

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02007/119488

発行日 平成21年8月27日 (2009. 8. 27)

(43) 国際公開日 平成19年10月25日 (2007. 10. 25)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO1R 23/10 (2006.01) GO1R 23/10 C 2G029

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 22 頁)

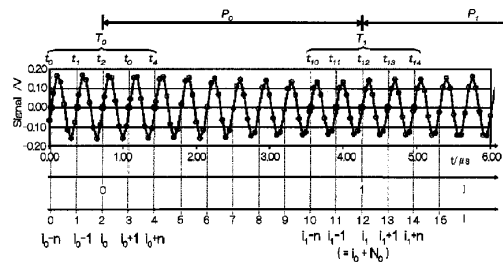
| | |
|--|---|
| <p>出願番号 特願2008-510844 (P2008-510844)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2007/055885</p> <p>(22) 国際出願日 平成19年3月22日 (2007. 3. 22)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2006-79686 (P2006-79686)</p> <p>(32) 優先日 平成18年3月22日 (2006. 3. 22)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p> | <p>(71) 出願人 504145364 国立大学法人群馬大学 群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地</p> <p>(74) 代理人 100079049 弁理士 中島 淳</p> <p>(74) 代理人 100084995 弁理士 加藤 和詳</p> <p>(74) 代理人 100085279 弁理士 西元 勝一</p> <p>(74) 代理人 100099025 弁理士 福田 浩志</p> <p>(72) 発明者 藤井 雄作 群馬県桐生市東4丁目11-11</p> <p>Fターム(参考) 2G029 AA01 AA02 AB05 AD05 AD08 AE08 AF07 AG01 AH01</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p> |
|--|---|

(54) 【発明の名称】 周波数測定装置及び周波数測定方法

(57) 【要約】

第1の発明の周波数測定装置では、時刻計測対象となるゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を用いて、波形情報の周期又は周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いて測定しているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる。

第2の発明の周波数測定装置では、時刻計測対象となるゼロクロス位置の各々を含む各所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻に基づいて算出される複数の時刻の差の平均値を用いて、波形情報の周期又は周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いて測定しているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第 1 のゼロクロス位置に対する第 1 の時刻として算出する第 1 の算出手段と、

前記波形情報の前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第 2 のゼロクロス位置に対する第 2 の時刻として算出する第 2 の算出手段と、

前記第 1 の時刻、前記第 2 の時刻、及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する測定手段と、

を含む周波数測定装置。

10

【請求項 2】

入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々の時刻の差を各々算出する算出手段と、

前記算出手段によって算出された時刻の差の平均値及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する測定手段と、

を含む周波数測定装置。

20

【請求項 3】

前記第 1 の所定範囲は、第 1 のゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置を含む範囲であり、

前記第 2 の所定範囲は、第 2 のゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置を含む範囲である請求項 1 又は 2 記載の周波数測定装置。

【請求項 4】

入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第 1 のゼロクロス位置に対する第 1 の時刻として算出し、

前記波形情報の前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第 2 のゼロクロス位置に対する第 2 の時刻として算出し、

前記第 1 の時刻、前記第 2 の時刻、及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する

ことを特徴とする周波数測定方法。

30

【請求項 5】

入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々の時刻の差を各々算出し、

前記算出された時刻の差の平均値及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する

ことを特徴とする周波数測定方法。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、周波数測定装置及び周波数測定方法に係り、特に、入力波形の周波数又は周

50

期を測定する周波数測定装置及び周波数測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、周波数カウンタ等による周波数測定においては、入力波形のゼロクロス点（時刻）を測定し、複数（例えば、 $N + 1$ 個）のゼロクロスを含む N 個の周期の時間 P を計算し、その時間 P における平均周期 T （ $= P / N$ ）、及び平均周波数 f （ $= N / P = 1 / T$ ）を計算している。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、従来の方法では、サンプリング間隔内に存在する複数のゼロクロスは、単に、波の数を数える目的にのみ使用されおり、時刻情報など使用していない情報が多いため、周波数測定における精度や分解能が低下してしまう、という問題がある。

【0004】

また、周波数測定の分解能を向上させるためには、サンプリング間隔を定める N を大きくするしかなく、サンプリング間隔が拡大してしまう、という問題がある。

【0005】

また、周波数の測定において全波形を記録した後に信号処理を行う方法として、自己相関法などがあるが、信号処理に膨大な量の計算を要するため、実現困難な場合が多い、という問題がある。

【0006】

本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる周波数測定装置及び周波数測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するために第1の発明に係る周波数測定装置は、入力された波形情報の第1のゼロクロス位置を含む第1の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第1のゼロクロス位置に対する第1の時刻として算出する第1の算出手段と、前記波形情報の前記第1のゼロクロス位置とは異なる第2のゼロクロス位置を含む第2の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第2のゼロクロス位置に対する第2の時刻として算出する第2の算出手段と、前記第1の時刻、前記第2の時刻、及び前記第1のゼロクロス位置と前記第2のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する測定手段とを含んで構成されている。

【0008】

また、第2の発明に係る周波数測定方法は、入力された波形情報の第1のゼロクロス位置を含む第1の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第1のゼロクロス位置に対する第1の時刻として算出し、前記波形情報の前記第1のゼロクロス位置とは異なる第2のゼロクロス位置を含む第2の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、前記第2のゼロクロス位置に対する第2の時刻として算出し、前記第1の時刻、前記第2の時刻、及び前記第1のゼロクロス位置と前記第2のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定することを特徴としている。

【0009】

第1の発明及び第2の発明によれば、入力された波形情報の第1のゼロクロス位置を含む第1の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、第1のゼロクロス位置に対する第1の時刻として算出し、また、波形情報の第1のゼロクロス位置とは異なる第2のゼロクロス位置を含む第2の所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を、第2のゼロクロス位置に対する第2の時刻として算出する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

そして、第 1 の時刻、第 2 の時刻、及び第 1 のゼロクロス位置と第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する。

【 0 0 1 1 】

従って、時刻計測対象となるゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値を用いて、波形情報の周期又は周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いて測定しているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる。

【 0 0 1 2 】

なお、ゼロクロス位置とは、波形情報が振動を示している場合に、振動方向が一方向から他方向へ反転する位置をいう。

【 0 0 1 3 】

また、第 3 の発明に係る周波数測定装置は、入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々との時刻の差を各々算出する算出手段と、前記算出手段によって算出された時刻の差の平均値及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する測定手段とを含んで構成されている。

【 0 0 1 4 】

また、第 4 の発明に係る周波数測定方法は、入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、前記第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々との時刻の差を各々算出し、前記算出された時刻の差の平均値及び前記第 1 のゼロクロス位置と前記第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、前記波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

第 3 の発明及び第 4 の発明によれば、入力された波形情報の第 1 のゼロクロス位置を含む第 1 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、第 1 のゼロクロス位置とは異なる第 2 のゼロクロス位置を含む第 2 の所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々との時刻の差を各々算出する。

【 0 0 1 6 】

そして、算出された時刻の差の平均値及び第 1 のゼロクロス位置と第 2 のゼロクロス位置との間に存在する波の数に基づいて、波形情報の周期及び周波数の少なくとも一方を測定する。

【 0 0 1 7 】

従って、時刻計測対象となるゼロクロス位置の各々を含む各所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻に基づいて算出される複数の時刻の差の平均値を用いて、波形情報の周期又は周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いて測定しているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる。

