

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5180212号  
(P5180212)

(45) 発行日 平成25年4月10日(2013.4.10)

(24) 登録日 平成25年1月18日(2013.1.18)

(51) Int.Cl.

GO1N 3/02 (2006.01)

F1

GO1N 3/02

Z

請求項の数 7 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2009-525117 (P2009-525117)  
 (86) (22) 出願日 平成19年7月26日 (2007.7.26)  
 (65) 公表番号 特表2010-501846 (P2010-501846A)  
 (43) 公表日 平成22年1月21日 (2010.1.21)  
 (86) 國際出願番号 PCT/IB2007/002143  
 (87) 國際公開番号 WO2008/023226  
 (87) 國際公開日 平成20年2月28日 (2008.2.28)  
 審査請求日 平成22年7月26日 (2010.7.26)  
 (31) 優先権主張番号 0616590.6  
 (32) 優先日 平成18年8月21日 (2006.8.21)  
 (33) 優先権主張国 英国(GB)  
 (31) 優先権主張番号 0618211.7  
 (32) 優先日 平成18年9月15日 (2006.9.15)  
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(73) 特許権者 591203428  
 イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド  
 アメリカ合衆国, イリノイ 60025-5811, グレンビュー, ウエスト レイク アベニュー 3600  
 (74) 代理人 100099759  
 弁理士 青木 篤  
 (74) 代理人 100092624  
 弁理士 鶴田 準一  
 (74) 代理人 100102819  
 弁理士 島田 哲郎  
 (74) 代理人 100123582  
 弁理士 三橋 真二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】材料試験装置の調節方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

試験片を試験する材料試験装置であって、前記試験片に対して力を付与すべく配置された電気制御可能なアクチュエータを有するという材料試験装置を操作する方法であって、前記試験片の剛性に関する唯一の調節可能パラメータ値を入力する段階と、該唯一の調整可能パラメータ値から、必要な全てのフィードバック制御利得を計算する段階と、

引き続き前記試験片の試験を行う段階とを有し、  
 前記アクチュエータは電気式リニア・モータである、  
 材料試験装置を操作する方法。

10

## 【請求項2】

前記唯一の調整可能パラメータ値はユーザ・インターフェースを介して手動的に入力される、請求項1に記載の方法。

## 【請求項3】

試験されるべき試験片に係合するための把持器と、  
 前記把持器の移動を制御するアクチュエータと、  
 前記アクチュエータのパラメータを制御するフィードバック制御装置を含む制御システムとを備え、  
 前記制御システムは、唯一の調節可能パラメータ値から前記フィードバック制御装置の初期利得を設定する手段を含み、

20

前記唯一の調節可能パラメータ値は前記試験片の剛性に関するものであり、  
前記アクチュエータは電気式リニア・モータである、材料試験装置。

**【請求項 4】**

前記唯一の調節可能パラメータ値を手動的に入力するユーザ・インターフェースを備える  
、請求項 3 に記載の装置。

**【請求項 5】**

アクチュエータ加速度の見積もり値を、事前設定されたスレッショルド値と比較するこ  
とにより試験片の特性の急変を検出する段階と、

前記各フィードバック制御利得を所定値に夫々設定する段階とを有する、請求項 1 に記  
載の方法。

10

**【請求項 6】**

前記アクチュエータ加速度の見積もり値は、アクチュエータ変位を測定するデジタル・  
エンコーダからの信号の数値微分に由来する、請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

アクチュエータ加速度を監視する手段と、

監視された前記アクチュエータ加速度が事前設定されたスレッショルド値を超過する場  
合には各フィードバック制御利得を夫々所定値に設定する手段とを備える、請求項 3 に記  
載の装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

20

**【0001】**

本発明は材料試験装置に関し、より詳細には該装置を調節する方法及び装置に関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

(一定の場合には構造試験装置としても知られる)材料試験装置は、材料の試験片もしくは構成要素の物理的特性を試験する多くの製造者により作製される。試験の間において特定の測定変数は、制御されるべきであり、且つ、その値に関して指示された軌跡を可及的に忠実に辿るべきである。幾つかの典型的な変数は：

- ・(一定の場合には変位もしくは伸びとしても知られる)位置
- ・(試験片に対する力である)負荷
- ・(試験片の局所的部部分における変位もしくは伸びである)歪み

