

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6399976号  
(P6399976)

(45) 発行日 平成30年10月3日(2018.10.3)

(24) 登録日 平成30年9月14日(2018.9.14)

(51) Int.Cl.	F I
<b>G O 1 L 5/00 (2006.01)</b>	G O 1 L 5/00 F
<b>B 6 4 F 5/60 (2017.01)</b>	B 6 4 F 5/60

請求項の数 6 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-143116 (P2015-143116)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成27年7月17日 (2015.7.17)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2016-136127 (P2016-136127A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成28年7月28日 (2016.7.28)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成30年7月17日 (2018.7.17)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	14/337, 285	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成26年7月22日 (2014.7.22)		園田・小林特許業務法人
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ジョージソン, ゲイリー イー.
早期審査対象出願			アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100, メール コード 2ティー-42, ザ ボーイング カンパニー
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 鈍的衝撃を示す方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鈍的衝撃インジケータデバイスであって、  
 第 1 と第 2 の表面を備える基材 ( 2 ) と、  
 前記基材 ( 2 ) の前記第 1 の表面 ( 5 2 ) に近接して配置された多数の破裂可能な殻体 ( 8 ) であって、導電性流体 ( 2 0 ) が前記殻体の内容積の中に配置されていることを特徴とする、殻体 ( 8 ) と  
 を備え、  
前記導電性流体 ( 2 0 ) がコロイド黒鉛懸濁液を含む、鈍的衝撃インジケータデバイス  
 。

【請求項 2】

前記殻体 ( 8 ) は誘電材料で作られた中空微小粒 ( 6 ) である、請求項 1 に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【請求項 3】

前記基材 ( 2 ) はテープ又はアップリケの形態である、請求項 1 又は 2 に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【請求項 4】

第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) と、  
 前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) に接続された電圧源 ( 1 8 ) と  
 を更に備え、

前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) は、前記基材の前記第 1 の表面の一方の側に配置され、かつ、前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) が前記多数の殻体 ( 8 ) から漏出した導電性流体によって互いに電氣的に結合されることになるように、そして、前記多数の殻体からの導電性流体 ( 2 0 ) の不存在下では互いに電氣的に結合されないように、離間している、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【請求項 5】

前記導電性流体の不存在下では互いに電氣的に結合されない、第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) と、

前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) に接続された、無線周波数識別回路 ( 6 4 ) と  
を更に備え、

前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) は、前記基材 ( 2 ) の前記第 1 の表面の一方の側に配置され、かつ、前記第 1 と第 2 の電気伝導体 ( 1 2 、 1 4 ) が前記多数の殻体から放出された導電性流体 ( 2 0 ) の存在下で互いに電氣的に結合されうるように、構成され、離間している、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【請求項 6】

前記基材の前記第 1 の表面上に配置された導電性材料の第 1 の層と、

前記多数の殻体が配置される隙間を間に保って前記導電性材料の第 1 の層を覆う、導電性材料の第 2 の層と、

前記導電性材料の第 1 と第 2 の層に接続された電圧源 ( 1 8 ) と  
を備え、

前記導電性材料の第 1 と第 2 の層は、前記導電性材料の第 1 と第 2 の層が前記多数の殻体 ( 8 ) から漏出した導電性流体 ( 2 0 ) によって湿ったときに互いに電氣的に結合されることになるように、そして、前記多数の殻体 ( 8 ) からの導電性流体 ( 2 0 ) の不存在下では互いに電氣的に結合されないように、離間している、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

この開示は概して、構造物に対する高エネルギー衝撃をモニタ又は示すためのシステム及び方法に関する。より具体的には、この開示は、高エネルギー衝撃事象の強さと場所を測定するためのシステム及び方法に関する。

【0002】

構造部品への損傷が疑われる場合、慣例としては、非破壊評価 ( N D E ) 技術を使用して、損傷された可能性がある部品の構造完全性を評価する。N D E 技術が使用される場合、構造物の広い領域の走査が必要でありうることから、損傷の特定点の迅速な判断が困難なことがある。従って、損傷の正確な場所の容易な判断を可能にする技術を有することが望ましい。