【 0 0 1 8 】

また、上記の第 1 の所定範囲を、第 1 のゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置を含む範囲とし、第 2 の所定範囲を、第 2 のゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置を含む範囲とすることができる。これにより、時刻計測対象となるゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置の時刻情報を有効活用して、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

以上説明したように、本発明の周波数測定装置及び周波数測定方法によれば、時刻計測対象となるゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻の平均値、又は時刻計測対象となるゼロクロス位置の各々を含む各所定範囲内の複数のゼロクロス位置各々の時刻に基づいて算出される複数の時刻の差の平均値を用いて、波形情報の周期又は周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いて測定しているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数又は周期を測定することができる、という効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る周波数測定装置を示すブロック図である。

10

【図2】本発明の第1の実施の形態の周波数を計測する計測ルーチンの内容を示す流れ図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の波形情報を示すグラフである。

【図4A】ビート周波数及び基準周波数の測定データを示すグラフである。

【図4B】ビート周波数及び基準周波数の測定データから算出した錘体の変位速度を示すグラフである。

【図4C】変位速度から算出した錘体の変位を示すグラフである。

【図4D】変位速度から算出した錘体の加速度を示すグラフである。

【図4E】加速度から算出した錘体の慣性力を示すグラフである。

【図5】ビート周波数及び基準周波数の瞬時値に基づく慣性力とビート周波数の瞬時値及び基準周波数の平均値に基づく慣性力とを示すグラフである。

20

【図6】デジタイザを用いて計測した慣性力と周波数カウンタを用いて計測した慣性力とを示すグラフである。

【図7】慣性力と位置との関係を示すグラフである。

【図8A】通常の周波数測定アルゴリズムで測定した慣性力を示すグラフである。

【図8B】通常の周波数測定アルゴリズムにおいて、サンプリング数を大きくとって測定した慣性力を示すグラフである。

【図8C】本発明の第1の実施の形態に係る周波数測定アルゴリズムで測定した慣性力を示すグラフである。

【図9】本発明の第3の実施の形態の波形情報を示すグラフである。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。本実施の形態では、浮上質量法に基づいて、衝撃力に対する材料の力学的応答を求めるために周波数を高精度に測定する周波数測定装置に、本発明を適用した場合を例に説明する。

【0022】

ここで、浮上質量法は、浮上支持した質量（慣性質量）に作用する慣性力を光波干渉計を利用して高精度に取り出すことを特徴とする、変動する力の発生方法及び計測方法である。浮上質量法では、浮上支持した物体（慣性質量）に作用する慣性力を、光波干渉計により、超高精度に測定する。測定中に光波干渉計で測定するのは、物体にあてた信号光のドップラーシフト周波数 f のみである。このドップラーシフト周波数 f から、物体の速度 v 、位置 x 、加速度 a 、及び慣性力 F を数値微分や数値積分などによって求める。これにより、物体の速度 v 、位置 x 、加速度 a 、及び慣性力 F を、高精度に、かつ、完全に同期したデータとして、測定することができる。

40

【0023】

また、本実施の形態に係る周波数測定装置は、PCベースの計測システム（National InstrumentsのLabViewなど）であり、PCのPCIバスなどに後付で取り付けられたデジタイザ（高速ADボード）で入力波形を丸ごと取り込み、その上で、様々な用途に向け、その波形を処理する。例えば、デジタルオシロスコープとして利用する場合や、スペクトラムアナライザとして利用することが想定される。

50

【 0 0 2 4 】

図 1 に示すように、本発明の第 1 の実施の形態に係る周波数測定装置 1 0 には、浮上支持した物体を取り付けるための浮上物体支持部 1 2、及び光波干渉計 1 4 を備えた計測ユニットが設けられている。浮上物体支持部 1 2 は、摩擦抵抗の小さい静圧空気軸受を備えており、静圧空気軸受の可動部 1 6 が、軸受支持部 1 8 によって支持されている。

【 0 0 2 5 】

可動部 1 6 は、水平方向を向くように軸受支持部 1 8 によって支持されており、また、軸受支持部 1 8 には、貫通孔が穿設されており、静圧空気軸受の可動部 1 6 は、この貫通孔を貫通するように配置されている。

【 0 0 2 6 】

この貫通孔の内周面と可動部 1 6 の外周面との間には、可動部 1 6 の外周面全周に亘って圧縮空気層（約 5 ~ 1 0 μm ）が形成されている。これにより、可動部 1 6 は、極めて小さい摩擦抵抗で可動部 1 6 の長さ方向に直進運動することが可能である。なお、図示を省略したが、圧縮空気は可動部 1 6 の一端から導入され、圧縮空気は、可動部 1 6 の中央部に形成された出口から、軸受支持部 1 8 の内周に形成された溝を介して、軸受支持部 1 8 の中央部に形成された入口に導かれる。そして、この圧縮空気は、軸受支持部 1 8 の内部配管を介して、軸受支持部 1 8 の貫通孔の内周面と可動部 1 6 の外周面との間に供給される。また、給気チューブを介して軸受支持部 1 8 に圧縮空気を直接導入するようにしてもよい。

【 0 0 2 7 】

また、可動部 1 6 の側面後方には、光波干渉計を構成するコーナ・キューブ・プリズム 2 0 が光入出射側に後方を向けて固定されている。

【 0 0 2 8 】

また、浮上物体支持部 1 2 には、軸受支持部 1 8 を載せるためのベース 2 2 が設けられ、ベース 2 2 は L 字型となっており、ベース 2 2 の一部が、可動部 1 6 の端部に対向するように立設されている。ベース 2 2 の立設部の可動部 1 6 側の側面上方には、可動部 1 6 が当接するためのゴムブロック等で構成された緩衝材 2 4 が固定されている。

【 0 0 2 9 】

ベース 2 2 の立設部と軸受支持部 1 8 との間に設定された基準位置には、基準位置で鉛直方向に沿った光路を形成するように、レーザダイオード 2 6 A とフォトダイオード 2 6 B とで構成された基準位置センサ 2 6 が配置されている。基準位置センサ 2 6 のフォトダイオード 2 6 B は、アナログ信号をデジタル信号に変換する A D コンバータ及び逆変換する D A コンバータからなるコンバータ 2 8 と P C I バス 3 0 とを介してパーソナルコンピュータ 3 2 に接続されている。パーソナルコンピュータ 3 2 には、可動部 1 6 に作用する慣性力を計測するためのプログラムを記憶した R O M、計測された時系列データを記憶するハードディスク等で構成された記憶媒体、及び記憶した時系列データを表示する L C D や C R T 等で構成された表示装置が設けられている。

【 0 0 3 0 】

光波干渉計 1 4 は、ゼーマンタイプのヘリウムネオンレーザ等から構成された光源 3 4 を備えており、この光源 3 4 から出射された光は、無偏光ビームスプリッタ 3 6 で第 1 の測定光と第 1 の参照光とに分光される。また、第 1 の測定光は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 3 8 に入射され、第 2 の測定光と第 2 の参照光とに分光される。

【 0 0 3 1 】

第 2 の測定光は、可動部 1 6 に固定された第 1 のコーナ・キューブ・プリズム 2 0 に入射され、第 1 のコーナ・キューブ・プリズム 2 0 で反転されて光路が 1 8 0 ° 変更され、再度第 2 の偏光ビームスプリッタ 3 8 に入射される。ここで、第 2 の偏光ビームスプリッタ 3 8 と第 1 のコーナ・キューブ・プリズム 2 0 との間の光路の方向は、可動部 1 6 の移動方向と平行になるように設定されている。また、第 2 の測定光は、第 1 のコーナ・キューブ・プリズム 2 0 で反転する際に、可動部 1 6 の変位速度に応じたドップラシフト（ドップラ効果による周波数変化または位相変化）を生じ、反射光の状態が変化する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

