

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4984887号

(P4984887)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 L 5/16 (2006.01)

G O 1 L 5/16

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2006-355856 (P2006-355856)	(73) 特許権者	503361400
(22) 出願日	平成18年12月28日 (2006.12.28)		独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
(65) 公開番号	特開2008-164495 (P2008-164495A)		東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1
(43) 公開日	平成20年7月17日 (2008.7.17)	(74) 代理人	100092200
審査請求日	平成21年12月28日 (2009.12.28)		弁理士 大城 重信
		(74) 代理人	100110515
			弁理士 山田 益男
		(74) 代理人	100084607
			弁理士 佐藤 文男
		(72) 発明者	小林 宙
			東京都調布市深大寺東町7-44-1 独
			立行政法人宇宙航空研究開発機構内
		(72) 発明者	西沢 啓
			東京都調布市深大寺東町7-44-1 独
			立行政法人宇宙航空研究開発機構内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多分力計測法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

計測対象物に固定された接続部材を介して前記計測対象物に作用する所定方向の力を検出する力検出器と、前記接続部材または計測対象物に固定された加速度センサとを用い、前記加速度センサと力検出器の時系列信号の相互相関係数が最大値となる相関時間を算出するステップと、加速度センサにより検出された加速度が設定加速度となる時刻を検知するステップと、該検知時刻から前記相互相関係数が最大値をとる時間が経過した時刻を特定するステップと、該特定時刻における力検出器の検出値を計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として採用するステップとからなる所定方向の力計測方法。

【請求項2】

前記各ステップの作業は、所定方向が異なる複数の軸およびそれらの回転方向のいずれか複数または全ての組合せである各分力について互いに独立して実行し、多分力計測を行うことを特徴とする請求項1に記載の所定方向の力計測方法。

【請求項3】

異なる方向が互いに直交するX、Y、Z軸である請求項2に記載の所定方向の力計測方法。

【請求項4】

計測対象物に固定された接続部材を介して前記計測対象物に作用する所定方向の力を検出する力検出器と、前記接続部材または計測対象物に固定された加速度センサと、前記加

速度センサと力検出器の時系列信号の相互相関係数が最大値となる相関時間を算出する手段と、加速度センサにより検出された加速度が設定加速度となる時刻を検知する手段と、該検知時刻から前記相互相関係数が最大値をとる時間が経過した時刻を特定する手段と、該特定時刻における力検出器の検出値を計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として出力する手段とを備えた所定方向の力計測装置。

【請求項 5】

前記各手段は、所定方向が直交する X, Y, Z 軸およびそれらの回転方向のいずれか複数または全ての組合せである各分力について互いに独立して作業を実行し、多分力の計測をするシステムである請求項 4 に記載の所定方向の力計測装置。

【請求項 6】

力検出器および加速度センサにより計測されたアナログ信号をデジタル信号化し、相互相関係数を計算するプログラムを介して前記相互相関係数が最大値をとる時間を算出する演算機を備えることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載された所定方向の力計測装置。

【請求項 7】

計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として出力した力検出器の信号をデータとして記録・蓄積する記録装置を備えることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載された所定方向の力計測装置。

【請求項 8】

前記記録装置により記録されたデータの最大値を読み取り、その最大値に対し後続機材を保護する観点から適切な安全率を有したゲインを自動設定する手段を有する力検出器用信号増幅器を備えたことを特徴とする請求項 7 に記載の所定方向の力計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は力検出センサと加速度センサを組み合わせた多分力計測法およびその装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、種々の技術分野で模型に作用する多分力計測が広く行われるようになってきている。多分力検出センサは X, Y, Z 三軸それぞれに作用する分力、つまり力 F_x, F_y, F_z およびモーメント M_x, M_y, M_z として検出し、当該部位に作用する総合的な力の状態を的確に計測するために使用される。また、この 10 数年間におけるコンピュータ技術の進歩から、力計測において力をセンサ、アンプ等を介して電圧変換し A/D 変換を行うことでコンピュータに記録する方法が普及している。