【0003】

航空業界において、航空機は、貨物ベルトローダ、荷物カート、航空機燃料補給機、ケータリング車両、地上電源ユニット、エアポートバス、及び乗客用搭乗階段といった支援車両及び地上支援設備からの高エネルギー鈍的衝撃により、傷つきやすいことがある。高エネルギー鈍的衝撃が発生したというあらゆる指標にตอบสนองしての、慣例的な最初の保守手順は、航空機の損傷の補修などの適切な処置を決定するに足る、被衝撃領域の非破壊評価を実行することである。

【0004】

高エネルギー鈍的衝撃より傷つきやすい航空機構造物の表面上に衝撃テープ ( 色付きのインジケータ流体で満たされた破裂可能な微小粒を備えるもの ) を配置することによって

10

20

30

40

50

、誰にでも分かるように航空機への高エネルギー鈍的衝撃の視覚指標を発生させる方法は既知であるが、場合によっては、表面損傷の視覚指標が望まれないことがある。

【 0 0 0 5 】

航空機のような構造物に対する高エネルギー鈍的衝撃をモニタするか、又は示すための既存の技術には、改善の余地がある。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

本書で開示されている主題は、航空機のような構造物に対する高エネルギー鈍的衝撃をモニタすること、又は示すことを支援するために、流体で満たされた中空微小粒を使用する、システム及び方法を対象とする。多数の微小粒が、基材（例えばテープ又はアップリケ）の表面に適用されたコーティングに接着されるか、又はコーティングの中に埋設され、かかる基材は、モニタされるべき構造物の表面に接着されうる。微小粒は、一又は複数の特定の圧力閾値で破裂するように設計される。いくつかの実施形態では、微小粒は導電性流体で満たされ、導電性流体は、破裂した微小粒から放出された場合、基材の電磁的状态を変化させる。基材の電磁的状态における十分に大きな変化の検出に応答して、鈍的衝撃指標が生成される。衝撃個所には次いで、非破壊検査が行われうる。

10

【 0 0 0 7 】

下記に詳細が開示されている主題の一態様は、第 1 と第 2 の表面を備える基材と、前記基材の前記第 1 表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、殻体の内容積の中に配置された導電性流体を有する殻体とを備える、鈍的衝撃インジケータデバイスである。殻体は、誘電材料で作られた中空微小粒でありうる。基材は、テープ又はアップリケの形態でありうる。

20

【 0 0 0 8 】

一実行形態により、鈍的衝撃インジケータデバイスは、第 1 と第 2 の電気伝導体と、第 1 と第 2 の電気伝導体に接続された電圧源とを更に備え、第 1 と第 2 の電気伝導体は、基材の第 1 表面の一方の側に配置され、かつ、第 1 と第 2 の電気伝導体は多数の殻体から漏出した導電性流体によって互いに電気的に結合されることになるように、そして、多数の殻体からの導電性流体の不存在下では互いに電気的に結合されることにならないように、離間している。第 1 の電気伝導体を通して流れる電流の大きさを測定するために、メータが提供されうる。

30

【 0 0 0 9 】

別の実行形態により、鈍的衝撃インジケータデバイスは、導電性流体の不存在下では互いに電気的に結合されない第 1 と第 2 の電気伝導体と、第 1 と第 2 の電気伝導体に接続された無線周波数識別回路とを更に備え、第 1 と第 2 の電気伝導体は、基材の第 1 表面の一方の側に配置され、かつ、第 1 と第 2 の電気伝導体は多数の殻体から放出された導電性流体の存在下では互いに電気的に結合されうるように、構成され、離間している。この実行形態では、無線周波数識別回路は、第 1 と第 2 の電気伝導体に結合されたトランシーバと、無線周波数識別回路を一意的に識別する情報を保存する不揮発性メモリとを備えうる。

【 0 0 1 0 】

更なる実行形態により、鈍的衝撃インジケータデバイスは、基材の第 1 表面上に配置された導電性材料の第 1 の層と、多数の殻体が配置される隙間を間に保って第 1 層の導電性材料を覆う、導電性材料の第 2 の層と、導電性材料の第 1 と第 2 の層に接続された電圧源とを更に備え、導電性材料の第 1 と第 2 の層は、多数の殻体から放出された導電性流体によって濡れた場合に、導電性材料の第 1 と第 2 の層が互いに電気的に結合されることになるように、かつ、多数の殻体からの導電性流体の不存在下では互いに電気的に結合されることにならないように、離間している。

