部 1 2 は、将来車両 5 が走行する路線を示す情報を、運行情報の運行計画から取得することができる。なお、運行情報だけから路線情報を生成できる場合には、データ取得部 1 2 は、走行データを用いずに運行情報から路線情報を生成する。

【 0 0 5 9 】

図 1 4 は、本実施の形態の路線情報の一例を示す図である。上述したように、路線情報は、例えば、運行情報に基づいて生成される。データベースシステム 2 には、車両 5 の車両番号と日時ごとに路線情報が格納されている。路線情報は、車両 5 ごとに、当該車両 5 がどの路線を走行したかを示す情報を少なくとも含む。図 1 4 に示した例では、路線情報は、路線名等の路線を識別する路線識別情報と、快速、普通といった列車種別を示す情報と、車両 5 が運行される時間帯を示す時間帯情報を示す。時間帯情報は、1 日の時間帯を例えば、早朝、朝のラッシュ時間帯、昼間の時間帯、夕方からのラッシュ時間帯、夜間の時間帯など、乗客の数、気温等が異なると思われる時間帯に区分しておき、車両 5 が走行したその時間帯で各路線を走行したかを示す。また、時間帯情報に、平日と休祝日との区分を示す情報を追加してもよい。なお、時間帯の区分は上述した例に限定されない。

【 0 0 6 0 】

なお、ここでは、診断システム 1 のデータ取得部 1 2 が路線情報を生成する例を説明するが、データベースシステム 2 のデータ管理部 2 3 が、運行情報に基づいて路線情報を生成し、診断システム 1 がデータベースシステム 2 から路線情報を取得してもよい。また、診断システム 1 は、路線情報を生成せずに、路線情報に相当する情報を、走行データおよび運行情報のうち少なくとも 1 つから対応する情報を抽出して用いることにより、路線情報を用いた処理を実施してもよい。この場合も、路線情報を用いた処理を行っていることに相当する。

【 0 0 6 1 】

図 1 0 の説明に戻る。ステップ S 2 の後、診断システム 1 は、検査データおよび路線情報に基づいて機器の劣化の実績を解析する（ステップ S 3）。詳細には、劣化解析部 1 4 が、データ記憶部 1 3 に格納されている検査データおよび路線情報に基づいて機器の劣化の実績を解析する。例えば、劣化解析部 1 4 は、路線情報を用いて、対応する路線状態情報を参照することで、検査データ内の各解析結果である各劣化量に対応する日時における車両 5 の走行の状態の実績を示す第 1 情報を求め、第 1 情報と劣化量の対応を求める。第 1 情報の一例は上述したように過去の走行距離であるが、これに限らず、機器が搭載された車両 5 の走行した路線のカーブに関する情報、停車した駅の数等であってもよい。さらには、第 1 情報は、車両 5 の走行した路線に関する後述する点検情報をあってもよい。第 1 情報と劣化量の対応は、例えば、第 1 情報と劣化量との関係を示すパラメータにより示される。このように、劣化解析部 1 4 による解析結果は、例えば、第 1 情報と劣化量との関係を示すパラメータを含む。パラメータの具体例については後述する。

【 0 0 6 2 】

図 1 5 は、本実施の形態の、機器の劣化の実績の解析結果の一例を示す図である。図 1 5 に示した例では、劣化解析部 1 4 が図 9 に例示したすり板 5 1 1 の摩耗量の検査データを用いて解析した解析結果 3 0 5 を示している。図 9 では、摩耗量実績値 3 0 1 は、横軸

が日付であったが、図15の解析結果305は、横軸は走行距離で示されている。計測点302, 303, 304は、それぞれ図9に示した1日目、2日目、3日目の計測日に対応する点である。図15に示した例では、走行距離を横軸にとることで、すり板511の摩耗量が、直線に近くなっている。このように、すり板511の摩耗量が、経過日数より走行距離との相関が高い場合、走行距離を横軸にとることで、摩耗の傾向をより把握しやすくなる。なお、ここでは走行距離を例にあげたが、このかわりに、路線状態情報のカーブ情報を用いて、カーブの総数等を横軸にとることも可能である。また、走行距離とカーブの総数との両方への依存度を確認するために3次元で表示することも可能である。

