

(19)日本国特許庁 ( J P )

# (12) 公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

## 特開2001 - 18692

( P 2 0 0 1 - 1 8 6 9 2 A )

(43)公開日 平成13年 1月23日 (2001.1.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup> (参考)
B60M 1/28		B60M 1/28	R 5H105 C
B60L 5/22		B60L 5/22	Z

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全11頁)

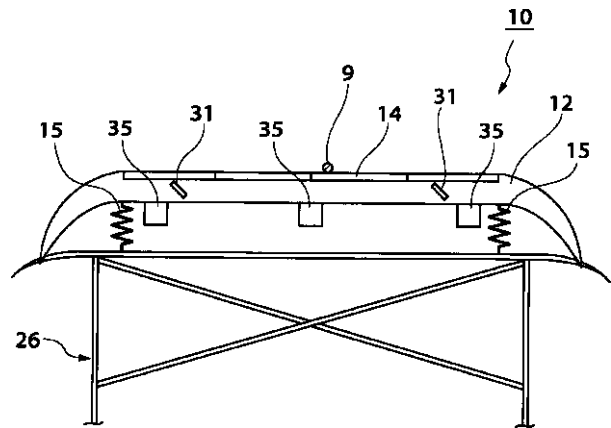
(21)出願番号	特願平11 - 191611	(71)出願人	000173784 財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町 2丁目 8番地38
(22)出願日	平成11年 7月 6日 (1999.7.6)	(72)発明者	池田 充 東京都国分寺市光町二丁目 8番地38 財団 法人 鉄道総合技術研究所内
		(74)代理人	100100413 弁理士 渡部 温
		Fターム(参考)	5H105 AA02 AA11 BA02 BB01 CC02 CC12 DD04 DD28 EE02 EE07 EE08 EE13 GG01 GG02 GG18

(54) 【発明の名称】パンタグラフの接触力測定方法及び接触力測定装置

(57) 【要約】

【課題】 高い周波数成分を含む接触力変動現象に対応した誤差の少ない接触力測定が可能なパンタグラフの接触力測定方法及び接触力測定装置を提供する。

【解決手段】 パンタグラフ 10 の舟体 12 には、3個の加速度計 35 が取り付けられている。3個の加速度計 35 により舟体 12 の曲げ 1次振動モードが把握される。このようにして振動モードを把握した上で、パンタグラフ 10 の舟体 12 の慣性力  $F_{ina}$  を求める。そして、別途求めた舟体 12 にかかっている力から慣性力  $F_{ina}$  を差し引きすることにより、トロリ線 9 とパンタグラフ 10 との間に作用する接触力を求める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；パンタグラフの舟体の慣性力を該舟体の弾性変形を考慮した上で求め、

別途求めた該舟体にかかっている力から該慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とするパンタグラフの接触力測定方法。

【請求項 2】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；パンタグラフの舟体の慣性力を該舟体の摺り板を含む 2ヶ所の縦断面間の弾性変形を考慮した上で求め、別途求めた上記 2ヶ所の縦断面の剪断力から上記慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とするパンタグラフの接触力測定方法。

【請求項 3】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；上記パンタグラフの舟体に  $n(n-2)$  個の加速度計を取り付け、該加速度計により舟体の  $n$  次の振動モードを把握した上で該舟体の慣性力を求め、別途求めた該舟体にかかっている力から該慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とするパンタグラフの接触力測定方法。

【請求項 4】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた  $n(n-2)$  個の加速度計と、

該加速度計の検出値から上記舟体の  $n$  次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、

上記舟体の摺り板を含む 2ヶ所の縦断面の歪みを検出する歪み検出手段と、

該歪み検出手段の検出値から該縦断面の剪断力を算出する剪断力算出手段と、

該剪断力算出手段の算出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、

を備えることを特徴とするパンタグラフの接触力測定装置。

【請求項 5】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた  $n(n-2)$  個の加速度計と、

該加速度計の検出値から上記舟体の  $n$  次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、

上記舟体底部を上方に付勢する復元ばねと、

該復元ばねの振動に伴う上記舟体の変位を計測するレーザ変位計と、

該レーザ変位計の計測値と上記復元ばねのばね定数とを

掛けることにより復元ばね荷重を算出する荷重算出手段と、

該荷重算出手段の算出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、

を備えることを特徴とするパンタグラフの接触力測定装置。

【請求項 6】 トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた  $n(n-2)$  個の加速度計と、

該加速度計の検出値から上記舟体の  $n$  次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、

上記舟体底部を上方に付勢する復元ばねと、

該復元ばねと上記舟体底部間に設けられた、該舟体にかかっている力を検出するロードセルと、

該ロードセルにより検出された検出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、

を備えることを特徴とするパンタグラフの接触力測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気鉄道におけるトロリ線とパンタグラフとの間に作用する接触力を測定する方法及び装置に関する。特に、高い周波数成分を含む接触力変動現象に対応した誤差の少ない接触力測定が可能なパンタグラフの接触力測定方法及び接触力測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】現状の営業用の電気鉄道においては、トロリ線からパンタグラフを介して電力を車体に送る方式が一般的である。このトロリ線とパンタグラフの舟体との接触力は、トロリ線の高さ変動や振動、あるいは車両やパンタグラフの振動等によって変動する。この接触力の変動が大きすぎると、パンタグラフの舟体がトロリ線から離れることがある（これを離線という）。この離線が頻発すると、両者の間にスパークが生じて、摺り板の損傷が促進され、問題となる。また、離線に至らない場合でも、パンタグラフの接触力は極力変動の小さい方がよい。

【0003】そこで、電車の走行中のトロリ線とパンタグラフとの接触力を測定し、得られた測定結果を離線の抑制対策の参考としたいとの要請がある。あるいは、将来的には、接触力をアクティブにリアルタイムでコントロールすることも考えられている。

【0004】このようなパンタグラフの接触力測定技術としては、以下が公知である。

(1) 特開平 7 - 291001 号公報には、舟体支持ば

ねの伸縮量を測定し、この量から同バネの押圧力を計算して接触力を求める方法が開示されている。舟体支持ばねの伸縮量は、舟体と舟体支持パイプの間の寸法を渦電流式や光学式の距離センサを用いて測定する。ところが、この方法では、舟体（摺り板を含む）の慣性力が無視されることとなり、接触力の測定誤差が生じる。

