

明 細 書

発明の名称：荷重推定装置、荷重推定方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、荷重推定装置、荷重推定方法及びプログラムに関する。

本願は、2018年9月14日に日本に出願された特願2018-172504号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 新交通システム車両において、タイヤが取り付けられている走行台車が破損した場合には、大きな事故につながる恐れがある。そのため、走行台車が破損するとき、すなわち、台車の寿命を知るために、走行台車をモニタリングし、寿命を判断する必要がある。特許文献1では、案内軌条式鉄道の車両の台車の懸架枠に設けた加速度センサを用いて、台車の或る状態量の時刻歴応答波形として、懸架枠の加速度信号の時刻歴応答波形を求める技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5691319号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来では、走行台車の寿命は、ひずみゲージを用いて、走行台車にかかる荷重を測定することによって計測していた。しかしながら、長期間に亘って荷重のモニタリングを実施する場合、ひずみゲージの養生等に手間がかかり、運用上困難であった。

また、荷重を推定しないで、加速度のみから寿命を計測する場合、どの程度の加速度で異常が発生するかの閾値を設定することは困難であった。

[0005] 本発明の目的は、簡易な方法で走行台車の寿命を計測し、車両の健全性を評価するために、加速度を用いて走行台車にかかる荷重を推定することが可

能な荷重推定装置、荷重推定方法及びプログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の第1の態様によれば、荷重推定装置は、車輪を支持する走行台車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第1の加速度を測定する加速度センサと、加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する制御部と、を備える。
- [0007] 本発明の第2の態様によれば、前記荷重情報において、加速度の経時変化によって決定される加速度の周波数がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する。
- [0008] 本発明の第3の態様によれば、前記荷重情報において、前記加速度センサの位置に対応する情報がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する。
- [0009] 本発明の第4の態様によれば、前記荷重情報において、加速度の経時変化によって決定される加速度の周波数がさらに対応付けられており、前記荷重情報において、前記加速度センサの位置に対応する情報がさらに対応付けられており、前記加速度センサの前記位置が、前記走行台車本体上であることを示す場合、前記周波数は、固有振動数 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満であって、 f_{ch} は、前記車体と前記走行台車本体とをつなぐ空気ばねのばね定数と、車体質量とに基づいて決定される値であり、前記加速度センサの前記位置が、前記車体上であることを示す場合、前記周波数は、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上である。
- [0010] 本発明の第5の態様によれば、前記荷重情報において、複数の車体質量がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記車体質量をさらに取得し、前記荷重情報と、前記第1の加速度と、前記車体質量とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する。
- [0011] 本発明の第6の態様によれば、前記荷重情報において、前記走行台車本体

又は前記車体の少なくとも一方に取り付けられた複数の加速度センサが取り付けられている複数の位置がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記複数の加速度センサによって測定された複数の加速度と、前記荷重情報とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する。

[0012] 本発明の第7の態様によれば、前記荷重推定装置が、警報装置をさらに備え、前記制御部は、予め設定された限界荷重と、前記走行台車本体に対する荷重の合計とに基づいて前記走行台車本体が寿命に達したか否かを判定し、前記制御部が、前記走行台車本体が寿命に達したと判定した場合、前記警報装置に警報を発生させるための信号を送信する。

[0013] 本発明の第8の態様によれば、前記荷重推定装置では、前記制御部は、案内軌条から前記走行台車本体に加わる荷重を推定する場合、前記車体の長手方向に対して左右方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、前記荷重を推定し、路面から前記走行台車本体に加わる荷重を推定する場合、前記車体の長手方向に対して上下方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、前記荷重を推定する。

[0014] 本発明の第9の態様によれば、前記荷重推定装置では、荷重検知装置が、前記走行台車本体又は前記車体の少なくとも一方にさらに取り付けられており、前記荷重検知装置は、前記走行台車本体に対する第2の荷重を測定する荷重センサと、第2の加速度を測定する加速度センサとを備え、前記制御部は、前記第2の荷重と、前記第2の加速度とを、前記荷重情報に追加する。

[0015] 本発明の第10の態様によれば、前記荷重推定装置では、前記加速度センサが、前記車体に少なくとも取り付けられており、前記制御部は、前記第1の加速度により取得される加速度の経時変化によって取得される周波数が、前記走行台車本体と前記車体との間に取り付けられている空気ばねのばね定数と、前記車体の質量とから決定される振動数 f_{ch} に対して、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上である場合、前記第1の加速度を補正し、前記補正された第1の加速度に基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する。

[0016] 本発明の第11の態様によれば、荷重推定方法は、車輪を支持する走行台

車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第1の加速度を測定するステップと、加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定するステップと、を備える。

[0017] 本発明の第12の態様によれば、プログラムは、荷重推定装置のコンピュータに、車輪を支持する走行台車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第1の加速度を測定するステップと、加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定するステップと、を実行させる。

発明の効果

[0018] 上記態様のうち少なくともいずれかの態様によれば、加速度センサによって走行台車にかかる荷重を推定することができ、簡易に走行台車の寿命を計測し、容易に車両の健全性を評価することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1の実施形態に係る荷重推定装置の加速度センサが取り付けられた車両の概要を説明する図である。

[図2]第1の実施形態に係る荷重推定装置の加速度センサが取り付けられた車両の側面図である。

[図3]第1の実施形態に係る荷重推定装置の機能構成を説明する図である。

[図4]第1の実施形態に係る荷重の推定値と実測値との関係を説明する図である。

[図5]第1の実施形態に係る周波数と観測頻度との関係を説明する図である。

[図6]第1の実施形態に係る荷重情報のデータの構造を説明する図である。

[図7]第1の実施形態に係る荷重推定装置の処理フローを説明する図である。

[図8]第2の実施形態に係る荷重推定装置の加速度センサが取り付けられた車両の側面図である。

[図9]第2の実施形態に係る荷重推定装置の機能構成を説明する図である。

[図10]第2の実施形態に係る荷重推定装置の処理フローを説明する図である。

[図11]第3の実施形態に係る荷重推定装置の加速度センサが取り付けられた車両の側面図である。

[図12]第3の実施形態に係る荷重推定装置10の機能構成を説明する図である。

[図13]第3の実施形態に係る荷重情報及び補正情報のデータの構造を説明する図である。

[図14]第3の実施形態に係る荷重推定装置の処理フローを説明する図である。

発明を実施するための形態

[0020] <第1の実施形態>

以下、第1の実施形態に係る荷重推定装置10について、図1から図7を参照しながら説明する。

[0021] (全体構成)

図1は、第1の実施形態に係る荷重推定装置10の加速度センサ4Aから4Gが取り付けられた車両1の概要を説明する図である。

図2は、第1の実施形態に係る荷重推定装置10の加速度センサ4Aから4Gが取り付けられた車両1の側面図である。車両1は、車体2と、走行台車3A及び3Bと、加速度センサ4Aから4Gと、車輪5と、制御装置6と、空気ばね7とを備える。車体2は、新交通システムの車両であっても、車又は鉄道車両であってもよい。車体2と、走行台車3は、空気ばね7を介して連結されている。空気ばね7は、走行台車3A及び3Bの振動を車体2に伝えにくくするものであり、走行台車3A及び3Bの振動を車体2に伝えにくくするものであれば空気ばねでなくてもよい。走行台車3A及び3Bと、車輪5とは輪軸を介して連結されていてもよい。車輪5は、ゴム製のタイヤであってもよく、鉄道用の金属製車輪であってもよい。加速度センサ4Aから4Fは、走行台車3A及び3Bに取り付け部材によって取り付けられてい

