(19)日本国特許庁(JP)　(12)特許公報(B2)　(11)特許番号
特許第7369631号
(P7369631)
(45)発行日　令和5年10月26日(2023.10.26)　(24)登録日　令和5年10月18日(2023.10.18)

(51)国際特許分類　ＦＩ
Ｇ０１Ｍ　17/10　(2006.01)　Ｇ０１Ｍ　17/10
Ｇ０１Ｈ　17/00　(2006.01)　Ｇ０１Ｈ　17/00　Ａ

請求項の数　4　（全19頁）

(21)出願番号　特願2020-15566(P2020-15566)
(22)出願日　令和2年1月31日(2020.1.31)
(65)公開番号　特開2021-124294(P2021-124294A)
(43)公開日　令和3年8月30日(2021.8.30)
審査請求日　令和4年6月24日(2022.6.24)

(73)特許権者　000173784
公益財団法人鉄道総合技術研究所
東京都国分寺市光町二丁目８番地３８
(73)特許権者　590003825
北海道旅客鉄道株式会社
北海道札幌市中央区北１１条西１５丁目１番１号
(74)代理人　100149548
弁理士　松沼 泰史
(74)代理人　100126664
弁理士　鈴木 慎吾
(74)代理人　100189348
弁理士　古都 智
(74)代理人　100147267
弁理士　大槻 真紀子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　偏摩耗量推定システム、偏摩耗量推定方法、配置決定方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

レールの長さ方向に間隔をおいて設けられ、前記レール上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する少なくとも３つの振動センサと、

前記振動センサが検出する振動のパワー和を算出するパワー和算出部と、

前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する換算部と、

を備える偏摩耗量推定システム。

【請求項２】

前記振動センサは、前記車輪の偏摩耗部分が前記レールに接する位置による前記パワー和の相違が、所定の相違以内になるように配置される、請求項１に記載の偏摩耗量推定システム。

【請求項３】

レールの長さ方向に間隔をおいて設けられた少なくとも３つの振動センサが、前記レール上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する工程と、

前記振動センサが検出する振動のパワー和を算出する工程と、

前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する工程と、

を含む偏摩耗量推定方法。

【請求項４】

コンピュータに、

レールの長さ方向に間隔をおいて設けられた少なくとも３つの振動センサが、前記レー

ル上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する振動のパワー和を算出する工程と、
前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する工程と、
を実行させるためのプログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、偏摩耗量推定システム、偏摩耗量推定方法、配置決定方法およびプログラムに関する。
【背景技術】
【０００２】
鉄道車両の車輪の偏摩耗の検出に関連して、特許文献１に記載の車両偏摩耗度合い判定システムは、車両の通過に伴う線路構造物の振動を測定し、測定した振動から取り出した特定周波数範囲の成分と、振動加速度レベルを偏摩耗量に換算するための基準データとに基づいて、車両の車輪の偏摩耗度合いの判定を行う。
【０００３】
また、特許文献２に記載の車両偏摩耗度合い判定システムは、線路構造物の振動測定値に基づいて車両の速度を算出し、算出した速度に応じた周波数成分に基づいて車両または車両の部分が所定位置を通過する通過タイミングを判定する。そして、この車両偏摩耗度合い判定システムは、検出した通過タイミングに応じた時間範囲のデータに基づいて、車輪の偏摩耗度合いの判定を行う。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】特開２０１４－２３７３４８号公報
特許第６２４５４６６号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
振動センサを高架橋等の線路構造物ではなくレールに設置する場合、レールでの振動の減衰が偏摩耗量の推定に影響する。このレールでの振動の減衰の偏摩耗度量推定への影響を低減させることで、偏摩耗度量をより高精度に推定できることが好ましい。
【０００６】
本発明は、振動センサをレールに設置する場合に、レールでの振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を低減させることができるシステム及び方法を提供する。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明の第１の態様によれば、偏摩耗量推定システムは、レールの長さ方向に間隔をおいて設けられ、前記レール上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する少なくとも３つの振動センサと、前記振動センサが検出する振動のパワー和を算出するパワー和算出部と、前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する換算部と、を備える。
【０００８】
前記振動センサは、前記車輪の偏摩耗部分が前記レールに接する位置による前記パワー和の相違が、所定の相違以内になるように配置されるようにしてもよい。
【０００９】
本発明の第２の態様によれば、偏摩耗量推定方法は、レールの長さ方向に間隔をおいて設けられた少なくとも３つの振動センサが、前記レール上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する工程と、前記振動センサが検出する振動のパワー和を算出する工程と、前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する工程と、を含む。
【００１２】

本発明の第４の態様によれば、プログラムは、コンピュータに、レールの長さ方向に間隔をおいて設けられた少なくとも３つの振動センサが、前記レール上を通過する車輪により生じる振動をそれぞれ検出する振動のパワー和を算出する工程と、前記パワー和を車輪の偏摩耗量に換算する工程と、を実行させるためのプログラムである。

【発明の効果】

【００１３】

本発明によれば、振動センサをレールに設置する場合に、レールでの振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】実施形態に係る偏摩耗量推定システムの機能構成を示す概略ブロック図である。

【図２】実施形態に係る加速度センサのレールへの設置例を示す図である。

【図３】実施形態に係る偏摩耗量推定装置が車輪の偏摩耗量を推定する処理手順の例を示す図である。

【図４】実施形態に係るセンサの位置と車輪の偏摩耗に起因する振動との関係の例を示す図である。

【図５】実施形態に係る加速度センサをレールに１つ設置する場合の第１例を示す図である。

【図６】実施形態に係る加速度センサをレールに１つ設置する場合の第２例を示す図である。

【図７】実施形態に係る加速度センサをレールに２つ設置する場合の第１例を示す図である。

【図８】実施形態に係る加速度センサをレールに２つ設置する場合の第２例を示す図である。

【図９】実施形態で、レールに２つの加速度センサを配置する場合の、２つの加速度センサの距離、および、加速度センサの位置と偏摩耗部分接触位置との距離の例を示す図である。

【図１０】実施形態に係る２つのセンサの距離、および、偏摩耗部分接触位置から加速度センサまでの距離と、偏摩耗量推定精度との関係の例を示す図である。

【図１１】実施形態で、レールに３つの加速度センサを配置する場合の、加速度センサ間の距離、および、加速度センサの位置と偏摩耗部分接触位置との距離の例を示す図である。

【図１２】実施形態に係る加速度センサの位置と基準値とのレベル差の例を示す図である。

【図１３】実施形態に係る加速度センサの配置の検討例を示す図である。

【図１４】実施形態に係る加速度センサの配置の第１例を示す図である。

【図１５】実施形態に係る加速度センサの配置の第２例を示す図である。

【図１６】実施形態に係る加速度センサを３つ配置した場合のセンサの配置とパワー和との関係の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

以下、本発明の実施形態を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

図１は、本発明の実施形態に係る偏摩耗量推定システムの機能構成を示す概略ブロック図である。図１に示すように、偏摩耗量推定システム１は、加速度センサ１００と、偏摩耗量推定装置２００とを備える。偏摩耗量推定装置２００は、通信部２１０と、表示部２２０と、操作入力部２３０と、記憶部２８０と、制御部２９０とを備える。制御部２９０は、偏摩耗成分抽出部２９１と、補正部２９２と、パワー和算出部２９３と、換算部２９４と、車輪到達検出部２９５とを備える。