40

【 0 0 1 1 】

下記に詳細が開示されている主題の別の態様は、基材と、基材上に配置されるか、又は基材の中に埋設され、かつ、第 1 と第 2 の端子を有する、破断可能な電気伝導体と、破断可能な電気伝導体の第 1 と第 2 の端子に接続された電圧源と破断可能な電気伝導体に電気

50

的に接続された導通インジケータとを備える、鈍的衝撃インジケータデバイスである。任意には、鈍的衝撃インジケータデバイスは、基材の表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、破断可能な電気伝導体を内包する領域の上に分布し、各々が内容積を有する殻体と、多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを更に備える。

#### 【 0 0 1 2 】

本書で開示されている主題の更なる態様は、鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、構造物の表面に基材を取り付けることを含み、基材は、それに接着されるか、又はその中に埋設された多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する殻体と、多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを備え、かつ、基材の導電率の変化を検出することを含む。一実施形態により、基材の導電率の変化を検出するステップは、基材に近接してコイルを配置することと、第1と第2の時間間隔において、コイルを通して交流電流が流れるようにすることとを含み、交流電流の大きさ、及びコイルを基材から隔てる距離は、基材に渦電流を誘導するように選択され、かつ、第1の時間間隔におけるコイルの第1のインピーダンスと、第2の時間間隔におけるコイルの第2のインピーダンスとの間のいかなる相違も測定することを含む。任意には、基材の導電率の変化を検出するステップは、第1と第2のインピーダンスの間の相違が特定の閾値を上回るか否かを判断することと、第1と第2のインピーダンスの間の相違が特定の閾値を上回る場合には、コイルが近接している構造物の領域に非破壊検査を実行することとを更に含む。

#### 【 0 0 1 3 】

更に別の態様は、鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、構造物の表面に基材を取り付けることを含み、基材は、基材の表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する殻体と、多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを備え、かつ、殻体からの導電性流体の漏出を示す、基板の熱的状态の変化を検出することを含む。一実施形態により、基材の熱的状态の変化を検出するステップは、重複しない第1と第2の時間間隔において、(a) 基材に近接してコイルを配置するステップと、(b) コイルが基材に近接している間に、コイルを通して交流電流が流れるようにするステップと、(c) コイル内の交流電流によって導電性流体に誘導された渦電流により、ステップ(b)において基材の一領域が加熱された後に、コイルを取り除くステップと、(d) コイルを取り除いた後に、熱画像化カメラを使用して、加熱された基材のその領域の熱画像を取得するステップとを、実行することを含む。好ましくは、基材の熱的状态の変化を検出するステップは、第1の時間間隔において取得された第1の熱画像を、第2の時間間隔において取得された第2の熱画像と比較することを更に含む。方法は、第1と第2の熱画像間の相違を表す画像を表示することを更に含む。

#### 【 0 0 1 4 】

別の態様は、鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、基材上に、無線周波数識別回路、及び、第1と第2の蛇状電気伝導体であって、無線周波数識別回路の端子のそれぞれに電氣的に接続された、それぞれの第1端子と、互いに電氣的に接続されていない、それぞれの第2端子とを有する、第1と第2の蛇状電気伝導体を配置することと、多数の破裂可能な殻体であって、各々が導電性流体で少なくとも部分的に満たされた内容積を有する殻体を、第1と第2の蛇状電気伝導体の上に配置することと、無線周波数識別回路が横断する空間の容積を通じて無線周波数信号を送信することによって、無線周波数識別回路に問い合わせを行うこととを含み、第1と第2の蛇状電気伝導体が多数の殻体から漏出した導電性流体によって互いに電氣的に結合されている場合、無線周波数識別回路による、問い合わせに対するいかなる応答も、形成されたアンテナのインピーダンスの関数である周波数を有することになる。

#### 【 0 0 1 5 】

開示されている主題の更なる態様は、表面を有する基材と、基材の表面に近接して配置

10

20

30

40

50

された第1の多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する、第1の多数の殻体と、第1の多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された、第1のpHレベルを有する第1の流体と、第1の多数の破裂可能な殻体に隣接して配置された、pH感応材料の層とを備える、鈍的衝撃インジケータデバイスである。この鈍的衝撃インジケータデバイスは、第1の多数の破裂可能な殻体と混在する、第2の多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する第2の多数の殻体と、第2の多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された、第1のpHレベルとは異なる第2のpHレベルを有する第2の流体とを更に備えうる。