る。さらに、加速度センサ4 Gが、車体2に取り付け部材によって取り付けられていてもよい。取り付け部材は、例えば、接着剤、両面テープ、磁石、ねじ、その他の加速度センサを車体に取り付け可能な部材である。

[0022] 加速度センサ4 Aから4 Gは、走行台車3 A及び3 B上、又は、車体2上の加速度センサ4 Aから4 Gが取り付けられている位置の加速度を測定する。例えば、加速度センサ4 Aから4 Gは、取り付け面に対して垂直方向の加速度を測定できない加速度センサであるとする。このとき、車両1の進行方向に対して前後方向及び上下方向の加速度を測定したい場合は、走行台車3 A及び3 B、又は、車体2の側面に加速度センサが取り付けられていればよい。また、車両1の進行方向に対して左右方向及び上下方向の加速度を測定したい場合は、走行台車3 A及び3 B、又は、車体2の前面又は後面に加速度センサが取り付けられていればよい。加速度センサ4 Aから4 Gが、取り付け面に関わらず全方向の加速度を測定できるセンサである場合は、走行台車3 A及び3 B、又は、車体2の側面、前面、後面、上面、底面のいずれに加速度センサが取り付けられていればよい。

[0023] 加速度センサ4 Aから4 Fは、走行台車3 A及び3 Bの側面に2つ、前面に1つ取り付けられている。加速度センサ4 Gは、車体2の側面に1つ取り付けられている。ここで、加速度センサの数は、これらの数に限定されず、例えば、走行台車3 A及び3 Bの側面に1つのみであってもよく、走行台車3 A及び3 Bの後面に1つのみであってもよい。あるいは、走行台車3 A及び3 Bの両側面に4つずつ、走行台車3 A及び3 Bの前面と後面に4つずつ取り付けられてもよく、加速度センサが、走行台車3 A及び3 Bの任意の場所、例えば、走行台車3 A及び3 Bの側面、前面、後面、上面、底面、内部に任意の数だけ取り付けられていればよい。あるいは、加速度センサは、車体2の任意の場所、例えば、車体2の側面、前面、後面、上面、底面、内部に任意の数だけ取り付けられていればよい。あるいは、走行台車3 A、3 B、又は車体2の少なくとも1つの任意の場所、例えば、走行台車3 A、3 B、又は車体2の側面、前面、後面、上面、底面、内部に任意の数だけ取り付

けられていればよい。

[0024] 制御装置 6 は、車体 2 内に取り付けられてもよく、車体 2 とは別車両の車体に取り付けられてもよく、又は車体 2 及び車両外のシステムセンター等に設けられてもよい。

[0025] なお、以下の説明では、車両 1 の進行方向（車体 2 の長手方向）を±X方向とし、進行方向の左右方向を±Y方向とする。また、進行方向の上下方向を±Z方向とする。

[0026] （荷重推定装置の機能構成）

図 3 は、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 10 の機能構成を説明する図である。

図 3 に示すように、荷重推定装置 10 は、制御装置 6 と、加速度センサ 4 A、4 B、…とを備える。加速度センサ 4 A、4 B、…は、1 つ以上の加速度センサを示している。以下の説明では、便宜上、加速度センサ 4 A のみを用いて説明するが、加速度センサ 4 B 以下も同様の構成を有するものとする。

制御装置 6 は、CPU 61 と、警報装置 62 と、記憶部 63 とを備える。

CPU 61 は、予め用意されたプログラムに従って動作することで種々の機能を発揮し、荷重推定装置 10 の動作全体を司るプロセッサである。CPU 61 は、制御部 611 として機能する。

[0027] 加速度センサ 4 A は、走行台車 3 A における加速度センサ 4 A が取り付けられている位置である加速度計測点 P 4 A の加速度を測定する。また、加速度センサ 4 A は、制御部 611 に測定された加速度 a_1 を送信する。

[0028] 制御部 611 は、加速度センサ 4 A によって測定された加速度 a_1 を取得する。制御部 611 は、記憶部 63 に記憶されている荷重情報 631 を参照して、加速度計測点 P 4 A に対応する周波数帯域 f_A を取得する。制御部 611 は、取得された加速度の経時変化によって決定される周波数を測定する。制御部 611 は、測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数であるか否かを判定する。測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数である場

合、制御部611は、荷重情報631を参照して、加速度 a_1 に対応する荷重 F_{A1} を取得する。このとき、制御部611は、走行台車3Aに対する荷重 F は、 F_{A1} であると推定する。

[0029] ここで、制御部611が加速度 a_1 についての周波数を測定することは、制御部611が、加速度 a_1 の測定時前後一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定することであってもよい。また、制御部611は、加速度 a_1 の測定時前一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定してもよい。また、加速度 a_1 の測定時後一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定してもよい。また、荷重情報631に記憶された周波数帯域 f_A 、 f_B 、…、 f_G における最小周波数を f_{MIN} とする。このとき、上述した測定時前後一定期間、測定時前一定期間、又は測定時後一定期間とは、 $1 \div f_{MIN}$ 以上の期間であってもよく、又は、周波数を決定することができる任意の期間に設定されてもよい。

[0030] 制御部611は、記憶部63の応力情報632を参照し、
(評価したい位置の応力 $\sigma_i =$ 推定された荷重 $F \times$ 応力を評価したい位置に対する応力を推定するための係数 k) …… (式1)
に基づいて、推定した荷重 F と、応力を評価したい位置に対する応力を推定するための係数 k とから、評価したい位置の応力 σ_i を推定する。

ここで、応力情報632は、走行台車3上の応力を評価したい位置の情報と、応力を評価したい位置に対する応力を推定するための係数とが対応付けられた情報である。応力情報632は、事前のFEM解析等により、事前に準備される。

[0031] 制御部611は、記憶部63の損傷情報633を参照し、推定された応力 σ_i に基づいて疲労損傷が発生するか否かを判定する。ここで、損傷情報633は、応力を評価したい位置についての応力と、疲労損傷までの繰り返し回数とから算出されたS-N曲線についての情報である。損傷情報633は、事前の疲労評価の実施により、事前に準備される。