【0063】

また、例えば、劣化解析部14が、列車種別ごとに、走行距離と機器の劣化量との関係を算出する等といった解析を行うことも可能である。同様に、列車種別および時間帯ごとに、走行距離と機器の劣化量との関係を算出する等といった解析を行うことも可能である。また、各路線の時間帯ごとの乗客数の平均値などを算出しておき、路線および時間帯ごとの乗客数を混雑度情報としてデータ記憶部13に格納しておき、劣化解析部14が、路線情報と混雑度情報に基づいて、乗客数を算出することで、車両5の重量の履歴を推定してもよい。劣化解析部14は、車両5の重量の履歴を用いて、機器の劣化量を解析してもよい。なお、混雑度情報として乗客数に基づいて重量自体を、路線および時間帯ごとに保持してもよい。

【0064】

また、劣化解析部14は、路線状態情報だけでなく、走行データも用いることで、速度が一定値以上であった時間の積分値とすり板511の摩耗量との相関を求めるなどの解析を行ってもよい。同様に、走行データとして格納されている各種状態値自体、または走行データから算出されるブレーキの回数等と、すり板511の摩耗量との相関を求め、相関の高いものを横軸にとって、すり板511の摩耗量を表示することも可能である。すり板511の摩耗量に限らず、同様に、各機器の劣化を解析することができる。劣化解析部14は、例えば、すり板511の摩耗量等の各機器の劣化を示す劣化量と相関の高いデータを選択し、選択したデータの関数として劣化量を表すことができる。具体的には、劣化解析部14は、例えば、線形回帰分析により、すり板511の摩耗量 $f(R)$ を、以下の式(1)に示すような走行距離 R の一次関数として近似するためのパラメータ b_1, b_2 を算出する。式(1)は2次元の線形回帰分析を行う例であるが、多次元の線回帰分析を行い、すり板511の摩耗量を複数の変数の関数として算出するための各パラメータを算出してもよい。また、線形回帰分析に限らず、走行距離等の変数とすり板511の摩耗量との関係を多項式で近似するための回帰分析を行い、多項式の係数を各パラメータとして求めてよい。これらのパラメータは、第1情報と劣化量との関係を示すパラメータの例である。

$$f(R) = b_1 \cdot R + b_2 \dots \quad (1)$$

【0065】

図10の説明に戻る。ステップS3の後、診断システム1は、ステップS3の解析結果と運行情報に基づいて機器の劣化を予測する(ステップS4)。詳細には、劣化予測部15が、劣化解析部14の解析結果と、運行情報に含まれる運行計画とに基づいて、機器の劣化を予測する。例えば、路線情報に将来車両5が走行する路線を示す情報が含まれている場合、劣化予測部15は、路線情報を用いて車両5の将来の走行の状態を示す第2情報を取得し、第2情報とパラメータとに基づいて機器の将来の劣化量を予測する。第2情報は、走行距離等の第1情報と同種の情報であるが、第1情報は過去の情報であるのに対し、第2情報は将来の情報である。例えば、ステップS3の解析により、すり板511の摩耗量が走行距離の関数として算出されていた場合には、運行計画または路線情報に基づいて、路線状態情報から各路線の距離を取得することにより当該車両5の将来の日時ごとの走行距離を求め、すり板511の摩耗量を予測する。

【0066】

次に、診断システム1は、交換時期を推定する(ステップS5)。詳細には、交換時期

10

20

30

40

50

推定部 16 が、劣化予測部 15 の予測値と、あらかじめ定められた、機器の交換条件と、を用いて、機器の交換時期を推定する。機器の交換条件は、例えば、機器がすり板 511 である場合、摩耗量が限界値を超えるという条件である。また、交換時期推定部 16 は、予測結果と、あらかじめ定められた機器の調整の条件とに基づいて、機器が調整を要する状態となる時期を推定してもよい。調整の一例は、車輪断面の摩耗、および、フラットを除去するために、車輪 52 を削る作業である。ここでいう車輪断面とは、切断面を、車輪 52 を含む面としたときの車輪 52 の断面であり、車輪断面の摩耗は、この断面における車輪 52 の形状が元の形状から摩耗によりすり減ることを意味する。交換および調整に関するこれらの条件は機器ごとに定められており、機器ごとの条件を交換時期推定部 16 が保持している。この条件は、端末装置 9 を介して診断システム 1 に設定されてもよいし、解析装置 6 から診断システム 1 が受信することで設定されてもよいし、診断システム 1 に直接、作業者等により入力されてもよい。