【００１６】

偏摩耗量推定システム１は、鉄道車両の車輪の偏摩耗量を推定する。ここでいう鉄道車

両は、偏摩耗の生じ得る車輪を備えてレールの上を走行する車両であればよい。偏摩耗量推定システム１が偏摩耗量を推定する対象の鉄道車両は、単体の車両で運用されていてもよいし、複数台の車両を連結して運用されていてもよい。

偏摩耗量推定システム１が偏摩耗量を推定する対象の鉄道車両を、対象車両と称する。

【００１７】

加速度センサ１００は、レールの長さ方向に間隔をおいて設けられ、レール上を車輪が通過することによって生じる加速度をそれぞれ検出する。但し、偏摩耗量推定システム１が備える振動センサは加速度センサに限定されず、レールの振動の大きさを測定可能なセンサを用いることができる。例えば、偏摩耗量推定システム１が、振動センサとして変位センサまたは速度センサを備えるようにしてもよい。

偏摩耗量推定システム１が備える加速度センサ１００の数は、３つまたはそれ以上であればよい。レール上に加速度センサ１００を３つ以上配置することで、以下に説明するように、車輪の偏摩耗部分がレールに接する位置にかかわらず、おおよそ一定の大きさの振動を測定できる。

【００１８】

図２は、加速度センサ１００のレールへの設置例を示す図である。

図２の例で、３つの加速度センサ１００がレールの長さ方向に間隔を置いて設けられている。車輪のどの位置に偏摩耗が生じた場合でも、加速度センサ１００が偏摩耗に起因する振動を拾えるように、車輪の周長からずれた間隔で加速度センサ１００が配置されていることが好ましい。

【００１９】

偏摩耗量推定装置２００は、加速度センサ１００によるセンシングデータ（加速度の測定データ）を用いて車輪の偏摩耗量を推定する。偏摩耗量推定装置２００は、例えばパソコン（Personal Computer；ＰＣ）またはワークステーション（Workstation）等のコンピュータを用いて構成される。

【００２０】

通信部２１０は、他の装置と通信を行う。特に、通信部２１０は、加速度センサ１００の各々が送信するセンシングデータを受信する。

表示部２２０は、液晶パネルまたはＬＥＤ（Light Emitting Diode、発光ダイオード）パネル等の表示画面を有し、各種画像を表示する。例えば、表示部２２０は、偏摩耗量推定装置２００が推定する偏摩耗量を表示する。

操作入力部２３０は、キーボード及びマウス等の入力デバイスを備え、ユーザ操作を受け付ける。

【００２１】

記憶部２８０は、各種データを記憶する。記憶部２８０は、偏摩耗量推定装置２００が備える記憶デバイスを用いて構成される。例えば、記憶部２８０は、偏摩耗量推定装置２００が加速度センサ１００のセンシングデータから算出するパワー和を車輪の偏摩耗量に換算する換算式を予め記憶する。この換算式は、例えば試験によって予め設定される。例えば、鉄道関係者等の人が、鉄道車両を用いた試験を行ってデータを採取し、パワー和と偏摩耗量との相関関係を線形近似して換算式を設定する。

但し、記憶部２８０がパワー和と偏摩耗量との相関関係を記憶する方法は、式の形式で記憶する方法に限定されない。例えば、記憶部２８０が、パワー和を偏摩耗量に換算するための換算テーブル（表）を記憶するようにしてもよい。

【００２２】

制御部２９０は、偏摩耗量推定装置２００の各部を制御して各種処理を行う。制御部２９０は、偏摩耗量推定装置２００が備えるＣＰＵ（Central Processing Unit、中央処理装置）が、記憶部２８０からプログラムを読み出して実行することで構成される。

偏摩耗成分抽出部２９１は、加速度センサ１００それぞれのセンシングデータから、偏摩耗成分を抽出する。ここでいう偏摩耗成分は、加速度センサ１００のセンシングデータに含まれる、車輪の偏摩耗を示す成分である。

【００２３】
例えば、偏摩耗成分抽出部２９１は、加速度センサ１００毎に、センシングデータを周波数変換する。そして、偏摩耗成分抽出部２９１は、得られた周波数成分のうち、偏摩耗を示す周波数として対象車両の速度に応じて予め定められている周波数成分を抽出する。偏摩耗成分抽出部２９１が抽出する周波数成分は、偏摩耗成分の例に該当する。偏摩耗成分抽出部２９１が加速度センサ１００のセンシングデータを周波数変換する方法は、特定の方法に限定されない。例えば、偏摩耗成分抽出部２９１が、ＦＦＴ（Fast Fourier Transform、高速フーリエ変換）等のフーリエ変換によって、センシングデータを周波数変換するようにしてもよい。
あるいは、偏摩耗成分抽出部２９１が、加速度センサ１００のセンシングデータにフィルタを適用して、対象車両の速度に応じた特定の周波数成分を抽出するようにしてもよい。
【００２４】
補正部２９２は、偏摩耗成分抽出部２９１が抽出する偏摩耗成分に対し、対象車両の速度に応じた補正を行う。対象車両の速度が速いほど加速度センサ１００のセンサ値（加速度の測定値）が大きくなる。このため、偏摩耗成分抽出部２９１が抽出する偏摩耗成分は、車輪の偏摩耗量が同じでも、対象車両の速度が速いほど大きくなる。
これに対し、補正部２９２は、偏摩耗成分の大きさに対する対象車両の速度の影響を低減させる補正を行う。具体的には、補正部２９２は、対象車両の速度が速いほど偏摩耗成分の値を小さくするように補正係数を乗算する。
補正部２９２が補正を行った偏摩耗成分を、補正後偏摩耗成分と称する。
【００２５】
パワー和算出部２９３は、加速度センサ１００が検出する加速度のパワー和を算出する。具体的には、パワー和算出部２９３は、加速度センサ１００毎の補正後偏摩耗成分を全ての加速度センサ１００について合計する。ここでは、周波数変換した各周波数の加速度振幅と基準加速度振幅との比の２乗をパワー比と称し、デシベル変換前のパワー比そのままを足し合わせたものがパワー和である。
換算部２９４は、パワー和算出部２９３が算出したパワー和を車輪の偏摩耗量に換算する。例えば、換算部２９４は、パワー和算出部２９３が算出するパワー和を記憶部２８０が記憶する換算式に入力して偏摩耗量を算出する。換算部２９４が取得する偏摩耗量は、偏摩耗量推定システム１による偏摩耗量の推定値として用いられる。
【００２６】
車輪到達検出部２９５は、車輪が偏摩耗量推定開始の基準位置に到達したタイミングを検出し、そのタイミングを示す信号を出力する。偏摩耗量推定開始の基準位置は、加速度センサ１００が、その基準位置に到達した車輪の偏摩耗量推定のために適切なデータを取得可能な位置として予め定められる。例えば、３個の加速度センサ１００がレールに沿って配置され、３個のうち真ん中の加速度センサ１００の真上の位置が偏摩耗量推定開始の基準位置と定められていてもよいが、これに限定されない。偏摩耗量推定開始の基準位置を、単に基準位置とも称する。
【００２７】
車輪到達検出部２９５が、加速度センサ１００の出力信号（センシングデータ）を用いて車輪が基準位置に到達したことを検出するようにしてもよい。あるいは、車輪到達検出部２９５が、加速度センサ１００の出力信号以外の情報を用いて車輪が基準位置に到達したことを検出するようにしてもよい。例えば、偏摩耗量推定システム１が光電センサを備えていてもよい。車輪が基準位置に到達して光電センサの光を遮光すると、光電センサが光を遮断されたことを示す信号を出力し、車輪到達検出部２９５が、光電センサからの信号を用いて、車輪が基準位置に到達したことを検出するようにしてもよい。
【００２８】
ここで、偏摩耗量推定システム１がリアルタイムで車輪の偏摩耗量を推定するようにしてもよい。あるいは、偏摩耗量推定システム１がバッチ処理で車輪の偏摩耗量を推定するなど、データ取得に対して時間遅れで偏摩耗量推定処理を行うようにしてもよい。