一方、第2の参照光は、第2の偏光ビームスプリッタ38から第2のコーナ・キューブ・プリズム40方向に反射され、第2のコーナ・キューブ・プリズム40で反転されて再度第2の偏光ビームスプリッタ38に入射され、第2の偏光ビームスプリッタ38で第1のコーナ・キューブ・プリズム20からの反射光(信号光)と干渉し、信号光と第2の参照光との周波数の差分に相当するビート周波数を生ずる干渉光が生じる。すなわち、光波干渉計14によって、信号光に生じた状態変化(信号光の周波数のドップラーシフト、または信号光の位相の変化)が、干渉光により検出される。

【 0 0 3 3 】

干渉光は、第2の偏光ビームスプリッタ38から反射ミラー42と第1の偏光板(例えば、グラン・トンプソン・プリズム)44とを介して、フォトダイオードで構成された第1の光検出器46に入射される。そして、第1の光検出器46によって、干渉光のビート周波数 f_{beat} に応じた電気信号に変換されて、この電気信号が第1の周波数カウンタ(model: R5363; manufactured by Advantest Corp., Japan)48に入力されると共に、デジタイザ(model: 5102; manufactured by National Instruments Corp., USA)50に入力される。そして、第1の周波数カウンタ48によりビート周波数 f_{beat} の測定値を表すデジタルデータが生成され、このデジタルデータが、GPIBカード52とPCIバス30とを介して、パーソナルコンピュータ32に入力される。また、デジタイザ50では、第1の光検出器46から出力される干渉光のビート周波数 f_{beat} に応じた電気信号を、サンプリングレート20MS/sで記録し、ビート周波数 f_{beat} に応じた電気信号が示す波形情報を記憶する。ここで、ビート周波数 f_{beat} に応じた電気信号がサンプリングデータとして5000個記録されるようになっており、また、計測時間は0.25秒となっている。

【 0 0 3 4 】

また、デジタイザ50に記録された波形情報は、PCIバス60を介して、パーソナルコンピュータ62に入力される。

【 0 0 3 5 】

また、第1の参照光は、第2の偏光板54を介して、フォトダイオードで構成された第2の光検出器56に入射され、第2の光検出器56で、可動部16の静止状態に対応する基準周波数 f_{rest} の電気信号に変換される。そして、この電気信号が入力される第2の周波数カウンタ58によって基準周波数 f_{rest} の値を表すデジタルデータが生成され、このデジタルデータが、GPIBカード52とPCIバス30とを介して、パーソナルコンピュータ32に入力される。また、第2の光検出器56から出力される基準周波数 f_{rest} の電気信号が、デジタイザ50でサンプル記録され、また、PCIバス60を介して、基準周波数 f_{rest} の電気信号が示す波形情報が、パーソナルコンピュータ62に入力される。

【 0 0 3 6 】

本実施の形態に係る周波数測定装置10の光源34では、周波数が3MHz程度異なり、かつ、一方が縦偏光の偏光成分を有し、他方が横偏光の偏光成分を有する2つの周波数レーザを用いている。無偏光ビームスプリッタ36は、両方の周波数レーザの偏光成分を均等に2分する。一方、第2の偏光ビームスプリッタ38は縦偏光成分を反射し、横偏光成分を透過する。

【 0 0 3 7 】

無偏光ビームスプリッタ36によって2分された光の一方を、第2の偏光板54により45度の角度で切り出すことにより、光源34が発振する2つの周波数レーザの差周波数が、ビートとして観測される。

【 0 0 3 8 】

一方、第2の偏光ビームスプリッタ38によって2分された一方の偏光(この場合、横偏光)の成分だけが、可動部16において反射されて、可動部16の速度に比例したドップラーシフトを受ける。第2の偏光ビームスプリッタ38で2分された2つの偏光成分は

、再び、第2の偏光ビームスプリッタ38で合波され、この合波された光を第1の偏光板44によって45度の角度で切出すことにより、2つの周波数レーザの差周波数がビートとして観測される。

【0039】

ここで、横偏光成分は、可動部16の速度に比例したドップラーシフトを受けているため、結果として、第1の光検出器46で観測されるビート周波数 f_{beat} は、第2の光検出器56で観測される周波数 f_{rest} と比べると、ドップラーシフト分だけ異なっている。

【0040】

なお、2台の周波数カウンタ48、58の各々は、第1の光検出器46及び第2の光検出器56が出力する電気信号を、サンプリングレート($T = 400 / f$)で、サンプリングデータとして、それぞれ2000個記録する。本実施の形態の設定では、2台の周波数カウンタ48、58は、休止時間なしで、入力信号400周期ごとに平均周波数を計算し、記録する。

【0041】

また、パーソナルコンピュータ62には、可動部16に作用する慣性力を計測する後述する計測ルーチンを実行するためのプログラムを記憶したROM、計測された時系列データを記憶するハードディスク等で構成された記憶媒体、及び記憶した時系列データを表示するLCDやCRT等で構成された表示装置が設けられている。

【0042】

次に、本実施の形態の計測ルーチンについて図2を用いて説明する。まず、パーソナルコンピュータ62を立ち上げ、図2に示す計測ルーチンを起動させると共に、フォトダイオード26B、第1の光検出器46、及び第2の検出部56にレーザ光が入射されるように、レーザダイオード26A及び光源34からレーザ光を発振させる。また、パーソナルコンピュータ32も同様に立ち上げる。このような状況で、初期段階として可動部16を長さ方向に手で押して、可動部16を慣性で移動させる。これにより、第1のコーナ・キューブ・プリズム20及び可動部16を一体とした物体(以下、錘体という)が慣性で移動する。なお、アクチュエータを設けて、このアクチュエータで錘体に初速(または、初期運動量、または初期運動エネルギー)を与えても良い。

【0043】

ステップ100において、基準位置センサ26から基準位置信号が入力されたか否かを判断し、レーザダイオード26Aからフォトダイオード26Bにいたるレーザ光を、可動部16が遮り、基準位置センサ26によって基準位置信号が生成されて、基準位置信号がコンピュータ62に入力されると、ステップ102において、トリガ信号をデジタイザ50に入力し、デジタイザ50を起動する。また、トリガ信号がデジタイザ50に入力されるときに、第1の周波数カウンタ48及び第2の周波数カウンタ58にもトリガ信号を入力し、これらを同時に起動する。これにより、デジタイザ50、第1の周波数カウンタ48、及び第2の周波数カウンタ58が、第1の光検出器46及び第2の検出部56からの電気信号を同期して検出するようになる。

【0044】

ここで、サンプリング数(例えば、5000個)を示すデータを、PCIバス60を介してパーソナルコンピュータ62からデジタイザ50に予め送信しておく。デジタイザ50は、第1の検出器46及び第2の光検出器56の各々に対して、予め定められたサンプリング数の電気信号を記録し、図3に示すような、サンプリング数の電気信号に基づく波形情報が、ビート周波数 f_{beat} 及び基準周波数 f_{rest} の各々について、デジタイザ50に記録される。

【0045】

次のステップ104では、デジタイザ50から出力されるビート周波数 f_{beat} の波形情報及び基準周波数 f_{rest} の波形情報を全波形分取込む。

【0046】

ここで、図3に示すように、波形情報におけるサンプリング測定間隔 P_0 、 P_1 、...