である。

30

**【0003】**

斯かる装置における作動技術の例は：

- ・電気モータにより駆動されるスクリュー駆動器(screw-drive)(制御は纖細であるが速度は限られる)
  - ・液圧アクチュエータ(応答は更に高速であるが更に複雑である)
  - ・電磁式振動機(応答は非常に高速であるが静的な負荷容量は限られる)
  - ・リニア3相電気モータ(応答が高速であると共に負荷容量が良好であるが、多くの電力と高速の制御器とを必要とすることがある)

である。

40

**【0004】**

全ての装置においては、指示された変数と現在の測定値との間の誤差を最小化するために、フィードバック制御が使用される。殆どの制御器は、たとえばPID制御器における‘P’、‘I’および‘D’などの複数のフィードバック利得を有する。また安定性および応答を改善するために、たとえば速度フィードバック、進み遅れ補償、もしくは、信号フィルタリングなどの更なる制御パラメータが設定される必要があり得る。概して、これらのパラメータの全ては、装置において新たな試験片が試験されるときに再調節される必要がある、と言うのも、そのシステムの動態は上記試験片の付加により相当に変化せしめられるからである。概して、装置における作動が更に動的であるほど、制御パラメータの調節は

50

更に慎重とする必要がある。

【0005】

所定個数の制御パラメータは在るが、試験片の測定可能な特性と望ましい制御パラメータとの間に単純な物理的関係が無いと、多くの場合、装置の操作者が調節プロセスを達成することは非常に複雑とされる。代わりに、制御パラメータは通常は、経験および実験による指針に基づき、訓練を受けた制御技術者により調節される。これは不経済であると共に時間消費的である、と言うのも、装置を使用する顧客が高度に熟練した作業員に費用を掛けるか、あるいは、顧客の現場で装置の調節を製造業者が支援しなければならないからである。

【0006】

この問題は相当の期間にわたり認識されると共に、手動調節に対する必要性を低減すべく‘自動調節’アルゴリズムが開発されてきた。ひとつの手法は、制御技術者により使用される実験に基づく指針を自動化することであり、たとえば、‘最大利得最小積分’技術の自動化である。結果的な制御パラメータは良好に作用するが、幾つかの不都合が残される：

- ・調節プロセスはユーザにとって‘ブラックボックス’であり、該プロセスの間に装置が何を行うかは理解されず、且つ、そのプロセスが成功したことをチェックする簡易な方法もない。

- ・制御パラメータ値と、試験下の試験片との間には依然として、求め得ない物理的関係が在る。

- ・参照もしくは設定の目的で制御設定値が記憶されるべきであるなら、ユーザに認識されて記録されるべき多くの関連制御パラメータが在る。

【0007】

材料(または構造)試験装置の調節における当業界のこの状況に鑑みると、特定の試験片の調節が一個のパラメータのみを必要とするなら、装置の顧客および製造業者に対して多大な改善となることは明らかであろう。またこのパラメータが、試験下の試験片の物理的特性であって、装置のユーザにより独立的に測定され得るというパラメータであるならば更に望ましいであろう。これは、材料試験装置において必要なフィードバック制御利得の全てを調節するために試験片の剛性の測定値のみを要するという権利請求された発明である。

【0008】

しかしこれは、材料試験装置の調節を支援するために‘剛性’を用いた最初ではない。‘適応’制御アルゴリズムは、使用の間において自動的に決定される剛性値を使用するという本出願人の米国特許第5,511,431号において既に提案されている。しかしこのアルゴリズムは、実験的に調節されるべき初期値からの制御利得を、手動的に変更し、または、剛性値を使用しない‘自動調節’アルゴリズムを使用して変更するのみである。故に剛性値は、他の制御パラメータに対する代替物ではなく、付加的な調節パラメータである。また、剛性値はユーザに対して利用可能とされないので、ユーザは剛性値を用いてシステムを設定することができない。

【0009】

材料試験片の制御における剛性の別の用法は、金属試験片の‘応力速度’の決定におけるものである。この場合に剛性は、試験片形状寸法および材料に対するヤング率を知ることで、ソフトウェアにおいて内部的に計算される。剛性のこの用法は、位置命令の変化の速度を設定するためであるが、既に設定されているフィードバック制御利得には影響しない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、試験片位置または試験片負荷を制御するために必要なフィードバック制御利得の全てが単一の調節可能パラメータ値から計算されるという方法および装置を提供する