偏摩耗量推定システム１がリアルタイムで車輪の偏摩耗量を推定する場合、車輪到達検出部２９５は、車輪が基準位置に到達したことをリアルタイムで検出し、検出したことを示す信号をリアルタイムで出力する。

【００２９】

一方、偏摩耗量推定システム１がバッチ処理で車輪の偏摩耗量を推定する場合、車輪到達検出部２９５は、例えば、車輪が基準位置に到達した時刻を出力する。車輪到達検出部２９５が、車輪が基準位置に到達したことをリアルタイムで検出し、そのときの時刻を記憶部２８０が記憶しておくようにしてもよい。あるいは、車輪到達検出部２９５が、データ解析によって事後的に、車輪が基準位置に到達した時刻を検出するようにしてもよい。

【００３０】

車輪到達検出部２９５が、車輪が基準位置に到達したことを検出することで、偏摩耗量推定システム１は、車輪単位で偏摩耗量の推定を行うことができる。例えば、車輪到達検出部２９５が、車輪が基準位置に到達したことを検出した回数をカウントするようにしてもよい。これにより、車輪到達検出部２９５は、列車または車両の前から何番目の車輪が基準位置に到達したか、したがって、前から何番目の車輪が偏摩耗量推定の対象となっているかを把握できる。

【００３１】

一方、偏摩耗量推定システム１は、レールでの振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を比較的受けにくい。これにより、偏摩耗量推定システム１が偏摩耗量を推定する際の車輪の位置には許容幅がある。したがって、車輪到達検出部２９５による、車輪が基準位置に到達したことの検出には誤差が許容される。例えば、車輪到達検出部２９５が、車輪の基準位置への到達を検出してから、偏摩耗量推定システム１が偏摩耗量推定を開始するまでにタイムラグがあるなど、偏摩耗量推定時の車輪の位置が基準位置からずれていても、偏摩耗量の推定に対する影響は比較的小さい。

【００３２】

図３は、偏摩耗量推定装置２００が車輪の偏摩耗量を推定する処理手順の例を示す図である。上記のように、偏摩耗量推定装置２００が車輪の偏摩耗量の推定をリアルタイムで行うようにしてもよいし、バッチ処理などデータ取得に対して時間遅れで行うようにしてもよい。したがって、偏摩耗量推定装置２００が、図３の処理をリアルタイムで行うようにしてもよいし、バッチ処理で行うなど、データ取得に対して時間遅れで行うようにしてもよい。

【００３３】

（ステップＳ１０）

車輪到達検出部２９５は、車輪が基準位置に到達したタイミングを検出し、そのタイミングを示す信号を出力する。

偏摩耗量推定装置２００がリアルタイムで車輪の偏摩耗量を推定する場合、車輪到達検出部２９５は、車輪が基準位置に到達したことをリアルタイムで検出し、検出したことを示す信号をリアルタイムで出力する。この信号は、偏摩耗量推定装置２００が車輪の偏摩耗量を推定する処理（図３の例では、ステップＳ１１～Ｓ１５の処理）を開始するトリガとして用いられる。

一方、偏摩耗量推定装置２００がバッチ処理で車輪の偏摩耗量を推定する場合、車輪到達検出部２９５は、例えば、車輪が基準位置に到達した時刻を出力する。この時刻は、偏摩耗量推定装置２００が車輪の偏摩耗量の推定に用いるデータの開始位置を示す情報として用いられる。例えば、偏摩耗量推定装置２００は、記憶部２８０が記憶している加速度センサ１００の加速度測定値の履歴データのうち、車輪到達検出部２９５が出力する時刻から一定時間分のデータを、１つの車輪の偏摩耗量の推定用データとして用いる。

【００３４】

（ステップＳ１１）

偏摩耗成分抽出部２９１は、加速度センサ１００のセンシングデータ（時系列データ）を周波数変換する。偏摩耗成分抽出部２９１は、ステップＳ１１の処理を加速度センサ１

００毎に行う。
ステップＳ１１の後、処理がステップＳ１２へ進む。
【００３５】
（ステップＳ１２）
偏摩耗成分抽出部２９１は、ステップＳ１１で得られたデータ（周波数変換後のセンシングデータ）から偏摩耗成分を抽出する。偏摩耗成分抽出部２９１は、ステップＳ１２の処理を加速度センサ１００毎に行う。
ここで、対象車両の速度が速いほど、車輪の回転数が速くなる。車輪に偏摩耗がある場合、対象車両の速度が速いほど、偏摩耗している部分がレールにあたる時間間隔が短くなり、偏摩耗成分の周波数が高くなる。そこで、偏摩耗成分抽出部２９１は、対象車両の速度情報を取得し、偏摩耗を示す周波数として対象車両の速度に応じて予め定められている周波数成分を抽出する。
対象車両の速度と、偏摩耗成分抽出部２９１が抽出する周波数との関係については、例えば人が予め計算しておく。車輪が１００ミリメートル（ｍｍ）～１０００ミリメートル程度進むのに要する時間の逆数をとることで、この周波数が求まる。
ステップＳ１２の後、処理がステップＳ１３へ進む。
【００３６】
（ステップＳ１３）
補正部２９２は、偏摩耗成分抽出部２９１が抽出した偏摩耗成分に対して、対象車両の速度に応じた補正を行う。補正部２９２は、ステップＳ１３の処理を加速度センサ１００毎に行う。
上述したように、補正部２９２は、対象車両の速度が速いほど偏摩耗成分の値を小さくするように補正係数を乗算する。これにより、補正部２９２は、偏摩耗成分の大きさに対する対象車両の速度の影響を低減させる。
ステップＳ１３の後、処理がステップＳ１４へ進む。
【００３７】
（ステップＳ１４）
パワー和算出部２９３は、加速度センサ１００毎の補正後偏摩耗成分を全ての加速度センサ１００について合計してパワー和を算出する。
なお、加速度センサ１００が左右のレールそれぞれに設けられている場合、パワー和算出部２９３は、レール毎に全ての加速度センサ１００の補正後偏摩耗成分を合計してレール毎のパワー和を算出する。
ステップＳ１４の後、処理がステップＳ１５へ進む。
【００３８】
（ステップＳ１５）
換算部２９４は、パワー和算出部２９３が算出したパワー和と換算式に入力して、偏摩耗量の推定値を算出する。
なお、加速度センサ１００が左右のレールそれぞれに設けられている場合、換算部２９４は、パワー和算出部２９３がレール毎に算出したパワー和を用いて、レール毎に偏摩耗量の推定値を算出する。これにより、加速度センサ１００は、対象車両の左右それぞれの車輪について、偏摩耗量を推定する。
ステップＳ１５の後、偏摩耗量推定装置２００は、図３の処理を終了する。
【００３９】
次に、加速度センサ１００の数および配置について説明する。
図４は、センサの位置と車輪の偏摩耗に起因する振動との関係の例を示す図である。
図４では、レール９１０の上部と、対象車両の車輪９２０とが示されている。図４では、同じ車輪９２０が２周分回転して、偏摩耗部分（偏摩耗している部分）がレール９１０に３回接する様子が示されている。矢印Ｂ１１およびＢ１２は、車輪９２０の進行方向（従って、対象車両の進行方向）を示している。
【００４０】

