

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6920005号
(P6920005)

(45) 発行日 令和3年8月18日 (2021.8.18)

(24) 登録日 令和3年7月28日 (2021.7.28)

(51) Int.Cl.	F I
B 6 1 D 17/18 (2006.01)	B 6 1 D 17/18
B 6 1 D 17/00 (2006.01)	B 6 1 D 17/00 C
G 0 1 H 17/00 (2006.01)	B 6 1 D 17/00 Z
G 0 6 F 30/10 (2020.01)	G 0 1 H 17/00 C
G 0 6 F 30/20 (2020.01)	G 0 6 F 30/10

請求項の数 12 (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2019-208582 (P2019-208582)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	令和1年11月19日 (2019.11.19)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2020-90279 (P2020-90279A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	令和2年6月11日 (2020.6.11)	(74) 代理人	110001689
審査請求日	令和1年11月19日 (2019.11.19)		青稜特許業務法人
(31) 優先権主張番号	18211171.6	(72) 発明者	ジュリオ モファ
(32) 優先日	平成30年12月7日 (2018.12.7)		イギリス国バークシャー州 S L 6 8 Y A、
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		メイドンヘッド、ロウワー・クック
		(72) 発明者	助口 聡
			イギリス国バークシャー州 S L 6 8 Y A、
			メイドンヘッド、ロウワー・クック
		(72) 発明者	ジアナン ヤング
			イギリス国バークシャー州 S L 6 8 Y A、
			メイドンヘッド、ロウワー・クック

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄道車両の内装を設計する方法およびシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シミュレートした鉄道車両に内装空間を提供するステップと、

1つまたは複数のシミュレートした要素を前記内装空間内に配置するステップと、

1つまたは複数の音響雑音源のモデルを提供するステップと、

前記シミュレートした要素およびそれらの前記内装空間内における配置に少なくとも基づいて、前記内装空間の音響雑音分布を提供するステップと、

前記内装空間内の1つまたは複数の場所における音響雑音の表現を提供するステップとを含み、

前記音響雑音分布を提供する前記ステップが、前記モデル、前記シミュレートした内装要素、およびそれらの前記内装空間内における配置に少なくとも基づいて、前記内装空間の音響雑音分布を生成するステップを含み、

前記1つまたは複数の音響雑音源が、前記内装空間の外部、または前記内装空間の内部にあり、

前記内装空間の外部にある雑音源から前記内装空間内への音響雑音の伝達が、乗客および荷物によって予期される雑音減衰を考慮した車体振動モデルを介してモデル化される、鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 2】

前記内装空間内の場所を選択するステップと、

前記選択された場所における前記音響雑音の表現を提供するステップとを更に含む、請

10

20

求項 1 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 3】

前記音響雑音の前記提供される表現が、可聴表現もしくは視覚表現、または可聴および視覚表現の両方である、請求項 1 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 4】

前記提供される表現が、少なくとも前記内装空間、前記シミュレートした要素、およびそれらの配置の視覚表現を更に含む、請求項 3 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 5】

前記内装空間の前記音響雑音分布が、前記内装空間の外部にある音響雑音源、および／または前記内装空間の内部にある 1 つまたは複数の音響雑音源に対する前記車体振動モデルに基づいて、光線追跡方法によって計算される、請求項 1 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

10

【請求項 6】

前記光線追跡方法が、前記 1 つまたは複数のシミュレートした内装要素に対応する、1 つまたは複数の吸音係数を利用する、請求項 5 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 7】

前記 1 つまたは複数の吸音係数が、前記音響雑音の振動数に応じて異なる値を有する、請求項 6 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

20

【請求項 8】

前記音響雑音分布が更に、前記 1 つまたは複数のシミュレートした内装要素に対するものの以外の 1 つまたは複数の吸音係数に基づく、請求項 6 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 9】

前記 1 つまたは複数の音響雑音源の音量および／または振動数を変化させることができる、請求項 1 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

【請求項 10】

1 つまたは複数の音響雑音源の前記音響雑音分布および／またはモデル、ならびに／あるいは 1 つまたは複数の吸音係数が、鉄道車両ならびに／あるいは据付品および設備ならびに／あるいはその構築材料の代表的な測定データに基づく、請求項 6 に記載の鉄道車両の内装配置を設計する方法。

30

【請求項 11】

シミュレートした鉄道車両の内装空間内で 1 つまたは複数のシミュレートした要素を配置するように操作可能な入力手段と、

前記シミュレートした要素およびそれらの前記内装空間内における配置と、1 つまたは複数の音響雑音源のモデルとに基づいて、前記内装空間の音響雑音分布を提供するように構成されたプロセッサと、

前記内装空間内の場所を選択するように操作可能な入力手段と、

前記選択された場所において前記音響雑音の表現を提供するように構成された出力手段とを備え、

40

前記プロセッサは、

前記音響雑音分布を提供する場合に、前記モデル、前記シミュレートした内装要素、およびそれらの前記内装空間内における配置に少なくとも基づいて、前記内装空間の音響雑音分布を生成し、

前記 1 つまたは複数の音響雑音源が、前記内装空間の外部、または前記内装空間の内部にあり、

前記内装空間の外部にある雑音源から前記内装空間内への音響雑音の伝達を、乗客および荷物によって予期される雑音減衰を考慮した車体振動モデルを介してモデル化する、鉄道車両の内装配置を設計するシステム。

50

【請求項 1 2】

前記音響雑音の前記提供される表現が、可聴表現もしくは視覚表現、または可聴および視覚表現の両方であり、

前記提供される表現が、少なくとも前記内装空間、前記シミュレートした要素、およびそれらの配置の視覚表現を更に含む、請求項 1 1 に記載の鉄道車両の内装配置を設計するシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、特に、内装内部に配置された要素の選ばれた構成にしたがって内装内部の 1 つまたは複数の場所で経験する音響雑音の表現を提供することによる、鉄道車両の内装の設計に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

鉄道車両の内装は、一般的に、列車自体よりも寿命が著しく短い。したがって、鉄道車両の内装は、鉄道運行会社の変更またはブランド戦略、現代化の必要性により、または一般的な摩耗を考慮して、周期的に改装される。新しい鉄道車両の内装を設計するとき、一般的な方策はコンピュータベースのコンフィギュレータを使用するものであるが、それは設計者が、例えば鉄道客車の内装を取り付ける前に、異なる配置を可視化できるためである。例えば、US 2 0 0 7 / 0 2 3 3 4 3 3 A は、3 D 空間要件にしたがって航空機の内装要素を配置することを開示している。US 2 0 1 6 / 0 1 1 0 9 1 6 A および US 2 0 0 9 / 0 2 1 6 5 0 2 A は、ビル、航空機、および列車を構成するための内装空間の構成および表示について開示している。