【0016】

開示されている主題の態様は、更に下記を含む。

10

A1．鈍的衝撃インジケータデバイスであって、  
第1と第2の表面を備える基材と、

前記基材の前記第1表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、殻体の内容積の中に配置された導電性流体を有する殻体とを備える、鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0017】

A2．前記殻体は誘電材料で作られた中空微小粒である、A1に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0018】

A3．前記基材の第2表面上に接着剤の層を更に備える、A1又はA2に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

20

【0019】

A4．前記基材はテープ又はアップリケの形態である、A1からA3のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0020】

A5．第1と第2の電気伝導体と、

前記第1と第2の電気伝導体に接続された電圧源とを更に備え、

前記第1と第2の電気伝導体は、前記基材の前記第1表面の一方の側に配置され、かつ、前記第1と第2の電気伝導体が前記多数の殻体から漏出した導電性流体によって互いに電氣的に結合されることになるように、そして、前記多数の殻体からの導電性流体の不存在下では互いに電氣的に結合されることにならないように、離間している、A1からA4のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

30

【0021】

A6．前記第1と第2の電気伝導体は蛇状である、A5に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0022】

A7．前記第1の電気伝導体を通して流れる電流の大きさを測定するためのメータを更に備える、A5又はA6に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0023】

A8．導電性流体の不存在下では互いに電氣的に結合されない、第1と第2の電気伝導体と、

40

前記第1と第2の電気伝導体に接続された無線周波数識別回路とを更に備え、

前記第1と第2の電気伝導体は、前記基材の前記第1表面の一方の側に配置され、かつ、第1と第2の電気伝導体が前記多数の殻体から放出された導電性流体の存在下では互いに電氣的に結合されうるように、構成され、離間している、A1からA4のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0024】

A9．前記無線周波数識別回路は、前記第1と第2の電気伝導体に結合されたトランシーバと、前記無線周波数識別回路を一意的に識別する情報を保存する不揮発性メモリとを備える、A8に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

50

## 【 0 0 2 5 】

A 1 0 . 前記基材の前記第 1 表面上に配置された導電性材料の第 1 の層と、  
前記多数の殻体が配置される隙間を間に保って前記第 1 層の導電性材料を覆う、導電性材料の第 2 の層と、

導電性材料の前記第 1 と第 2 の層に接続された電圧源とを更に備え、

導電性材料の前記第 1 と第 2 の層は、前記多数の殻体から放出された導電性流体によって濡れた場合に、導電性材料の前記第 1 と第 2 の層が互いに電氣的に結合されることとなるように、かつ、前記多数の殻体からの導電性流体の不存在下では互いに電氣的に結合されることにならないように、離間している、A 1 から A 4 のいずれか一項に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

10

## 【 0 0 2 6 】

B 1 . 鈍的衝撃インジケータデバイスであって、

基材と、

前記基材上に配置されるか、又は前記基材の中に埋設され、かつ、第 1 と第 2 の端子を有する、破断可能な電気伝導体と、

前記破断可能な電気伝導体の前記第 1 と第 2 の端子に接続された電圧源と、

前記破断可能な電気伝導体に電氣的に接続された導通インジケータとを備える、鈍的衝撃インジケータデバイス。

## 【 0 0 2 7 】

B 2 . 前記破断可能な電気伝導体は蛇状の、又は螺旋形の構成を有する、B 1 に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

20

## 【 0 0 2 8 】

B 3 . 前記基材の表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、前記破断可能な電気伝導体を内包する領域の上に分布しており、各々が内容積を有する殻体と、

前記多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを更に備える、B 1 又は B 2 に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

## 【 0 0 2 9 】

C 1 . 鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、

構造物の表面に基材を取り付けることを含み、基材は、それに接着されるか、又はその中に埋設された多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する殻体と、前記多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを備え、かつ、

基材の導電率の変化を検出することを含む、方法。

30

## 【 0 0 3 0 】

C 2 . 基材の導電率の変化の前記検出は、

基材に近接してコイルを配置することと、

第 1 と第 2 の時間間隔において、コイルを通して交流電流が流れるようにすることとを含み、前記交流電流の大きさ、及びコイルを基材から隔てる距離は、基材に渦電流を誘導するように選択され、かつ、