【0005】(2)日本機学会第74期通常総会講演会講演論文集No.97-1、(I)、2149、p.699~700には、舟体と摺り板との間にロードセルを設けるとともに、摺り板に加速度計を取り付けたパンタグラフ接触力測定装置が開示されている。この装置においては、ロードセルで測定した力を、摺り板の等価質量に加速度を掛けた慣性力で補正する。したがって、比較的正確な接触力が求められる。ところが、この装置においては、パンタグラフは非通電であり、ロードセル組み込みという特殊な加工を施したものであるため、通常の営業列車に適用できるものではない。

【0006】(3)日本機学会第5回交通・物流部門大会講演論文集No.96-51、1115、p.127~130には、舟体の歪みならびに加速度を測定する方法が開示されている。この方法では、舟体にかかっている力（慣性力を除く静的な力）を舟体の歪みから計算する。そして、この力を舟体の等価質量に加速度を掛けた慣性力で補正する。この場合も、比較的正確な接触力が求められる。ところが、この方法では、舟体が単なる質点として振動するのではなく、梁として振動するため、等価質量の同定が難しい。また、舟体の固有振動数（例えば100Hz、200Hz付近）近傍においては、接触力の測定誤差が著しい。

【0007】上述したように、従来の接触力測定技術はそれぞれ欠点を有している。さらに、これらの上記(1)~(3)では、慣性力を求める際に舟体の弾性変形やローリングを考慮していないため、測定可能な周波数範囲が約40Hz程度までに限られている。本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、高い周波数成分を含む接触力変動現象に対応した誤差の少ない接触力測定が可能なパンタグラフの接触力測定方法及び接触力測定装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明の第1態様のパンタグラフの接触力測定方法は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；パンタグラフの舟体の慣性力を該舟体の弾性変形を考慮した上で求め、別途求めた該舟体にかかっている力から該慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とする。舟体の弾性変形を考慮して慣性力を求めることにより、接触力測定範囲を増やすことができる。さらに、高い振動周波数に対しても誤差の少ない接

触力測定が可能となる。

【0009】本発明の第2態様のパンタグラフの接触力測定方法は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；パンタグラフの舟体の慣性力を該舟体の摺り板を含む2ヶ所の縦断面間の弾性変形を考慮した上で求め、別途求めた上記2ヶ所の縦断面の剪断力から上記慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とする。トロリ線には舟体の摺り板が接触する。パンタグラフの接触力を測定するためには、この摺り板を含む2ヶ所の縦断面の剪断力と、これらの断面間における舟体の慣性力がわかればよい。すなわち、2ヶ所の縦断面の剪断力の和（但し、両剪断力の符号は互いに逆にとるため、実際には差となる）から、慣性力を差し引きすることにより、接触力を求めることができる。

【0010】本発明の第3態様のパンタグラフの接触力測定方法は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する方法であって；上記パンタグラフの舟体に $n(n-2)$ 個の加速度計を取り付け、該加速度計により舟体の $n$ 次の振動モードを把握した上で該舟体の慣性力を求め、別途求めた該舟体にかかっている力から該慣性力を差し引きすることにより、上記接触力を求めることを特徴とする。

【0011】慣性力は、舟体の長手方向にわたり大きさが変化する分布力である。従来は、舟体中央に取り付けた1個の加速度計により慣性力を求めていた。このため、振動周波数が約60Hz以上においては、接触力の測定誤差が大きかった。本態様では、 $n(n-2)$ 個の加速度計により、舟体の $n$ 次の振動モードを把握した上で慣性力を求めることにより、高い周波数に対しても誤差の少ない接触力測定を実現することができる。例えば、舟体のローリングモード（振動周波数12Hz程度）を把握するには、最低2個の加速度計を用いるようにする。一方、曲げ1次モード（振動周波数80Hz程度）を把握するには、最低3個の加速度計が必要である。

【0012】本発明の第1態様のパンタグラフの接触力測定装置は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた $n(n-2)$ 個の加速度計と、該加速度計の検出値から上記舟体の $n$ 次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、上記舟体の摺り板を含む2ヶ所の縦断面の歪みを検出する歪み検出手段と、該歪み検出手段の検出値から該縦断面の剪断力を算出する剪断力算出手段と、該剪断力算出手段の算出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、を備えることを特徴とする。 $n(n-2)$ 個の加速度計を設けることで、舟体の $n$ 次の振動モードに対応した慣性力を

正確に求めることができる。これにより、高い周波数に対しても誤差の少ない接触力測定が可能になる。

【0013】本発明のパンタグラフの接触力測定装置においては、上記舟体の底部から垂下するロッドと、該ロッドの外周に配置された舟支えと、該舟支えを支持する枠組と、上記舟体底部を上方に付勢する復元ばねと、を備え、上記ロッドと舟支え間にリニアベアリングが介装されていることが好ましい。従来の一般的なパンタグラフでは、復元ばねが空気抵抗により固渋することがあった。復元ばねが固渋すると、定置時と走行時

10 とで動特性が変化し、慣性力を求める際に誤差が多く含まれる。本発明では、ロッドと舟支え間に介装されたりニアベアリングにより、復元ばねの固渋が解消される。  
【0014】本発明の第2態様のパンタグラフの接触力測定装置は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた $n$ （ $n \geq 2$ ）個の加速度計と、該加速度計の検出値から上記舟体の $n$ 次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、上記舟体底部を上方に付勢する復元ばねと、該復元ばねの振動に伴う上記舟体の変位を計測するレーザ変位計と、該レーザ変位計の計測値と上記復元ばねのばね定数とを掛けることにより復元ばね荷重を算出する荷重算出手段と、該荷重算出手段の算出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、を備えることを特徴とする。