【0 0 0 3】

しかしながら、これらの開示は、構成された空間の視覚的表現を提供することはできるが、設計者に設計上の考慮点についての完全な理解は提供しない。具体的には、構成の変更が、後で製造され使用されたときの空間内におけるユーザ経験全体にどのように影響するかを、設計者が十分に理解するようにすることはできない。

【0 0 0 4】

本発明者らは、車両内、特に鉄道車両などの公共交通機関（例えば、列車または路面電車）における音響雑音レベルが、ユーザ経験に大きく影響を及ぼし得ることを理解している。更に、本発明者らは、内装設備の異なる配置（構成）、ならびにかかる内装設備の材質および構造が、空間、例えば鉄道車両（客車）の内装を通して、音がどのように伝播し減衰するかに大幅に影響する可能性があり、したがって、例えば異なる場所における、ユーザの音響雑音認知に影響を及ぼし得ることを認識している。

【0 0 0 5】

上記に照らして、本発明は、鉄道車両の設計者に、鉄道車両の内装空間内における音響雑音レベルの表現を提供することを目的とする。好ましくは、本発明は、例えば、内装設備のタイプ、場所、および構造／材質によって、音響雑音レベルがどのように影響を受けるか、より好ましくは、特定の内装構成が、後で製造される鉄道車両の使用におけるユーザ経験全体にどのように影響を及ぼす可能性があるかの表現を提供する。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 6】

本発明は、鉄道車両の内装配置を設計する方法を提供し、方法は、シミュレートした鉄道車両に内装空間を提供するステップと、1 つまたは複数のシミュレートした要素を内装空間内に配置するステップと、シミュレートした要素およびそれらの内装空間内における配置に少なくとも基づいて、内装空間の音響雑音分布を提供するステップと、内装空間内の 1 つまたは複数の場所における音響雑音の表現を提供するステップとを含む。

【0 0 0 7】

任意に、本発明は、1つまたは複数の音響雑音源のモデルを提供するステップを更に含み、音響雑音分布を提供するステップが、モデル、シミュレートした内装要素、およびそれらの内装空間内における配置に少なくとも基づいて、内部空間の音響雑音分布を生成するステップを含む、方法を提供する。

【0008】

任意に、本発明は、内装空間内の場所を選択するステップと、選択された場所における音響雑音の表現を提供するステップとを更に含む、方法を提供する。

【0009】

任意に、音響雑音の提供される表現は、音響雑音の可聴表現もしくは視覚表現、または可聴および視覚表現の両方である。

10

【0010】

任意に、提供される表現は、少なくとも内装空間、シミュレートした要素、およびそれらの配置の視覚表現を更に含む。

【0011】

任意に、1つまたは複数の音響雑音源は、内装空間の外部、または内装空間の内部にあってもよい。

【0012】

任意に、内装の外部にある雑音源から内部空間内への音響雑音の伝達は、車体振動モデルを介してモデル化される。

【0013】

20

任意に、内装空間の音響雑音分布は、内装空間の外部にある音響雑音源、および／または内装空間の内部にある1つまたは複数の音響雑音源に対する車体振動モデルに基づいて、光線追跡方法によって計算される。

【0014】

任意に、光線追跡方法は、1つまたは複数のシミュレートした内装要素に対応する、1つまたは複数の吸音係数を利用する。

【0015】

任意に、1つまたは複数の吸音係数は、音響雑音の振動数に応じて異なる値を有する。

【0016】

任意に、音響雑音分布は更に、1つまたは複数のシミュレートした内装要素に対するもの以外の1つまたは複数の吸音係数に基づく。

30

【0017】

任意に、1つまたは複数の音響雑音源の音量および／または振動数を変化させることができる。

【0018】

任意に、1つまたは複数の音響雑音源の音響雑音分布および／またはモデル、ならびに／あるいは1つまたは複数の吸音係数は、鉄道車両ならびに／あるいは据付品および設備ならびに／あるいはその構築材料の代表的な測定データに基づく。

【0019】

任意に、音響雑音分布は、鉄道車両ならびに／あるいは据付品および設備ならびに／あるいはその構築材料の代表的な測定データに基づく。任意に、1つまたは複数の音響雑音源のモデルは、鉄道車両ならびに／あるいは据付品および設備ならびに／あるいはその構築材料の代表的な測定データに基づく。任意に、1つまたは複数の吸音係数は、鉄道車両ならびに／あるいは据付品および設備ならびに／あるいはその構築材料の代表的な測定データに基づく。

40

【0020】

本発明はまた、コンピュータ上で作動させると本明細書に記載する方法のいずれか1つを実行するコンピュータプログラムコードを備える、コンピュータプログラムを提供する。本発明はまた、コンピュータプログラム（製品）を格納するコンピュータ可読媒体を提供する。例えば、本発明は、コンピュータ可読媒体上で具体化されたコンピュータプログ

50

ラムを提供する。

【0021】

更に、本発明は、鉄道車両の内装配置を設計するシステムを提供し、システムは、シミュレートした鉄道車両の内装空間内で1つまたは複数のシミュレートした要素を配置するように（例えば、ユーザによって）操作可能な入力手段と、シミュレートした要素およびそれらの内装空間内における配置に基づいて、内装空間の音響雑音分布を提供するように構成されたプロセッサと、選択された場所における音響雑音の表現を（例えば、ユーザに）提供するように構成された出力手段とを備える。

【0022】

任意に、プロセッサは、シミュレートした要素およびそれらの内装空間内における配置、ならびに1つまたは複数の音響雑音源のモデルに基づいて、内装空間の音響雑音分布を提供するように構成されてもよい。システムは、1つまたは複数の音響雑音源のモデルを選択（もしくは構成）するように操作可能な入力手段を更に備えてもよい。

10

【0023】

任意に、システムは、内装空間内の場所を選択するように操作可能な入力手段を更に備える。出力手段は、好ましくは、選択された場所における音響雑音の表現を提供する。

【0024】

任意に、システムは、音響雑音の可聴表現を提供する。システムは、音響雑音の視覚表現を提供してもよい。システムは、音響雑音の可聴および視覚表現を提供してもよい。

【0025】

20

任意に、システムは、少なくとも内装空間、シミュレートした要素、およびそれらの配置の視覚表現を更に提供する。

【0026】

本発明は、記載した態様および好ましい特徴の組み合わせを含むが、ただし、かかる組み合わせが明らかに容認できないかまたは明示的に回避される場合を除く。

【0027】

以下、本発明の原理を例証する実施形態について、添付図面を参照して考察する。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の一実施形態のハードウェア構造を示す図である。

30

【図2】列車タイプを選択するのに使用される列車コンフィギュレータの一例を示す図である。

【図3】列車構成を生成するのに使用することができる入力パラメータの一例を示す図である。

【図4】列車コンフィギュレータのホーム画面の一例を示す図である。

【図5】客車数、標準クラスの客車およびファーストクラスの客車の数など、車両全体のパラメータを選択するのに使用される、列車コンフィギュレータ画面の一例を示す図である。