【 0 0 6 7 】

次に、表示部 17 は、結果を提示する（ステップ S6）。表示部 17 は、例えば、上述した処理で得られる結果を表示する。表示される結果は、ステップ S3 の解析結果であってもよいし、ステップ S4 の予測結果であってもよいし、ステップ S5 の交換時期の推定値であってもよいし、これらの組み合わせであってもよい。表示部 17 は、日付に対する劣化量を示すグラフと、第 1 情報に対する劣化量を示すグラフと、を切替え可能であってもよい。なお、診断システム 1 は、これらの結果を端末装置 9 へ送信し、端末装置 9 がこれらの結果を表示してもよい。

【 0 0 6 8 】

図 16 は、本実施の形態におけるすり板 511 の摩耗量の予測結果の表示例を示す図である。図 16 に示した例では、ステップ S4 で算出された予測値 306 が、図 9 に示した摩耗量実績値 301 とともに表示される。図 16 では、日付を横軸にとっているため、作業者は、交換時期を把握しやすくなる。図 16 に示した限界値 307 は、摩耗量の限界値を示している。

【 0 0 6 9 】

このように、本実施の形態では、路線情報を用いて、検査データと検査データに対応する車両 5 が走行した路線に関する情報を対応付けることができるので、多様な情報に基づいて、機器の劣化を解析することができる。したがって、解析の精度の向上を図ることができる。さらに、走行データを用いて解析を行うと、さらに解析の精度の向上を図ることができる。

【 0 0 7 0 】

また、以上の説明では、パンタグラフ 51 のすり板 511 の摩耗量を例に挙げて説明したが、上述したように、他の車載機器 50 の劣化の解析および予測を行うことも可能である。図 17 は、本実施の形態の劣化の一例である車輪断面の摩耗を示す図である。図 17 は、車輪 57 を通る断面を切断面としたときの車輪 52 の断面を模式的に示す。車輪 52 には、図 17 の車輪 52 の右端部分に示されているようにフランジが設けられる。車輪 52 の右側の平らな部分は線路と接触する接触面（車輪踏面）である。フランジと車輪踏面との境界部分はなだらかな曲面となっている。図 17 では、正常な車輪 52 の形状を実線で示しており、2 種類の摩耗により車輪 52 の形状が変化したときの車輪 52 の形状をそれぞれ摩耗形状 521, 522 として 1 点鎖線で示している。

【 0 0 7 1 】

摩耗形状 521 は、車輪 52 のフランジが削られるフランジ摩耗が生じた場合の車輪 52 の断面の形状を模式的に示している。フランジ摩耗が生じると、摩耗形状 521 として示したように、正常時に比べて、フランジと車輪踏面を接続する曲面が急峻になったりフランジの厚みが減少したりする。摩耗形状 522 は、車輪踏面の勾配が変化するような摩耗が生じた場合の車輪 52 の断面の形状を模式的に示している。摩耗形状 521, 522 に示されるような車輪 52 の断面形状を変化させる摩耗である車輪断面の摩耗が生じると、車両 5 が脱線するなどの重大事故になる可能性がある。このため、車輪断面の摩耗が進

行した場合には、車輪 5 2 の車輪踏面を削る調整作業が行われる。また、摩耗がより進行して調整作業では対応しきれない場合には、車輪 5 2 の交換が行われる。車輪断面の摩耗がどの程度進行すると調整作業が行われるかの条件はあらかじめ定められている。このため、検査システム 6 0 の計測システム 8 では、軌道内装置 8 2 により、カメラ、レーザーなどの計測機器により、車輪断面を計測し、車輪 5 2 に生じた摩耗を検知する。解析装置 6 は、上述したすり板 5 1 1 の摩耗量と同様に、車輪断面の摩耗量の変化を解析する。解析対象の摩耗量は、例えば、フランジの厚さ、車輪 5 2 の厚さ、フランジと車輪踏面を接続する曲面の曲率半径、車輪踏面の勾配等のうちの少なくとも 1 つである。これらの車輪断面の摩耗量は線路の形状、カーブ量などに依存するため、診断システム 1 は、車輪断面の摩耗量を劣化量と扱って、上述したすり板 5 1 1 の摩耗量と同様の解析および予測を行うことも可能である。また、診断システム 1 は、上述した調整、交換の条件を用いて、車輪 5 2 の調整または交換の時期を推定することも可能である。