具体的には、制御部611は、累積疲労損傷則を用いて、疲労損傷が発生

するか否かを判定する。累積疲労損傷則では、様々な応力がランダムに発生している状態を、 σ_1 、 σ_2 、…、 σ_i などの異なる応力が単独に繰り返されたものの和として、疲労損傷が発生するか否かが判定される。例えば、事前の応力波形分析により、疲労損傷評価対象物に σ_1 、 σ_2 、…、 σ_i の応力を発生させるとする。そのとき、破断までの繰り返し回数をS-N曲線から読取り、 N_1 、 N_2 、…、 N_i とする。ここで、これらの応力がそれぞれ n_1 、 n_2 、…、 n_i 回繰り返されるとすると、その損傷度を、 n_1/N_1 、 n_2/N_2 、…、 n_i/N_i と表すことができる。これらの損傷度の和を全体の損傷度Dとすると、Dは以下の式で表される。

$$D = n_1/N_1 + n_2/N_2 + \dots + n_i/N_i = \sum n_i/N_i \quad \dots \text{(式2)}$$

[0032] $D < 1$ であるとき、制御部611は、疲労損傷が発生しないと判定し、制御部611は、加速度の測定に戻る。 $D \geq 1$ であるとき、制御部611は、疲労損傷が発生すると判定し、走行台車3が寿命であると判定し、警報装置62に警報を鳴らす信号を送信する。

[0033] 警報装置62は、制御部611が信号を受信すると、警報を鳴らし、疲労損傷が発生することを知らせる。

記憶部63は、荷重情報631と、応力情報632と、損傷情報633とを記憶している。

荷重情報631は、制御部611が加速度センサ4から取得した加速度から荷重を推定するときに参照される。

応力情報632は、制御部611が推定された荷重から評価したい位置の応力を推定するときに参照される。

損傷情報633は、制御部611が推定された応力から寿命を予測するときに参照される。

記憶部63は、荷重推定装置10に内蔵される大容量記憶装置（不揮発性メモリ）であって、例えば、HDD（Hard Disk Drive）、SSD（Solid State Drive）等である。記憶部63は、補

助記憶装置とも呼ばれ、取得された情報が記録されている。

[0034] 以上の説明では、走行台車 3 A に対する荷重の推定については、加速度センサ 4 A を用いて述べたが、加速度センサ 4 B、4 C、又は 4 G が使用されてもよい。また、走行台車 3 B に対する荷重の推定については、加速度センサ 4 D から 4 G が使用されてもよい。

[0035] (加速度からの荷重推定)

次に、加速度と荷重の関係について説明する。

図 4 は、第 1 の実施形態に係る荷重の推定値と実測値との関係を説明する図である。

図 4 の横軸は、時間 [s] を示し、縦軸は荷重 [kN] を示している。実線は、走行台車上の任意の位置において、荷重センサによって測定された荷重の実測値を示している。破線は、走行台車又は車体上の任意の位置において、加速度センサによって測定された加速度の値に対して走行台車の質量の値を乗じて算出された荷重の推定値を示している。図 4 に示されるように、荷重センサによって測定された荷重の実測値と、加速度センサによって測定された加速度の値から算出された荷重の推定値とは、相関がある。従って、加速度の値から走行台車にかかる荷重の値を推定することができる。

[0036] (加速度評価点と周波数の関係)

次に、加速度評価点と周波数の関係について説明する。

図 5 は、第 1 の実施形態に係る周波数と観測頻度との関係を説明する図である。

図 5 の横軸は、荷重の周波数 [Hz] を示し、縦軸は、観測頻度を示している。観測頻度は、観測回数の全体に占める特定の周波数の観測頻度を示している。荷重の周波数と、加速度センサ 4 A において測定された加速度によって推定された荷重の推定値の周波数と、加速度センサ 4 B において測定された加速度によって推定された荷重の推定値の周波数は、走行台車 3 A の揺れに起因している。例えば、滑らかなコンクリート面を走行する場合は、走行台車 3 A の揺れが小刻みとなるため、周波数の値は大きい。一方、砂利等

の障害物がある路面や、亀裂や段差がある路面を通過する場合は、走行台車 3 A の揺れが小刻みでなくなるため、周波数の値は小さい。また、車体 2 が、空車である場合、定員の乗客が乗っている場合、満車である場合等の車体 2 の重さによっても、周波数の値は、変化しうる。

[0037] 図 5 の実線は、走行台車 3 A の任意の加速度評価点において、荷重センサによって測定された荷重の実測値の周波数分布を示している。破線は、加速度センサ 4 A が取り付けられている加速度評価点において、加速度センサ 4 A によって測定された加速度の値に対して走行台車 3 A の質量の値を乗じて算出された荷重の推定値の周波数分布を示している。一点鎖線は、加速度センサ 4 B が取り付けられている加速度評価点において、加速度センサ 4 B によって測定された加速度の値に対して走行台車 3 A の質量の値を乗じて算出された荷重の推定値の周波数分布を示している。

[0038] 図 5 に示されるように、荷重の実測値の周波数と、加速度センサ 4 A によって測定された加速度によって推定された荷重の推定値の周波数が周波数帯域 f_A において相関がある。このため、加速度センサ 4 A において測定された加速度の周波数が f_A 内の周波数である場合は、加速度センサ 4 A で測定された加速度を使用して荷重を推定してもよい。同様に、荷重の実測値の周波数と、加速度センサ 4 B によって測定された加速度によって推定された荷重の推定値の周波数が周波数帯域 f_B において相関がある。このため、加速度センサ 4 B において測定された加速度の周波数が f_B 内の周波数である場合は、加速度センサ 4 B で測定された加速度を使用して荷重を推定してもよい。

[0039] しかしながら、荷重の実測値の周波数と、加速度センサ 4 A によって測定された加速度によって推定された荷重の推定値の周波数が周波数帯域 f_A 以外では相関がない。このため、加速度センサ 4 A において測定された加速度の周波数が f_A 以外の周波数である場合は、荷重の推定において、加速度センサ 4 A で測定された加速度を使用しない。同様に、荷重の実測値の周波数と、加速度センサ 4 B によって測定された加速度によって推定された荷重の

推定値の周波数が周波数帯域 f_B 以外では相関がない。このため、加速度センサ 4 B において測定された加速度の周波数が f_B 以外の周波数である場合は、荷重の推定において、加速度センサ 4 B で測定された加速度を使用しない。

[0040] (荷重情報)

次に、記憶部 6 3 に記憶される荷重情報 6 3 1 について説明する。

図 6 は、データベースとして記憶部 6 3 に記憶される第 1 の実施形態に係る荷重情報 6 3 1 のデータの構造を説明する図である。

荷重情報 6 3 1 は、事前に機構解析等により取得された、加速度評価点と、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係が記憶された情報である。当該関係を構築するときには、走行台車又は車体の少なくとも一方上の現実的に計測可能な加速度評価点における加速度センサによって、加速度が測定され、走行台車 3 上の任意点における荷重センサによって、荷重が測定される。本実施形態では、実施例として、事前に、図 2 の加速度センサ 4 A が取り付けられている加速度評価点 P 4 A において、加速度と、荷重の測定が行われたものとする。ここで、加速度センサ 4 A により測定された加速度の周波数と、荷重センサにより測定された荷重の周波数に相関があるとする。このとき、相関が観測された加速度計測点 P 4 A と、周波数帯域 f_A と、加速度センサ 4 A により測定された加速度 a_1 から a_3 と、これらにそれぞれ対応する荷重 F_{A1} から F_{A3} とを荷重情報 6 3 1 に記憶する。同様に、事前に、図 2 の加速度センサ 4 B が取り付けられている加速度評価点 P 4 B において、加速度と、荷重の測定が行われたものとする。ここで、加速度センサ 4 B により測定された加速度の周波数と、荷重センサにより測定された荷重の周波数に相関があるとする。このとき、相関が観測された加速度計測点 P 4 B と、周波数帯域 f_B と、加速度センサ 4 B により測定された加速度 b_1 、 b_2 と、これらにそれぞれ対応する荷重 F_4 、 F_5 とを荷重情報 6 3 1 に記憶する。