【0015】さらに、本発明の第3態様のパンタグラフの接触力測定装置は、トロリ線（給電線）とパンタグラフ（集電装置）との間に作用する接触力を測定する装置であって；上記パンタグラフの舟体に設けられた $n$ （ $n \geq 2$ ）個の加速度計と、該加速度計の検出値から上記舟体の $n$ 次の振動モードを把握した上で、該舟体にかかる慣性力を推定する慣性力推定手段と、上記舟体底部を上方に付勢する復元ばねと、該復元ばねと上記舟体底部間に設けられた、該舟体にかかっている力を検出するロードセルと、該ロードセルにより検出された検出値から上記慣性力推定手段の推定値を差し引きすることにより、上記接触力を算出する接触力算出手段と、を備えることを特徴とする。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ説明する。なお、以下の説明では、通常の鉄道車両の技術におけるのと同様に、レールの長手方向（車両の進行方向）を前後方向、軌道面におけるレール長手方向と直角の方向を左右方向、軌道面に垂直な方向を上下方向と呼ぶ。さらに、以下の説明における具体例は、現状のJRの新幹線の一般的なものが用いられているものとする。この通常の例では、トロリ線は、直径約15mmの銅線である。トロリ線には、交流約25kVの電圧が印加され

る。トロリ線は、約5mおきに吊架線によって吊られている。この吊架線は、約50mおきに柱によって支えられている。

【0017】{第1実施例}図1は本発明の第1実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。図2(A)は図1のパンタグラフの歪みゲージ部分を示す裏面側拡大図であり、図2(B)は同表面側拡大図であり、図2(C)は同側面断面図であり、図2(D)は歪みゲージの構成図である。図3は舟体の詳細を示す斜視図である。図4は舟体の具体的な寸法を説明する説明図である。図5は図1のパンタグラフの支持構造の詳細を示す模式的側面断面図である。

【0018】図1～図5に示すように、パンタグラフ10は舟体12を備えている。舟体12は、左右方向に沿って延びている。舟体12は、前後方向に離れて1組ずつ計2本設けられているものが多いが、1本の舟体のみで構成されるものもある。この例の舟体12は、幅40mm、長さ1.2m、重さ3.5kgの中空の箱状部材である（図4参照）。舟体12はアルミニウム合金製である。停車時に舟体12がトロリ線9に押し当てられる力（静接触力）は50～70Nである。舟体12の上表面には、摺り板14が貼られている。摺り板14は、鉄系や銅系の焼結合金製、あるいはカーボン系材料からなる。この摺り板14がトロリ線9に直接接触する。摺り板14は、トロリ線9との接触により経時摩耗するので、定期的に交換する。

【0019】舟体4の左右両端部寄りの底面には、図5に示すように、ロッド22が固定されている。ロッド22は、舟体12底面から下方に垂下している。ロッド22の下端には、ストッパ22aが形成されている。舟支え18には、前後2つのスリーブ18a、18bが一体に形成されている。これらスリーブ18a、18bは、上下方向に開口している。前側のスリーブ18aには前側の舟体のロッド22が嵌合しており、後側のスリーブ18bには後側の舟体のロッド22が嵌合している。そして、ロッド22とスリーブ18a、18b間の隙間には、リニアベアリング24が介装されている。このリニアベアリング24により、舟支え18がロッド22に沿って上下に摺動する。舟支え18は、ロッド22のストッパ22aにより抜け止めされている。

【0020】舟体12底面と舟支え18間において、ロッド22外周には復元ばね15が配置されている。復元ばね15は、ゴム製ばねあるいはコイルばねである。舟支え18は、この復元ばね15を介して舟体12を支持する。舟支え18の下には、パンタグラフ10全体を昇降するリンク状の枠組26が設けられている。同枠組26は、リンク状をしており、コイルばねあるいはエアシリンダ（図示されず）等によって上下に昇降する。例えば、パンタグラフ10の非使用時は、枠組26は折り畳まれて下がり、舟体12はトロリ線9から離れる。

【0021】舟体12には、2軸用歪みゲージ31が貼られている。2軸用歪みゲージ31は、集電電流によるノイズの誘導を防ぐため、無誘導型ゲージを用いる。この2軸用歪みゲージ31により、舟体12の断面の剪断歪みを測定する。この例では、2軸用歪みゲージ31は、舟体12の両側面に2個ずつ貼られている。したがって、1本の舟体12に対して計4個の2軸用歪みゲージ31a~31dが設けられている。これら4個の2軸用歪みゲージ31a~31dは、図2(D)に示すようにブリッジ接続されている。2軸用歪みゲージ31a~31dをブリッジ接続することにより、舟体12の前後方向の曲げやねじり荷重に対する感度が下がり、上下荷重に対する剪断歪みのみが測定されやすくなっている。なお、歪みゲージは、図6に示すように、舟体12の底部に貼るようにしてもよい。この場合は、舟体12の曲げ歪みを測定するのに都合がよい。

【0022】さらに、舟体12には、加速度計35が取り付けられている。加速度計35は、この例では1つの舟体12の左右及び中央に計3個取り付けられている。加速度計35を3個取り付けただけにより、後述する舟体12の3次の振動モード(曲げ1次モード)にも対応できるようになっている。加速度計35の筐体と舟体12間には、ベーク板(図示されず)が介装されている。同ベーク板により、加速度計35の筐体と舟体12間は絶縁されている。これにより、信号ケーブルのシールド線に電流が流れず、出力信号のノイズが低減されている。

【0023】各2軸用歪みゲージ31a~31d及び加速度計35は、制御装置(図示されず)に接続されている。この制御装置は、2軸用歪みゲージ31及び加速度計35の計測値に基づき、以下の原理により舟体12とトリ線との接触力を算出する。以下、図7~図10を参照して上記の接触力測定原理について説明する。図7は本発明に係る接触力測定方法を説明するための図である。図8は舟体の慣性力の推定方法を説明するための図である。図9はトリ線の偏位の推定方法を説明するための図である。図10は舟体の振動モードについて説明するための図である。