図４の横軸は、レール９１０の長さ方向における位置を示している。図４では、位置Ｘ１１～Ｘ１５が示されている。車輪９２０の偏摩耗部分は、位置Ｘ１１、Ｘ１３、Ｘ１５のそれぞれでレール９１０に接する。位置Ｘ１２は、位置Ｘ１１と位置Ｘ１３との中間の位置であり、後の説明で用いられる。位置Ｘ１４は、位置Ｘ１３と位置Ｘ１５との中間の位置であり、後の説明で用いられる。

車輪９２０の摩耗部分がレール９１０に接する位置を偏摩耗部分接触位置と称する。

【００４１】

線Ｌ１１は、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１１でレール９１０に接したときの、レール９１０の振動の例を示している。線Ｌ１２は、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１３でレール９１０に接したときの、レール９１０の振動の例を示している。線Ｌ１３は、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１５でレール９１０に接したときの、偏摩耗に起因するレール９１０の振動の例を示している。

図４の縦軸は加速度を示すが、線Ｌ１１、Ｌ１２およびＬ１３を区別できるよう、振動の中心（加速度０の位置）をずらして、線Ｌ１１、Ｌ１２およびＬ１３を示している。

【００４２】

以下では、レール９１０の距離減衰率が１０デシベル毎メートル（ｄＢ／ｍ）であり、車輪９２０の周長が２．７メートル（ｍ）である場合を例に説明する。距離減衰率が１０デシベル毎メートルで車輪９２０の周長が２．７メートルである場合、車輪９２０の半回転に相当する１．３５メートルで、振動の大きさ（加速度センサ１００で測定した場合の加速度の振幅）は、約５分の１になる。車輪９２０の１回転に相当する２．７メートルで、振動の大きさは、約２０分の１になる。

但し、偏摩耗量推定システム１が対象とするレールの距離減衰率および車輪の周長は、特定のものに限定されない。

【００４３】

図５は、図４の例で加速度センサ１００をレール９１０に１つ設置する場合の第１例を示す図である。図５の例では、位置Ｘ１３に加速度センサ１００が設置されている。この場合、加速度センサ１００は、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１３でレール９１０に接したときに、線Ｌ１２で示されるように比較的大きい加速度を測定する。この点で、加速度センサ１００のセンシングデータから偏摩耗成分を抽出して、偏摩耗量を比較的高精度に推定することが可能である。

【００４４】

図６は、図４の例で加速度センサ１００をレール９１０に１つ設置する場合の第２例を示す図である。図６の例では、位置Ｘ１２に加速度センサ１００が設置されている。この場合、加速度センサ１００は、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１１、Ｘ１３およびＸ１５の何れでレール９１０に接したときも、位置Ｘ１２では振動が減衰しており、加速度センサ１００は、十分な大きさの加速度を測定できない。この点で、加速度センサ１００のセンシングデータから偏摩耗量を推定する精度が低くなる。

このように、レール９１０に加速度センサ１００を１つ設置したのでは、加速度センサ１００の位置と、偏摩耗部分接触位置との関係によっては、偏摩耗量の推定精度が低下する。そこで、レール９１０に加速度センサ１００を複数設置して偏摩耗量の推定精度を高める。

【００４５】

図７は、図４の例で加速度センサ１００をレール９１０に２つ設置する場合の第１例を示す図である。図７の例では、位置Ｘ１３、Ｘ１５のそれぞれに加速度センサ１００が設置されている。

以下では、符号１００ａ、１００ｂを用いて２つの加速度センサ１００を区別する。さらに３つの加速度センサ１００を区別する場合は、符号１００ａ、１００ｂ、１００ｃを用いる。

図７の例では、位置Ｘ１３の加速度センサ１００を加速度センサ１００ａと称し、位置Ｘ１５の加速度センサ１００を加速度センサ１００ｂと称する。

【００４６】
図７の例では、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１３でレール９１０に接したときに、加速度センサ１００ａが比較的大きい加速度を測定する。また、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１５でレール９１０に接したときに、加速度センサ１００ｂが比較的大きい加速度を測定する。
図３を参照して説明した処理のように、時系列のセンシングデータを周波数変換する場合、加速度センサ１００ａのセンシングデータ、加速度センサ１００ｂのセンシングデータ共に、比較的大きい偏摩耗成分が抽出される。これらの補正後偏摩耗成分を合計すると、パワー和が実際値よりも大きくなり、偏摩耗量の推定値が実際の偏摩耗量よりも大きくなる。
【００４７】
図８は、図４の例で加速度センサ１００をレール９１０に２つ設置する場合の第２例を示す図である。図８の例では、位置Ｘ１２、Ｘ１４のそれぞれに加速度センサ１００が設置されている。図８の例では、位置Ｘ１２の加速度センサ１００を加速度センサ１００ａと称し、位置Ｘ１４の加速度センサ１００を加速度センサ１００ｂと称する。
図８の例では、加速度センサ１００ａ、１００ｂ共に、車輪９２０の偏摩耗部分が位置Ｘ１１、Ｘ１３、Ｘ１５の何れでレール９１０に接したときも、図６の場合と同様、振動が減衰して十分大きな加速度を測定できない。これら２つの加速度センサ１００の補正後偏摩耗成分を合計しても、パワー和が実際値よりも小さくなり、偏摩耗量の推定値が実際の偏摩耗量よりも小さくなる。
【００４８】
このように、偏摩耗量を過大評価する場合と過小評価する場合とがある。偏摩耗量を高精度に推定するために、偏摩耗量を過大評価する場合、過小評価する場合の両方に留意して、加速度センサ１００の数および配置を決定する必要がある。
以下では、まず、レール９１０に加速度センサ１００を２つ設置する場合について、２つの加速度センサ１００の距離（間隔）、および、加速度センサ１００の位置と偏摩耗部分接触位置との距離と、偏摩耗量の推定精度との関係について説明する。次に、レール９１０に加速度センサ１００を３つ設置する場合について、２つの加速度センサ１００の距離、および、加速度センサ１００の位置と偏摩耗部分接触位置との距離と、偏摩耗量の推定精度との関係について説明する。
【００４９】
図９は、レールに２つの加速度センサ１００を配置する場合の、２つの加速度センサ１００の距離、および、加速度センサ１００の位置と偏摩耗部分接触位置との距離の例を示す図である。図９の横軸は、レール９１０の長さ方向における位置を示し、対象車両の進行方向が＋（正）となっている。図９に示す２つの加速度センサ１００のうち、対象車両の進行方向手前側（位置の値が小さいほう）の加速度センサ１００を加速度センサ１００ａとし、奥側（位置の値が大きい方）の加速度センサ１００を加速度センサ１００ｂとする。
【００５０】
図９に示すように、２つの加速度センサ１００の間の距離をｄと表記する。また、偏摩耗部分接触位置を基準として、加速度センサ１００ａの位置との差をｘａと表記する。｜ｘａ｜（ｘａの絶対値）は、加速度センサ１００ａと偏摩耗部分接触位置との距離を示す。加速度センサ１００ａの位置の方が偏摩耗部分接触位置よりも、位置の値が大きいとき（すなわち、対象車両の進行方向奥側のとき）、ｘａの符号は＋である。加速度センサ１００ａの位置のほうが偏摩耗部分接触位置よりも、位置の値が小さいとき（すなわち、対象車両の進行方向手前側のとき）、ｘａの符号は－である。
この、偏摩耗部分接触位置を基準とした、加速度センサ１００ａの位置との差である符号付きの距離を、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離とも称する。
【００５１】
図１０は、２つのセンサの距離、および、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００