【図6】標準クラスの客車の場合のコンフィギュレーション画面の一例を示す図である。

【図7】線路側マイクロフォンを使用することによって、移動している列車によって発生する音響雑音レベルを測定する方法の一例を示す図である。

40

【図8】異なる列車タイプの測定された粗さのデータの一例を示す図である。

【図9】振動しているレールを一連の点音響源と見なす一例を示す図である。

【図10】鉄道車両の車輪に基づく振動の伝達に関する車体振動モデルへの入力の一例を示す図である。

【図11】車体が表面音源の列として見られる、車体振動モデルの一例を示す図である。

【図12】車体振動モデルから予測される内装音響雑音レベル、および実世界の測定値との比較の一例を示す図である。

【図13】構成された鉄道車両内部の音響雑音伝播をモデル化する光線追跡アルゴリズムに対する入力の一例を示す図である。

50

【図14】鉄道車両の内装に対する残響時間を測定する方法の一例を示す図である。

【図15】鉄道車両の内装に対して計算した音響雑音分布の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の態様および実施形態について、添付図面を参照して考察する。更なる態様および実施形態が当業者には明白となるであろう。本明細書で言及する全ての文献を参照により本明細書に組み込む。

【0030】

図1は、本発明の一実施形態の例示のハードウェア構造を示している。モバイルタブレット100と、仮想現実（VR）システム200と、サーバ300とを有する。

10

【0031】

モバイルタブレットは、構成を入力し、列車の選択された構成を表示する、タッチパネルを有する。この実施形態は、モバイルタブレット100を使用する例を示している。コンピュータ（例えば、パーソナルコンピュータ（PC））、またはディスプレイおよび入力デバイスを有する他の機器を、モバイルタブレット100の代わりに使用することができる。

【0032】

VRシステム200は、3D VR画像を表示するヘッドセット210と、列車構成のパラメータを修正するコントローラ220と、ヘッドセット210とコントローラ220の場所および方向を検出する位置センサ230とを有する。PC、あるいは可聴および／または視覚出力を有する他の機器を、VRシステム200の代わりに使用することができる。

20

【0033】

サーバ300は、モバイルタブレット100によって作成される列車構成の情報を格納する機能を有する。サーバは、選択された構成を有する鉄道客車内部の音響レベルをモデル化する機能を有してもよい。また例えば、内装空間における音響雑音分布のリアルタイム3D可聴表現、内装空間の視覚表現、シミュレートした要素、およびヘッドセット210に表示されるそれらの配置を作成するのに使用されてもよい。あるいは、内装空間、シミュレートした要素、およびそれらの配置の視覚表現を含むかもしくは含まない、音響雑音の視覚および／または可聴表現を含む、鉄道車両の内装空間内の場所における分布に関する音響雑音の表現の代替形態を生成してもよい。

30

【0034】

サーバ300は、有線または無線接続で、モバイルタブレット100およびVRシステムと接続することができる。あるいは、モバイルタブレット100、VRシステム200、およびサーバ300の1つまたは複数が、単一のシステム、例えばPCに含まれてもよい。

列車コンフィギュレータ

次に、列車構成を設計および修正するモバイルタブレット100の操作について説明する。

【0035】

40

図2は、列車タイプを選択する列車コンフィギュレータの画面の一例を示している。この例では、列車コンフィギュレータは、構成する列車タイプに関して、「高速列車」、「都市間列車」、「通勤列車」、および「地下鉄」という4つの選択肢を有する。モバイルタブレット100は、これら4つの選択肢をそのタッチパネル上で選択するように表示する。より多数またはより少数の選択肢が提供されてもよい。

【0036】

図3は、列車構成を生成するのに使用することができる入力パラメータの一例を示している。これらの入力パラメータとしては、客車の長さ、客車数、客車タイプ、エンドゾーンのタイプ（例えば、運転士室、荷物／自転車／器具庫、空力整形）、内装の色および材質、座席タイプ、内装の配置、座席数、および他のパラメータが挙げられる。他のパラメ

50

ータモ構成可能な選択肢のリストに含められてもよい。

【0037】

モバイルタブレットのパラメータ入力画面は全て、選択された構成を保存する「保存」アイコンを有する。「保存」コマンドがアイコンによって入力されると、列車構成情報がサーバ300に伝達され、サーバ300のメモリに保存される。サーバに保存された列車構成は、モバイルタブレット100にダウンロード、転送、またはロードし、ディスプレイで見ることができる。

【0038】

図4は、列車コンフィギュレータのホーム画面の一例を示している。

これは「都市間」列車タイプの構成の一例である。1つまたは複数の基本パラメータ、例えば客車寸法、車輪タイプ、推進システム、換気システム、ドアおよび窓の場所が、初期構成として設定されてもよく、初期構成の情報がホーム画面に示される。あるいは、ユーザは、初期構成を参照せずに鉄道車両を構成してもよい。

【0039】

ホーム画面は、座席および他の内装レイアウトを示すセクション401を有する。この例示の画面は、客車1および2の標準クラスの座席配置を示している。ディスプレイは、より多数またはより少数の客車を示してもよい。

【0040】

スクロールバー402は、座席配置が画面に示されている客車を示す。ユーザがバーを動かして、詳細な座席配置が画面に示される客車を選択することができる。

【0041】

画面はまた、各客車の重要業績評価指標(KPI)を示すセクション403を有してもよい。これらによって、客車を提供するためのコスト、必要な製造リードタイムを考慮した納期、座席数を考慮した利益率、座席ピッチおよび座席タイプを考慮した快適性、座席数および座席タイプを考慮した清掃効率、ならびに座席ピッチなどのパラメータに関して、列車構成の効果を解釈することが可能になる。客車に関する異なるKPI、例えば雑音レベルも、計算され表示されてもよい。KPIは、モバイルタブレット100またはサーバ300によって計算されてもよい。あるいは、客車のKPIはこの方式では提供されないことがある。

【0042】

画面はまた、列車編成全体の選択されたパラメータから作成される列車編成全体のKPIを示す、セクション404を有してもよい。この例では、列車全体に関するKPIは、各客車に関するものと類似しているが、雑音レベルの指示も含み、そのモデル化については更に詳細に後述する。列車に関する異なるKPIも計算され表示されてもよい。KPIは、モバイルタブレット100またはサーバ300によって計算されてもよい。あるいは、列車のKPIはこの方式では提供されないことがある。

【0043】

画面はまた、作成された列車構成をサーバ300のメモリに保存し、列車構成をサーバ300のメモリからロードするため、「ロード／保存」のプルダウンボタンをセクション405に有する。

【0044】

画面はまた、更に詳細に後述するように、サーバが、少なくとも構成された鉄道車両の音響雑音分布をVRヘッドセット210または他の出力手段に提供するようにする、セクション406を有してもよい。