この時、多分力検出器に取り付けられている模型に望ましくない振動が加わっていると、その振動加速度に起因する慣性力が分力計測の障害となることが少なくない。分力に振動による慣性力が重畳した状態で計測を行うと、センサからは予想される分力に見合った値より慣性力の最大振幅分大きい値が出力されるため、センサ後段の計測器は予想されるセンサ出力より大きな出力を許容する定格入力値のものを設定しなければならない。一般に電圧、電流などに変換された物理量を計測する計測器において、精度の保証された最小計測値は定格入力値に比例するため、定格入力値の大きい計測器を用いると、最小計測値が増加した結果、計測の精度が低下することとなる。

【0003】

上記問題点を克服する方法の一つが特許文献 1 に提案されている。この発明は多分力計測に際し、多分力検出器の固定台に望ましくない振動が加わっていたり、強制的に振動を加えている場合、振動による慣性力の寄与を除去した状態で測定対象物に加わる外力を高精度で計測できる多分力計測方法とその装置を提供することを目的としたもので、固定台に計測すべき分力に相当する個数の加速度センサから成る加速度検出部を配置して、この加速度センサを用いて振動による慣性力を求め、多分力検出器が実際に計測している各分力値から加速度センサで測定した慣性力を引き算して実の外力値を得るようにしたもので

ある。

【特許文献1】特開2001-141584号公報 「多分力計測方法およびその装置」
平成13年5月25日公開

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、図1(a)に示したような航空機模型を力検出部から鉛直方向に延びたロッド上に固定して上記の方式による上下方向の力計測を実施した場合、加速度センサを模型から離れた位置に設置した場合測定精度が低下してしまうという現象が確認できた。

本発明の課題は、力検出センサと加速度センサを組み合わせた多分力計測において、力計測系から振動に起因した慣性力の影響を厳密に排除すると共に、様々な計測系の構成に柔軟に対応できるようにセンサ位置に任意性をもたせて模型に作用する各分力を精度良く計測する方法とそれを実施する装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の力計測方法は、計測対象物に固定された接続部材を介して前記計測対象物に作用する所定方向の力を検出する力検出器と、前記接続部材または計測対象物に固定された加速度センサとを用い、前記加速度センサと力検出器の時系列信号の相互相関係数が最大値となる相関時間を算出するステップと、加速度センサにより検出された加速度が設定加速度となる時刻を検知するステップと、該検知時刻から前記相互相関係数が最大値をとる時間が経過した時刻を特定するステップと、該特定時刻における所定方向の力検出器の検出値を計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として採用するステップを踏むものとした。

本発明の力計測方法における前記各ステップの作業は、所定方向が直交するX、Y、Z軸など異なる複数の軸およびそれらの回転方向のいずれか複数または全ての組合せである各分力について互いに独立して実行し、多分力計測を行うことを特徴とする。

【0006】

本発明の力計測装置は、計測対象物に固定された接続部材を介して前記計測対象物に作用する所定方向の力を検出する力検出器と、前記接続部材または計測対象物に固定された加速度センサと、前記加速度センサと力検出器の時系列信号の相互相関係数が最大値となる相関時間を算出する手段と、加速度センサにより検出された加速度が設定加速度となる時刻を検知する手段と、該検知時刻から前記相互相関係数が最大値をとる時間が経過した時刻を特定する手段と、該特定時刻における力検出器の検出値を計測対象物に作用する振動による慣性力が所定方向の力検出器に影響しない値として出力する手段とを備えるものとした。

また、本発明の力計測装置は、上記装置における前記各手段が、所定方向が直交するX、Y、Z軸およびそれらの回転方向のいずれか複数または全ての組合せである各分力について互いに独立して作業を実行し、多分力の計測をするシステムであるものとした。

また、本発明の力計測装置は、上記構成に加え力検出器および加速度センサにより計測されたアナログ信号をデジタル信号化し、相互相関係数を計算するプログラムを介して前記相互相関係数が最大値をとる時間を算出する演算機を備えるものとした。

また、本発明の力計測装置は、上記構成に加え計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として出力した力検出器の信号をデータとして記録・蓄積する記録装置を備えるものとした。

更に、本発明の力計測装置は、上記構成に加え前記記録装置により記録されたデータの最大値を読み取り、その最大値に対し後続機材を保護する観点から適切な安全率を有したゲインを自動設定する手段を有する力検出器用信号増幅器を備えるようにした。