[0041] 上記の例では、荷重情報 6 3 1 には、加速度センサ 4 A の加速度評価点 P

4 A について、周波数が f_A 内の周波数に対応するデータは存在するが、 f_B 内の周波数に対応するデータは存在しない。同様に、荷重情報 6 3 1 には、加速度センサ 4 B の加速度評価点 P 4 B について、周波数が f_B 内の周波数に対応するデータは存在するが、 f_A 内の周波数に対応するデータは存在しない。

[0042] 荷重情報 6 3 1 は、荷重を評価したい走行台車ごとに構築されていてもよい。

走行台車 3 A 上の荷重センサによって走行台車 3 A に対する荷重を測定するとき、走行台車 3 A 上の任意の位置において同一の荷重が測定され则认为られる。従って、荷重情報 6 3 1 を構築するときの荷重センサの位置は、走行台車 3 A 上であれば任意の位置であってよい。

また、荷重と、複数の計測点での加速度との関係は、重回帰分析によって構築されてもよい。

[0043] (荷重推定装置 1 0 の処理フロー)

図 7 は、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の処理フローを説明する図である。以下の説明では、便宜上、加速度センサ 4 A のみを用いて説明するが、加速度センサ 4 B 以下も同様の構成を有するものとする。

図 7 に示す処理フローは、車両 1 の運行において繰り返し実行される。

[0044] まず、加速度センサ 4 A によって、走行台車 3 A における加速度センサ 4 A が取り付けられている位置の加速度 a_1 を測定する (ステップ S 1 0 1)。加速度センサ 4 A は、制御部 6 1 1 に測定された加速度 a_1 を送信する。制御部 6 1 1 は、加速度センサ 4 A によって測定された加速度 a_1 を取得する。制御部 6 1 1 は、記憶部 6 3 に記憶されている荷重情報 6 3 1 を参照して、加速度計測点 P 4 A に対応する周波数帯域 f_A を取得する。制御部 6 1 1 は、取得された加速度 a_1 の経時変化によって決定される周波数を測定する。制御部 6 1 1 は、測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数であるか否か判定する。測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数である場合、制御部 6 1 1 は、荷重情報 6 3 1 を参照して、加速度 a_1 に対応する

荷重 F_{A1} を取得する。このときに、制御部 611 は、走行台車 3A に対する荷重 F は、 F_{A1} であると推定する（ステップ S102）。

[0045] ここで、制御部 611 が加速度 a_1 についての周波数を測定することは、制御部 611 が、加速度 a_1 の測定時前後一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定することであってもよい。また、制御部 611 は、加速度 a_1 の測定時前一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定してもよい。また、加速度 a_1 の測定時後一定期間に測定された加速度の変化に基づいて周波数を測定してもよい。また、荷重情報 631 に記憶された周波数帯域 f_A 、 f_B 、…、 f_G における最小周波数を f_{MIN} とする。このとき、上述した測定時前後一定期間、測定時前一定期間、又は測定時後一定期間とは、 $1 \div f_{MIN}$ 以上の期間であってもよく、又は、周波数を決定することができる任意の期間に設定されてもよい。

[0046] また、複数の加速度センサの加速度の測定を介して、同時に複数の荷重が測定されたとき、複数の荷重の平均値が、荷重 F とされてもよい。あるいは、複数の加速度センサの加速度の測定を介して、同時に複数の荷重が測定されたとき、重回帰分析によって、荷重 F が推定されてもよい。

[0047] 次に、制御部 611 は、走行台車 3 が寿命であるか否かを判定する（ステップ S103）。即ち、制御部 611 は、記憶部 63 の応力情報 632 を参照し、上述した式 1 に基づいて、推定した荷重 F_{A1} と、応力を評価したい位置に対する応力を推定するための係数とから、評価したい位置の応力 σ_i を推定する。制御部 611 は、記憶部 63 の損傷情報 633 を参照し、推定された応力 σ_i に基づいて疲労損傷が発生するか否かを判定する。

[0048] 具体的には、制御部 611 は、累積疲労損傷則を用いて、疲労損傷が発生するか否かを判定する。累積疲労損傷則では、様々な応力がランダムに発生している状態を、 σ_1 、 σ_2 、…、 σ_i などの異なる応力が単独に繰り返されたものの和として、疲労損傷が発生するか否かが判定される。例えば、事前の応力波形分析により、疲労損傷評価対象物に σ_1 、 σ_2 、…、 σ_i の応力を発生させるとする。そのとき、破断までの繰り返し回数を S-N 曲線から読

取り、 N_1 、 N_2 、…、 N_i とする。ここで、これらの応力がそれぞれ n_1 、 n_2 、…、 n_i 回繰り返されるとすると、その損傷度を、 n_1/N_1 、 n_2/N_2 、…、 n_i/N_i と表すことができる。これらの損傷度の和を全体の損傷度 D とすると、 D は上述した式2で表される。

[0049] $D < 1$ であるとき（ステップS103：No）、制御部611は、疲労損傷が発生しないと判定し、制御部611は、加速度の測定（ステップS101）に戻る。 $D \geq 1$ であるとき（ステップS103：Yes）、制御部611は、疲労損傷が発生すると判定し、走行台車3Aが寿命であると判定し、警報装置62に警報を鳴らす信号を送信する。警報装置62は、制御部611が信号を受信し、警報を鳴らし（ステップS104）、走行台車3Aが寿命であることを知らせる。

[0050] 以上のとおり、加速度センサが加速度を取得してから、荷重推定装置10が走行台車3の寿命を知らせるまでの処理内容を説明した。

制御部611は、案内軌条から走行台車本体に加わる荷重を推定する場合には、車体の長手方向に対して左右方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、荷重を推定してもよい。また、制御部611は、路面から走行台車本体に加わる荷重を推定する場合には、車体の長手方向に対して上下方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、荷重を推定してもよい。

[0051] また、算出された荷重 F が、予め設定された設計荷重と比較し、設計荷重以上である場合にのみ、制御部611は、走行台車3が寿命であるか否かの判定を行ってもよい。設計荷重未満であれば、寿命に対して影響がないことが事前に確認しておく必要がある。

また、以上の説明では、走行台車3Aについての荷重の推定について説明したが、同様にして走行台車3Bについての荷重が推定されてもよい。

[0052] （作用、効果）

第1の実施形態に係る荷重推定装置10では、車輪5を支持する走行台車3A本体又は走行台車3A本体に取り付けられた車体2の少なくとも一方に

取り付けられた、第1の加速度を測定する加速度センサ4 Aと、加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報6 3 1と、第1の加速度とに基づいて、走行台車3 A本体に対する荷重を推定する制御部6 1 1と、を備える。