10

20

30

40

50

P_n の各々は、波の数で定められている。

【0047】

そして、ステップ106において、ビート周波数 f_{beat} の波形情報及び基準周波数 f_{rest} の波形情報の各々に対して、各サンプリング測定間隔 P_j (サンプリング測定間隔は、 N_j 個の波のゼロクロス位置の時刻 t によって定められる時間範囲 ($t_{jN_j} \sim t_{(j+1)N_j}$) とする) について、第1の時刻としてのサンプリング開始時刻 T_j 及び第2の時刻としてのサンプリング終了時刻 T_{j+1} を算出する。ここで、サンプリング開始時刻 T_j は、サンプリング開始位置のゼロクロス位置 (例えば、時刻 t_2 の位置) 及び前後同数の $2n$ 個のゼロクロス位置を含む ($2n+1$) 個のゼロクロス位置 (ゼロクロス平均個数の半幅 $n=2$ とすると、 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 の位置) の平均時刻を、以下の(1)式によって算出される。

10

【0048】

【数1】

$$T_j = \frac{1}{2n+1} \sum_{i=jN_j}^{jN_j+2n} t_i \quad (1)$$

20

【0049】

また、サンプリング終了時刻 T_{j+1} も同様に、サンプリング終了位置のゼロクロス位置 (例えば、時刻 t_{12} の位置) 及び前後同数の $2n$ 個のゼロクロス位置を含む ($2n+1$) 個のゼロクロス位置 (t_{10} 、 t_{11} 、 t_{12} 、 t_{13} 、 t_{14} の位置) の平均時刻を算出する。

【0050】

なお、本実施の形態では、ゼロクロス位置を、マイナス側からプラス側へ移行する隣接する2つのサンプリング測定点の線形補間により求めている。また、ノイズの影響を考慮し、ゼロに非常に近いサンプリング測定点をゼロクロス位置と見なし、そのサンプリング測定点の時刻をそのまま用いている。また、サンプリング測定間隔内の波の個数 N_j は、サンプリング開始時刻 T_j に対応するゼロクロス位置とサンプリング終了時刻 T_{j+1} のゼロクロス位置との間に存在する波の数となっている。

30

【0051】

そして、ステップ108で、ビート周波数 f_{beat} の波形情報及び基準周波数 f_{rest} の波形情報の各々に対して、各サンプリング測定間隔 P_j を、ステップ106で算出されたサンプリング開始時刻 T_j 及びサンプリング終了時刻 T_{j+1} に基づいて、以下の(2)式によって算出する。

$$P_j = T_{j+1} - T_j \quad (2)$$

なお、本実施の形態では、 N_j がサンプリング測定間隔を定める周期を示しており、例えば、 $N_j = 10$ ($j = 0, 1, \dots$) となっている。

【0052】

40

そして、ステップ110で、ビート周波数 f_{beat} の波形情報及び基準周波数 f_{rest} の波形情報の各々に対して、サンプリング測定間隔 P_j 毎に、各サンプリング測定間隔 P_j 及び各サンプリング測定間隔 P_j 内の波の個数 N_j に基づいて、以下の(3)式によって、周波数 f_j を算出する。

$$f_j = N_j / P_j \quad (3)$$

そして、ステップ112において、サンプリング測定間隔毎に、錘体 (第1のコーナ・キューブ・プリズム20及び可動部16を一体とした物体) の速度 v を以下の(4)式及び(5)式に従って演算し、可動部16の長さ方向の錘体の変位速度 v を検出する。

$$v = a_{air} \cdot f_{Doppler} / 2 \quad (4)$$

$$f_{Doppler} = - (f_{beat} - f_{rest}) \quad (5)$$

50

ここで、 n_{air} は、空気の屈折率、 $f_{Doppler}$ は、可動部 16 で反射したビーム光のドップラシフト周波数である。

【0053】

次のステップ 114 では、この変位速度 v を、サンプリング測定間隔で積分することにより、可動部 16 の長さ方向の錘体の変位（すなわち、基準位置を基準とした位置） x をサンプリング測定間隔毎に検出する。また、ステップ 116 において、可動部 16 の長さ方向の変位速度 v を、サンプリング測定間隔で微分することにより、錘体の加速度 a をサンプリング測定間隔毎に検出する。

【0054】

ここで、錘体が軸受支持部 18 で支持されていて、錘体と軸受支持部 18 との間に作用する摩擦力を無視できる場合には、錘体の質量を M 、錘体の加速度を a とすると、錘体の慣性力 F は、 $F = M \cdot a$ で表すことができる。

【0055】

したがって、ステップ 118 では、検出された加速度 a と予め記憶されている錘体の質量 M とを乗算することにより、錘体の慣性力 F をサンプリング測定間隔毎に検出する。

【0056】

次のステップ 120 において、上記のステップ 112 ~ 118 によって算出された変位速度 v 、加速度 a 、位置 x 、及び慣性力 F の各データを時系列的にハードディスク等の記憶媒体に記憶保持する。

【0057】

そして、ステップ 122 において、キーボードの操作等により時系列データの表示指示があったか否かを判断し、表示指示があった場合にはステップ 124 において記憶媒体から時系列データを読み出して表示装置に表示する。また、時系列データをプリンタ等から適宜出力するようにしてもよい。

【0058】

また、上記では、デジタイザ 50 に記録されている波形情報に基づいて、パーソナルコンピュータ 62 で周波数等が計測される様子を説明した。パーソナルコンピュータ 32 においては、上記の処理と同時に、計測データの比較のために、周波数カウンタ 48、58 から取り込まれる周波数 f_{beat} 、 f_{rest} に基づいて、各種データが計測される。

【0059】

次に、上記の周波数測定装置 10 によって、周波数 f_{beat} 、 f_{rest} 、変位速度 v 、加速度 a 、位置 x 、及び慣性力 F を計測した結果を図 4A ~ 図 4E に示す。この計測では、ゼロクロス平均個数の半幅 $n = 100$ 、サンプリング測定間隔内の波の数 $N_j = 400$ ($j = 0, 1, \dots$) とした。図 4A ~ 図 4E にビート周波数 f_{beat} 、基準周波数 f_{rest} 、これらの周波数から算出した錘体の変位速度 v 、変位速度 v を積分して算出した錘体の変位 x 、変位速度 v を微分して算出した錘体の加速度 a 、錘体の質量 M に加速度 a を乗算して算出した錘体の慣性力 F の測定結果を示す。

【0060】

また、図 5 に、測定された慣性力 F と時間との関係を示す。 $F_{digitizer}$ は、 f_{beat} の瞬時値と f_{rest} の瞬時値とを用いて計算したものである。 $F_{digitizer, m}$ は、 f_{beat} の瞬時値と f_{rest} の平均値（全測定時間における平均値）とを用いて計算したものである。両者の差（ $F_{digitizer} - F_{digitizer, m}$ ）が、ほぼゼロであることから、測定期間を通して f_{rest} の変動が無視できる程度であることが分かる。このことより、図 5 に示したパルス状の波形の最後部付近で観測される波形の乱れが、 f_{rest} の変動に起因するものでなく、 f_{beat} の変動に起因するものであることが分かる。