【発明の効果】

【0007】

本発明の力計測方法は、計測対象物に固定された接続部材を介して前記計測対象物に作

10

20

30

40

50

用する所定方向の力を検出する力検出器と、前記接続部材または計測対象物に固定された加速度センサとを用い、前記加速度センサと力検出器の時系列信号の相互相関係数が最大値となる相関時間を算出し、加速度センサにより検出された加速度が設定加速度となる時刻を検知して、該検知時刻から前記相互相関係数が最大値をとる時間が経過した時刻における所定方向の力検出器の検出値を計測対象物に作用する力として採用するようにしたので、振動による慣性力が力検出器に影響しない時点の計測値として精度の高いものが得られる。また、このようなタイミングで計測値を取得する方法を採用したので、加速度センサの配置の影響はなく、任意に位置設定できる。

また、本発明の多分力の計測装置は、計測対象物に作用する振動による慣性力が力検出器に影響しない値として出力した力検出器の信号をデータとして記録・蓄積する記録装置を備えるものとしたので、振動による慣性力が影響しないデータを蓄積できるので、計測対象物に作用する力の平均値を精度良く求めることができる。

更に、本発明の多分力の計測装置は、サンプリング出力されたデータの最大値を読み取り、その最大値に対し後続機材を保護する観点から適切な安全率を有したゲインを自動設定する手段を有する力検出器用信号増幅器を備えるようにしたので、計測可能幅を有効に使用して分解能を高めた精度の良い計測ができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明は、特許文献1に示された手法での計測精度を高めることからスタートした。図1(a)に示した歪みゲージ等、力による変位を力として検出するセンサを用いた力検出器に固定された支持部材および模型は、一般に図1(b)に示したようなモデル化ができる。すなわち、このモデルから分かるようにセンサ部はばね系を構成するため、模型に加速度が加わった時点と、加速度センサがそれを検出する時点と、その加速度に起因する慣性力が力検出器によって重畳検出される時点とはそれぞれの位置関係においてズレでくる。しかし、特許文献1ではその時間差を考慮せずに加速度センサが検出した時点で力検出器が検出した値を採用しているため、振動加速度に起因する慣性力を精度良く除去することができない。本発明者らはこの現象に気づき、その計測系における加速度センサが検出する時刻と力検出器がその加速度に起因する慣性力が力検出器で検出される時間差を予め求めておき、その時間差タイミングで力検出器で検出された値を採用すれば計測精度が高まるとの知見を得たものである。

また特許文献1の方法で計測精度を向上させようとするれば時差を極小にするようにセンサ同士を配置しなければならないが、それは計測系の構成として困難を伴うことが多い。しかし本発明のように検出の時間差を予め求めておきそのタイミングで力検出器の検出値を採用するようにすればこの問題は解決でき、設計上の自由度が損なわれることがなくなる。

【0009】

図2, 3を参照しながら本発明の計測手法を説明する。図2は加速度センサが加速度を検出する時刻と力検出器がその加速度に起因する慣性力を検出する時刻の差を検出する時間差計測部の構成を示している。模型に対し任意の位置に設置された*i*分力方向の加速度センサ a_i により一定時間に計測された*i*分力加速度信号はA/D変換機A_{Dai}を介して演算機CP内のRAMに一時保存される。同様に一定時間に力検出器F_iによって計測され増幅器A_{Mi}によって増幅された*i*分力信号もA/D変換機A_{DFi}を介してCP内のRAMに一時保存される。このRAM内に記憶された二種類の時系列データは、演算機CPに組み込まれた相互相関係数算出プログラムPGによって両データの相互相関係数が最大値をとる時間 τ_i を算出すると共に、さらにA/D変換機D_{Ati}を介して適切なアナログ信号として出力する。本発明では計測系における両センサの配置関係がが決めればこの時間差計測部の上記機能によって、まず、この時間差を求めることができる。

【0010】

図3は本発明の*i*分力方向の力計測を行う計測部の構成を示したものである。*i*分力方向の加速度センサ a_i の信号はオブザーバ回路O_{Bi}により常時監視され、*i*分力方向加速