【 0 0 7 2 】

同様に、計測システム 8 は、パンタグラフ 5 1 の傾き、上昇度、がいしの破損等を検出するための計測を行うことができる。また、計測システム 8 は、車両 5 の外観すなわち車体の傷、凹み等を検出するための計測を行うことができる。また、計測システム 8 は、ブレーキの摩耗を検出するための計測、モータの絶縁劣化を検出するための計測、台車の劣化度合いを検出するための計測、歯車、歯車箱、モータ等の材質の劣化度合いを検出するための計測等様々な計測を行うことができる。ブレーキの摩耗としては、踏面ブレーキにおける制輪子の摩耗、ディスクブレーキにおけるライニングの摩耗が例示できる。台車の劣化度合を表す指標としては、画像を取得することによりキズ、亀裂等の数および大きさが挙げられる。台車の劣化度合を表す別の指標としては、画像から算出される車体の高さが挙げられる。車体の高さを求めるによる空気バネの劣化の度合いを把握することができる。また、機器の劣化の度合いを検出するための計測として、サーモカメラ等により温度の計測が行われてもよい。例えば、台車、歯車、歯車箱、モータ等の材質の劣化度合いを検出するために、これらに対応する箇所の温度を計測してもよい。診断システム 1 は、これらの計測データを用いて生成される検査データを用いて、すり板 5 1 1 の摩耗量と同様に、これらの機器の劣化の度合いを示す劣化量の実績を解析したり、劣化量を予測したり、交換または調整を要する状態となる時期を推定したりすることができる。なお、データベースシステム 2 が、単一の鉄道事業者により運行される様々な車両 5 だけでなく、複数の鉄道事業者により運行される車両 5 の各種情報を収集するようにすることで、本実施の形態の診断システム 1 は、複数の鉄道事業者に車両 5 の劣化の診断結果を提供することができる。

【 0 0 7 3 】

以上のように、本実施の形態では、診断システム 1 が、車両 5 の機器の検査のための検査データと、車両 5 の路線情報とに基づいて、機器の劣化を解析するようにした。このため、解析の精度の向上および効率的な解析のうち少なくとも一方を図ることができる。さらに、走行データを用いて解析を行うと、さらなる解析の精度の向上を図ることができる。

【 0 0 7 4 】

実施の形態 2 .

図 1 8 は、本発明の実施の形態 2 にかかる診断システムの構成例を示す図である。本実施の鉄道管理システムは、実施の形態 1 の診断システム 1 のかわりに診断システム 1 a を備える以外は実施の形態 1 の鉄道管理システム 3 と同様である。本実施の形態の端末装置 9 、検査システム 6 0 、運行管理システム 4 1 、無線装置 4 2 および車両 5 は実施の形態 1 と同様である。実施の形態 1 と同様の構成要素は、実施の形態 1 と同一の符号を付して重複する説明を省略する。以下、実施の形態 1 と異なる点を主に説明する。

【 0 0 7 5 】

図 1 8 に示すように、診断システム 1 a は、実施の形態 1 の診断システム 1 に学習部 1 8 が追加され、データ記憶部 1 3 のかわりにデータ記憶部 1 3 a を備える以外は、診断システム 1 と同様である。本実施の形態では、劣化予測部 1 5 は、予測した結果を推定結果

10

20

30

40

50

としてデータ記憶部 13a へ格納する。また、推定結果には予測に用いた検査データも格納しておく。学習部 18 は、データ記憶部 13a に格納された推定結果に対応する検査データに含まれる劣化量である劣化量の実績値を取得すると、実績値と推定結果との差分を求める。学習部 18 は、劣化予測部 15 の予測に用いたパラメータと差分とを対応付けて教師データとして用いてニューラルネットワーク等の機械学習モデルを生成する。このパラメータは、上述した第 1 情報と劣化量との関係を示すパラメータである。すなわち、学習部 18 は、劣化予測部 15 により予測された予測値と、計測データに基づいて算出された当該予測値に対応する日時の劣化量の実績値との差分を算出し、劣化予測部 15 の予測に用いたパラメータと差分との関係を学習する。