【0045】

画面はまた、客車数、標準クラスの客車およびファーストクラスの客車の数、ならびに列車編成の全長などの車両全体のパラメータを選択する、セクション407を有する。これに関する一例のコンフィギュレーション画面は、図5に示されるようなものである。画面は、客車数、ファーストクラスの客車の数、標準クラスの客車の数、および列車編成の長さを増加または減少させる、ボタンを有してもよい。この画面はまた、ホーム画面とし

10

20

30

40

50

て、例えば、列車編成の長さ、合計座席数、列車編成のコスト、納期、利益率、快適性、清掃効率、および雑音を含む、K P Iを示してもよい。列車編成における客車数、標準クラスの客車およびファーストクラスの客車の数が、例えばボタンをクリックすることによって変更されると、これらのパラメータがモバイルタブレット100またはサーバ300によって計算／作成され、この画面に表示される。例えば、客車数が増え、列車編成の長さ、コスト、納期、利益率、および／または雑音が潜在的に変更される。同様に、標準およびファーストクラスの客車の数が増え、座席数、コスト、納期、利益率、快適性、清掃効率、および／または雑音が潜在的に変更される。

【0046】

客車クラスおよび客車タイプの数、この例に示されるよりも多数または少数であってもよい。例えば、列車は、荷物車、食堂車、または動力車も含んでもよく、ファーストクラスおよび標準クラス両方の座席（および／または代替のクラス）が分割された客車も有してもよい。あるいは、構成はクラスを参照しないことがあり、その代わり、ユーザによって自由に構成可能である。

【0047】

画面はまた、座席数、テーブル、ベイおよびラック、座席タイプ、ならびに内装の色および材質を含む、標準およびファーストクラスの客車のパラメータを選択するため、「標準クラス」のプルダウンボタンをセクション408に、「ファーストクラス」のプルダウンボタンをセクション409に有してもよい。「標準クラス」のプルダウンボタンがセクション408で選択されるか、または「ファーストクラス」プルダウンボタンがセクション409で選択されると、異なる選択肢を有するメニューが現れて、内装レイアウト、座席の材質などを構成することが可能になる。より多数もしくは少数の客車タイプまたは客車クラスが提供されてもよい。

【0048】

図6は、標準クラスの客車の場合のコンフィギュレーション画面の一例を示している。パラメータは客車の座席数を含む。複数の内装レイアウトの選択肢が表示されてもよい。ホーム画面からのK P Iもこの画面上に示されたことがある。画面は、客車の座席数を増減させ、異なる内装レイアウトを選択し、例えば3D画像として各レイアウト・オプションを可視化し、ならびに／あるいは選択された内装レイアウト・オプションを保存する、ボタンを有していてもよい。可能なレイアウトは、客車長さおよび座席数などのパラメータに基づいて、テンプレートから自動的に生成されてもよく、またはユーザが構成してもよい。

【0049】

各客車に対して、および列車全体に対して選択されたレイアウトは、音響雑音モデルの入力パラメータとして使用されて、内装音響雑音レベルを計算しシミュレートすることが可能になる。

【0050】

そのため、一般に客車客室内の音響雑音レベルを意味する、雑音のK P Iは、少なくとも座席数および／または座席の構造、例えば使用される材質に依存する。例えば、「座席数」を増加させた場合、座席が雑音を吸収するので「雑音」は減少する。更に、座席の構造、例えば使用される材質に応じて、「雑音」のK P Iも変更することができる。

音響雑音レベルのモデル化

以下、構成された列車内装に関する音響雑音レベルモデルを生成するプロセスについて記載する。

【0051】

列車内装の音響雑音レベルモデルを生成する方法は、

- 1) 音響雑音源の強度を推定／測定するステップと、
- 2) 車体振動モデルなど、外部音響雑音源から鉄道車両内への伝達に関する数値モデルを展開するステップと、
- 3) 光線追跡方法などの方法を使用して、内装レイアウトの音響モデルを展開するステ

ップであって、光線追跡方法が、内部レイアウトの詳細な幾何学形状からの反射／吸収を考慮して、外部音響雑音に対する車体振動の放射からの、ならびに／あるいは内部音響雑音源からの音線を追跡する、ステップと、

4) 列車内部の詳細な音響分布マップをシミュレートするステップとを含む。

【0052】

上述したように、列車構成が変更された場合、変更された音響伝播を反映させるように、ステップ3の音響モデルを再計算することができる。したがって、モデルによって、設計の詳細の効果を考慮に入れ、内装音響雑音の表現に含めることが可能になる。音響モデルは、1つまたは複数の初期／所定の鉄道車両構成に対して前もって計算されていてもよく、または各列車構成に対して再計算されてもよい。また、これら2つの方法の組み合わせがあってもよく、例えば、標準的構成の音響モデルは前もって計算され、非標準的構成の音響モデルは必要に応じて計算されてもよい。計算は、列車構成が保存されると随時、列車構成が更新されると随時、またはユーザ入力を介して（例えば、「可視化」ボタンを押し下げることによる）行われてもよい。

10

【0053】

音響雑音源の推定

列車内装内部から聞くことができる音響雑音源としては、レール上での車輪の転動音、空力／風力騒音、装置雑音、および環境雑音が挙げられる。

【0054】

機器雑音源としては、例えば、推進および換気システム、ケータリング機材、および車内放送システムを挙げることができる。音響雑音レベルは、メーカー仕様書から、または測定によって推定することができる。車両の内装に伝達される音響雑音レベルをシミュレートするため、外部機器からの音響雑音レベルを車体振動モデルに入力することができる。内部機器からの音響雑音を光線追跡モデルに導入することができる（雑音は鉄道車両の本体を通して伝達されないため）。

20

【0055】

環境雑音は列車外部の音源を含む。これは、例えば、建物、トンネル、および／または他の列車などの周囲構造からの反響、風および／または雨などの天気による雑音、ならびに他の列車からの転動音および空力騒音を含んでもよい。

【0056】

空力騒音は、コンピュータ流体力学モデルを使用して、または縮小モデルを使用した風洞内での測定データからシミュレートすることができる。例えば、多くの音響センサは縮尺1／10の車両の外部に設置することができる。次に、縮尺1／10の車両が風洞内にあるときの各風速に対して音響レベルを測定することができ、測定した音響データおよび縮小モデルによって、実際の車両の雑音レベル（dB）および振動数（f）を計算することができる。縮小モデルから変換する係数は、実際の測定データに基づいて相関表として作成することができる。

30

【0057】

あるいは、実車両の測定によって空力騒音を測定することができる。外部雑音は、図7の例に示されるように、線路の両側に配置されたマイクロフォン（S1、S2）を使用することによって測定することができる。雑音レベルおよびピーク振動数は、ある範囲の車両速度に対して測定することができる。例えば、表1に示されるように、100、125、150、175、200 km/hである。

40

【0058】

【表 1】

列車速度 (km/h)	S 1 (dB)		S 2 (dB)	
	雑音レベル (dB)	振動数 (Hz)	雑音レベル (dB)	振動数 (Hz)
100	73	250	74	250
125	77	312	77	312
150	82	375	82	375
175	87	437	88	437
200	90	501	91	501