ａまでの距離と、偏摩耗量推定精度との関係の例を示す図である。図１０の横軸は、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａ（単位：メートル）を示す。縦軸は、２つの加速度センサ１００の距離ｄ（単位：メートル）を示す。

図１０では、車輪９２０の偏摩耗量を一定とし、いろいろな距離ｘａおよび距離ｄについて、２つの加速度センサ１００のセンシングデータから算出されるパワー和の、基準値からのレベル差をデシベル表示の等高線で示している。図１０の例では、図３を参照して説明した方法で、２つの加速度センサ１００のセンシングデータからパワー和を算出している。また、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａが０の場合（すなわち、偏摩耗部分接触位置が加速度センサ１００ａの直上である場合）に、図３を参照して説明した方法で、加速度センサ１００ａのセンシングデータから算出される補正後偏摩耗成分を基準値とし、この基準値を０デシベル（ｄＢ）としている。

【００５２】

偏摩耗量を高精度に推定するためには、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａにかかわらず、パワー和が一定であることが好ましい。パワー和と基準値との差が±２デシベル以内であることを目標とすると、線Ｌ２１で囲まれた範囲が目標を満たす範囲となる。

図１０では、線Ｌ２２に例示されるような、横軸に平行な線をどの位置にとっても、この線全体を目標の範囲内に含めることは出来ない。従って、２つの加速度センサ１００の距離ｄをどのようにしても、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａによっては、パワー和と基準値との差が目標の±２デシベルの範囲内に収まらない。

【００５３】

図１１は、レールに３つの加速度センサ１００を配置する場合の、加速度センサ１００間の距離、および、加速度センサ１００の位置と偏摩耗部分接触位置との距離の例を示す図である。図１１の横軸は、レール９１０の長さ方向における位置を示し、対象車両の進行方向が＋（正）となっている。図１１に示す３つの加速度センサ１００のうち２つについては、図９の場合と同様とする。具体的には、２つの加速度センサ１００のうち、対象車両の進行方向手前側（位置の値が小さいほう）の加速度センサ１００を加速度センサ１００ａとし、奥側（位置の値が大きい方）の加速度センサ１００を加速度センサ１００ｂとする。

【００５４】

図９の場合と同様、加速度センサ１００ａと１００ｂとの間の距離をｄと表記する。また、偏摩耗部分接触位置を基準として、加速度センサ１００ａの位置との差（すなわち、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離）をｘａと表記する。

また、３つ目の加速度センサ１００を加速度センサ１００ｃと表記する。加速度センサ１００ａの位置を基準として、加速度センサ１００ｃの位置との差をd_3と表記する。

【００５５】

｜d_3｜（d_3の絶対値）は、加速度センサ１００ａと加速度センサ１００ｃとの距離を示す。加速度センサ１００ｃの位置の方が加速度センサ１００ａの位置よりも、位置の値が大きいとき（すなわち、対象車両の進行方向奥側のとき）、d_3の符号は＋である。加速度センサ１００ｃの位置のほうが加速度センサ１００ａの位置よりも、位置の値が小さいとき（すなわち、対象車両の進行方向手前側のとき）、d_3の符号は－である。

この、加速度センサ１００ａの位置を基準とした、加速度センサ１００ｃの位置との差である符号付きの距離を、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離とも称する。

【００５６】

図１２は、加速度センサ１００ｃの位置と基準値とのレベル差の例を示す図である。図１２の横軸は、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａを示す。縦軸は、加速度センサ１００ｃのセンシングデータに基づく補正後偏摩耗成分の、基準値からのレベル差をデシベル表示で示す。

線Ｌ３１は、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3が１メー

トルである場合の例を示す。線Ｌ３２は、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3が０である場合の例を示す。線Ｌ３３は、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3が－１メートルである場合の例を示す。

【００５７】

図１３は、加速度センサ１００ｃの配置の検討例を示す図である。図１３の横軸は、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａ（単位：メートル）を示す。縦軸は、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄ（単位：メートル）を示す。図１３では、図１０の場合と同じく、車輪９２０の偏摩耗量を一定とし、いろいろな距離ｘａおよび距離ｄについて、加速度センサ１００ａおよび１００ｂのセンシングデータから算出するパワー和の、基準値からのレベル差をデシベル表示の等高線で示している。

【００５８】

図１２および図１３に基づいて、加速度センサ１００の配置を以下のようにする。

（１） 領域Ａ１１から、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄは、０．２５～２．４メートルの範囲にする。

（２） 領域Ａ１１で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が大きくなりすぎないように、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3を設定する。具体的には、加速度センサ１００ｃが－８デシベル以下になるようにする。図１２より、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3を０．８メートル以上、または、－０．８メートル以下にする。

【００５９】

（３） 加速度センサ１００ｃを付加することで、領域Ａ１３およびＡ１４では、図１３に示すパワー和に０デシベルが加わる。このとき、領域Ａ１２で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が±２デシベル以内になるようにする。そこで、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3を０．８～１．０７メートル、または、－１．０５～－０．８メートル程度にする。

【００６０】

Ａ：加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3を０．８～１．０７メートルにする場合、

・領域Ａ１５で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が大きくなりすぎること、

・領域Ａ１３の左上端で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が小さくなりすぎること、

・領域Ａ１４で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が－２デシベル以上であること、

の３つを考慮して、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄを１．７～１．８メートルにする。なお、図１３でｄ＝１．７メートルとなる箇所を線で示している。

【００６１】

Ｂ：加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離d_3を－１．０５～－０．８メートルにする場合、

・領域Ａ１６で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が大きくなりすぎること、

・領域Ａ１４の右下端で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が小さくなること、

・領域Ａ１３で、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が－２デシベル以上であること、

の３つを考慮して、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄを１メートル程度にする。なお、図１３でｄ＝１メートルとなる箇所を線で示している。

Ｂの場合、厳密には、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が±２デシベル以内との条件をわずかに満足しない部分が生じるが、ほぼ満足する。

【００６２】

（４） 加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$が１．０７メートルを超えると、領域Ａ１２に、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が－２デシベル未満になる領域が出現する。加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$が１．１５メートル程度までは、その領域は小さく、それを避ければ、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が±２デシベル以内となる。このとき、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄは、２～２．４メートルである。このときの距離ｄの下限値は、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$に依存する。