【0076】

学習部 18 は、新たな検査データを受け取ると、学習済の機械学習モデルを用いて差分の推定値を算出する。この差分の推定値を用いて、劣化予測部 15 がパラメータを修正することで、高精度な予測を実現することができる。なお、差分を学習する際に、データベースシステム 2 が情報を収集する全ての車両 5 の同一の機器の情報に基づいて機械学習を行ってもよいし、鉄道事業者ごと、または走行した路線ごとに機械学習を行ってもよい。例えば、学習部 18 は、パンタグラフ 51 のすり板 511 に関して全鉄道事業者の車両 5 に関して、走行距離と摩耗量の関係を算出することにより得られる予測値と、対応する実績値との差分を算出し、走行距離と摩耗量の関係を示すパラメータと差分との組を教師データとして学習しておく。そして、学習部 18 は、新たな検査データを取得して、走行距離と摩耗量の関係を示すパラメータを学習済モデルに入力して差分の推定値を得ることで、パラメータを補正する。または、摩耗量と対応する走行距離との複数組のデータセットと上述した差分とを教師データとして用いて、機械学習を行っておき、新たな検査データを取得すると走行距離と摩耗量とのデータセットを学習済モデルに入力して差分の推定値を得てもよい。さらには、走行距離だけでなく、検査データに対応する車両 5 の走行した路線状態情報から得られる情報と走行データの状態値等の全ての情報と上記の差分とのデータセットを教師データとして用いて機械学習を行ってもよい。

【0077】

実施の形態 3 .

図 19 は、本発明の実施の形態 3 にかかる診断システムの構成例を示す図である。本実施の鉄道管理システムは、実施の形態 1 の診断システム 1 のかわりに診断システム 1b を備える以外は実施の形態 1 の鉄道管理システム 3 と同様である。本実施の形態の端末装置 9、検査システム 60、運行管理システム 41、無線装置 42 および車両 5 は実施の形態 1 と同様である。実施の形態 1 と同様の構成要素は、実施の形態 1 と同一の符号を付して重複する説明を省略する。以下、実施の形態 1 と異なる点を主に説明する。

【0078】

図 19 に示すように、診断システム 1b は、実施の形態 1 の診断システム 1 に分類部 19 が追加され、データ記憶部 13 のかわりにデータ記憶部 13b を備える以外は、診断システム 1 と同様である。

【0079】

本実施の形態では、検査データに、機器 ID だけでなく、機器の製造メーカー、機器の型番、製造年月日、ロット番号等を示す製造情報が含まれる。製造情報は、少なくとも機器の製造メーカーを示す情報を含む。例えば、図 20 は、本実施の形態の検査データの一例を示す図である。診断システム 1b は、図 10 に示したステップ S3 までの処理、またはステップ S4 までの処理が行われた後、これらの結果をデータ記憶部 13b に製造情報ごとに、グルーピング情報として保持しておく。本実施の形態の診断システム 1b は、多数の車両 5 の情報に基づいて解析を行うことができるため、製造情報ごとに劣化の解析結果等をグルーピングすることで、製品自体の異常、またはロット異常などを検出することができる。

【0080】

図 21 は、本実施の形態のグルーピング結果の一例を示す図である。図 21 は、分類部

10

20

30

40

50

19により製造情報ごとに、グルーピングされた後の、各グループの劣化の実績値および予測値を示している。分類部19は、グループごとの劣化の実績値および予測値をグルーピング情報としてデータ記憶部13bへ格納する。図21は、パナグラフ51のすり板511の摩耗量を例にあげて、3つのグループの摩耗量の実績値および予測値を示している。摩耗量401は、グループ#1の摩耗量の実績値および予測値を示し、摩耗量402は、グループ#2の摩耗量の実績値および予測値を示し、摩耗量403は、グループ#3の摩耗量の実績値および予測値を示している。なお、実線部分が実績値であり、破線部分が予測値である。図21に示した例では、グループ#3に対応するロットのすり板511の摩耗量が大きくなっている。なお、図21では予測値も表示される例を示しているが、実績値だけが表示されてもよい。分類部19は、劣化解析部14による解析結果を、機器の製造メーカーごとに分類してもよいし、製造メーカーおよび製造年月日ごと、すなわちロットごとに分類してもよい。

【0081】

また、各機器は、常時、同じ車両5に搭載されているとは限らず、途中で、別の車両5への載せ替えが行われる場合がある。例えば、車両5の走行距離がわかったとしても、載せ替えが行われた機器に対応する真の走行距離を把握することができない。このため、このような載せ替えの情報をトレース情報として管理すると、機器に着目した劣化をより精度よく解析することができる。図22は、本実施の形態のトレース情報の一例を示す図である。図22に示すように、トレース情報は、機器IDと当該機器に対応する製造情報といつからいつまでどの車両5に搭載されたかを示す情報を示す。例えば、このトレース情報と実施の形態1で述べた路線情報を組み合わせることにより、各機器に対応する走行距離を算出することができる。これにより、各機器のトレーサビリティを向上させるとともに、機器の劣化の解析精度を向上させることができる。なお、トレース情報には、製造情報を含めなくてもよい。製造情報に基づく、分類を行わない場合でも、機器ごとに劣化の解析および予測を行うことで、解析精度および予測精度を向上させることができる。