10

20

30

40

50

。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

上記単一の調節可能パラメータ値は、上記装置に対して手動的に入力されるか、または代替的に、装置と試験下の試験片との組合せ物の単一の物理的測定可能パラメータから計算され得る。

## 【0012】

‘歪み’制御を実施するときにおける上記装置の改善例として、伸縮計の使用による試験片の局所的部分に対する影響を記述する付加的な測定可能パラメータを定義することが可能である。

10

## 【0013】

使用に際してユーザは上記装置に対し、試験されるべき試験片の特性を表す単一の調節可能パラメータ値を単純に入力する。すると上記装置は、上記入力値ならびに他のパラメータ値に基づいて演算を行うと共に、上記試験片に対して該装置が行う特定の試験により必要とされる初期利得設定値を見積もる。その後、上記試験は通常的なフィードバック制御下で行われる。

## 【0014】

本発明を更に容易に理解するために、次に本発明の実施形態が添付図面を参照して記述される。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】本発明に係る材料試験装置の概略図である。

【図2】調節プロセスを表すフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0016】

本発明は、アクチュエータとしてリニア電気モータを用いる新たな形式の材料試験装置に対して開発されたが、本発明は概して、利用されるアクチュエータの幾つかの測定可能な特性が既知である限りにおいて、他の作動技術を用いる装置に対して適用可能である。

## 【0017】

次に図1を参照すると材料試験装置が示されると共に、該試験装置は、基部11と、アクチュエータ14に対する駆動アセンブリを保持するクロスヘッド12とを備える堅固なフレーム10を備える。上記アクチュエータはピストンおよびシリンダ式のデバイスを備え、この場合に該デバイスは、電機子が上記アクチュエータの上記ピストンを構成するというリニア電気モータにより形成される。上記ピストンは、軸受16内に組み付けられると共に、ロードセル20を介して試験片把持部18に対して取付けられる。上記装置の基部11に対しては更なる試験片把持部21が取付けられると共に、試験されるべき試験片は把持部18および21の間に保持される。

30

## 【0018】

上記アクチュエータの上記ピストンの位置は、たとえばLVDTもしくはデジタル・エンコーダによるなどの一定の適切な手法で監視され、且つ、上記試験片は、たとえば該試験片に対する力を測定するロードセル20の使用による、または、試験下の該試験片の局部的な伸びを測定する伸縮計22の使用による一定の好都合な但し公知の手法で監視される。

40

## 【0019】

斯かる装置は上記試験片に対して多数の異なる試験の内の任意の試験を行い得ると共に、このことは上記アクチュエータを駆動する適切な制御器により達成される。習用的にこれらの制御器は、キー・パッドの如き一定の適切なインターフェース・システムを用いて試験の形式がユーザにより上記装置に対して入力されるべく動作せしめられるコンピュータである。図中において、上記制御システムおよびデータ入力手段は示されない。

## 【0020】

先に説明された如く、所定の剛性を有する試験下の試験片に対して上記装置の上記アク

50

チュエータを取付けると、剛性体に取付けられた移動質量に対して付与される力としてモデル化され得る動的系が生成される。上記試験片の剛性に対して上記移動質量を加えると、一定の固有周波数を有する共振的装置系が生成される。剛性の影響は、たとえば液圧的に作動される装置におけるオイル・コラムの剛性などの、上記系の他の測定可能な特性に依存し得る。更に、この共振を制御することは制御システムの主たる課題である、と言うのも、該システムに自然減衰は殆ど無く、且つ、この自然減衰の欠如は、上記アクチュエータとしてリニア電気モータを利用することに伴う問題のひとつだからである。この共振系と共にフィードバック制御を使用すると、存在し得るフィードバックの量に関して制御パラメータが不適切に選択されるならば、不安定なシステムが生成され得る。更に、制御器ならびにアクチュエータの応答により、制御が有効である使用可能な周波数範囲は制限される。上記制御器およびアクチュエータの応答はまた、複雑な関数でもある。

#### 【 0 0 2 1 】

これらの問題を念頭に置き、位置もしくは負荷の制御に対し、ユーザにより設定される必要がある唯一のパラメータは、試験片に対して負荷が掛けられたとき、測定された負荷における変化を測定位置の変化で除算した商により定義される負荷列剛性(load string stiffness)Ksである、というアルゴリズムが導出された。試験片剛性Kxは、伸縮計により歪み制御を実施するときに各利得の微調整に対して使用される局所的剛性の更に厳密な値である。Kxは、測定された負荷の変化を、伸縮計の各接触点内で測定された変位の変化で除算した商として定義される。Kxが既知でなくともKs = Kxと設定することは殆どの試験片に対する良好な第一近似であり、且つ、この設定は、必要であれば、歪み制御の調節に対しても1個のみのパラメータが要求されることを意味している。