10

20

30

40

50

度が設定加速度に等しくなる時刻でタイミングパルスを出力する。この設定加速度とは振動加速度が0とみなせる値に設定されたものである。A/D変換機DA_{ti}とオブザーバ回路OB_iにそれぞれ出力された時間差 τ_i および上記タイミングパルスを受けてタイマ回路TM_iは時間差 τ_i が正の場合、タイミングパルスをうけてから τ_i 後に力検出器Fiの信号をサンプリングし、時間差 τ_i 負の場合は、内蔵したサンプルアンドホールディング回路により τ_i 前の信号をサンプリングするようタイミングを調節することで実現できる。

タイマ回路TM_iの調節を受けて一定時間計測された信号は力検出器アンプゲイン調節回路GC_iにされ、その最大値を比較しタイミングを調節して計測された信号の計測を最も高精度に行うアンプゲインにするようにアンプAM_iを自動的に調節する。これは得られる力計測値 f_i が計測可能幅内で広く分布した形態となるようにレンジ幅を有効に使用して分解能を高めた精度の良い計測ができるようにするための機能である。タイマ回路TM_iのタイミング調節を受けて計測され、ゲイン調節されたアンプAM_iを介して増幅された力検出器Fiの信号を振動加速度の影響を排除した*i*分力の計測値 f_i として記録部Reに記録蓄積する。記録された個々のデータは振動加速度の影響を排除された精度の良いものであるから、これら記録蓄積されたデータの平均値を演算すれば信頼性の高い*i*方向の分力計測値を得ることができる。

【実施例】

【0011】

図4に本発明の1実施例を示す。ここで本発明は支持部材を介して固定された台車2によって曳航される模型1に作用する平均空気力を計測する。模型1は台車2の走る路面の凹凸等により振動を受ける。台車によって模型に作用する平均加速度（水平方向）を既知とできれば、本発明を用いることで振動加速度の影響を排除し等速だけでなく加減速空気流中の模型に作用する空気力を精度良く計測できる。

図5乃至9は本発明によって計測された等速空気流中の模型に作用する空気流に垂直な分力 f_y および空気流に垂直な加速度 a_y の計測例を示す。図5に示したグラフは*y*方向分力の力検出器F_yで検出した力 $f_y(t)$ と*y*方向分力の加速度センサ a_y で検出した加速度 $a_y(t)$ の時系列生波形である。この $f_y(t)$ の生波形は平均空気力に慣性力が重畳しており標準偏差 σ は22.27N程度である。この計測データの特許文献1の手法を用いて、加速度の値 $a_y(t)$ が零に近いタイミングで $f_y(t)$ をサンプリングしたものが図6のグラフである。このときの標準偏差 σ は11.33N程度となり図5の生波形と比較してばらつきの小さいデータが得られていることが分かる。この同じ計測データをさらに本発明の手法を適用し、加速度センサの加速度検出時刻と該加速度に起因する慣性力が力検出器で検出される時間差 τ を考慮して力 $f_y(t)$ をサンプリングすると図7に示すグラフになり、このときの標準偏差 σ は8.38N程度となって、さらにバラツキの少ない平均値に近い値となっている。このデータ解析から本発明の手法がより計測精度を高くできることが確認できた。

【0012】

図8にサンプリングするタイミングを変化させたときの力計測データ $f_y(t)$ と加速度計測データ $a_y(t)$ の相互相関係数RF_aをグラフに示す。また、図9には力計測データ $f_y(t)$ をサンプリングするタイミングと加速度計測データ $a_y(t)$ が零となる時刻との時差 Δt を変化させた場合におけるサンプリングされた力計測データ $f_y(t)$ の標準偏差 σ を示している。図8で相互相関係数RF_aが最大となる時間 τ と、図9において標準偏差 σ が最小となる、すなわち最も平均に近いデータが得られる時差 Δt_{opt} が一致していることが確認でき、このような力の計測には本発明の手法による計測が最適であることが分かる。

【0013】

図10に本発明を風洞試験に適用した実施例を示す。風洞内に航空機模型1を配置して直交するX、Y、Z軸方向にそれぞれ支柱3を介して力検出部5_x、5_y、5_zを設置する。また、それぞれX、Y、Z軸まわりのロール、ピッチ、ヨー角方向の回転力のセンサをも備えるものとする。各分力毎に本発明の手法を適用して多分力計測を実行することができる。なお、当然のことながら6分力を全て用いる必要はなく、適宜の分力測定とすることができる。