【0082】

なお、上述した例では、実施の形態1の診断システム1に分類部19を追加したが、実施の形態2の診断システム1aに分類部19を追加してもよい。この場合、学習部18は、グループごとに、推定結果の学習を行ってもよい。

【0083】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

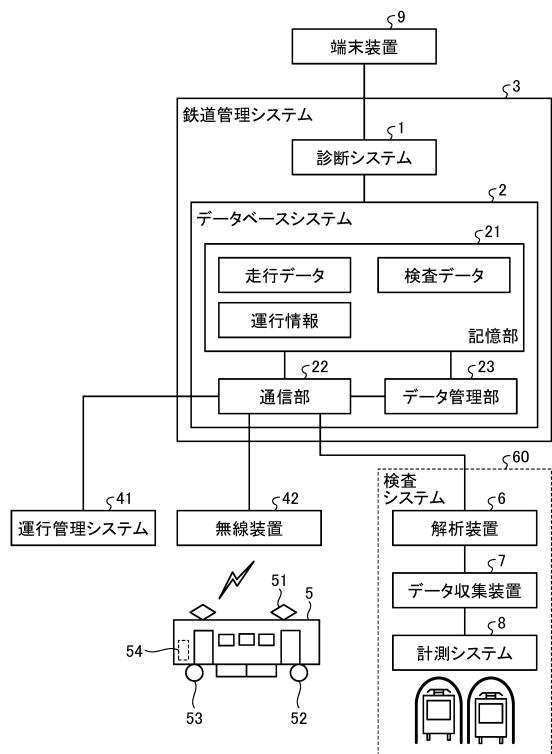
【符号の説明】

【0084】

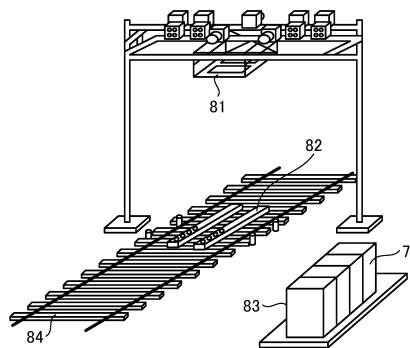
1, 1a, 1b 診断システム、2 データベースシステム、3 鉄道管理システム、5 車両、6 解析装置、7 データ収集装置、8 計測システム、9 端末装置、11, 22, 61 通信部、12 データ取得部、13, 13a, 13b データ記憶部、14 劣化解析部、15 劣化予測部、16 交換時期推定部、17 表示部、18 学習部、19 分類部、21 記憶部、23 データ管理部、41 運行管理システム、42, 541 無線装置、50-1, 50-2 車載機器、51 パンタグラフ、52 車輪、53 床下機器、54 車上装置、55 トロリ線、62 計測データ記憶部、63 解析部、64 解析結果提示部、65 反映部、66 検査データ生成部、511 すり板、542 制御装置。

【図面】

【図 1】



【図 2】

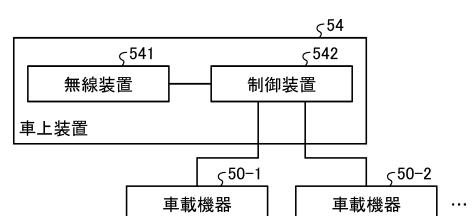
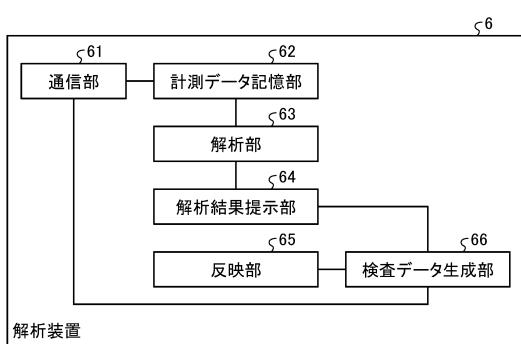