10

【0059】

装置雑音と同様に、計算された空力騒音を車体振動モデルの励起源として使用することができる。

【0060】

転動音は、特に普通客車の中央位置に関して、優勢な床下音響雑音源の1つである。転動音は、車輪およびレール走行面の非常に小さい振幅のうねりによって引き起こされる。一般的に、両方の表面において、1mm未満から数十mm以下の範囲の振幅を有するうねりがある。音響雑音の重要部分のうねりは数センチメートルの波長を有する。波長 λ (m) の不規則性によって、振動数 $f = v / \lambda$ (v は m/s 単位の列車速度) の振動が起こる。異なるレールタイプに対して測定される一般的な粗さを図8に示している。

20

【0061】

転動音によって引き起こされる外部雑音の予測モデルは、業界において十分に開発され広く使用されてきた。例えば、「Thompson, D J., Railway Noise and Vibration-Mechanism Modelling and Means of Control, Elsevier, Oxford, 2009」および「Kitagawa T, Thompson D J., The horizontal directivity of acoustic noise radiated by a rail and implications for the use of microphone arrays; Journal of Sound and Vibration, Volume 329, Issue 2, 18 January 2010」は、鉄道車両における振動雑音のモデル化について記載している。

【0062】

レールをビーム様の導波路構造と見なすと、特定の波のタイプに対して $x = 0$ における点励起によって引き起こされるレールに沿った任意位置 x における振動応答は、次式のよう

30

に計算することができる。

【0063】

【数1】

$$u_i(x) = u_i(0) e^{-k_i |x|} \quad \dots(1)$$

式中、 k_i は複素波数である。

縦または横方向でのレールの応答全体は、伝播波および近距離波の合計として得ることができる。

【0064】

【数2】

$$u(x) = \sum_{i=1}^2 u_i(0) e^{-k_i |x|} \quad \dots(2)$$

40

【0065】

転動音によって引き起こされる内装雑音を調べるには、線路に沿って分布された雑音源を考慮することが重要である。この目的で、振動するレールを、図9に示されるように、レールの中心線に沿って配置された適切な音源強度の音響点源の列に置き換える。

【0066】

50

次に、これらの点源の音響出力を推定することができる。単極点源の場合、音響出力は球表面の音響強度の積分として与えられる。

【0067】

【数3】

$$W_i = I(a) 4\pi a^2 = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(U(k, a)p(k, a)^*) 4\pi a^2 \quad \dots(3)$$

単極源の列の場合、合計音響出力は個々の音源からの合計である。

【0068】

【数4】

$$W_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^N W_i \quad \dots(4)$$

【0069】

次に、この音響レベルを、図10に示されるように、車体振動モデルの励起源として含めることができる。

【0070】

車体振動の数値モデル

音響は、車体の振動によって車両の内装へと放射される。雑音レベルが車両の内装内へどのように放射されるかを判定するため、客車は振動モデルでモデル化される。例えば、統計エネルギーまたは有限要素モデルが使用されてもよい。車体は、図11に示されるように、表面音源の列として見るることができる。これらの表面音源から車体の振動によって放射された音響出力は、外部音響レベルから計算することができる。振動モデルの表面音源を励起して、外部雑音がどのように内装に伝達されるかを判定する上で、上述の雑音源を使用することができる。

【0071】

音響モデル化に使用される光線追跡モデルは音響出力を音響入力とするので、サブシステム i の放射出力 (P^i) は、外部音響出力 (W) および係数 (a) から得ることができる。

【0072】

【数5】

$$P_i = a_{(f)} W \quad \dots(5)$$

係数 a は、外部音の振動数に応じて決定することができる。

放射出力は、次式のように、d B 単位の音響レベル (SWL) に変換することができる。

【0073】

【数6】

$$SWL = 10 \log_{10} \left(\frac{P^i}{10^{-12}} \right) \quad \dots(6)$$

【0074】

車体振動モデルからの予測された内装雑音レベルの一例、および測定値との比較を図12に示している。

この変換された d B 単位の音響は、光線追跡モデルに入力されてもよい。

【0075】

内装の音響モデル

最も単純な方法として、内装雑音レベルは、車体振動および音響減衰係数に基づいて作成された音響レベルから推定することができる。音響減衰係数は、表2に一例が示される

10

20

30

40

50

交換表を使用して決定することができる。

【0076】

【表2】

座席ピッチ (cm)	30	35	40	45
減衰値	0.5	0.6	0.65	0.7

【0077】

10

内装雑音分布は光線追跡モデルを使用して推定することができる。適切な方策の一例が、例えば、「Claus Lynge Christensen, Jens Holger Rindel, Environmental Noise Control, The 2005 Congress and Exposition on noise Control Engineering, Predicting Acoustics in Class Rooms」、および「Claus Lynge Christensen, Odeon Room Acoustics Program, Version 7.0, User Manual, Industrial, Auditorium and Combined Editions, Odeon A/S, Lyngby, Denmark, August 2004」に開示されている。これらなどのモデル化技術を使用して、音響雑音分布マップを生成することができる。

【0078】

光線追跡モデル化の場合、列車コンフィギュレータシステムから入力された内装レイアウト情報が使用される。一般の光線追跡アルゴリズムが本発明に使用される。光線追跡アルゴリズムに対する一般的な入力を図13に示している。

20

【0079】

音波が反射される毎にエネルギーが表面によってどの程度吸収されるかを決定する、内装材質の吸音係数(α)は、内装雑音分布を決定するのに使用される。一般に使用される材質に基づいた例を表3に示している。

【0080】

【表3】

	60Hz	125Hz	250Hz	500Hz
床	0.09	0.09	0.08	0.21
座席/テーブル	0.25	0.25	0.36	0.47
内装パネル	0.2	0.2	0.20	0.20
窓	0.35	0.35	0.25	0.18

30

【0081】

それに加えて、乗客、荷物などによる吸収に関する推定が行われてもよい。異なる内装特性に対する吸音係数は、材質、構成要素、または完全な内装据付品の測定によって、またはそれらのシミュレーションによって決定されてもよい。

【0082】

列車内装に関する残響時間は、音響吸収レベルの指示を提供するのに使用することができる。これは、図14および表4に示されるように、音源および受信機を異なる位置(P1、P2)に配置することによって計算することができる。残響時間を得るのに音圧減衰が計算される。

40

【0083】

【表4】

音源	60Hz	125Hz	250Hz	500Hz
P1	0.32	0.32	0.32	0.26
P2	0.31	0.31	0.32	0.26

【0084】

50

雑音分布

次に、内装の音響モデルの結果を使用して、一例が図15に示される、車両の内装に対する雑音分布を生成することができる。上述したように、雑音分布は各構成に対して生成されてもよく、ならびに／あるいは初期もしくは所定の鉄道車両構成に対して前もって生成されてもよい。例えば、座席数の変更によって合計吸収面積が変化し、それらの設計の形状が音響伝播方向に影響を及ぼす。これらの設計の詳細が雑音レベルに与える影響は、本発明によって適宜検討し図示することができる。