【産業上の利用可能性】

【0014】

本発明は、航空機の風洞試験に限らず、外部振動などの影響を受ける広い分野の各種力計測に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】 模型にかかる i 方向分力の計測系とそのモデルを示す図である。

【図2】 加速度センサと力検出器の検出時間差を計測する本発明の構成を示す図である。

【図3】 本発明の i 分力方向の力計測を行う計測部の構成を示す図である。

【図4】 本発明の手法を適用した1実施例を示す図である。

10

【図5】 y 方向分力 $f_y(t)$ と y 方向の加速度 $a_y(t)$ の時系列生波形を描いたグラフである。

【図6】 従来手法でサンプリングした y 方向分力 $f_y(t)$ と y 方向の加速度 $a_y(t)$ の時系列グラフである。

【図7】 本発明の手法でサンプリングした y 方向分力 $f_y(t)$ と y 方向の加速度 $a_y(t)$ の時系列グラフである。

【図8】 サンプリングするタイミングを変化させたときの力計測データ $f_y(t)$ と加速度計測データ $a_y(t)$ の相互相関係数 R_{Fa} をグラフに示したものである。

【図9】 力計測データ $f_y(t)$ をサンプリングするタイミングと加速度計測データ $a_y(t)$ が零となる時刻との時差 Δt を変化させた場合におけるサンプリングされた力計測データ $f_y(t)$ の標準偏差 σ を示したものである。