【0061】

次に、図 6 に、デジタイザ 50 を用いた周波数測定から算出した慣性力 $F_{digitizer}$ と、第 1 の周波数カウンタ 48 及び第 2 の周波数カウンタ 58 を用いた周波数測定から算出した慣性力 $F_{counter}$ との比較を示す。測定結果を比較すると、上述したデジタイザ 50 を用いた周波数測定が高精度かつ低ノイズに行われていることが分かる。なお、デジタイ

10

20

30

40

50

ザ50における周波数のサンプリングレートは、 $N_j = 400$ であるので、周波数カウンタのサンプリングレートと全く同一である。すなわち、図6中で、 F_{counter} の測定点である白丸がある時刻に、必ず、 $F_{\text{digitizer}}$ の測定点がある。

【0062】

また、図7に、上記の処理により測定した慣性力 $F_{\text{digitizer}}$ と、位置（試料の押し込み深さ） x との関係を示す。高精度かつ高分解能な測定が実現していることが分かる。

【0063】

次に、図8A～図8Cに、図4A～図7と同一の測定データを用いた場合の N 及び n の効果を示す。図8A～図8Cは、図1の構成の周波数測定装置10で、デジタイザ50を用いて測定した周波数から算出した慣性力 $F_{\text{digitizer}}$ と時刻 t との関係を示し、図8Aは、通常の周波数測定アルゴリズムで、 $N = 400$ 、 $n = 0$ とした場合であり、図8Bは、通常の周波数測定アルゴリズムで、 $N = 4000$ 、 $n = 0$ とした場合である。図8Aと図8Bとを比較すると、図8Bでは、サンプリング測定間隔内の波の数 N を大きく取ったことにより、ノイズは大幅に低減されているが、その分、測定間隔が粗くなっている。また、図8Cは、本実施の形態のように、ゼロクロス平均個数の半幅 n を導入し、 $N = 400$ 、 $n = 100$ とした場合であり、図8Aと同様に測定間隔が細かく、かつ、図8Bと同程度のノイズ低減を達成している。また、この実験例では、図8Cにおいて、パルスピーク付近の力の振動を捉えることに成功したことを示している。

10

【0064】

ここで、本発明の原理をより一般的に表現すると、以下のように表現される。すなわち、被測定信号（入力信号）について、所定の時刻帯である時刻・位相決定時刻帯に含まれる波形情報から、入力信号の位相 ϕ_1 (rad/s)と時刻 t_1 (s)とを求める。次に、別の時刻帯に含まれる情報から、入力信号の位相 ϕ_2 (rad/s)と時刻 t_2 (s)とを求め、その結果から、2つの時刻 t_1 、 t_2 の間に存在する波の数は、 $(\phi_2 - \phi_1) / 2\pi$ と計算される。したがって、周期 T (s)及び周波数 f (Hz)は、以下のように計算できる。

20

$$T = (2\pi) (t_2 - t_1) / (\phi_2 - \phi_1)$$

$$f = 1 / T$$

また、時刻・位相決定時刻帯を入力信号のゼロクロス位置の個数で規定し、例えば、あるゼロクロス位置の前後 n 個、合計 $(2n + 1)$ 個のゼロクロス位置が存在する範囲を時刻・位相決定時刻帯とする。そして、位相 $\phi = m\pi$ (m は整数)のゼロクロス位置の時刻 t を、 $(2n + 1)$ 個のゼロクロス位置の時刻の平均値を用いて求めている。

30

【0065】

以上説明したように、本発明の第1の実施の形態に係る周波数測定装置によれば、サンプリング開始位置に対応するゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の時刻の平均値と、サンプリング終了位置に対応するゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の時刻の平均値とを用いて、波形情報の周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数を測定することができる。

【0066】

また、サンプリング開始位置及びサンプリング終了位置の各々のゼロクロス位置の前後同数のゼロクロス位置の時刻情報を有効活用して、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数を測定することができる。

40

【0067】

また、従来手法（すなわち、サンプリング開始位置及び終了位置のゼロクロス位置の時刻のみを用いて周波数を測定する方法）では、デジタイザの性能が一定という条件下において、周波数の測定分解能をあげるには、 N を大きくするしかなく、 N を大きくすることは、サンプリング間隔の拡大（悪化）を意味していた。しかし、本実施の形態によれば、ゼロクロス平均個数の半幅 n の導入により、サンプリング間隔の拡大を招くことなく、周波数の測定分解能を向上させることが可能となる。

50

【 0 0 6 8 】

また、本発明の実施の形態において、サンプリング開始位置又はサンプリング終了位置のゼロクロス位置及び前後同数のゼロクロス位置を含む「平均化を実施する区間」の導入により、「測定区間」の定義が、通常の周波数カウンタのアルゴリズムによるものとは、異なったものになる。このことは、図 8 A ~ 図 8 C、および、その説明において、端的に示されている。すなわち、本発明のアルゴリズムを用いることにより、ごく僅かな「測定区間」の拡大（平均化区間程度の拡大）により、A/D変換され取得された波形情報に対して、時間軸上、及び電圧軸上における大きな平均化効果を得ることができる。このことは、A/D変換における時間軸上のノイズ、及び電圧軸上のノイズの大幅な低減が達成されると解釈することもできる。

10

【 0 0 6 9 】

本発明の実施の形態に係る周波数測定装置によれば、A/D変換における時間軸上のノイズ、あるいは、電圧軸上のノイズが問題になるような極限域における、周波数測定（又は周期測定）における時間分解能（又はサンプリング間隔）、及び周波数分解能（又は周期分解能）の両方を向上させる。一方、通常の周波数測定や周期測定器においては、通常、A/D変換における時間軸上のノイズ、あるいは、電圧軸上のノイズが問題になっており、周波数測定（又は周期測定）における時間分解能（又はサンプリング間隔）、及び周波数分解能（又は周期分解能）がトレードオフの関係にある。

【 0 0 7 0 】

なお、上記の実施の形態では、デジタイザによって記録された全波形測定値に基づいて波形情報の周波数を測定する方法を示したが、上記の（1）式～（3）式によるアルゴリズムを、通常の周波数カウンタに内蔵するアルゴリズムとしても適用しても良い。この場合には、 $n = 2$ 、 $N = 10$ とすると、ハードウェア（電気回路）として、以下のように実現することができる。まず、全部で $(2n + 1) \times 2 = 10$ 個の時刻情報を記録する10個のレジスタを用意し、5個のレジスタの記憶値を平均する平均化回路を用意する。そして、平均化回路の出力が、通常のカウンタで取り扱う測定時間の両端の時刻に相当するように構成すればよい。

20

【 0 0 7 1 】

また、サンプリング開始位置における $(2n + 1)$ 個のゼロクロス位置とサンプリング終了位置における $(2n + 1)$ 個のゼロクロス位置とが重複していない場合を例に説明したが、サンプリング開始位置に対応するゼロクロス位置とサンプリング終了位置に対応するゼロクロス位置とが異なっていれば、各々の $(2n + 1)$ 個のゼロクロス位置が一部重複していてもよい。

30

【 0 0 7 2 】

また、周波数を算出する場合を例に説明したが、波形情報の周期を算出するようにしてもよい。その場合には、サンプリング測定間隔を、サンプリング測定間隔内に存在する波の数で除算して、波形情報の周期を算出すればよい。これにより、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で波形情報の周期を測定することができる。