【0085】

雑音分布は、内装の音響雑音の表現をユーザに対して提供するのに使用される。例えば、VRシステム200を介して出力されてもよい、音響雑音の可聴または視覚表現を生成するのにも使用されてもよい。

10

【0086】

表現

「可視化」コマンドがパラメータ入力画面の1つから入力されると、サーバは、鉄道車両内の場所における音響雑音の表現を選択または生成し、この表現をユーザに提供する。表現は、好ましくは、鉄道車両内の音響雑音の可聴表現であるが、別の方法として、またはそれに加えて、鉄道車両内の音響雑音の可視表現を含んでもよい。

【0087】

表現は、それに加えて、鉄道車両の内装の視覚表現を含んでもよい。例えば、サーバ300は、モバイルタブレット100から受信した列車構成情報に対応する視覚および／または可聴情報を選択し、それをVRシステム200に伝達してもよい。図1の例示のVRシステム200は、列車構成情報に対応する視覚情報または音響雑音モデル、ならびに位置センサ230によって検出されるヘッドセットの位置および方向に基づいて画像を示す、ディスプレイを含むヘッドセット210を備える。また、位置センサ230によって検出されたコントローラ220の場所および方向に基づいて、コントローラ画像を示してもよい。

20

【0088】

ヘッドセット210はまた、選択された列車構成、列車速度、および位置センサ230によって検出されたユーザ位置にしたがって、モデル化された雑音レベルをユーザに出力するスピーカーを有してもよい。

30

【0089】

列車構成のパラメータの1つまたは複数を（例えば、列車構成を保存する、もしくはタブレット100の「可視化」ボタンを選択することによって）変更するため、コマンドがコントローラ220またはタブレット100から入力されると、サーバ300は、列車構成および視覚モデルを変更し、音響雑音分布を再計算するか、またはコントローラからのコマンド情報に基づいて、代替の音響雑音分布を選択する。サーバ300は、次に、ユーザに提供するために、更新された画像および音響雑音分布情報を伝達する。

設計プロセス

以下、本明細書に記載のシステムを使用する、本発明の態様にしたがって鉄道車両の内装を設計する方法について説明する。

40

設計者は、コンフィギュレータを使用して、鉄道車両のタイプ、ユーザ選択などにしたがって設定された内寸を有する、鉄道車両または一連の鉄道車両を規定する。行われる選択によって、雑音レベル、例えば、転動音および／または空力騒音による雑音レベルを、音響雑音分布に関して計算することが可能になる。ユーザには、鉄道車両または鉄道車両構成要素の様々な初期構成が提供されてもよい。コンフィギュレータに対する入力、例えば、タブレット100、またはVRシステム200のコントローラ220を使用することによって行われてもよい。

【0090】

例えば、異なる鉄道車両は、一階建てまたは二階建てであってもよく、客車内の1つを超える高さに床を有してもよい。

50

【0091】

異なる鉄道車両タイプはまた、特に角を曲がる間、転動音に影響するであろう、ボギーまたは固定ホイールなどの異なる車輪構成を有してもよい。また、異なる軌間、車輪の半径およびタイプ、ならびに／あるいはサスペンションのタイプに合わせて構成することも可能であってもよいが、それはこれが、転動音の発生および車両への伝達に影響する可能性があるためである。

【0092】

異なる鉄道車両はまた、空力騒音に影響するであろう、異なる空力プロファイルを持してもよい。列車内における特定の鉄道車両の位置も、空力騒音に影響するであろう。鉄道車両の寸法も、共振振動数などを変更させるので、車体振動モデルに影響するであろう。

10

【0093】

鉄道車両の定義はまた、車両構築材料による雑音減衰のパラメータ（例えば、窓および客車壁の厚さ、雑音緩衝材料の提供）を含んでもよい。

【0094】

鉄道車両の定義は、推進システム、制動システム、および／または換気システム、ならびに鉄道車両上におけるそれらの場所など、更なる外部雑音源のパラメータを含んでもよい。推進システムの場合、これは推進タイプ（例えば、ディーゼル、電気、二方式）を含んでもよい。定義はまた、動作可能な窓および／またはドア、ならびに鉄道車両上における場所などのパラメータを含んでもよい。特に後者は、鉄道車両の雑音減衰に影響を及ぼし、それが雑音源にも作用する。

20

【0095】

予期される雑音入力および減衰は、シミュレーションによって、または停止中および／または移動している鉄道車両、例えば列車に属している鉄道車両の（実世界の）測定値から決定することができる。シミュレートした場合、シミュレーションは、他の実世界の測定値に基づいて、例えば、鉄道車両に組み込まれた材質および／または構成要素の測定された音響特性に基づいて生成されてもよい。

【0096】

次に、ユーザは、規定された鉄道車両の内部空間内の、座席、ベンチ、テーブル、床材もしくは天井材、段差、傾斜路、または階段、荷物室、自転車および／もしくは器具庫、仕切り、ドア、窓、トイレ、ケータリングおよび／または小売設備（例えば、食品／飲料調理器、冷蔵庫、ディスプレイ棚、売場用機器を含む）、乗客情報／娯楽システム（例えば、スピーカー、スクリーン、アラーム）、ゴミ箱、雑誌ラック、手すり、柱、吊革、非常用機器（例えば、はしご、階段）、アクセシビリティ機器（例えば、車椅子用傾斜路）、カーテン、および／またはブラインド、照明器具などの突出した本体、換気および／または暖房用通気口、コンセントなどの群から選択された、1つまたは複数の内装要素（例えば、物体もしくは本体、例えば据付品および設備）を配置する。

30

【0097】

異なる内装要素の構築材料も選択することができる。構築材料の選択は内装要素の吸音係数に影響する。

【0098】

これらの要素（乗客情報システム、ケータリング設備など）の一部も、音響モデルの雑音源であることがある。例えば、これによって、ユーザが、作られる信号が適切に可聴であることを確保するため、乗客情報スピーカー、アラームシステムなどの場所を試験することが可能になってもよい。

40

【0099】

内装設計要素および好ましくはそれらの場所は、構成された客車の内装に対する音響雑音分布の表現を提供するのに使用されてもよい。あるいは、内装設計要素および好ましくはそれらの場所は、構成された客車の内装およびその中の雑音分布の表現を提供するのに使用されてもよい。

【0100】

50

パラメータも含めて、乗客によって生成される背景雑音、ならびに乗客および荷物の両方によって予期される雑音減衰を考慮に入れてもよい。乗客および積荷はまた、車体振動モデルが車両のサスペンションを通して少なくとも雑音伝達に影響するので、車体振動モデルによって考慮されてもよい。車両内における乗客および／または荷物の場所は、ユーザによって選択されてもよく、または積載バランスなどのパラメータと組み合わせて、所定のもしくは無作為の乗客分布プロファイルにしたがって提供されてもよい。