【0024】最初に、図10を参照して、舟体12の振動モードを説明する。図10(A)は、1次の振動モード(並進モード)である。このモードでは、舟体12の左右がほぼ同時に上下する。このモードは、舟体12の振動周波数が7Hz程度で生じる。このモードのときは、舟体12の加速度を計測するためには、舟体12に取り付ける加速度計35は最低1個でよい。図10(B)は、振動モード2(ローリングモード)である。このモードでは、舟体12の左右端がそれぞれ逆方向に上下し、前後方向軸の周りに揺れる。このモードは、舟体12の振動周波数が12Hz程度で生じる。このモードのときは、舟体12の加速度を計測するためには、舟

体12に取り付ける加速度計35は最低2個必要である。

【0025】図10(C)は、振動モード3(曲げ1次モード)である。このモードでは、舟体12の左右端と中央とがそれぞれ逆方向に上下する。このモードは、舟体12の振動周波数が80Hz程度で生じる。このモードのときは、舟体12の加速度を計測するためには、舟体12に取り付ける加速度計35は最低3個必要である。図10(D)は、振動モード4(曲げ2次モード)である。このモードでは、舟体12は波状に変形する。このモードは、舟体12の振動周波数が200Hz程度で生じる。このモードのときは、舟体12の加速度を計測するためには、舟体12に取り付ける加速度計35は4個以上必要である。

【0026】したがって、この実施例のように、舟体12に3個の加速度計35を取り付けた場合は、振動モード1~3(すなわち振動周波数100Hz程度まで)に対する接触力を測定可能である。しかしながら、本発明は、加速度計の個数を増やすことにより、振動モード4あるいはそれ以上の場合であっても適用可能である。

【0027】次に、図7を参照し舟体の接触力に関して説明する。図7に示すように、舟体12にトリ線9との接触力 $F_c$ が作用しているとする。一方、舟体12の摺り板14を含む区間ABを考えたとき、断面A、B(区間ABの両端)において剪断力A、Bが生じるとする。さらに、区間ABに作用する舟体12の慣性力の合計を $F_{ina}$ とする。このとき、接触力 $F_c$ 、剪断力A及び慣性力 $F_{ina}$ の符号(力の向き)を+と考え、剪断力Bの符号(力の向き)を-と考えると、次式が成り立つ；

【数1】

$$F_c + \tau_A - \tau_B + F_{ina} = 0$$

【0028】したがって、接触力 $F_c$ は、

【数2】

$$F_c = (-\tau_A + \tau_B) - F_{ina}$$

で表される。つまり、接触力 $F_c$ を測定するためには、剪断力A、Bと区間ABにおける慣性力 $F_{ina}$ がわかればよい。剪断力A、Bは、2軸用歪みゲージ31により歪みを計測することにより得られる。慣性力 $F_{ina}$ は、加速度計による計測結果から求めることができる。

【0029】次に、図8を参照し舟体の慣性力の測定方法に関して説明する。最初に、慣性力 $F_{ina}$ は分布力であることを注意しておく。いま、図8に示すように座標X、Y(すなわち図8の横方向がX、縦方向がY)を定め、この座標のX軸上において舟体12の位置1A、1Bをとる。このとき、区間ABの慣性力は、n次の振動モードまでを考慮すると、各モードの慣性力の和、すなわち、

【数 3】

$$F_{ina}(t) = - \sum_{i=1}^n \int_{l_B}^{l_A} \rho(x) \ddot{p}_i(t) \bar{y}_i(x) dx$$

但し、 $\bar{y}_i(x)$ : i 次のモード座標

$p_i(t)$ : i 次のモード変位

$\rho(x)$ : 舟体の線密度分布

で表される。

【0030】この線密度分布 を一定と見なし、慣性力

$$\sum_{i=1}^n \left[ \ddot{p}_i(t) \left( \int_{l_B}^{l_A} \bar{y}_i(x) dx - (l_A - l_B) \sum_{j=1}^n w_j \bar{y}_i(x_j) \right) \right] = 0,$$

任意の  $\ddot{p}_i(t)$  ( $i=1 \sim n$ ) の組み合わせに対してこの式が成り立つ必要十分条件は

$$\left. \begin{aligned} \int_{l_B}^{l_A} \bar{y}_1(x) dx &= (l_A - l_B) \sum_{j=1}^n \bar{y}_1(x_j) w_j \\ &\vdots \\ \int_{l_B}^{l_A} \bar{y}_i(x) dx &= (l_A - l_B) \sum_{j=1}^n \bar{y}_i(x_j) w_j \\ &\vdots \\ \int_{l_B}^{l_A} \bar{y}_n(x) dx &= (l_A - l_B) \sum_{j=1}^n \bar{y}_n(x_j) w_j \end{aligned} \right\} (i=1 \sim n)$$

但し、 $\bar{y}_i$ : i 番目の正規化モード

IA: 断面Aの x 座標

IB: 断面Bの x 座標

【0032】したがって、この方程式系を満足するよう  
な  $w_j$  ( $j = 1 \sim n$ ) を求めればよい。以上により、慣  
性力  $F_{ina}$  を求めることができる。

【0033】これにより、n 個のモードが支配的である  
場合、ある区間 AB の慣性力  $F_{ina}$  は、舟体 1 2 の n  
箇所の加速度に、重み係数  $w_j$  と区間 AB の質量を掛け  
て加算することにより推定可能である。なお、区間 AB  
の質量 ( $l_A - l_B$ ) を舟体の等価質量と呼ぶ。

【0034】ところで、実際の測定に際しては、加速度  
重み係数と等価質量は加振試験により求めるのがよい。  
すなわち、既知の加振力により加振を行い、上述した

「数 2」式により推定した加振力と実際の加振力とが等  
しくなるような加速度重み係数と等価質量を求める。例  
えば、図 3 において、各加速度計 3 5 a ~ 3 5 f の計測  
値をそれぞれ順に a 5 ~ a 1 0 とし、舟体 1 2 A、1 2  
B の等価質量をそれぞれ順に M 1、M 2 としたとき、各  
舟体 1 2 A、1 2 B に対する慣性力  $F_{ina,1}$ 、 $F_{ina,2}$  の  
補正は次式により行う；