【 0 0 7 3 】

また、タイムインターバル測定を行うようにしてもよい。この場合には、タイムインターバルアナライザの内部動作アルゴリズムを、測定時間の開始位置に対応するゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の時刻の平均値と、測定時間の終了位置に対応するゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の時刻の平均値とを用いて、タイムインターバル測定を行うアルゴリズムにすればよい。

40

【 0 0 7 4 】

次に、第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態では、サインフィッティングを適用して、サンプリング測定間隔内の波形の時刻及び位相を取得している点が第1の実施の形態と異なっている。なお、周波数測定装置の構成は、第1の実施の形態の構成と同様であるため、同一符号を付して説明を省略する。

【 0 0 7 5 】

50

周波数測定装置 10 のパーソナルコンピュータ 62 は、デジタイザ 50 から波形情報を取り込むと、時刻及び位相決定時刻帯であるサンプリング測定間隔内の波形を、最小二乗法などにより適当な近似曲線 ($\sin(\omega t + \phi_0)$) など) でフィッティングする。これにより、サンプリング測定間隔内における時刻及び位相が既知となるため、第 1 の実施の形態と同様に、所定のゼロクロス位置の時刻を平均化して、サンプリング開始時刻及びサンプリング終了時刻の各々を算出し、周波数等のデータを計測する。

【0076】

また、2つのサンプリング測定間隔の位相接続(2 の何倍だけ離れているかの判定)については、測定間隔間のゼロクロスの数を数える方法を用いることが好ましい。

【0077】

なお、サインフィッティングを用いる方法として、次の2つの場合が考えられる。サインフィッティングを用いる方法の一方は、個々のゼロクロス位置を求める目的で、第 1 の実施の形態における線形補間の代わりに、サインフィッティングを用いる方法であり、この場合、回帰に用いる範囲は、1/4 周期前後となっている。なお、フィッティングする目的関数は正弦波でなく、多項式等でもよい。3 次程度の多項式であれば、フィッティングに要する計算時間を節約できるメリットがある。

【0078】

また、サインフィッティングを用いる方法のもう一方は、数周期程度以上の多くの区間で $y = A \sin(\omega t + \phi_0)$ でフィッティングする方法であり、 A 、 ω 、 ϕ_0 を最小二乗法などにより求める。この場合、1 回のサインフィッティングにおいて、多周期に渡る平均化操作を行う形になる。この操作を、少しずつ重複を持たせながらシフトした区間に対して行うことで、より高い効果が得られる。

【0079】

次に、第 3 の実施の形態について説明する。なお、第 1 の実施の形態と周波数測定装置の構成は同様であるため、同一符号を付して説明を省略する。

【0080】

図 9 に示すように、サンプリング測定間隔は、複数の測定間隔に基づいて算出され、以下の(6)式及び(7)式に基づいて、サンプリング測定間隔 P_j は、 $2n + 1$ 個(例えば 5 個)の測定間隔の平均として算出される。

$$P_{j,k} = t_{N_j + N + k} - t_{N_j + k} \quad (6)$$

【0081】

【数 2】

$$P_j = \frac{1}{2n + 1} \sum_{k=0}^{2n} P_{j,k} \quad (7)$$

【0082】

サンプリング開始位置のゼロクロス位置を含む 5 個のゼロクロス位置の時刻の各々と、サンプリング終了位置のゼロクロス位置を含む 5 個のゼロクロス位置の時刻の各々を用いて、ゼロクロス位置を一つずつずらしながら、各々測定間隔を算出し、算出された測定間隔を平均化することにより、サンプリング測定間隔 P_j を求める。

【0083】

そして、サンプリング測定間隔 P_j 及びゼロクロス位置の個数 N_j に基づいて、以下の(8)式によって、周波数 f_j が算出される。

$$f_j = N_j / P_j \quad (8)$$

このように、本実施の形態では、サンプリング測定間隔を求める段階で平均操作を行う。これに対し、第 1 の実施の形態では、ゼロクロス位置の時間を求める段階で平均操作を

10

20

30

40

50

行っているが、第 1 の実施の形態と第 3 の実施の形態とにおける周波数を算出するアルゴリズムは数学的に等価である。

【 0 0 8 4 】

なお、N の大きさの設定方法については、大きく分けて、通常の周波数カウンタと同様に 2 通りある。すなわち、N を設定値として一定とする方法と、目標サンプリング時間を設定値として N を可変とする方法とがある。N を一定として設定する方法では、入力周波数に応じて、サンプリング時間は変化する。(サンプリング時間は N と入力周波数の周期との積である。) 一方、目標サンプリング時間を設定値とする方法では、サンプリング時間が目標時間に最も近くなるように、N をその都度変化させる。

【 0 0 8 5 】

以上説明したように、第 3 の実施の形態に係る周波数測定装置によれば、サンプリング開始位置となるゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々と、サンプリング終了位置となるゼロクロス位置を含む所定範囲内の複数のゼロクロス位置の各々を用いて、ゼロクロス位置をずらしながらサンプリング測定間隔を各々算出し、サンプリング測定間隔の平均値を用いて、波形情報の周波数を測定することにより、多くのゼロクロス位置の時刻を用いているため、サンプリング間隔を拡大させることなく、高精度かつ高分解能で周波数を測定することができる。

【 0 0 8 6 】

なお、(6) 式 ~ (8) 式に基づく上記のアルゴリズムを、通常の周波数カウンタに内蔵するアルゴリズムとして適用してもよい。しかし、その場合には、周波数カウンタの必要数が増えてしまうため、周波数カウンタに内蔵するアルゴリズムとして適用する場合には、第 1 の実施の形態に係る (1) 式 ~ (3) 式に基づくアルゴリズムを適用することが好ましい。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 7 】

衝撃力に対する材料の力学的応答を求めるために周波数を計測する計測装置に適用することによって、材料に関して高精度な測定データを得ることができる。また、本発明を、周波数カウンタや、PC ベースの周波数測定システムの、動作アルゴリズムとして適用することにより、計算時間を過大にすることなく、単一周波数測定の精度を大幅に向上することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 8 】

- 1 0 周波数測定装置
- 3 2、6 2 パーソナルコンピュータ
- 4 6、5 6 光検出器
- 4 8、5 8 周波数カウンタ
- 5 0 デジタイザ
- f_j 周波数
- f_{beat} ビート周波数
- f_{rest} 基準周波数
- P_j サンプリング測定間隔
- T_j サンプリング開始時刻
- T_j サンプリング終了時刻