これにより、第1の実施形態において、荷重推定装置1 0は、加速度センサ4 Aによって走行台車3 Aにかかる荷重を推定することができ、簡易に走行台車3 Aの寿命を計測し、容易に車両1の健全性を評価することができる。

[0053] (第1の実施形態の変形例)

以上、第1の実施形態に係る荷重推定装置1 0について詳細に説明したが、荷重推定装置1 0の具体的な態様は、上述のものに限定されることはなく、要旨を逸脱しない範囲内において種々の設計変更等を加えることは可能である。

[0054] (第1の実施形態の第1の変形例)

例えば、第1の実施形態に係る荷重推定装置1 0において、図6では、荷重情報6 3 1は、事前に機構解析等により取得された、加速度評価点と、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係が記憶された情報であると説明した。

ここで、第1の実施形態の第1の変形例として、乗客の多さにより変化する車体質量の変化をさらに考慮して、加速度から荷重を推定してもよい。

具体的には、第1の実施形態の第1の変形例では、データ取得試験時に、車体2の重さを変化させて、車体2の重さごとの荷重情報6 3 1が事前に構築されている。また、制御装置6は、車体2の重さを測定する乗客質量測定装置をさらに備えている。

[0055] 制御部6 1 1は、乗客質量測定装置によって測定された乗客質量を取得する。制御部6 1 1は、取得された乗客質量に対応する荷重情報6 3 1'を、記憶部6 3から取得する。制御部6 1 1は、加速度センサ4 Aによって測定された加速度a 1を取得する。制御部6 1 1は、記憶部6 3に記憶されている荷重情報6 3 1'を参照して、加速度計測点P 4 Aに対応する周波数帯域

f_A を取得する。制御部611は、取得された加速度の経時変化によって決定される周波数を測定する。制御部611は、測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数であるか否か判定する。測定された周波数が、周波数帯域 f_A 内の周波数である場合、制御部611は、荷重情報631'を参照して、加速度 a_1 に対応する荷重 F_{A1} を取得する。このときに、制御部611は、走行台車3Aに対する荷重 F は、 F_{A1} であると推定する。

これによって、乗客質量によって用いる荷重推定ロジックを切り替えることで、荷重推定精度を向上させることができる。

[0056] (第1の実施形態の第2の変形例)

例えば、第1の実施形態に係る荷重推定装置10において、図6では、荷重情報631は、事前に機構解析等により取得された、加速度評価点と、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係が記憶された情報であると説明した。

ここで、第1の実施形態の第2の変形例では、荷重情報631における走行台車3上の加速度評価点 $P4A$ から $P4F$ に対応する周波数帯域 f_A から f_F は、空気ばねのばね定数と車体質量から決まる固有振動数 f_{ch} に対して、 $f_A, \dots, f_F \geq f_{ch} \times \sqrt{2}$ であってもよい。また、荷重情報631における車体2上の加速度評価点 $P4G$ に対応する周波数帯域 f_G は、 $f_G < f_{ch} \times \sqrt{2}$ であってもよい。

[0057] $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上の周波数とは、例えば、路面やガイドの小さい凹凸等によって発生する揺れに起因する周波数である。 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上の周波数を有する振幅については、空気ばねによって振幅が減衰するため、この周波数の加速度を車体2上の加速度センサで測定するのは困難な場合がある。

また、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満の周波数とは、例えば、路面の大きな凹凸や、車両1が曲がる場合の遠心力によって発生する揺れに起因する周波数である。 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満の周波数を有する振幅については、空気ばねによる振幅の減衰は小さいため、この周波数の加速度を車体2上の加速度センサでも測定することができる。

これによって、荷重情報631において、車体2上で測定できる周波数と

、走行台車 3 上で測定できる周波数とに分けられるため、荷重情報 6 3 1 の信頼性が向上するとともに、荷重推定精度を向上させることができる。

[0058] 以上のとおり、固有振動数 $f_{c,h}$ の値の大きさによって、荷重情報 6 3 1 に記憶される情報が分けられていると説明した。ここで、 $f_{c,h}$ の値の大きさは、荷重情報 6 3 1 の構築時に調整されてもよい。

[0059] <第 2 の実施形態>

以下、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 について、図 8 から図 1 0 を参照しながら説明する。

[0060] (全体構成)

図 8 は、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の加速度センサ 4 A から 4 G が取り付けられた車両の側面図である。

図 8 に示すように、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 では、第 1 の実施形態に加え、更に、荷重検知装置 8 が走行台車 3 A の側面に取り付けられている。荷重検知装置 8 が取り付けられる位置は、図 8 に示すように走行台車 3 A の側面に限定されず、走行台車 3 A、3 B、又は車体 2 の任意の位置であってよい。

[0061] (荷重推定装置の機能構成)

図 9 は、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の機能構成を説明する図である。

図 9 に示すように、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 は、第 1 の実施形態に加え、更に、荷重検知装置 8 を備えている。従って、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 が備える荷重検知装置 8 以外の各構成要素は、特に言及する場合を除き、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の各構成要素と同様に構成され、機能する。

[0062] 荷重検知装置 8 は、加速度センサ 8 1 と、荷重センサ 8 2 とを備えている。加速度センサ 8 1 は、実施形態 1 における加速度センサ 4 A から 4 G と同様の機能を有する。さらに、加速度センサ 8 1 は、走行中の走行台車 3 A の加速度 c_1 を測定し、制御部 6 1 1 に加速度 c_1 を示す信号を送信する。荷

重センサ 8 2 は、加速度センサ 8 1 が加速度を測定すると同時に、走行台車 3 A にかかる荷重 F 8 を測定し、制御部 6 1 1 に荷重 F 8 を示す信号を送信する。

[0063] 荷重情報 6 3 1 には、荷重検知装置 8 の加速度計測点 P 8 に対して、加速度と荷重との間に相関がある周波数帯域 f 8 が事前の機構解析等により記憶されている。

制御部 6 1 1 は、荷重情報 6 3 1 を参照し、加速度計測点 P 8 に対応する周波数帯域 f 8 を取得する。制御部 6 1 1 は、測定された加速度 c 1 の周波数を測定する。制御部 6 1 1 は、測定された周波数が、周波数帯域 f 8 内の周波数であるか否か判定する。測定された周波数が、周波数帯域 f 8 内の周波数である場合、制御部 6 1 1 は、測定された加速度 c 1 と、荷重 F 8 を荷重情報 6 3 1 に追加する。

[0064] (荷重推定装置 1 0 の処理フロー)

図 1 0 は、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の処理フローを説明する図である。

図 1 0 に示す第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の処理フローは、ステップ S 2 0 1 からステップ S 2 0 3 が更に追加されている点で、図 7 に示す第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の処理フローと相違する。第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 は、ステップ S 2 0 1 からステップ S 2 0 3 以外の処理は、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の処理と同様であるので、以下では、相違する処理について説明する。