【数 6】

$$F_{ina,1} = M_1(w_{1a5} + w_{2a7} + w_{3a8})$$

$$F_{ina,2} = M_2(w_{4a6} + w_{5a9} + w_{6a10})$$

$F_{ina}$  が舟体 1 2 の n 箇所の位置  $x_j$  ( $j = 1 \sim n$ ) に  
おける加速度の重み付き加算 (加速度と重み係数の線形  
和) と等しいとする。

【数 4】

$$F_{ina} = -\rho(l_A - l_B) \sum_{j=1}^n w_j \sum_{i=1}^n \ddot{p}_i(t) \bar{y}_i(x_j)$$

【0031】そして、「数 3」と「数 4」を等しいとお  
くと、以下が成り立つ。

10 【数 5】

30

【0035】また、簡便な方法として、各舟体 1 2 A、  
1 2 B に対して 2 個の加速度計により舟体曲げ 1 次モー  
ドの慣性力を補正してもよい。すなわち、舟体 1 2 A に  
おいては加速度計 3 5 a、3 5 d の検出値を用い、舟体  
1 2 B においては加速度計 3 5 b、3 5 e の検出値を用  
いる。このとき、各舟体 1 2 A、1 2 B に対する慣性力  
 $F_{ina,1}$ 、 $F_{ina,2}$  の補正は次式により行う；

【数 7】

$$F_{ina,1} = M_1(w_{1a5} + 2w_{3a8})$$

$$F_{ina,2} = M_2(w_{4a6} + 2w_{4a9})$$

40

この場合は、舟体の端部の加速度計 (舟体 1 2 A では加  
速度計 3 5 c、3 5 d；舟体 1 2 B では加速度計 3 5  
e、3 5 f) が左右同じ検出値になると見做しているこ  
とに相当する。

【0036】次に、図 9 を参照しトルリ線の偏位の推定  
に関して説明する。図 9 に示すように、接触力  $F_c$  と剪  
断力 A、B との間には、慣性力を無視すると次式が  
成り立つ；

【数 8】

$$\frac{-\tau_A}{\tau_B} = \frac{l_C - l_B}{l_A - l_C}$$

したがって、

【数 9】

$$l_C = \frac{\tau_A l_A - \tau_B l_B}{\tau_A - \tau_B}$$

が成り立つ。これにより、接触位置の推定が可能である。このような推定は、慣性力の無視できるような低い周波数に限定されるが、車上から見た架線の折れ曲がり等は、例えば車両速度が 270 km/h のときに 0.75 Hz (50 m 径間、2 径間 1 サイクルの場合) であるため、この方法でも十分推定可能である。

【0037】次に、上記の方法により接触力測定を行った結果の具体的な事例について述べる。なお、従来の接触力測定方法では、慣性力を舟体中央に取り付けた 1 個の加速度計のみで推定している。

(1) 舟体の等価質量の実測値 (図 3 参照)

舟体 12A の等価質量  $M_1 = \text{約 } 2.4 \text{ kg}$ 、舟体 12B の等価質量  $M_2 = \text{約 } 2.1 \text{ kg}$  である。

【0038】(2) 重み係数 (図 3 参照)

この重み係数に関しては、次の 2 つの仮定をおく；

(a) 舟体の端部の加速度計 (舟体 12A では加速度計 35c、35d；舟体 12B では加速度計 35e、35f) については同じ値である。これは、舟体の振動モードが左右対称あるいは点対称になっていると仮定することに相当する。

(b) 各重み係数の合計は 1 である。これは、並進モード (図 10 (A) 参照) が完全な剛体振動であると仮定することに相当する。この仮定を考慮して求めた重み係数は、

舟体 12A について： $w_1 = 0.75$ 、 $w_2 = w_3 = 0.125$

舟体 12B について： $w_4 = 0.83$ 、 $w_5 = w_6 = 0.083$

である。

【0039】図 11 は従来の接触力の測定結果 (加速度計を図 10 (A) のように舟体の中央部の 1 ヶ所に取り付けた場合) を示すグラフである。図 12 は上記の値を用いた場合の本発明の接触力の測定結果 (加速度計を図 10 (C) のように舟体に 3 個取り付けた場合) を示すグラフである。これらのグラフは、横軸が舟体振動の周波数 (単位 Hz) を示し、縦軸が接触推定力を加振力で割った値を示す。なお、この試験では、加振力を測定可能な加振器でパンタグラフを振動させた。

【0040】図 11 に示すように、従来の方法では、特に振動周波数 40 Hz 以上において、接触推定力の誤差が著しくなっている。しかし、図 12 に示す本発明の方法では、振動周波数 100 Hz であっても、接触推定力

の誤差がほとんど生じていないことがわかる。なお、所見によれば、加速度計が 2 個の場合であっても、加速度計が 3 個の場合より若干精度が低下するが、振動周波数 80 Hz 程度までは十分に実用的な精度を得ることができる。

【0041】このように、従来の方法では、振動モード 2 に相当する約 40 Hz 以上の振動周波数においては、舟体の接触力の推定誤差が大きかった。本発明においては、加速度計の計測値に基づいた舟体の弾性振動を考慮することにより、慣性力  $F_{\text{in}}$  を精度良く推定することができる。

【0042】以下、本発明の他の実施例について説明する。以下の実施例では、第 1 実施例と同一構成部分については説明を省略する。

{第 2 実施例} 以下、本発明の第 2 実施例について説明する。図 13 は、本発明の第 2 実施例を説明する図である。図 13 (A) に示すパンタグラフは、舟体 42 を支持する枠組が、図 13 (B) に示すようなシングルアーム 27 となっている。復元ばね 15 は、舟体 42 の中央部底面とシングルアーム 27 上端間に 1 個だけ介在している。

【0043】図 13 (A) に示すパンタグラフにおいては、第 1 実施例における歪みゲージに代えて、舟体 42 の支持ばね 15 の変形を測定するレーザ変位計 32 が設けられている。同レーザ変位計 32 は、シングルアーム 27 の上端に取り付けられている。レーザ変位計 32 は、舟体 42 の底面に向けてレーザ光線を照射して、舟体 42 の変位を計測する。そして、この変位に支持ばね 15 のばね定数を掛けて舟体 42 を支持する力を算出する。さらに、舟体支持力から慣性力を差し引いてトロリ線接触力を算出する。