【００６３】

図１４は、加速度センサ１００の配置の第１例を示す図である。

図１４に示す配置で、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$を、０．８～１．１５メートルの範囲内にする。

加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$が１．０７メートル以下の場合、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄを、１．７～１．８メートルの範囲内にする。

加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$が１．０７メートルより大きい場合、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄを、２～２．４メートルの範囲内にする。なお、この場合、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄの下限値は、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$に応じて変化する。

【００６４】

図１５は、加速度センサ１００の配置の第２例を示す図である。

図１５に示す配置で、加速度センサ１００ａから加速度センサ１００ｃまでの距離ｄ$_3$を、－１．０７～－０．８メートルの範囲内にする。また、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄを、１メートルにする。

上記のように、図１５の配置では、厳密には、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和が±２デシベル以内との条件をわずかに満足しない。この点からすると、図１４の配置の方が好ましい。

【００６５】

誤差をさらに許容すれば（すなわち、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和の許容範囲を広くすれば）、加速度センサ１００の設置間隔の範囲は広がる。逆に、誤差を小さくすれば（すなわち、３つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和の許容範囲を狭くすれば）、条件を満たす配置がなくなる。

【００６６】

図１６は、加速度センサ１００を３つ配置した場合のセンサの配置とパワー和との関係の例を示す図である。図１６の横軸は、偏摩耗部分接触位置から加速度センサ１００ａまでの距離ｘａ（単位：メートル）を示す。縦軸は、加速度センサ１００ａと１００ｂとの距離ｄ（単位：メートル）を示す。

図１６では、車輪９２０の偏摩耗量を一定とし、いろいろな距離ｘａおよび距離ｄについて、２つの加速度センサ１００のセンシングデータから算出されるパワー和の、基準値からのレベル差をデシベル表示の等高線で示している。また、センサ１００ａからセンサ１００ｃまでの距離は１．０９メートルで一定としている。

【００６７】

図１６は、図１０に示すセンサ１００が２つの場合の例からセンサ１００をさらに１個加えてセンサ１００が３つの場合の例を示している。センサが３つある点以外は、図１６の例は図１０の例の場合と同様である。

図１６の例で、ｄ＝１．８７５メートルの場合に、わずかに±２デシベルを超えている部分があるが、おおよそ±２デシベルの範囲に収まっている。センサ１００の間隔をさらに調整すると±２デシベルの範囲内に収めることができる。

なお、図１６でｄ＝１．８７５メートルとなる箇所を線で示している。

【００６８】

以上のように、少なくとも３つの加速度センサ１００は、レールの長さ方向に間隔をおいて設けられ、レール９１０上を通過する車輪９２０により生じる加速度をそれぞれ検出する。パワー和算出部２９３は、加速度センサ１００が検出する加速度のパワー和を算出する。換算部２９４は、パワー和算出部２９３が算出したパワー和を車輪の偏摩耗量に換算する。

偏摩耗量推定システム１によれば、少なくとも３つの加速度センサ１００がレール９１０の長さ方向に間隔をおいて設けられることで、車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置にかかわらず、おおよそ一定の大きさの振動を測定できる。これにより、偏摩耗量推定システム１では、レール９１０での振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を低減させることができ、この点で偏摩耗量を高精度に推定できる。

【００６９】

また、加速度センサ１００は、車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置によるパワー和の相違が、所定相違以内になるように配置される。これにより、偏摩耗量推定システム１では、車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置にかかわらず、おおよそ一定の大きさのパワー和を得られる。偏摩耗量推定システム１によれば、レールでの振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を低減させることができ、この点で偏摩耗量を高精度に推定できる。

【００７０】

また、２つの加速度センサ１００のセンシングデータによるパワー和の基準値との差を、２つの加速度センサ１００の距離、および、基準となる加速度センサ１００と車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置との距離のグラフに等高線で示す。そして、等高線で示されたグラフ、および、基準となる加速度センサ１００と車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置との距離と、３つめの加速度センサ１００が測定する加速度の大きさとの関係に基づいて、加速度センサ１００配置を決定する。

この配置決定方法によれば、車輪９２０の偏摩耗部分がレール９１０に接する位置にかかわらず、おおよそ一定の大きさのパワー和を得られる。この配置決定方法を用いれば、レールでの振動の減衰の偏摩耗量推定への影響を低減させることができ、この点で偏摩耗量を高精度に推定できる。

【００７１】

なお、偏摩耗量推定装置２００が行う処理、および、加速度センサ１００の配置を決定するための処理の全部または一部の機能を実現するためのプログラムを、コンピュータまたはハードウェアが読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムまたはハードウェアに読み込ませ、実行することで各部の処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、ＯＳや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。

また、「コンピュータシステム」は、WWWシステムを利用している場合であれば、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）も含むものとする。

また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。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く、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であっても良い。

【００７２】

以上、本発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

【符号の説明】

【００７３】

１　偏摩耗量推定システム

１００　加速度センサ

２００　偏摩耗量推定装置

２１０　通信部
２２０　表示部
２３０　操作入力部
２８０　記憶部
２９０　制御部
２９１　偏摩耗成分抽出部
２９２　補正部
２９３　パワー和算出部
２９４　換算部
２９５　車輪到達検出部