前記第 1 の時間間隔におけるコイルの第 1 のインピーダンスと、前記第 2 の時間間隔におけるコイルの第 2 のインピーダンスとの間のいかなる相違も測定することを含む、C 1 に記載の方法。

40

## 【 0 0 3 1 】

C 3 . 基材の導電率の変化の前記検出は、

前記第 1 と第 2 のインピーダンスの間の相違が特定の閾値を上回るか否かを判断することと、

前記第 1 と第 2 のインピーダンスの間の前記相違が前記特定の閾値を上回る場合に、コイルが近接している構造物の領域に非破壊検査を実行することとを更に含む、C 2 に記載の方法。

## 【 0 0 3 2 】

D 1 . 鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、

50

構造物の表面に基材を取り付けることを含み、基材は、基材の表面に近接して配置された多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する殻体と、前記多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された導電性流体とを備え、かつ、

基材の熱的状态の変化を検出することを含む、方法。

【0033】

D2．基材の熱的状态の変化の前記検出は、重複しない第1と第2の時間間隔において、

(a) 基材に近接してコイルを配置するステップと、  
(b) コイルが基材に近接している間に、コイルを通して交流電流が流れるようにするステップと、

(c) コイル内の交流電流によって導電性流体に誘導された渦電流により、ステップ(b)において基材の一領域が加熱された後に、コイルを取り除くステップと、

(d) コイルを取り除いた後に、熱画像化カメラを使用して、加熱された基材のその領域の熱画像を取得するステップとを実行することを含む、D1に記載の方法。

【0034】

D3．基材の熱的状态の変化の前記検出は、

前記第1の時間間隔において取得された第1の熱画像を、前記第2の時間間隔において取得された第2の熱画像と比較することを更に含む、D2に記載の方法。

【0035】

D4．前記第1と第2の熱画像間の相違を表す画像を表示することを更に含む、請求項D3に記載の方法。

【0036】

E1．鈍的衝撃による損傷について構造物をモニタするための方法であって、

基材上に、無線周波数識別回路、及び、第1と第2の蛇状電気伝導体であって、無線周波数識別回路の端子のそれぞれに電氣的に接続された、それぞれの第1端子と、互いに電氣的に接続されていない、それぞれの第2端子とを有する、第1と第2の蛇状電気伝導体を配置することと、

第1と第2の蛇状電気伝導体の上に、多数の破裂可能な殻体であって、各々が導電性流体で少なくとも部分的に満たされた内容積を有する殻体を配置することと、

無線周波数識別回路が横断する空間の容積を通じて無線周波数信号を送信することによって、無線周波数識別回路に問い合わせを行うこととを含み、

第1と第2の蛇状電気伝導体が、多数の殻体から漏出した導電性流体によって互いに電氣的に結合されている場合、無線周波数識別回路による、問い合わせに対するいかなる応答も、形成されたアンテナのインピーダンスの関数である周波数を有することになる、方法。

【0037】

F1．鈍的衝撃インジケータデバイスであって、

表面を有する基材と、

前記基材の前記表面に近接して配置された第1の多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する、第1の多数の殻体と、

前記第1の多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された、第1のpHレベルを有する第1の流体と、

前記第1の多数の破裂可能な殻体に隣接して配置された、pH感応材料の層とを備える、鈍的衝撃インジケータデバイス。

【0038】

F2．前記第1の多数の破裂可能な殻体と混在した、第2の多数の破裂可能な殻体であって、各々が内容積を有する、第2の多数の殻体と、

前記第2の多数の殻体のそれぞれの殻体の内容積の中に配置された、前記第1のpHレベルとは異なる第2のpHレベルを有する第2の流体とを更に備える、F1に記載の鈍的衝撃インジケータデバイス。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 9 】

航空機のような構造物に対する高エネルギー鈍的衝撃をモニタするか、又は示すためのシステム及び方法の他の態様が下記で開示され、特許請求される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 4 0 】