【0044】{第 3 実施例} 以下、図 14 を参照して本発明の第 3 実施例について説明する。図 14 に示すパンタグラフは、第 1 実施例における歪みゲージに代えて、ロードセル 34 が設けられているものである。ロードセル 34 は、舟体 42 底面と復元ばね 15 間に配置されている。このロードセル 34 により、舟体 42 にかかっている力を計測する。このロードセル 34 による力の計測値が、第 1 実施例における左右の剪断力の差に相当する。したがって、この計測値から舟体の慣性力を差し引きして、トロリ線接触力を算出する。

【0045】{第 4 実施例} 以下、図 15 を参照して本発明の第 4 実施例について説明する。図 15 に示すパンタグラフは、2 軸用歪みゲージ 31 が舟体 42 中央部 (すなわち復元ばね 15 の取付部) にのみ貼られている。シングルアーム 27 に対しては、2 個の 2 軸用歪みゲージ 31 で十分な接触力推定を行うことができる。

【0046】{第 5 実施例} 以下、本発明の第 5 実施例について説明する。図 16 及び図 17 は、本発明の第 3 実施例を説明する図である。これらの各図に示す各パン

タグラフは、枠組が図 1 3 ( B ) に示すようなシングルアーム 2 7 となっている。このシングルアーム 2 7 の上端には、天井管 1 9 が取り付けられている。復元ばね 1 5 は、舟体 4 3 の上端部と天井管 1 9 間に 2 個介在されている。

【 0 0 4 7 】 図 1 6 に示すパンタグラフは、2 軸用歪みゲージ 3 1 が舟体 4 3 底面に貼られている。この場合は、舟体 4 3 の曲げ歪みを適切に測定できる。一方、図 1 7 に示すパンタグラフは、2 軸用歪みゲージ 3 1 は舟体 4 3 側面に貼られている。この場合は、舟体 4 3 の剪断歪みを適切に測定できる。

【 0 0 4 8 】

【 発明の効果 】 以上の説明から明らかなように、本発明によれば、測定可能な周波数範囲を増やすことにより、高い周波数成分を含む接触力変動現象（例えば離線現象）に対応することができる効果がある。さらに、誤差の少ない正確な接触力を求めることができる効果がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。

【 図 2 】 図 2 ( A ) は図 1 のパンタグラフの歪みゲージ部分を示す裏面側拡大図であり、図 2 ( B ) は同表面側拡大図であり、図 2 ( C ) は同側面断面図であり、図 2 ( D ) は歪みゲージの構成図である。

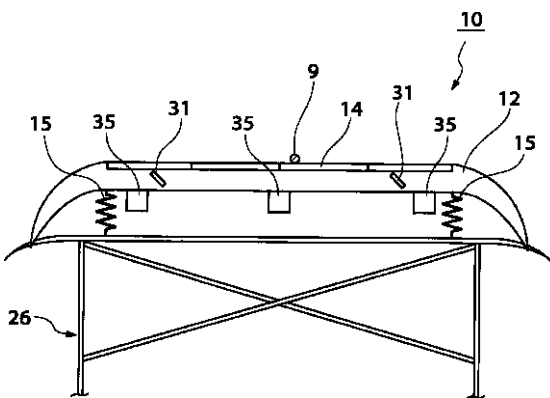
【 図 3 】 図 1 のパンタグラフの舟体の詳細を示す斜視図である。

【 図 4 】 図 1 のパンタグラフの舟体の具体的な寸法を説明する図である。

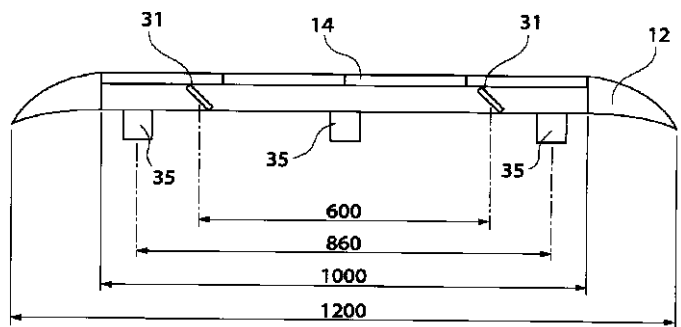
【 図 5 】 図 1 のパンタグラフの支持構造の詳細を示す模式的側面断面図である。

【 図 6 】 図 1 のパンタグラフの変形例を示す模式的正面図である。

【 図 1 】



【 図 4 】



【 図 7 】 本発明に係る接触力測定方法を説明するための図である。

【 図 8 】 舟体の慣性力の推定方法を説明するための図である。

【 図 9 】 トロリ線の変位の推定方法を説明するための図である。

【 図 1 0 】 舟体の振動モードについて説明するための図である。

【 図 1 1 】 従来の接触力の測定結果を示すグラフである。

【 図 1 2 】 本発明の接触力の測定結果を示すグラフである。

【 図 1 3 】 図 1 3 ( A ) は本発明の第 2 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図であり、図 1 3 ( B ) は同側面図である。

【 図 1 4 】 本発明の第 3 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。

【 図 1 5 】 本発明の第 4 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。

【 図 1 6 】 本発明の第 5 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。

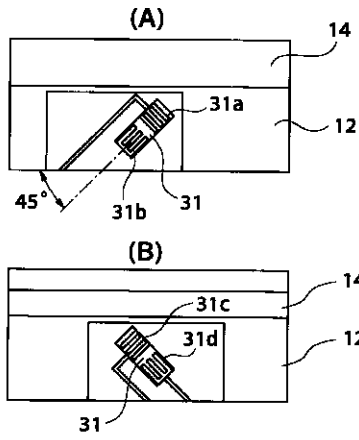
【 図 1 7 】 本発明の第 5 実施例に係る電気鉄道のパンタグラフを示す模式的正面図である。