[0065] まず、荷重検知装置 8 の加速度センサ 8 1 は、走行中の走行台車 3 A の加速度 c 1 を測定し (ステップ S 2 0 1)、制御部 6 1 1 に加速度 c 1 を示す信号を送信する。同時に、荷重検知装置 8 の荷重センサ 8 2 は、走行台車 3 A にかかる荷重 F 8 を測定し (ステップ S 2 0 2)、制御部 6 1 1 に荷重 F 8 を示す信号を送信する。制御部 6 1 1 は、荷重情報 6 3 1 を参照し、加速度計測点 P 8 に対応する周波数帯域 f 8 を取得する。制御部 6 1 1 は、測定された加速度 c 1 の周波数を測定する。制御部 6 1 1 は、測定された周波数

が、周波数帯域 f_8 内の周波数であるか否か判定する。測定された周波数が、周波数帯域 f_8 内の周波数である場合、制御部 611 は、測定された加速度 c_1 と、荷重 F_8 を荷重情報 631 に追加する（ステップ S203）。

[0066] ステップ S203 の次に、加速度センサ 4A について、第 1 の実施形態と同様にステップ S101 から S104 の処理が行われ、図 10 に示す処理フローが完了する。

[0067] 以上のとおり、荷重検知装置 8 によって取得された情報が荷重情報 631 に追加された後で、加速度センサ 4A によって、荷重推定の処理が行われることを説明した。ここで、車両 1 の運行中であれば、荷重検知装置 8 による荷重情報 631 への情報の追加はいつ行われてもよい。

また、算出された荷重 F が、予め設定された設計荷重と比較し、設計荷重以上である場合にのみ、制御部 611 は、走行台車 3 が寿命であるか否かの判定を行ってもよい。設計荷重未満であれば、寿命に対して影響がないことが事前に確認しておく必要がある。

また、以上の説明では、走行台車 3A についての荷重の推定について説明したが、同様にして走行台車 3B についての荷重が推定されてもよい。

[0068] （作用、効果）

第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 10 では、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 10 に加えて、荷重検知装置 8 が、走行台車 3A 本体又は車体 2 の少なくとも一方にさらに取り付けられており、荷重検知装置 8 は、走行台車 3A 本体に対する第 2 の荷重を測定する荷重センサ 82 と、第 2 の加速度を測定する加速度センサ 81 とを備え、制御部 611 は、第 2 の荷重と、第 2 の加速度とを、荷重情報 631 に追加する。

これにより、実際の運行中の車両についての情報を荷重情報 631 に反映させることができるため、荷重推定精度を向上させることができる。

[0069] （第 2 の実施形態の変形例）

以上、第 2 の実施形態に係る荷重推定装置 10 について詳細に説明したが、荷重推定装置 10 の具体的な態様は、上述のものに限定されることはなく

、要旨を逸脱しない範囲内において種々の設計変更等を加えることは可能である。

[0070] (第2の実施形態の第1の変形例)

例えば、第2の実施形態に係る荷重推定装置10において、荷重情報631は、事前に機構解析等により取得された、加速度評価点と、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係が記憶された情報であると説明した。

ここで、第2の実施形態の第1の変形例として、強度上問題ないと考えられる小さい荷重については、予め荷重情報631から除外してもよい。

具体的には、第2の実施形態の第1の変形例では、荷重情報631が事前の機構解析等により構築されるとき、荷重センサ82によって測定された荷重が、走行台車3Aの損傷に影響のないような小さい値であるとする。このとき、加速度評価点と、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係を荷重情報631に記憶しない。

このようにすることで、荷重情報631には、走行台車3Aの損傷に影響のある荷重に対応するデータしか使用しないため、有用な荷重情報631の構築にかかる時間を短縮することができる。

[0071] <第3の実施形態>

以下、第3の実施形態に係る荷重推定装置10について、図11から図14を参照しながら説明する。

[0072] (全体構成)

図11は、第3の実施形態に係る荷重推定装置10の加速度センサ4Gが取り付けられた車両の側面図である。

図11に示すように、第3の実施形態に係る荷重推定装置10は、走行台車3A及びBには、加速度センサが取り付けられておらず、車体2のみに加速度センサ4Gを備えている。車体2上の加速度センサ4Gは、車体2の内部に取り付けられてもよく、又は、外部に取り付けられてもよい。

[0073] (荷重推定装置の機能構成)

図12は、第3の実施形態に係る荷重推定装置10の機能構成を説明する

図である。

図 1 2 に示すように、第 3 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 は、第 1 の実施形態に加え、補正情報 6 3 4 を備えている。また、第 3 の実施形態では、記憶部 6 3 は、荷重情報 6 3 1' ' を備えている。また、第 3 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の加速度センサは、加速度センサ 4 G のみである。第 3 の実施形態に係る加速度センサ 4 G は、第 1 又は第 2 の実施形態における加速度センサ 4 A から 4 F と同様に構成され、機能する。また、第 3 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 が備える各構成要素は、特に言及する場合を除き、第 1 の実施形態に係る荷重推定装置 1 0 の各構成要素と同様に構成され、機能する。

[0074] 加速度センサ 4 G は、走行台車 3 A における加速度センサ 4 G が取り付けられている位置の加速度 g_1' を測定する。さらに、加速度センサ 4 G は、測定された加速度 g_1' を制御部 6 1 1 に送信する。

[0075] 制御部 6 1 1 は、加速度センサ 4 G によって測定された加速度 g_1' を取得する。制御部 6 1 1 は、取得された加速度 g_1' の経時変化によって決定される周波数を測定する。制御部 6 1 1 は、測定された周波数の値が、空気ばねのばね定数と車体質量から決まる固有振動数 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上であるか否かを判定する。測定された周波数の値が $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上 (f_{G1} 又は f_{G2}) であると判定されたとき、制御部 6 1 1 は、補正情報 6 3 4 を参照して、測定された周波数が、どの周波数帯域内であるかを判定する。ここで、測定された周波数が、周波数帯域 f_{G1} 内であるとき、制御部 6 1 1 は、補正情報 6 3 4 を参照して、 f_{G1} に対応する補正係数 α_1 を取得する。制御部 6 1 1 は、加速度 g_1' に、取得した α_1 を乗じて、補正後の加速度 g_1 を取得する。制御部 6 1 1 は、荷重情報 6 3 1' ' を参照して、加速度 g_1 に対応する荷重 F_{G1} を取得する。このときに、制御部 6 1 1 は、走行台車 3 A に対する荷重 F は、 F_{G1} であると推定する。

[0076] 測定された周波数の値が $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満 (f_{G3}) であるとき、制御部 6 1 1 は、取得された加速度 g_1' を補正しないで、加速度 $g_5 = g_1'$ とす

る。このとき、制御部 6 1 1 は、補正情報 6 3 4 を参照しない。次に、制御部 6 1 1 は、荷重情報 6 3 1' ' を参照して、加速度 g_5 に対応する荷重 F_{G5} を取得する。このときに、制御部 6 1 1 は、走行台車 3 A に対する荷重 F は、 F_{G5} であると推定する。