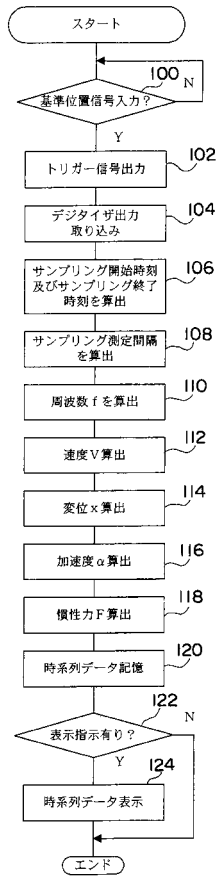
10

20

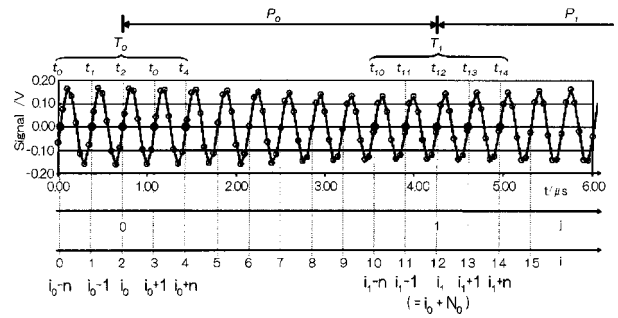
30

40

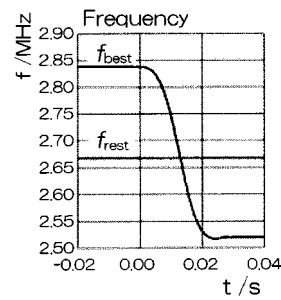
【 図 2 】



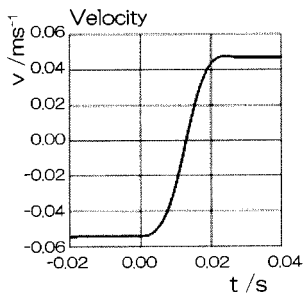
【 図 3 】



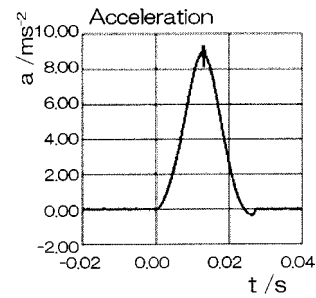
【 図 4 A 】



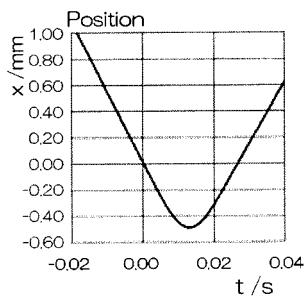
【 図 4 B 】



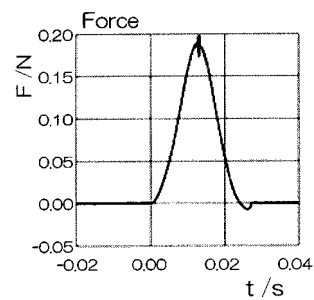
【 図 4 D 】



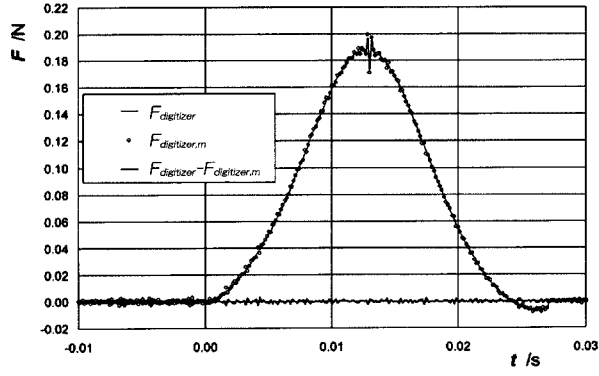
【 図 4 C 】



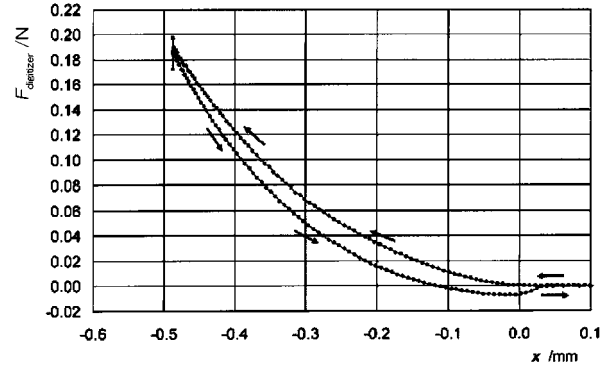
【 図 4 E 】



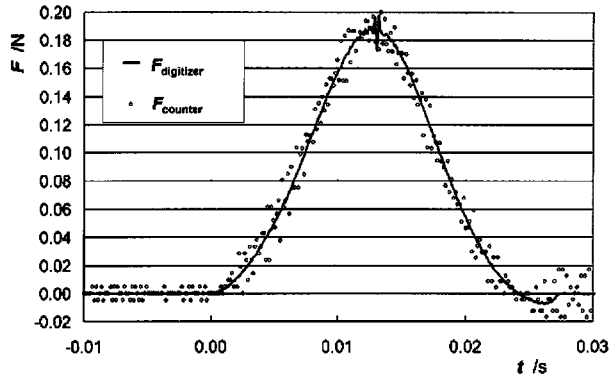
【 図 5 】



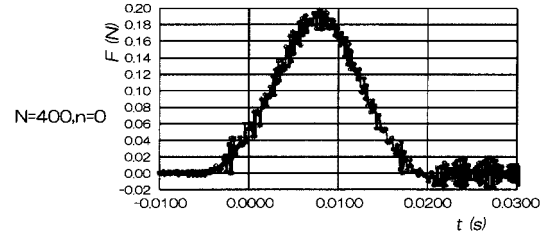
【 図 7 】



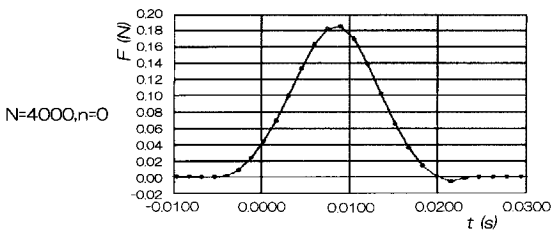
【 図 6 】



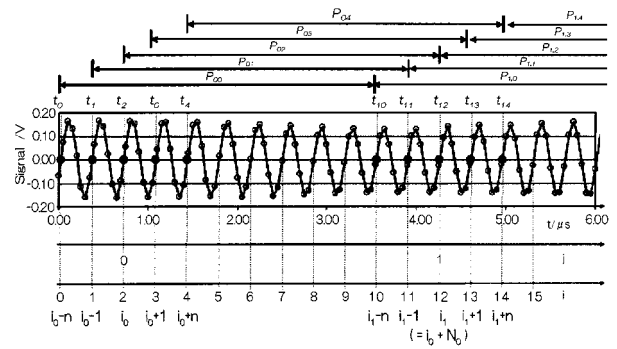
【 図 8 A 】



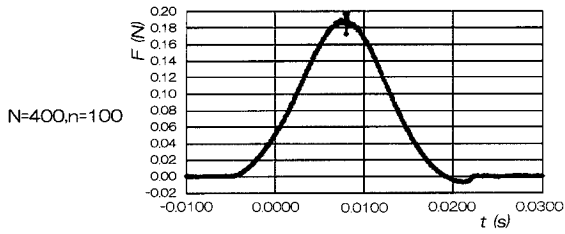
【 図 8 B 】



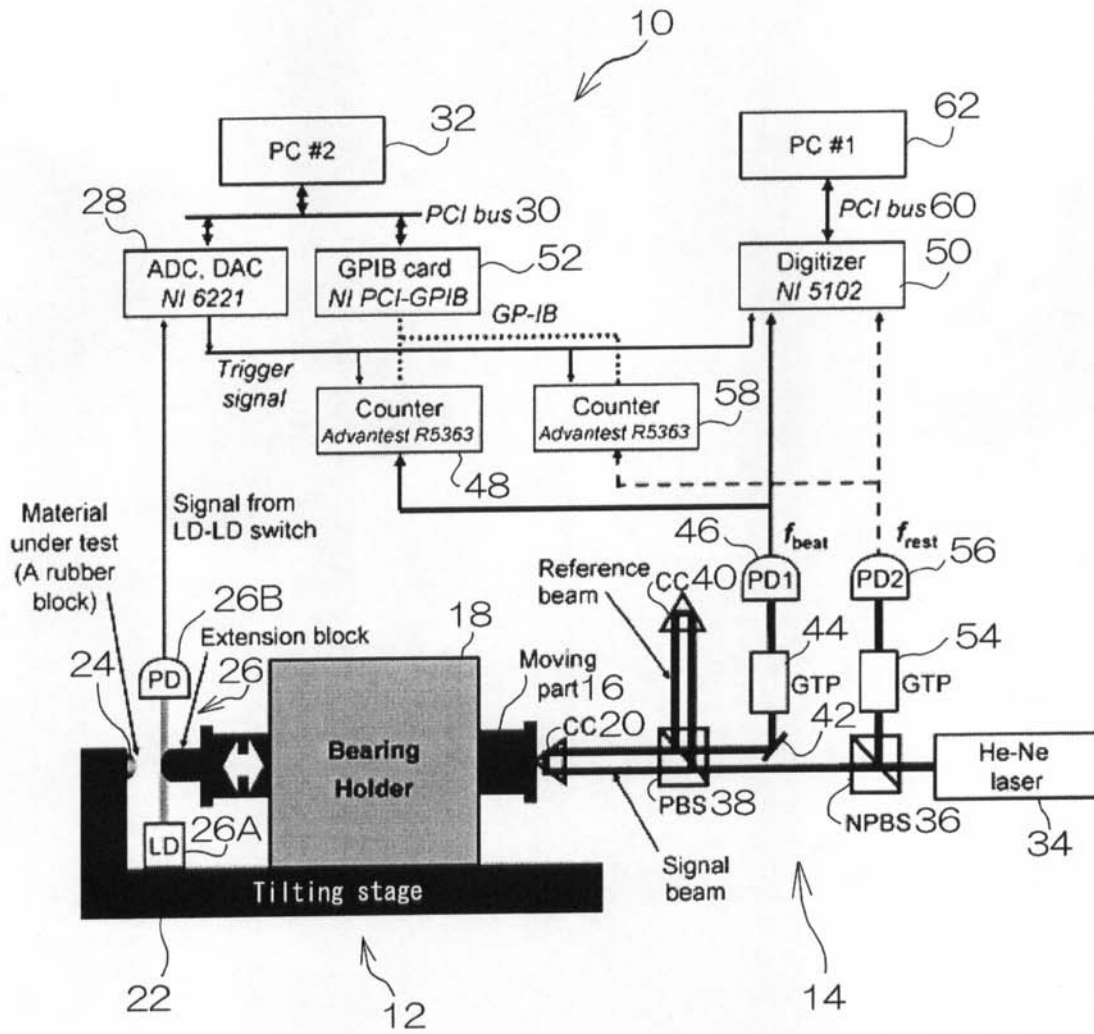
【 図 9 】



【 図 8 C 】



【 図 1 】



【 国際調査報告 】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | International application No. PCT/JP2007/055885 |
|---|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01R23/10 (2006.01) i | | |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED | | |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R23/00-23/20, G01P3/42-3/60 | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007 | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDream2) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | JP 5-340975 A (Sony Corp.), 24 December, 1993 (24.12.93), Par. Nos. [0016] to [0065]; Figs. 2 to 8 (Family: none) | 2, 3, 5 |
| Y | JP 9-318682 A (Mitsubishi Electric Corp.), 12 December, 1997 (12.12.97), Par. No. [0036], [0049] (Family: none) | 2, 3, 5 |
| Y | Written and edited by Shigeo MINAMI, "Kagaku Keisoku no tame no Hakei Data Shori", 6th edition, CQ Publishing Co., Ltd., 20 November, 1988 (20.11.88), ISBN4-7898-3031-4, pages 86 to 95 | 2, 3, 5 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex. | | |
| * Special categories of cited documents: | | |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention | |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone | |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art | |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | "&" document member of the same patent family | |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | | |
| Date of the actual completion of the international search 25 May, 2007 (25.05.07) | Date of mailing of the international search report 05 June, 2007 (05.06.07) | |
| Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office | Authorized officer | |
| Facsimile No. | Telephone No. | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055885

| C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| P, X | Yusaku FUJII and J D R VALERA, Impact force measurement using an inertial mass and a digitizer, MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY UK, Vol.17, No.4, p.863-868, 2006.03.23, ISSN 0957-0233, Full text; all drawings | 1, 3, 4 |