【図 1】いくつかの実施形態による、導電性流体で満たされた破裂可能な微小粒を備える、鈍的衝撃インジケータテープの側面図を表している。

【図 2】代替的な実施形態による、鈍的衝撃インジケータテープの一部分の断面図を表している。

【図 3】構造物の表面上に、又は表層内に分布する中空微小粒からの導電性流体の漏出によって引き起こされた磁界外乱を検出するための誘導コイルを備えるプローブを使用する、構造物の非破壊検査のための装置の構成要素を示すブロック図である。

10

【図 4】構造物の表面上に、又は表層内に分布する中空微小粒からの導電性流体の漏出によって引き起こされた磁界外乱を検出するための誘導コイルを備えるプローブを使用する、構造物の非破壊検査のための自動化走査装置の構成要素を示すブロック図である。

【図 5】構造物の表層内に分布する中空微小粒からの導電性流体の漏出によって引き起こされた磁界外乱を検出するための、誘導コイルの使用を示す図である。

【図 6】代替的な実施形態による、導電性流体が満たされた微小粒を包含する構造物内に渦電流を生成し、かつ、鈍的衝撃事象の前後に熱画像を捕捉するための、システムの構成要素を示す図である。

20

【図 7 A】別の実施形態による、導電性流体で満たされた破裂可能な微小粒でコーティングされた基材と、微小粒が無傷である時には電氣的に結合されない電気伝導体と、電圧源とを備える、鈍的衝撃インジケータシステムの上面図を表しており、全ての微小粒が無傷である時のシステムを示す。

【図 7 B】別の実施形態による、導電性流体で満たされた破裂可能な微小粒でコーティングされた基材と、微小粒が無傷である時に電氣的に結合されない電気伝導体と、電圧源とを備える、鈍的衝撃インジケータシステムの上面図を表しており、いくつかの微小粒が破裂し、導電性流体が放出された後のシステムを示す。

【図 8】図 7 A 及び図 7 B に示すシステムを使用して、直接的な視覚指標なく、鈍的衝撃のレベル（すなわち強さ）及び場所の測定を提供するための、方法のステップを示すフロー図である。

30

【図 9】代替的な実施形態による、いくつかの受動型 R F I D チップを備える鈍的衝撃インジケータの上面図を表している。

【図 1 0】図 9 に示した鈍的衝撃インジケータに組み込まれた種類の受動型 R F I D チップの（拡大）上面図を表している。

【図 1 1】構造物にインストールされた能動型 R F I D チップに保存された鈍的衝撃データの読み取りが可能な R F I D 読取装置を備えるシステムの、構成要素を示すブロック図である。

【図 1 2】別の実施形態による、破断可能な電気伝導体（例えばワイヤ）のマトリクスを備える鈍的衝撃インジケータの上面図を表している。

40

【図 1 3】図 1 2 に示した鈍的衝撃インジケータの断面図を表している。

【図 1 4】p H 感応紙、及び、破裂した微小粒から放出された時に通常光又は他の光（U V、I R 等）の下で視認可能な色変化を発生させることになる p H レベルを有する流体で満たされた中空微小粒を備える、鈍的衝撃インジケータの断面図を表している。

【図 1 5】更なる実施形態による、鈍的衝撃インジケータテープの一部分の断面図を表している。

【図 1 6】航空機の製造及び保守方法のフロー図である。

【図 1 7】航空機のシステムを示すブロック図である。以下で図を参照するが、異なる図の中の類似の要素には同一の参照番号が付される。

【発明を実施するための形態】

50



## 【 0 0 4 1 】

流体で満たされた微小粒を用いる鈍的衝撃インジケータの様々な実施形態は、例示目的でのみ、以下で詳細に説明される。これらの鈍的衝撃インジケータは、接着裏材と共に、基材（例えばテープ又はアップリケ）の形態で、構造物の表面上に適用されうる。微小粒は、基材に接着されるか、又は基材に適用されたコーティングの中に埋設されうる。

## 【 0 0 4 2 】

前述の種類の鈍的衝撃インジケータの第 1 の例示的な実施形態が、図 1 に概略的に示されている。この鈍的衝撃インジケータは、接着材料の層 4（以下「接着層 4」）を用いて基材 2 の一表面に取り付けられ、その表面上に分布する、多数の中空微小粒 6 を有する基材 2 を備える。任意には、微小粒 6 はカバー層 5 2 によって覆われる。