【 符号の説明 】

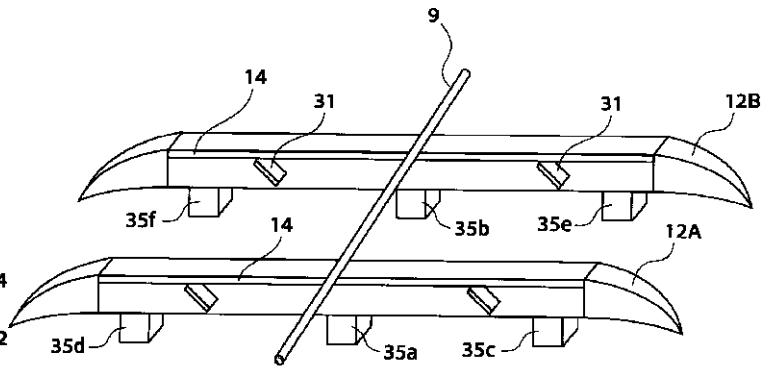
9	トロリ線	10	パンタグラフ
12、42、43	舟体	14	摺り板
15	復元ばね	18	舟支え
19	天井管	22	ロッド
26	枠組	27	シングルアーム
31	2 軸用歪みゲージ	32	レーザ変位計
34	ロードセル	35	加速度計



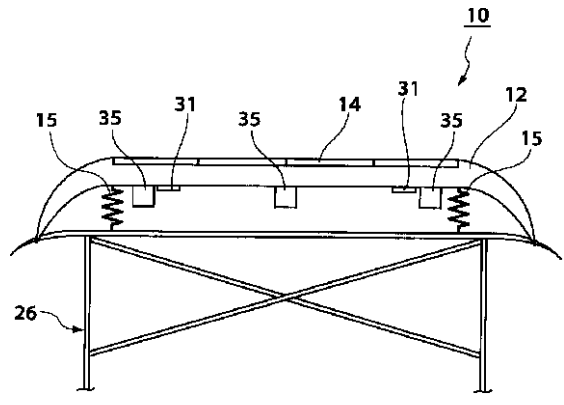
【図 2】



【図 3】

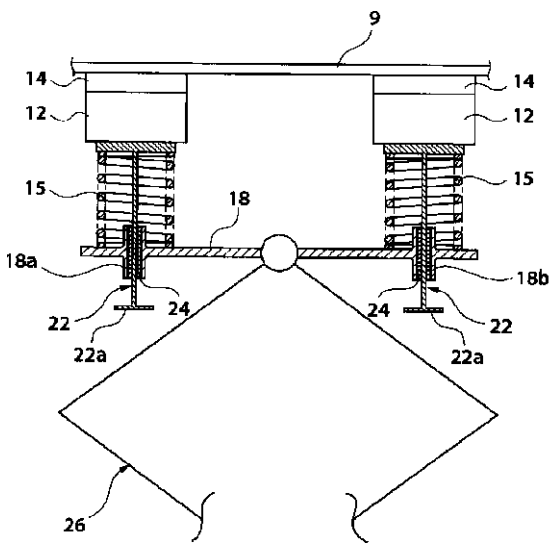


【図 6】

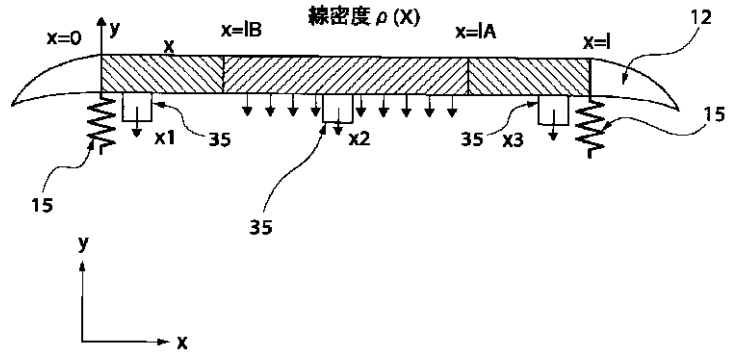


【図 8】

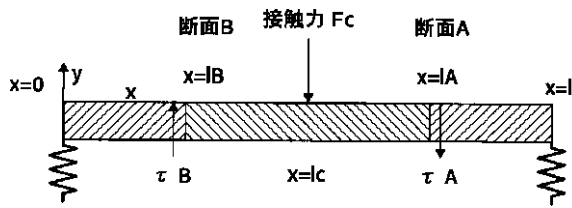
【図 5】



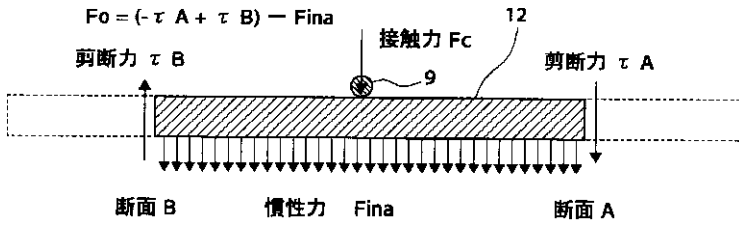
断面B 断面A



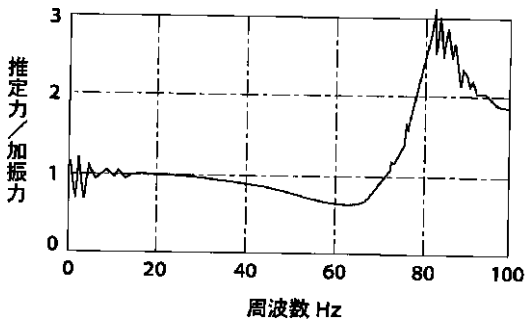
【図 9】



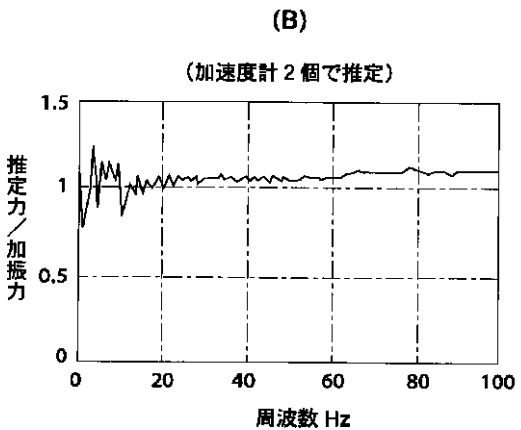
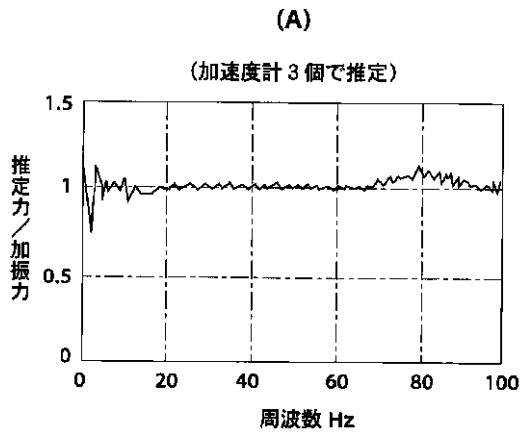
【図 7】