| A | JP 2002-162269 A (Tokyo Keiso Co., Ltd., Yugen Kaisha Techno Data), 07 June, 2002 (07.06.02), Par. Nos. [0021] to [0022] & US 6647805 B2 & US 2002/62690 A1 & EP 1211488 A2 | 1, 4 |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/JP2007/055885 | | | | | | | | | |
|---|--|--|---------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R23/10(2006.01)i | | | | | | | | | | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R23/00-23/20, G01P3/42-3/60 | | | | | | | | | | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2007年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2007年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2007年</td> </tr> </table> | | | | 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | 日本国公開実用新案公報 | 1971-2007年 | 日本国実用新案登録公報 | 1996-2007年 | 日本国登録実用新案公報 | 1994-2007年 |
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | | | | | | | | | | |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2007年 | | | | | | | | | | |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2007年 | | | | | | | | | | |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2007年 | | | | | | | | | | |
| 国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus(JDream2) | | | | | | | | | | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | | | | | | | | | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 | | | | | | | | | |
| Y | JP 5-340975 A (ソニー株式会社) 1993.12.24, 段落【0016】 -【0065】、【図2】-【図8】 (ファミリーなし) | 2, 3, 5 | | | | | | | | | |
| Y | JP 9-318682 A (三菱電機株式会社) 1997.12.12, 段落【0036】、 【0049】 (ファミリーなし) | 2, 3, 5 | | | | | | | | | |
| Y | 南 茂夫編著, 科学計測のための波形データ処理, 第6版, CQ出版 株式会社, 1988.11.20, ISBN4-7898-3031-4, p.86-95 | 2, 3, 5 | | | | | | | | | |
| ☞ C欄の続きにも文献が列挙されている。 | | ☞ パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | | | | | | | | |
| * 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行者若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献 | | | | | | | | | |
| 国際調査を完了した日 25.05.2007 | | 国際調査報告の発送日 05.06.2007 | | | | | | | | | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | | 特許庁審査官 (権限のある職員) 関根 洋之 | 2S 3902 | | | | | | | | |
| | | 電話番号 03-3581-1101 内線 | 3258 | | | | | | | | |

様式PCT/ISA/210 (第2ページ) (2005年4月)

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2 0 0 7 / 0 5 5 8 8 5 |
|-----------------------|--|--------------------------------------|
| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| P, X | Yusaku FUJII and J D R VALERA, Impact force measurement using an inertial mass and a digitizer, MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY UK, Vol. 17, No. 4, p. 863-868, 2006. 03. 23, ISSN 0957-0233, 全文、全図 | 1, 3, 4 |
| A | JP 2002-162269 A (東京計装株式会社、有限会社テクノデータ) 2002. 06. 07, 段落【0021】 - 【0022】 & US 6647805 B2 & US 2002/62690 A1 & EP 1211488 A2 | 1, 4 |

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。