10

## 【 0 0 4 3 】

基材 2 は種々の形態をとりうる。場合によっては、基材 2 は、プラスチック材料の細片を含むテープの形態をとりうる。他の場合には、基材は、プラスチック材料の薄型シートを含むアップリケの形態をとりうる。「テープ」及び「アップリケ」という用語は、本書で使用する際には、異なる範囲の幅を有する基材をそれぞれ表し、テープの幅はアップリケの幅を下回る。テープ又はアップリケは、切断して、航空機などの構造物の表面に張り付けることが可能である。

## 【 0 0 4 4 】

代替的には、図 2 の断面図に示すように、微小粒 6 は、基材 2 の外表面上に適用されたコーティング 5 1 の中に埋設されうる。接着層 4 が基材 2 の第 1 表面 2 a に接着される一方、接着裏材 1 0 は基材 2 の第 2 表面 2 b に接着される。任意には、基材 2 は、基材 2 が構造物の表面（図 1 及び図 2 には図示せず）に接着される前に接着裏材 1 0 を覆って防護する、剥離フィルム（図示せず）を更に備えうる。

20

## 【 0 0 4 5 】

図 2 に示すように、各微小粒 6 は、殻体 8 が無傷である時に内容積を画定する殻体 8 を備える。各殻体 8 は、特定の破裂強度を有する誘電材料で作られうる。いくつかの応用においては、殻体 8 はおおよそ同一の破裂強度を有しうるが、他の応用においては、殻体 8 の別々のサブグループは異なる破裂強度を有しうる。

## 【 0 0 4 6 】

更に図 2 を参照するに、各殻体 8 の内容積は、導電性流体 2 0 で満たされる（又は部分的に満たされる）。鈍的衝撃インジケータが取り付けられる下層構造（図 1 及び図 2 には図示せず）が、多数の殻体 8 の少なくとも一部の破裂を引き起こすに足る強さの鈍的衝撃を受けた場合、破裂した殻体から導電性流体 2 0 の一部又は全部が流出、滲出若しくは漏出して、下記で説明する目的のために、鈍的衝撃の領域に流体の液溜まり又はその他の集積を形成することになる。

30

## 【 0 0 4 7 】

図 2 に示すように、鈍的衝撃インジケータデバイスは、好ましくは、多数の密集した中空微小粒 6 を備える。微小粒 6 の誘電殻体 8 は、ガラス、プラスチック又はセラミックで作られうる。しかし、殻体 8 が球形であることは、本発明を実践するために重要ではない。他の（すなわち球形ではない）中空構造物を用いることも可能である。導電性流体 2 0 は、特定の環境エンベロープの要件を満たすために、他の添加剤（界面活性剤、溶媒、不凍液など）で希釈することが可能なコロイド黒鉛懸濁液（例えば微細で純粋なコロイド黒鉛を水中溶解した調整液）を含むがそれらだけに限定されない、任意の適切な流体ベースでありうる。

40

## 【 0 0 4 8 】

導電性流体 2 0 の放出は、鈍的衝撃の領域における構造物の電磁挙動を変化させうる。より具体的には、衝撃領域内の破裂した微小粒から導電性流体が漏出した後の構造物の電磁挙動は、微小粒が無傷である時（その場合、中空微小粒の内部の導電性流体の個々の容量は、無傷の誘電殻体によって互いから絶縁されている）の、同じ領域の電磁挙動とは異なるものになる。鈍的衝撃による電磁特性のこの変化は、種々の方法で検出されうる。

50

## 【 0 0 4 9 】

図 3 は、電源 8 2 に、及び、検査される構造物の表面上又は表層内に分布する中空微小粒 6 からの導電性流体の漏出によって引き起こされた磁界外乱を検出する、検出システム 8 4 に接続された、誘導コイル（図 3 には図示せず）を備えるプローブ 8 0 を使用する、構造物の非破壊検査のための装置の構成要素を示すブロック図である。検査される構造物は、航空機の一部、例えば胴体部の、外板でありうる。

## 【 0 0 5 0 】

一実施形態により、プローブ 8 0 は、検査される領域に近接して配置される。次いで電源 8 2 がオンに切り替えられる。電源 8 2 は特定の周波数で交流電流を生成し、かかる交流電流は、プローブ 8 0 の誘導コイルを通して流れる。結果としてコイルから放出される電磁波放射は、次いで渦電流を、近接するいかなる電気伝導体にも（例えば、検査されている構造物の表面上又は表層内の破裂した微小粒から漏出したいかなる導電性流体にも）誘導する。これらの渦電流は次いで、より多くの電磁波放射を生成し、それによって、駆動された誘導コイルが発生させる磁界を外乱する。