10

20

【図 3】

【図 4】

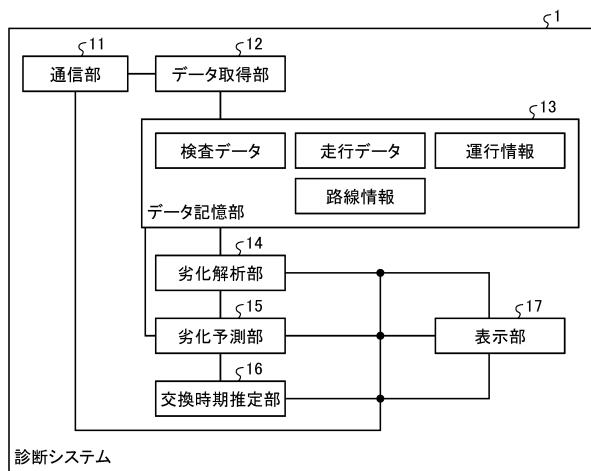


30

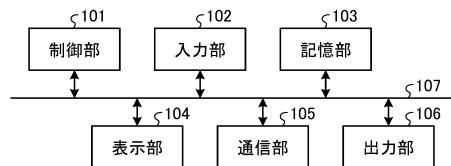
40

50

【図 5】

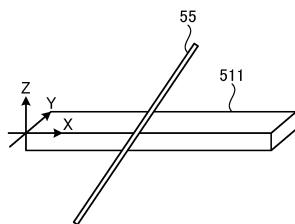


【図 6】

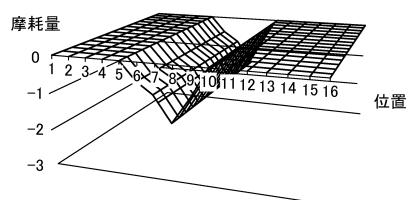


10

【図 7】



【図 8】



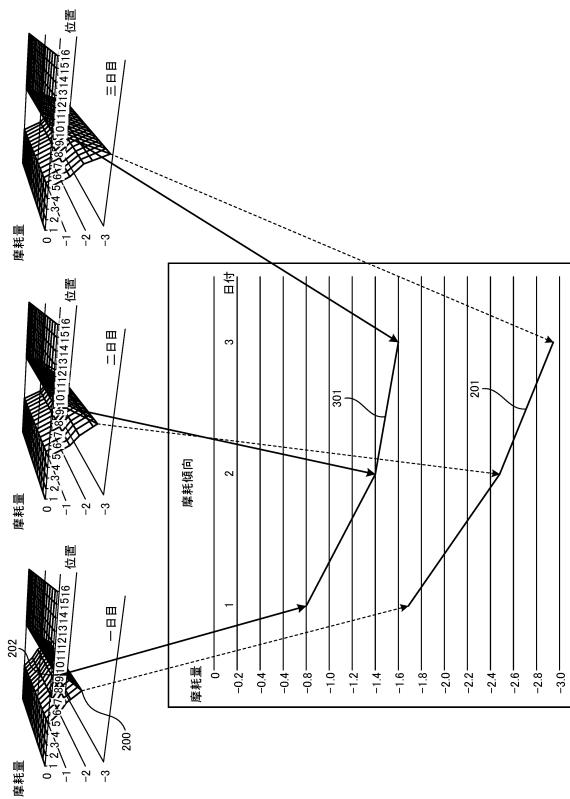
20

30

40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

【図 11】

車両番号	001
機器ID	011
日時	解析結果
Y.M.D ₁ .T	-0.8
Y.M.D ₂ .T	-1.4
	...

車両番号	001		
日時	機器#1	機器#2	...
Y.M.D ₁ .T ₁₁	状態値#1	制御指令#1 応答#1	...
Y.M.D ₁ .T ₁₂	状態値#2	-	...
Y.M.D ₁ .T ₁₃	状態値#3	-	...
...