[0077] 以上のとおり、固有振動数 f_{c_h} の値の大きさによって、制御部 6 1 1 の動作が異なると説明した。ここで、 f_{c_h} の値の大きさは、荷重情報 6 3 1' ' 及び補正情報 6 3 4 の構築時に調整されてもよい。

[0078] (荷重情報及び補正情報)

次に、記憶部 6 3 に記憶される荷重情報 6 3 1' ' 及び補正情報 6 3 4 について説明する。

図 1 3 は、データベースとして記憶部 6 3 に記憶される第 3 の実施形態に係る荷重情報 6 3 1' ' 及び補正情報 6 3 4 のデータの構造を説明する図である。

荷重情報 6 3 1' ' は、事前に機構解析等により取得された、周波数帯域と、加速度と、荷重との関係が記憶された情報である。当該関係を構築するときには、車体 2 及び走行台車 3 上の現実的に計測可能な加速度評価点における加速度センサによって、加速度が測定される。また、走行台車 3 上の加速度評価点と同一位置における荷重センサによって、荷重が測定される。本実施形態では、実施例として、事前に、図 1 1 の加速度センサ 4 G が取り付けられている車体 2 上の加速度評価点 P 4 G において加速度の測定が行われ、走行台車 3 上の点 P において、加速度及び荷重の測定が行われたものとする。

ここで、点 P における加速度センサ 4 P によって測定される加速度の周波数の値が、周波数が空気ばねのばね定数と車体質量から決まる固有振動数 $f_{c_h} \times \sqrt{2}$ 以上であるとする。このとき、加速度センサ 4 P において測定される振動は、空気ばねにより減衰されるため車体 2 に伝わりにくい。しかしながら、走行台車 3 において観測される振動は、少なくとも車体 2 上に伝わっており、走行台車 3 において観測される加速度と、車体 2 において観測される

加速度の間には相関がある。従って、加速度センサ4 Gによって取得される加速度 g_1' に、どの値を乗ずれば加速度センサ4 Pによって測定される加速度 p_1 になるのかを事前に学習すれば、車体2上の加速度センサ4 Gのみによって、荷重推定をすることができる。

[0079] 事前の学習において、実施例として、加速度センサ4 Pによって測定される加速度の周波数の値が、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上であるときの、加速度センサ4 Gによって取得される加速度 g_1' と、加速度センサ4 Pによって測定される加速度 p_1 との関係が取得される。具体的には、補正係数 α ($= p_1 \div g_1'$) を取得する。図13に示されるように、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上の周波数 (f_{G1} 、 f_{G2} 等) について、事前に補正係数 α_1 、 α_2 が取得され、補正情報634として記憶される。

[0080] 4 Pによって測定される加速度の周波数の値が $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満である場合については、走行台車3において観測される振動は、空気ばねによりほとんど減衰されずに伝わるため、事前に補正係数を取得する必要はない。

[0081] 荷重情報631' の構築については、第1の実施形態における荷重情報631の構築と同様に、事前に、相関が観測された周波数帯域 f_{G1} から f_{G3} と、加速度センサ4 Gにより測定された加速度 g_1 から g_5 と、これらにそれぞれ対応する荷重 F_{G1} から F_{G5} とを荷重情報631に記憶する。

[0082] 荷重情報631' は、荷重を評価したい走行台車ごとに構築されていてもよい。

走行台車3 A上の荷重センサによって走行台車3 Aに対する荷重を測定するとき、走行台車3 A上の任意の位置において同一の荷重が測定されと考えられる。従って、荷重情報631を構築するときの荷重センサの位置は、走行台車3 A上であれば任意の位置であってよい。

また、荷重情報631' は、走行台車ごとに事前に構築されてもよい。

また、荷重と、計測点での加速度との関係及び周波数と補正係数との関係は、重回帰分析によって構築されてもよい。

[0083] 荷重情報631' は、第1の実施形態に係る荷重情報631とは加速度

評価点の列についての情報がない。これは、第3の実施形態の荷重推定装置10における加速度センサは、加速度センサ4Gが取り付けられる加速度評価点P4Gのみによって荷重推定を実施するためである。

[0084] 車体2上の複数の加速度評価点に加速度センサを取り付けて荷重推定を実施する場合は、加速度評価点ごとに対応する荷重情報631'及び補正情報634が事前に構築されてもよい。

[0085] (荷重推定装置10の処理フロー)

図14は、第3の実施形態に係る荷重推定装置10の処理フローを説明する図である。

図14に示す第3の実施形態に係る荷重推定装置10の処理フローは、ステップS301及びステップS302が更に追加されている点で、図7に示す第1の実施形態に係る荷重推定装置10の処理フローと相違する。第3の実施形態に係る荷重推定装置10は、ステップS301及びステップS302以外の処理は、第1の実施形態に係る荷重推定装置10の処理と同様であるので、以下では、相違する処理について説明する。

[0086] 図14に示すように、まず、第1の実施形態と同様にステップS101の処理が行われる。ただし、第3の実施形態では、車体2上の加速度センサ4Gは、走行台車3Aにおける加速度センサ4Gが取り付けられている位置の加速度 g_1' を測定する(ステップS101)。

続いて、加速度センサ4Gは、測定された加速度 g_1' を制御部611に送信する。制御部611は、加速度センサ4Gによって測定された加速度 g_1' を取得する。制御部611は、取得された加速度 g_1' の経時変化によって決定される周波数を測定する。

続いて、ステップS301の処理が行われる。即ち、制御部611は、測定された周波数の値が、空気ばねのばね定数と車体質量から決まる固有振動数 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上であるか否かを判定する(ステップS301)。

[0087] 測定された周波数の値が $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上(f_{G1} 又は f_{G2})であるとき(ステップS301:Yes)、制御部611は、補正情報634を参照し

て、測定された周波数が、どの周波数帯域内であるかを判定する。ここで、測定された周波数が、周波数帯域 f_{G1} 内であるとき、制御部 611 は、補正情報 634 を参照して、 f_{G1} に対応する補正係数 α_1 を取得する。

次に、制御部 611 は、加速度 g_1' に、取得した α_1 を乗じて、補正後の加速度 g_1 を取得する（ステップ S302）。制御部 611 は、荷重情報 631' を参照して、加速度 g_1 に対応する荷重 F_{G1} を取得する。このときに、制御部 611 は、走行台車 3A に対する荷重 F は、 F_{G1} であると推定する（ステップ S102）。

[0088] 測定された周波数の値が $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 未満（ f_{G3} ）であるとき（ステップ S301: No）、制御部 611 は、取得された加速度 g_1' を補正しないで、加速度 $g_5 = g_1'$ とする。このとき、制御部 611 は、補正情報 634 を参照しない。次に、制御部 611 は、荷重情報 631' を参照して、加速度 g_5 に対応する荷重 F_{G5} を取得する。このときに、制御部 611 は、走行台車 3A に対する荷重 F は、 F_{G5} であると推定する（ステップ S102）。

[0089] ステップ S102 の次に、第 1 の実施形態と同様にステップ S103 から S104 の処理が行われ、図 14 に示す処理フローが完了する。

[0090] 以上のとおり、固有振動数 f_{ch} の値の大きさによって、処理フローが異なると説明した。ここで、 f_{ch} の値の大きさは、荷重情報 631' 及び補正情報 634 の構築時に調整されてもよい。