【図面】

【図１】

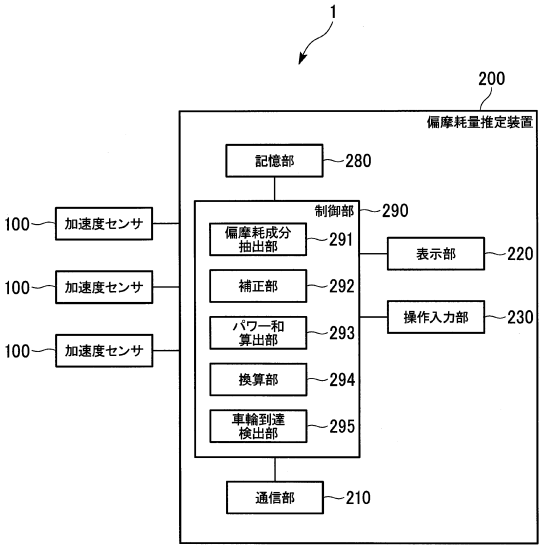

図１

【図２】

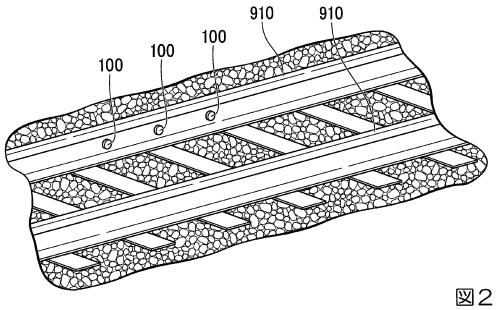

図２

【図３】

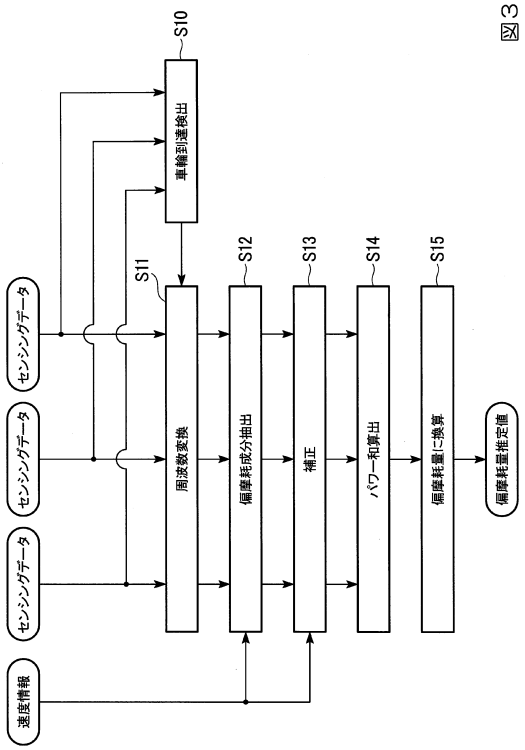

図３

【図４】

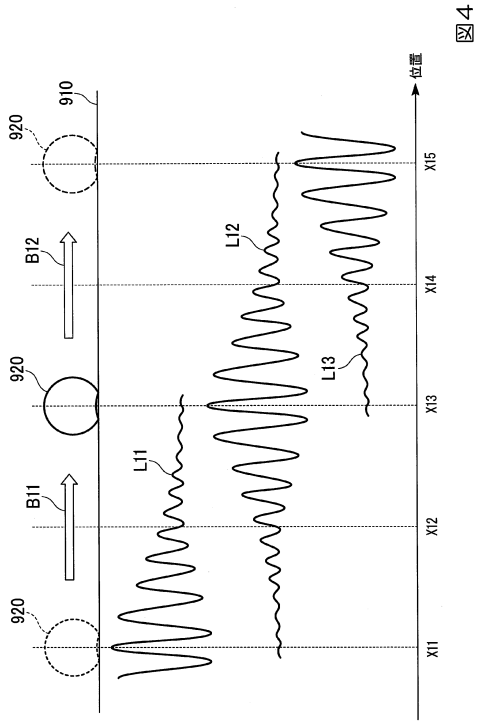

図４

【図５】

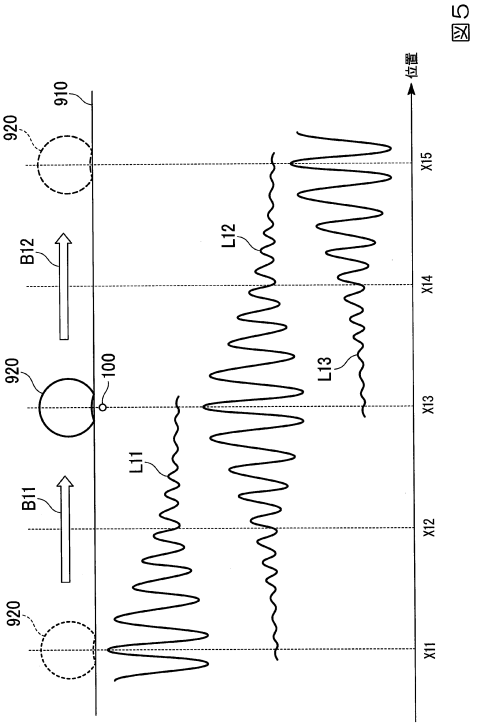

図５

【図６】

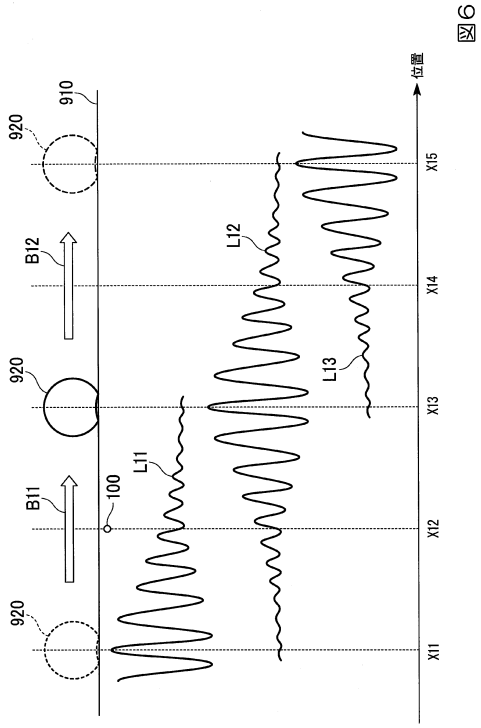

図６

【図７】

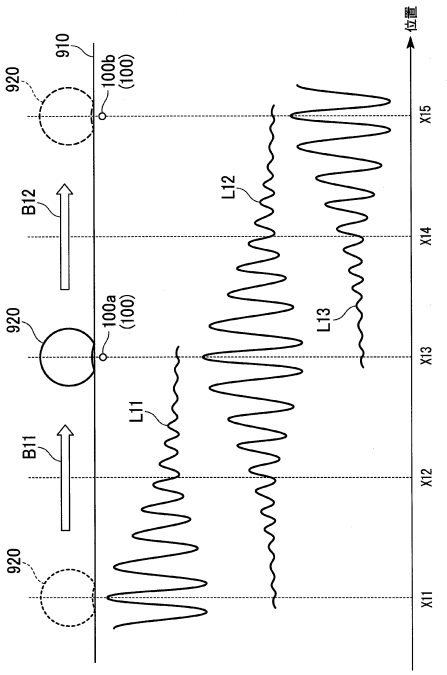

図７

【図８】

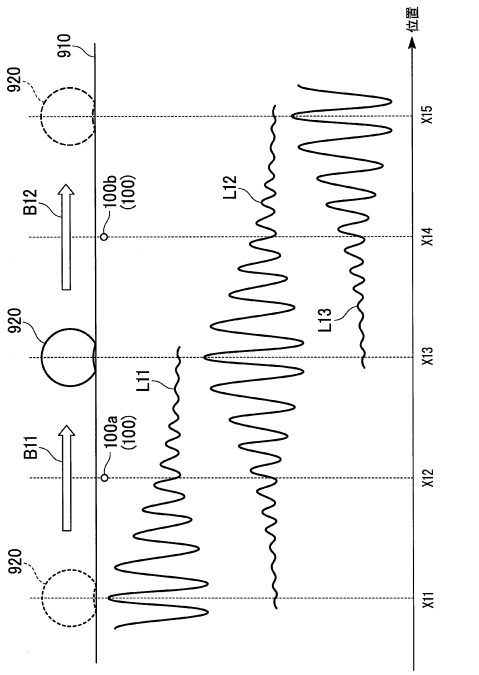

図８

【図９】

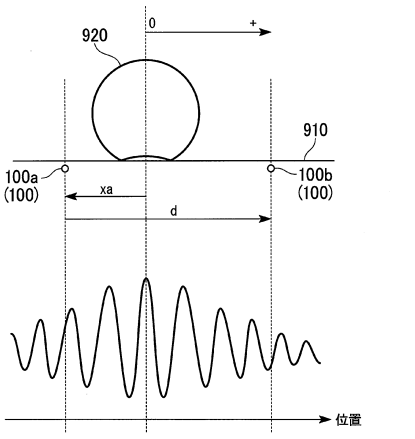

図９

【図１０】

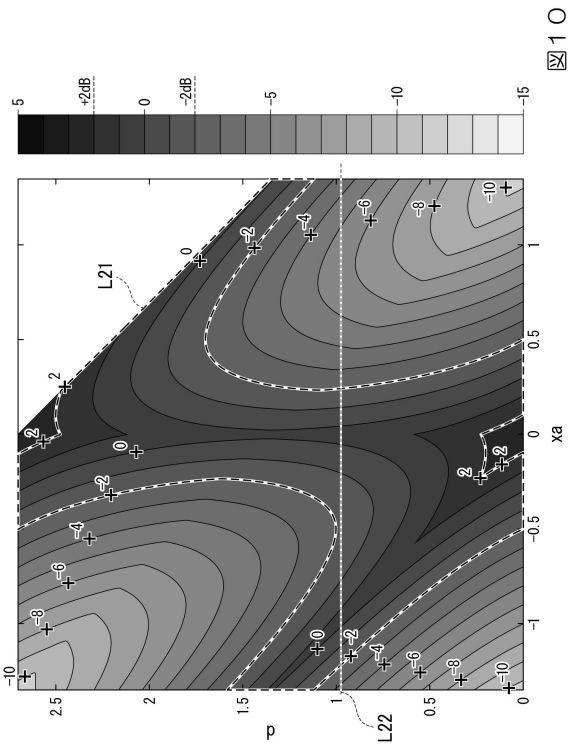

図１０

【図１１】

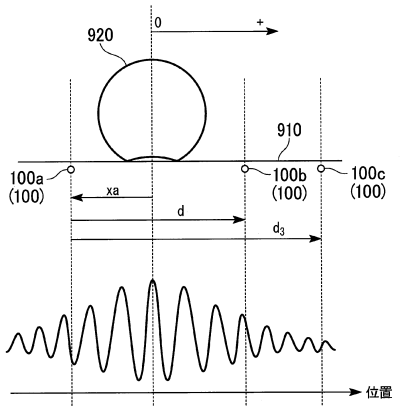

図１１

【図１２】

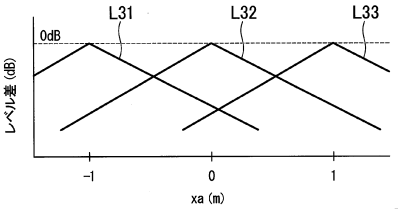

図１２

【図１３】

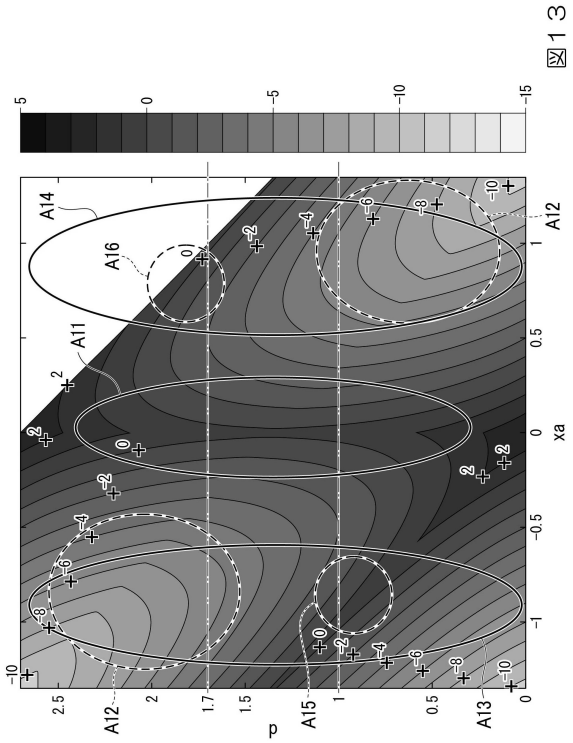

図１３

【図１４】

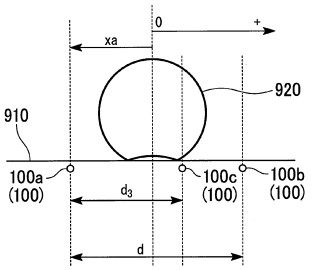

図１４

【図１５】

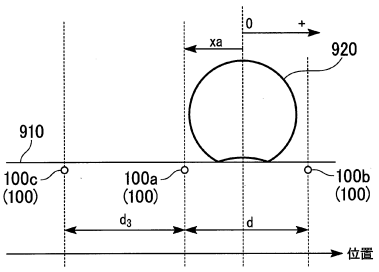