【0101】

ユーザはまた、シミュレーションに対するパラメータを提供する。これらは、初期設定として提供されるか、前もって設定されるか、またはシミュレーションの各実行前にユーザによって設定されてもよい。パラメータとしては、例えば、観察位置（または、ユーザがシミュレートされた空間内で「移動」できるようにシミュレーションが構成される場合、開始位置）が挙げられる。現在速度、線路が直線かまたは曲線か、推進のタイプおよび負荷、制動システムおよび負荷、アンチロック、換気／暖房システム負荷、ドアおよび窓の開閉状態、ケータリング／小売設備の使用、乗客アナウンスまたはアラーム、ならびに車両の乗客／荷物負荷など、様々なパラメータも鉄道車両操作に対して設定されてもよい。天候、通過列車、ならびにトンネルおよび／または周囲の建物からの反響を含む、環境雑音を選択されてもよい。列車および内装雑音伝播の少なくとも空力雑音に影響する、内部および／または外部気温、気圧および／または湿度が、構成されてもよい。

10

【0102】

シミュレーションは、選択されたパラメータおよびユーザへの出力にしたがって、サーバ300によって生成される。少なくともシミュレートした音響雑音分布の表現が出力される。これは、音響雑音分布の可聴または視覚どちらかの表現であってもよい。鉄道車両の内装の視覚表現は、ユーザが、構成された鉄道車両の、また見込まれる乗客経験のより完全なシミュレーションを経験できるように、追加的に提供されてもよい。シミュレーションは、VRシステム200を介して、または可聴および／または視覚出力の他の手段によって、ユーザに提供されてもよい。

20

【0103】

ユーザは、鉄道車両のパラメータ、内装要素の配置、または必要に応じてシミュレーションパラメータを修正して、結果としての雑音分布に関して異なる構成および状況の間で比較する手段を提供することができる。したがって、予期される乗客経験に対する設計パラメータの影響をより完全に理解した上で、鉄道車両の内装を設計することができる。

30

【0104】

上述の説明、または以下の特許請求の範囲、または添付図面に開示され、それらの特定の形態で、もしくは開示した機能を実施する手段に関して明示される特徴、あるいは開示した結果を得るための方法またはプロセスは、適宜、別個にまたはかかる特徴の任意の組み合わせで、本発明をその多様な形態で実現するために利用されてもよい。

【0105】

本発明を上述した例示的な実施形態と併せて記載してきたが、本開示を得ることによって当業者には多くの等価な修正および変形が明白となるであろう。したがって、上述した本発明の例示の実施形態は、限定ではなく例示と見なされる。記載した実施形態に対する様々な変更が、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく行われてもよい。

40

【0106】

あらゆる疑義を回避するため、本明細書に提供するあらゆる理論的説明は、読者の理解を促進する目的で提供されるものである。本発明者らは、それらの理論的説明のいずれによっても束縛されることを望まない。

【0107】

本明細書で使用するあらゆる見出しは、単に体系化するためのものであり、記載する主題を限定するものと解釈すべきではない。

【0108】

本明細書およびそれに続く特許請求の範囲全体を通して、文脈によって別様が求められ

50

ない限り、「備える」および「含む」という単語、ならびに「備えている」および「含んでいる」などの変形は、提示される整数もしくはステップまたは整数群もしくはステップ群を含むが、他のあらゆる整数もしくはステップまたは整数群もしくはステップ群を除外しないことを示唆するものと理解される。

【0109】

本明細書および添付の特許請求の範囲で使用する時、単数形「a」、「an」、および「the」は、文脈において別段の指定を明確にしないかぎり、複数形を含むことに留意すべきである。