#### 【 0 0 2 2 】

先に述べられた如く、当該装置のアクチュエータとして三相リニア電気モータを備えた装置において詳細な設計および実施が行われた。制御出力は、電流増幅器に対して供給される電圧である。上記電流増幅器は上記電圧に比例する電流を生成し、且つ、上記モータの力は該電流に比例する。以下の表は、上記調節アルゴリズムに対する関連パラメータを記述している。所定の試験片に対しては、(各)剛性値のみが調整される必要がある。

【表1】

パラメータ 名称	単位	説明	起源
$K_s$	N/m	負荷列剛性[フレームおよび固定具と併せて測定された試験片の剛性]	自動手順を用いて見積もられるか、ユーザにより入力される
$K_x$	N/m	試験片剛性[‘伸縮計’内の試験片の部分の測定剛性]	自動手順を用いて見積もられるか、ユーザにより入力される。既知でなければ $K_x=K_s$ と設定する。
$M_s$	kg	移動質量	工場設定
$C_{min\_K}$	s	単位剛性当たりに期待される最小限の試験片減衰	工場設定
$C_m$	N	モータが生成し得る最大の力であるモータ定数	工場設定
$C_b$	$m^{-1}s$	$C_b \cdot C_m$ が減衰係数である如き、モータに対する減衰パラメータ	工場設定
$T_{delay}$	s	フィードバック制御ループにおける遅延	工場設定
$PM\_vel$	rad	速度フィードバックである、目標位相マージン	工場設定
$GM\_vel$	n/a	速度フィードバックである、目標利得マージン	工場設定
$PM$	rad	制御される変数(位置、負荷もしくは歪み)のフィードバックである、目標位相マージン	工場設定
$GM$	n/a	制御される変数(位置、負荷もしくは歪み)のフィードバックである、目標利得マージン	工場設定

10

20

30

## 【0023】

(‘負荷列剛性’、‘ $K_s$ ’と称される)試験片の剛性は、自動的に見積もられるか、ユーザにより入力される。上記アクチュエータおよび他の一切の関連剛性体/弾性体における移動質量は装置仕様から知られることから、固有(‘共振’)周波数が見積もられ得る。該固有周波数に伴う‘減衰係数’は、他の既知のアクチュエータ特性と、見積もられた材料減衰とから見積もられる。

## 【0024】

共振の悪影響は、‘速度フィードバック’を用いて上記システムに対して減衰を付加することで可及的に低減される。速度フィードバックは‘粘性’減衰のできる限り厳密なシミュレートを試行するが、その効果はPID制御器におけるD項の使用に類似している。速度信号はデジタル・エンコーダから見積もられる。上記制御器/アクチュエータにおける共振および遅延に関する知見が与えられたなら、速度フィードバック利得(‘ $K_v$ ’)の値は、指定された‘位相マージンおよび利得マージン’(両者ともに古典的な制御理論において常用される概念)を達成する最大値であるべく選択される。新たな修正済み減衰係数は、付加された上記速度フィードバックを考慮すべく計算される。

40

## 【0025】

制御される変数(位置、負荷もしくは歪み)に対する比例的フィードバック利得(‘ $K_p$ ’)は、共振および修正済み減衰係数の知見を用いて計算される。 $K_p$ は、上記共振周波数の近傍において指定された‘位相マージン’を達成する最大値であるべく選択される。

## 【0026】

50

制御される変数(位置、負荷もしくは歪み)に対する積分フィードバック利得(‘Ki’)は、共振および修正済み減衰係数の知見を用いて計算される。Kiは、上記共振周波数の近傍において指定された‘利得マージン’を達成する最大値であるべく選択される。

【0027】

最後に、制御されるべき変数に依存して、Kv、KpおよびKiの各値に対しては一定の特有の修正が為される。‘歪み制御’の場合には、付与される力と、歪みが測定されるべき箇所における局所的変位との間の物理的関係を示すために必要とされる第2剛性値(‘Kx’)が用いられる。Kxが入手可能でなくとも、Kx = Ksと設定すると適切な制御性能が与えられる。