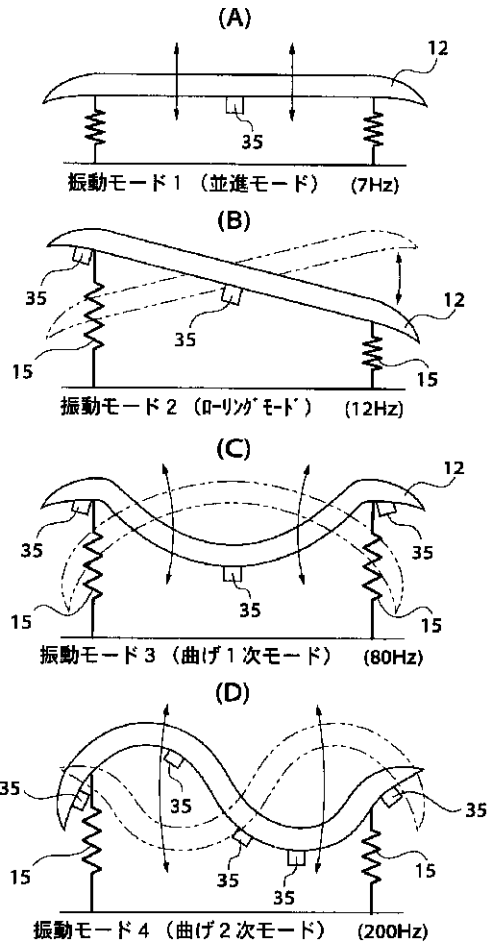
【図 11】



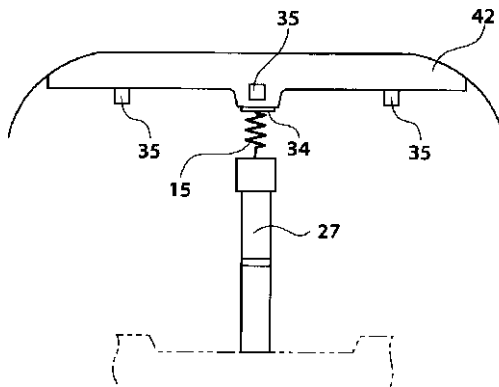
【図 12】



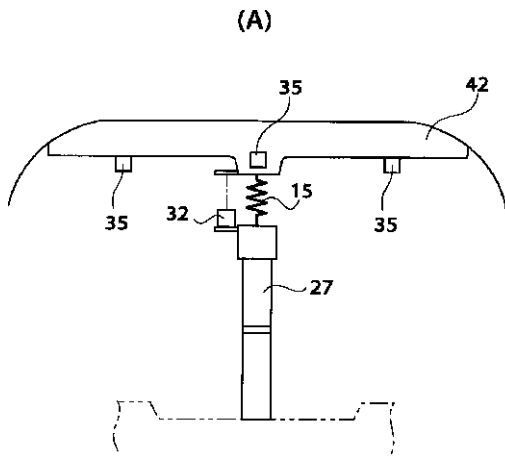
【図 10】



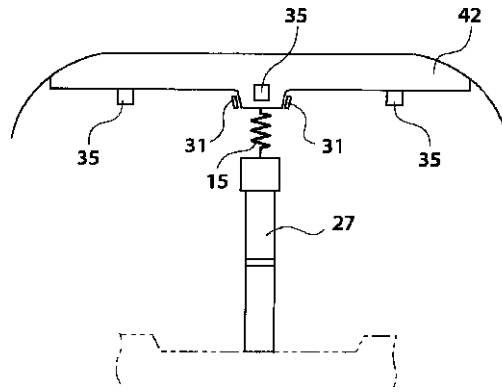
【図 14】



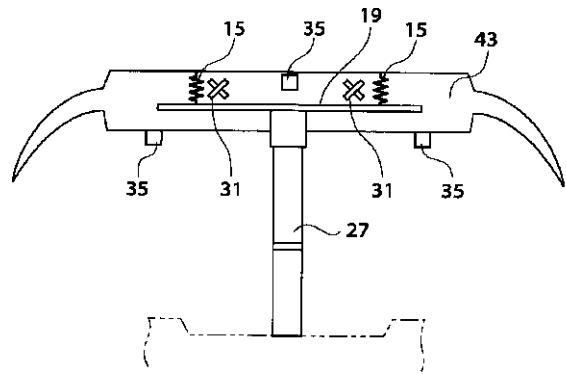
【 図 13 】



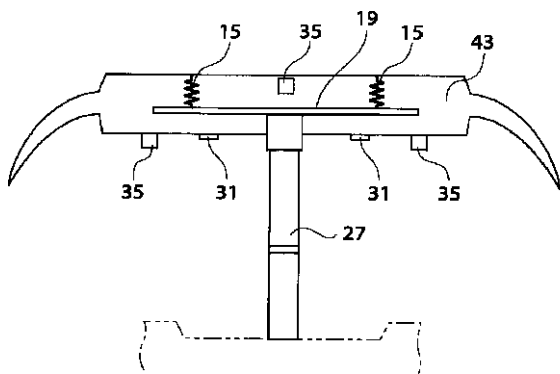
【 図 15 】



【 図 17 】



【 図 16 】



(B)