また、算出された荷重 F が、予め設定された設計荷重と比較し、設計荷重以上である場合にのみ、制御部 611 は、走行台車 3 が寿命であるか否かの判定を行ってもよい。設計荷重未満であれば、寿命に対して影響がないことが事前に確認しておく必要がある。

また、以上の説明では、走行台車 3A についての荷重の推定について説明したが、同様にして走行台車 3B についての荷重が推定されてもよい。

[0091] （作用、効果）

第 3 の実施形態に係る荷重推定装置 10 では、第 1 の実施形態に係る加速

度センサGが、車体のみに取り付けられており、制御部611は、第1の加速度により取得される加速度の経時変化によって取得される周波数が、走行台車3A本体と車体2との間に取り付けられている空気ばね7のばね定数と、車体2の質量とから決定される振動数 f に対して、 $f \times \sqrt{2}$ 以上である場合、第1の加速度を補正し、補正された第1の加速度に基づいて、走行台車3A本体に対する荷重を推定する。

これにより、走行台車に加速度センサを取り付けることは困難である場合であっても、車体に加速度センサを取り付けることが可能であるため、荷重推定を容易に実施することができる。

[0092] (第3の実施形態の変形例)

以上、第3の実施形態に係る荷重推定装置10について詳細に説明したが、荷重推定装置10の具体的な態様は、上述のものに限定されることはなく、要旨を逸脱しない範囲内において種々の設計変更等を加えることは可能である。

[0093] 以上のとおり、本発明に係るいくつかの実施形態を説明したが、これら全ての実施形態は、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を意図していない。これらの実施形態は、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。これらの実施形態及びその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、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。

[0094] なお、上述したCPU61における各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをCPU61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(CPU61)が当該プログラムを実行するようにし

てもよい。

[0095] 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よい。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）であってもよい。

また、コンピュータ（CPU 61）は、1台のコンピュータで構成されていても良いし、通信可能に接続された複数のコンピュータで構成されていてもよい。

[0096] その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施の形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。また、この発明の技術範囲は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

産業上の利用可能性

[0097] 本発明の各態様によれば、加速度センサによって走行台車にかかる荷重を推定することができ、簡易に走行台車の寿命を計測し、容易に車両の健全性を評価することができる。

符号の説明

[0098]	1	車両
	2	車体
	3 A、B	走行台車
	4 A…G	加速度センサ
	5	車輪
	6	制御装置
	7	空気ばね
	8	荷重検知装置
	8 1	加速度センサ
	8 2	荷重センサ
	1 0	荷重推定装置

6 1	C P U
6 1 1	制御部
6 2	警報装置
6 3	記憶部
6 3 1	荷重情報
6 3 1 '	荷重情報
6 3 1 ' '	荷重情報
6 3 2	応力情報
6 3 3	損傷情報
6 3 4	補正情報

請求の範囲

- [請求項1] 車輪を支持する走行台車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第1の加速度を測定する加速度センサと、
- 加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する制御部と、
- を備える、荷重推定装置。
- [請求項2] 前記荷重情報において、加速度の経時変化によって決定される加速度の周波数がさらに対応付けられており、
- 前記制御部は、
- 前記荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する、
- 請求項1に記載の荷重推定装置。
- [請求項3] 前記荷重情報において、前記加速度センサの位置に対応する情報がさらに対応付けられており、
- 前記制御部は、
- 前記荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する、
- 請求項1又は2に記載の荷重推定装置。
- [請求項4] 前記荷重情報において、加速度の経時変化によって決定される加速度の周波数がさらに対応付けられており、
- 前記荷重情報において、前記加速度センサの位置に対応する情報がさらに対応付けられており、
- 前記加速度センサの前記位置が、前記走行台車本体上であることを示す場合、前記周波数は、固有振動数 $f_{c_n} \times \sqrt{2}$ 未満であって、 f_{c_n} は、前記車体と前記走行台車本体とをつなぐ空気ばねのばね定数と、車体質量とに基づいて決定される値であり、

前記加速度センサの前記位置が、前記車体上であることを示す場合、前記周波数は、 $f_{cn} \times \sqrt{2}$ 以上である、請求項 1 に記載の荷重推定装置。

[請求項5] 前記荷重情報において、複数の車体質量がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記車体質量をさらに取得し、前記荷重情報と、前記第 1 の加速度と、前記車体質量とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重をさらに推定する、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の荷重推定装置。

[請求項6] 前記荷重情報において、前記走行台車本体又は前記車体の少なくとも一方に取り付けられた複数の加速度センサが取り付けられている複数の位置がさらに対応付けられており、前記制御部は、前記複数の加速度センサによって測定された複数の加速度と、前記荷重情報とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の荷重推定装置。

[請求項7] 警報装置をさらに備え、前記制御部は、予め設定された限界荷重と、前記走行台車本体に対する荷重の合計とに基づいて前記走行台車本体が寿命に達したか否かを判定し、前記制御部が、前記走行台車本体が寿命に達したと判定した場合、前記警報装置に警報を発生させるための信号を送信する、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の荷重推定装置。

[請求項8] 前記制御部は、案内軌条から前記走行台車本体に加わる荷重を推定する場合、前記車体の長手方向に対して左右方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、前記荷重を推定し、

路面から前記走行台車本体に加わる荷重を推定する場合、前記車体の長手方向に対して上下方向の加速度を測定可能な加速度センサに少なくとも基づいて、前記荷重を推定する、

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の荷重推定装置。

[請求項9]

荷重検知装置が、前記走行台車本体又は前記車体の少なくとも一方にさらに取り付けられており、

前記荷重検知装置は、前記走行台車本体に対する第 2 の荷重を測定する荷重センサと、第 2 の加速度を測定する加速度センサとを備え、

前記制御部は、前記第 2 の荷重と、前記第 2 の加速度とを、前記荷重情報に追加する、

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の荷重推定装置。

[請求項10]

前記加速度センサが、前記車体のみに取り付けられており、

前記制御部は、

前記第 1 の加速度により取得される加速度の経時変化によって取得される周波数が、前記走行台車本体と前記車体との間に取り付けられている空気ばねのばね定数と、前記車体の質量とから決定される振動数 f_{ch} に対して、 $f_{ch} \times \sqrt{2}$ 以上である場合、前記第 1 の加速度を補正し、

前記補正された第 1 の加速度に基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定する、

請求項 1 に記載の荷重推定装置。

[請求項11]

車輪を支持する走行台車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第 1 の加速度を測定するステップと、

加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第 1 の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定するステップと、

を備える、荷重推定方法。

- [請求項12] 荷重推定装置のコンピュータに、
- 車輪を支持する走行台車本体又は前記走行台車本体に取り付けられた車体の少なくとも一方に取り付けられた、第1の加速度を測定するステップと、
- 加速度と、荷重とが対応付けられている予め取得された荷重情報と、前記第1の加速度とに基づいて、前記走行台車本体に対する荷重を推定するステップと、
- を実行させるプログラム。