【0028】

次に図2に移ると、該図は、上記装置により実施されつつある試験に先立ち制御利得を設定するために上記アルゴリズムにより実施されるプロセスを更に詳細に示している。ブロック201は、負荷列剛性Ksを表すデータであって、先に記述された如く手動的に入力されるかもしくは付加的な手順を用いて見積もられ得るというデータを上記装置に入力する段階を表している。最初に上記アルゴリズムはブロック202により表される如く、モータの移動質量Msおよび減衰パラメータCm、Cb、CminKの夫々の工場設定に基づいて、上記装置システムの共振周波数 および減衰 を見積もる。その後、ブロック203に示される如く、且つ、目標とする位相マージンの速度フィードバック係数PMvelおよび利得マージンの速度フィードバック係数GMvelに基づき、共振より高いPMvelを達成する最大のKvが提供される如く速度フィードバックKvが計算される。但し、もし共振が制御され得なければ、Kvは、共振における所望の利得マージンを達成すべく制限される。

10

【0029】

速度フィードバックKvが一旦設定されたなら、ブロック204においては、上記システムに対する該速度フィードバックの影響を含めるために、修正済み減衰係数  $k_v$  が計算される。この新たな減衰係数を以て、ブロック205においては、上記目標とする位相マージンおよび利得マージンに基づき、共振より高い目標位相マージンを達成する最高に安定的なKp、ならびに、共振における利得マージンを達成する最大のKiも達成すべく、可変的なフィードバック・パラメータKpおよびKiが計算される。

20

【0030】

これらの段階が一旦完了されたなら、ブロック210に表される如く、上記装置により如何なる形式の試験が行われるべきかに依存して、最終的なフィードバック制御利得Kv、KpおよびKiが設定される。歪みのみが試験されつつあるなら、上記システムは、共振が良好に制御される様に、弾性的な試験片に対するKiに関する下限値を強制すると共に、Kvを増大してKiと平衡を保つ。各システム・パラメータに依存し、KpおよびKiは、比率Kx / Ksにより最大の増倍率まで増大され得る。該増倍率により制限されるなら、Kvを比例的に減少することが必要なこともある。

30

【0031】

試験により上記装置の位置制御のみが必要とされるなら、上記システムはKiに関する下限値を設定し、弾性的な試験片を助力する。上記システムにおいて共振が良好に制御されるなら、Kvは増大されてKiと平衡が保たれる。

40

【0032】

試験により負荷制御のみが必要とされるなら、上記システムはKpに対する上限値を設定し、制御に対する慣性効果に起因する不都合な影響を制限する。Kpが減少されるなら、KiおよびKvを同様に減少させることが必要である。弾性的な試験片に依れば、Kiに対しては下限値が設定されるが、上記システムにおいて共振が良好に制御されるなら、Kvを増大させてKiと平衡を保つことは可能である。

【0033】

フィードバック制御ループにおける遅延Tdelayは、予め知られると共に、ブロック203および205での計算において使用される。

【0034】

50

記述された如く設計されたシステムは、試験片の特性、特に試験片の剛性が同一のままである限り、試験片に対して非常に良好に適合したフィードバック制御利得を有する。現実には、このことは保証され得ず且つ試験片の特性の急変を可及的に検出することが必要である、と言うのも、変化した試験片の特性に対して上記フィードバック制御利得はもはや適切ではないからである。これを行うひとつの手法は試験片剛性を継続的に見積もることであり、これは‘適応制御’という表現で従前から行われている。この方法はフィードバック制御利得を継続的に更新するという利点を有するが、これまでに実施された如く、初期値に関する剛性の変動の限られた範囲に対して適応する様に設計されただけであり、且つ、新たな剛性見積もり値を計算するためには多数の順次的な測定を必要とし、相当の遅延を引き起こす。このことは、上記アクチュエータの高度に動的な性質の故に、電気式リニア・モータを用いる現在の実施方式において特に重要である。代わりに、本発明は、アクチュエータの加速度の見積もり値に基づき、有意な試験片の変化を検出する簡素であるが効率的な手段を導入した。大きなアクチュエータ加速度は、試験片剛性が突然に減少した(たとえば試験片が降伏もしくは破断した)とき、または、試験片剛性が突然に増大して高周波数振動を引き起こしたときに生じ得る。事前設定レベルより高い加速度が検出されたなら、予想される全ての試験片に対して安定的であることが示されている特定の一群のフィードバック制御利得が用いられる。ユーザに対してはこの変化が通知され、これは通常的には試験を終了させる。使用される加速度の測定値は、上記アクチュエータに対して装着された加速度計からとされ得る。但し本実施方式において、それは、デジタル・エンコーダ信号を数値的に微分することにより、該信号から導出される。この実施方式は遅延が最小限であるという利点を有する、と言うのも、デジタル・エンコーダ信号は典型的な加速度計信号に伴うランダムな電気的ノイズが無く、故に何らの更なるフィルタリングを必要としないからである。