図１５

【図１６】

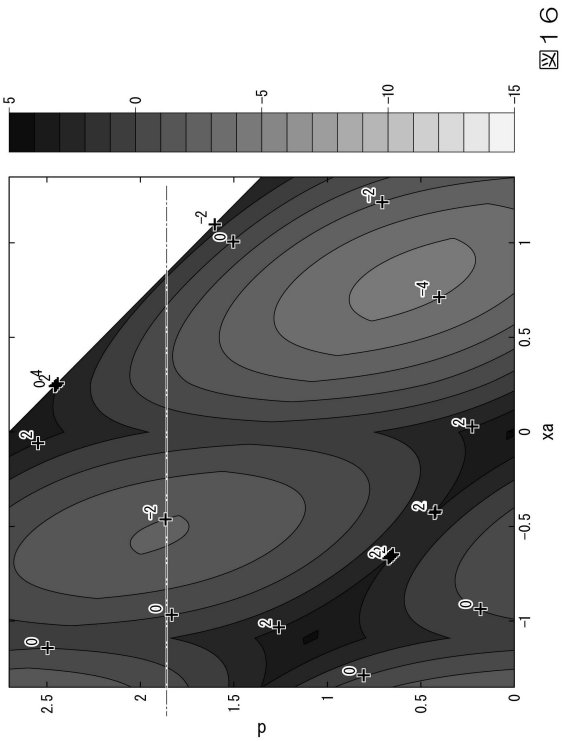

図１６

フロントページの続き

(72)発明者　末木 健之
東京都国分寺市光町二丁目８番地３８ 公益財団法人鉄道総合技術研究所内
(72)発明者　相原 伸至
北海道札幌市中央区北１１条西１５丁目１番１号 北海道旅客鉄道株式会社内
(72)発明者　齋藤 裕之
北海道札幌市中央区北１１条西１５丁目１番１号 北海道旅客鉄道株式会社内
(72)発明者　桑山 敬弘
北海道札幌市中央区北１１条西１５丁目１番１号 北海道旅客鉄道株式会社内
(72)発明者　関根 健司
北海道札幌市中央区北１１条西１５丁目１番１号 北海道旅客鉄道株式会社内
審査官　岩永 寛道
(56)参考文献　特開昭５２－１３３６０１（ＪＰ，Ａ）
特開昭５０－１５６１１３（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１８／０２８３９９２（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１２－２５１８４０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－２３７３４８（ＪＰ，Ａ）
特開２０２０－００８３６４（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｍ　１７／００－　１７／１０
Ｂ６１Ｃ　１／００－　１７／１２
Ｂ６１Ｄ　１／００－　１５／１２
Ｂ６１Ｇ　１／００－　１１／１８
Ｂ６１Ｊ　１／００－　９９／００
Ｂ６１Ｋ　１／００－　１３／０４
Ｇ０１Ｂ　２１／００－　２１／３２
Ｂ６１Ｌ　１／００－　９９／００