20

【図10】 本発明を風洞模型に適用した実施例を示す図である。

【符号の説明】

【0016】

1 模型

2 台車

3 支柱

4 信号線

a_i i 方向加速度センサ

F_i i 方向力検出器

A_{Dai} , A_{DFi} A/D変換機

A_{Mi} 増幅器

CP 演算機

PG プログラム

O_{Bi} オブザーバ回路

D_{Ati} D/A変換機

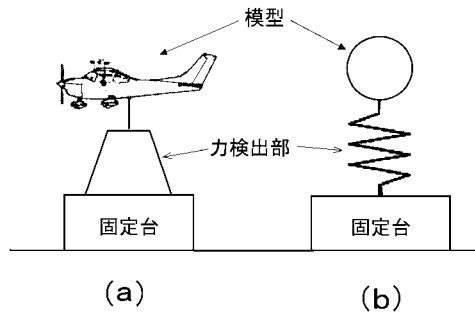
T_{Mi} タイマー

G_{Ci} ゲイン調整回路

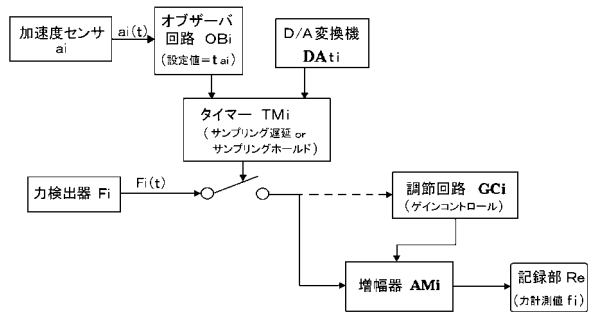
30

Re 記録部

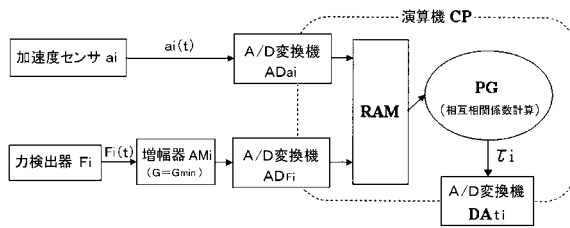
【図 1】



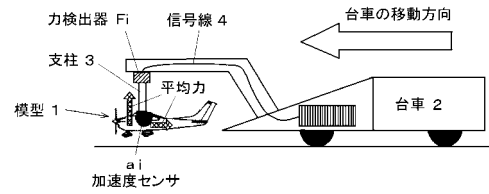
【図 3】



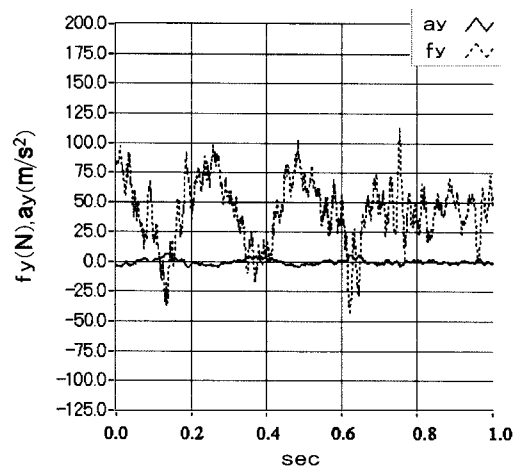
【図 2】



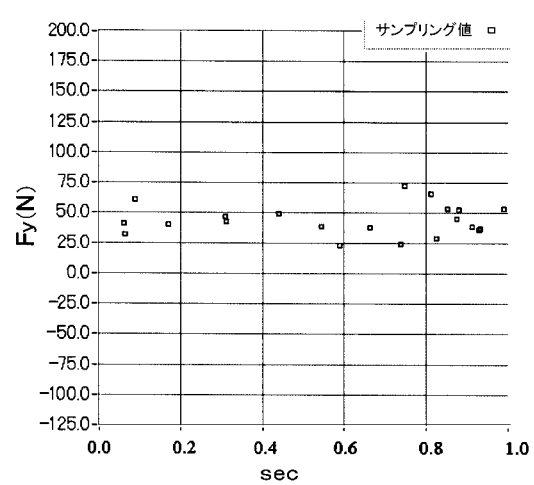
【図 4】



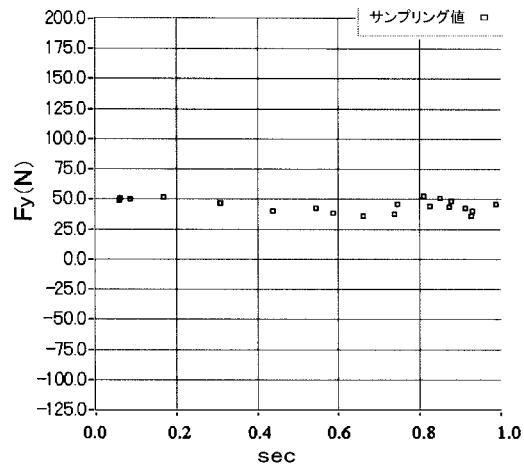
【図 5】



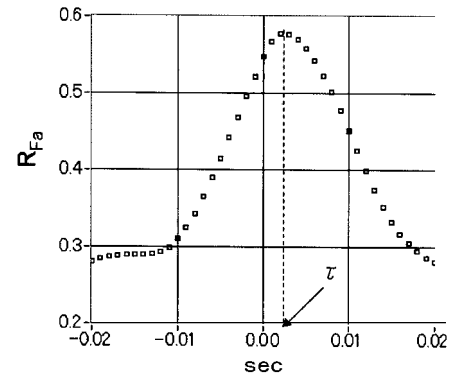
【図 6】



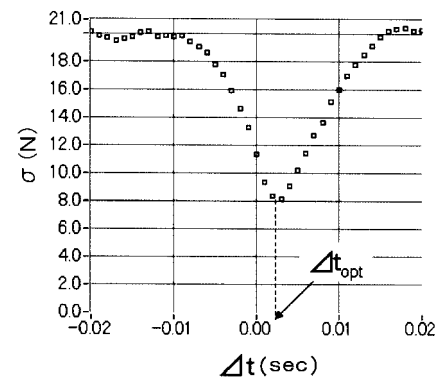
【図 7】



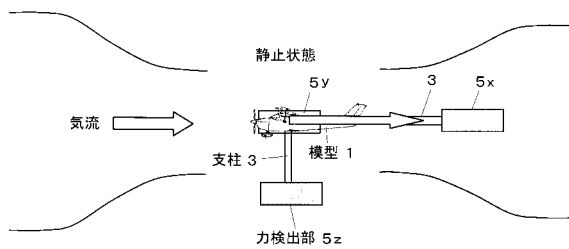
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

審査官 公文代 康祐

- (56)参考文献 特開2001-141584 (JP, A)
特開昭62-102128 (JP, A)
特開昭60-088348 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 1/26
G01L 5/16
G01P 15/00
G01M 9/00
G01M 10/00