#### 【0035】

本発明の上記記述は電子的制御器による電気的なアクチュエータ / ラムの使用に基づいて与えられたが、スクリュー駆動器および液圧的アクチュエータの如き他の作動技術を用いる他のデバイスに対し、加速度監視装置と共に、もしくは、加速度監視装置なしで、上記電子的制御装置を配備することが可能である。

#### 【0036】

上記記述からは、本発明は、試験下の試験片の剛性のみに基づいてユーザもしくは材料試験装置に対して簡素な調節方法を導入することが明らかである。これにより、調節のプロセスは相当に簡素化され、ユーザに対する透明性が提供され、且つ、記録される必要がある設定パラメータの個数が最小限とされる。

10

20

30

【図1】

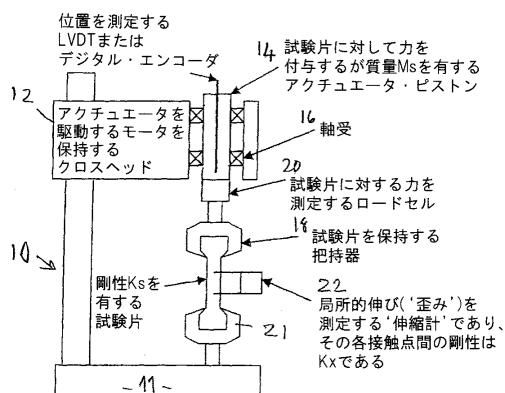


FIG. 1

【図2】

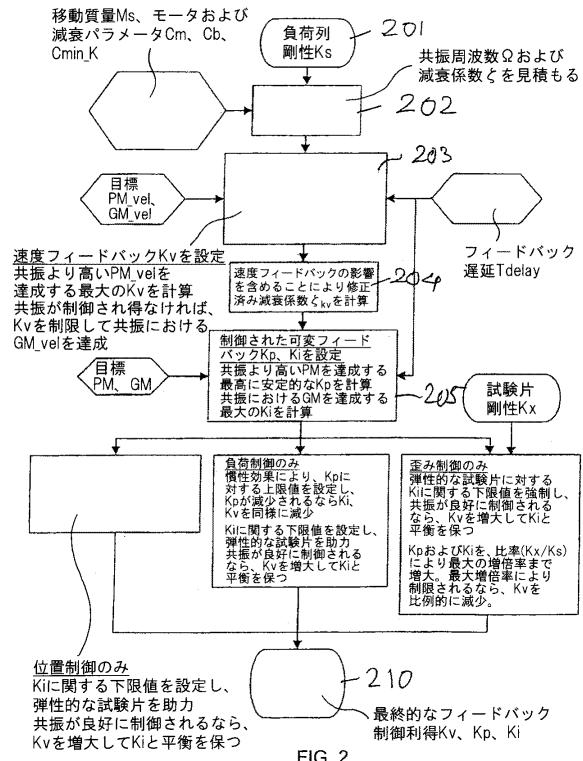


FIG. 2

---

フロントページの続き

(74)代理人 100141081

弁理士 三橋 庸良

(74)代理人 100147555

弁理士 伊藤 公一

(72)発明者 ジェッペセン, ベン

イギリス国, バッキンガムシャー エイチピー 13 6 ディーウイ, ハイ ウィコム, コネグラ  
ロード 11

(72)発明者 ヘイフォード, ポール

イギリス国, バッキンガムシャー エイチピー 15 6 ティーエル, ホルマー グリーン, シープ  
コート デル ロード 44

審査官 高橋 亨

(56)参考文献 特開平 11-064191 (JP, A)

特開平 11-064190 (JP, A)

特開平 11-064192 (JP, A)

特開 2003-106966 (JP, A)

特開 2000-171365 (JP, A)

特開 2000-298083 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 3/00-3/62