40

50

【図 1 3】

路線名	路線A	
距離	AAAk m	
停車駅数	快速	15
	普通	25
カーブ情報	曲率	位置
	r_1	L_1
	r_2	L_2

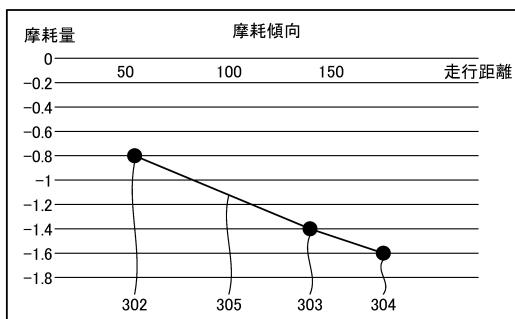
点検情報

【図 1 4】

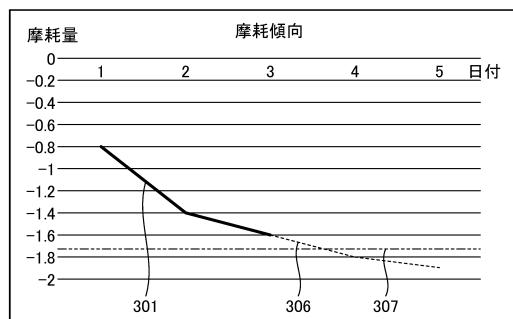
車両番号	001		
日時	路線情報		
$Y.M.D_i, T_1 \sim Y.M.D_i, T_2$	路線A	快速	時間帯#1
$Y.M.D_i, T_3 \sim Y.M.D_i, T_4$	路線B	普通	時間帯#1
...			

10

【図 1 5】



【図 1 6】



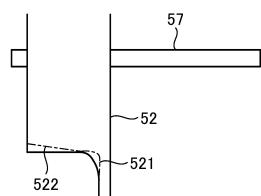
20

30

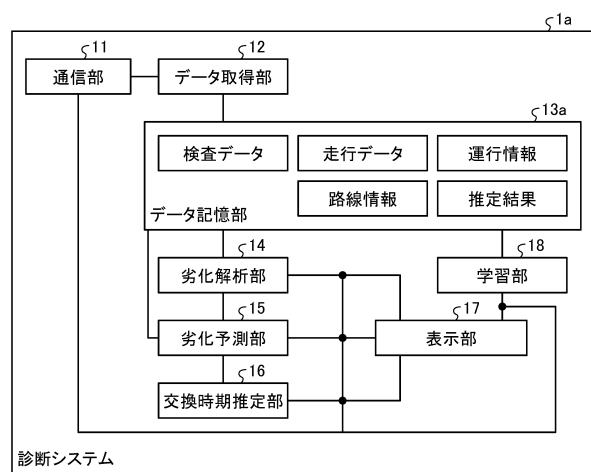
40

50

【図17】



【図18】

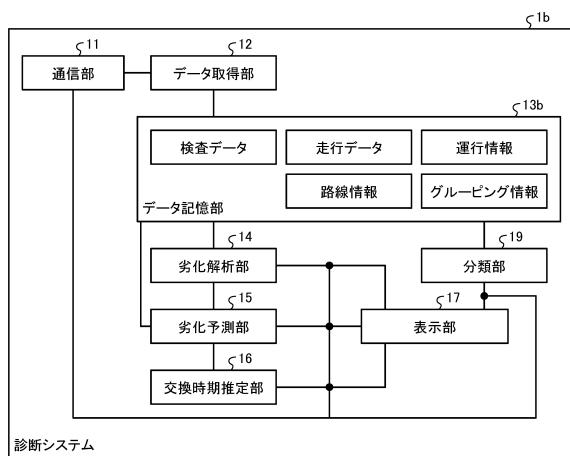


10

【図19】

【図20】

20



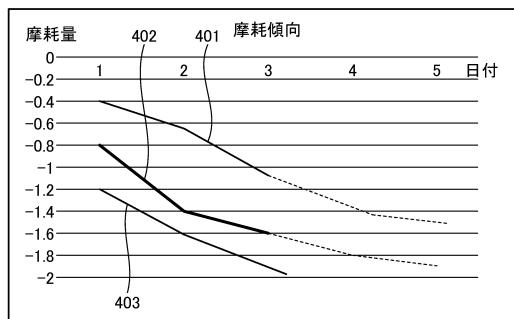
車両番号	001
機器ID	011
製造情報	aaa
日時	解析結果
Y.M.D ₁ .T	-0.8
Y.M.D ₂ .T	-1.4
	...

30

40

50

【図 2 1】



【図 2 2】

機器ID	011
製造情報	aaa
日時	車両番号
Y.M ₁ .D ₁ .T	001
Y.M ₂ .D ₂ .T	002
...	...

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2017-187418 (JP, A)
 特開2019-022306 (JP, A)
 特開2018-020752 (JP, A)
 特開2014-091424 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G 01 M 17 / 00 - 17 / 10
G 01 M 99 / 00
B 61 L 25 / 00 - 25 / 08
B 60 C 19 / 00
B 60 S 5 / 00