【符号の説明】

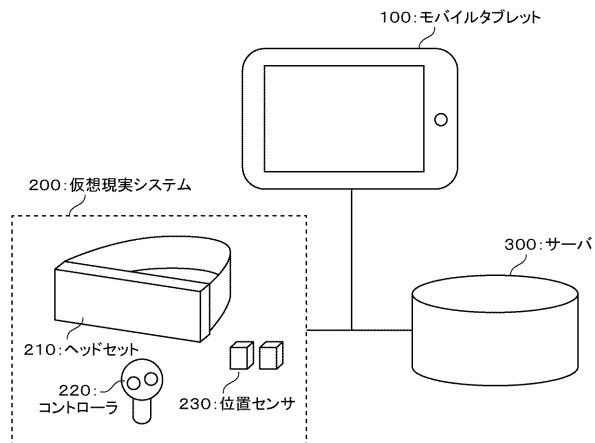
【0110】

- 100 モバイルタブレット
200 仮想現実（VR）システム
300 サーバ

10

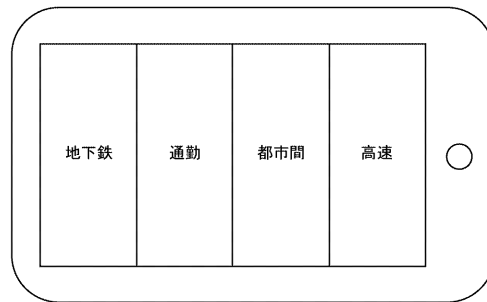
【図1】

図1



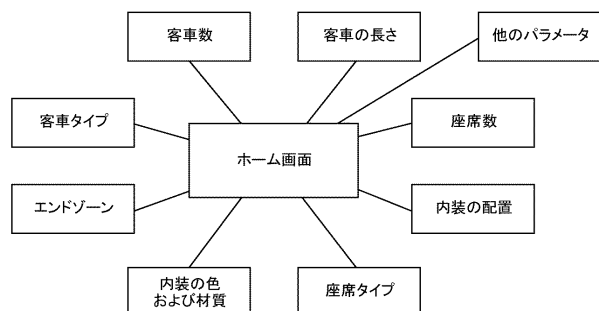
【図2】

図2

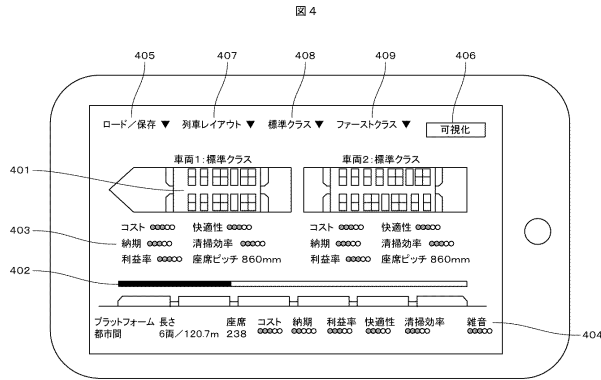


【図3】

図3



【図 4】

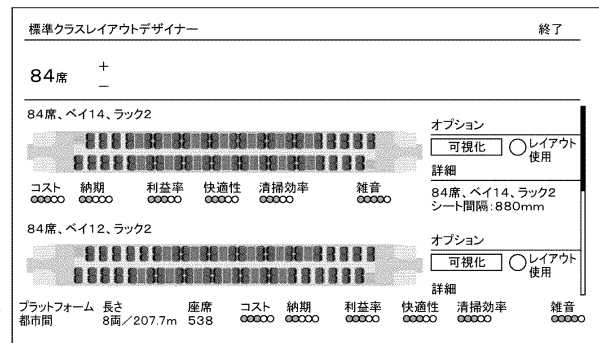


【図 5】

図 5

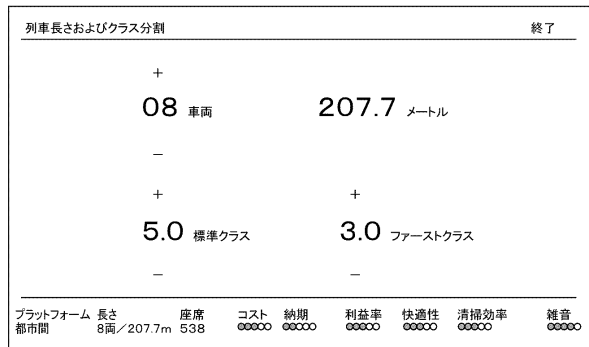
【図 6】

図 6



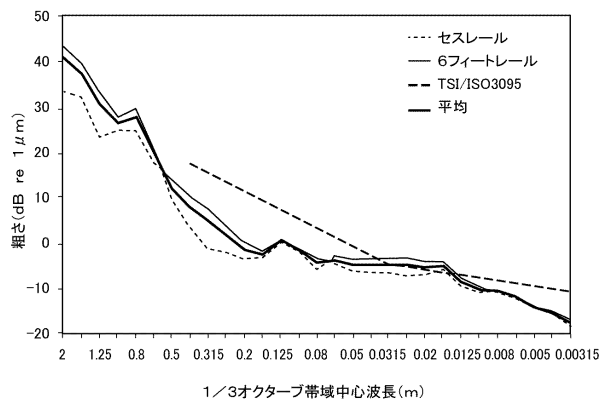
【図 7】

図 7



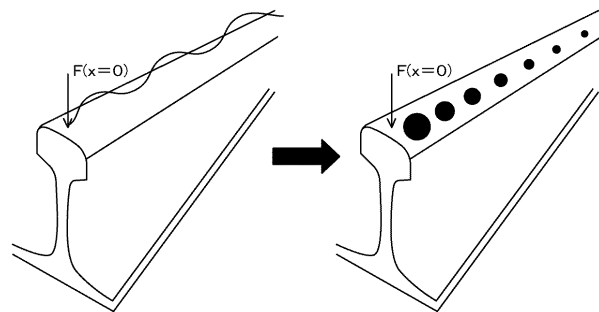
【図 8】

図 8



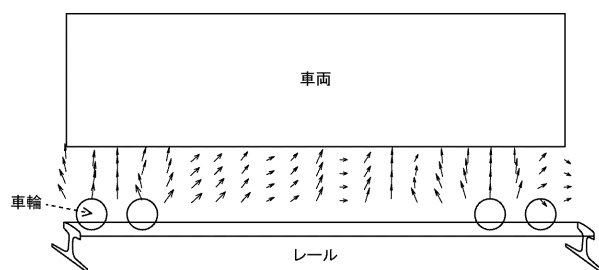
【図 9】

図 9



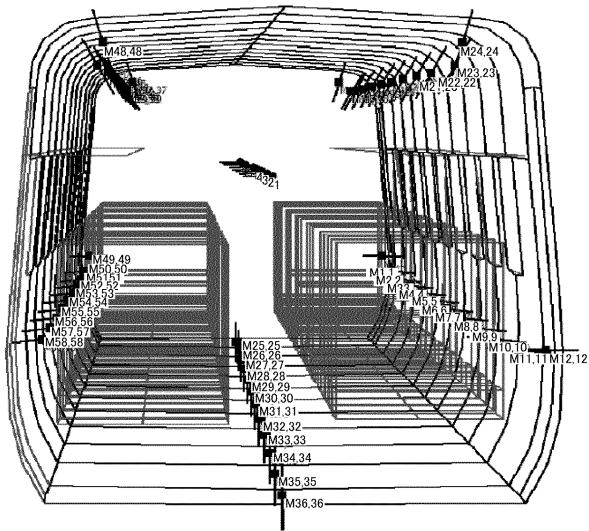
【図 10】

図 10



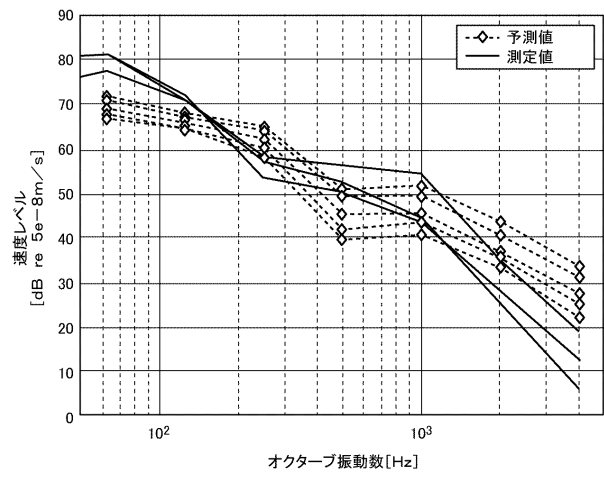
【図 1 1】

図 1 1



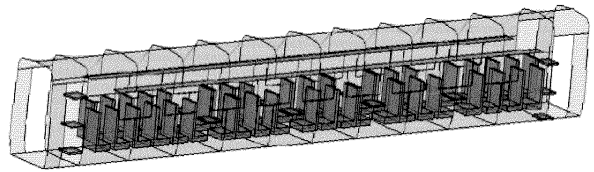
【図 1 2】

図 1 2



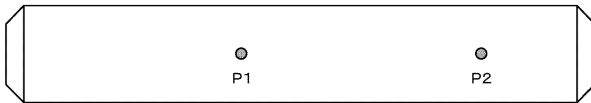
【図 1 3】

図 1 3



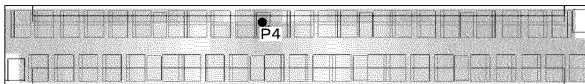
【図 1 4】

図 1 4



【図 1 5】

図 1 5



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 6 F 30/10 1 0 0
G 0 6 F 30/20

審査官 志水 裕司

(56)参考文献 中国特許出願公開第105590003 (CN, A)
特開2012-068384 (JP, A)
米国特許出願公開第2009/0216502 (US, A1)
米国特許出願公開第2018/0232471 (US, A1)
米国特許第06088521 (US, A)
米国特許出願公開第2012/0116736 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B 6 1 D 1 7 / 0 0
G 0 1 H 1 7 / 0 0
G 0 6 F 3 0 / 0 0