## 【 0 0 5 1 】

更に図 3 を参照するに、検出システム 8 4 は、誘導コイルによって生成された磁界における外乱又は変化を数量化するよう構成された、回路装置（例えばプロセッサ）を備える。一例では、磁界の外乱又は変化は、プローブ 8 0 の誘導リアクタンスの変化を通じて検出される。検出システム 8 4 は、技術者が、検査されている構造物の種々の区域上でプローブ 8 0 を移動させる際に、磁界に対する外乱による誘導リアクタンスの変化を視覚化できるように、これらの変化を提示する表示を更に含む。

## 【 0 0 5 2 】

図 3 に示す例では、プローブ 8 0 は、検査を実行している技術者によって移動可能な携帯型ユニットでありうる。検出システム 8 4 は、微小粒 6 が破裂した後に、プローブの誘導リアクタンスにおける変化をパラメータデータを表す電気信号に変換するように構成されたハードワイヤードの電子回路、又は、そのようにプログラムされたプロセッサであり、かかるパラメータデータは次いで、微小粒 6 が無傷であった時、すなわち鈍的衝撃事象以前に前もって取得された、メモリに保存されている基準パラメータデータと比較される。

## 【 0 0 5 3 】

図 4 は、誘導コイルを備えるプローブを使用する、構造物の非破壊検査のための自動化走査装置の構成要素を示している。ここでも、前もって構造物の表面上又は表層内に分布している中空微小粒 6 から滲出した導電性流体の存在に起因する、磁界外乱を検出するために、誘導コイルが使用されうる。この実施形態では、プローブ 8 0 は、スキャナ 8 8 のアーム 8 6 のエンドエフェクタに装着される。システムは、スキャナ 8 8 を制御し、かつ、表示画面 9 2 上に提示するための誘導リアクタンスデータをプローブ 8 0 から受信する、コンピュータ 9 0 を更に備える。スキャナ 8 8 は、プローブ 8 0 のための電源も提供しうる。

## 【 0 0 5 4 】

図 4 に示す例では、コンピュータ 9 0 は、検査されるべき領域の上での、及びそこに近接しての、スキャナ 8 8 によるアーム 8 6 の移動を指示するための、指令を生成する。電源は、電流の方向が交替するにつれて強まったり弱まったりする、変動的な磁界を生成するために、プローブ 8 0 の誘導コイルを通じて特定の周波数で交流電流を送出する。ここでも、プローブ 8 0 によって生成された磁界は、鈍的衝撃事象によって微小粒 6 から漏出したいかなる導電性流体の中でも、渦電流を引き起こし、かかる渦電流は次いで、検査される領域に近接してプローブ 8 0 が移動する際にプローブ 8 0 によって生成される磁界の外乱又は変化を引き起こす。構造物の種々の区域を走査した結果は、表示画面 9 2 上に提示されうる。この表示は、種々の磁界強度が異なる色で表示される、色分け表示として提示されうる。

## 【 0 0 5 5 】

プローブ 80 は、選択されたサイズ及び強度を有する磁界を生成するよう設計又は構成されうる。いくつかの例では、プローブ 80 によって生成される磁界のサイズ及び強度は、交流電流の周波数、プローブコイルの寸法と形状、及びコイルワイヤの直径といった、いくつかの異なるパラメータに基づいて構成又は選択されうる。これらのパラメータは、及びその他のパラメータも、特定の形状を有する磁界を選択又は生成するために、使用されうる。

#### 【0056】

図 5 は、磁界 M1 を生成し、次いで、検査される領域内の破裂した微小粒（図示せず）から漏出した導電性流体 96 の液溜まり又はその他の集積の存在による磁界外乱 M2 を検出するための、誘導コイル 94 の使用を示す図である。（破裂した殻体があることで導電性流体 96 の集積の描写を分かりにくくすることを避けるために、図 5 には無傷の微小粒 6 のみが示されている。）コイル 94 が交流電流で駆動されることに応答して、コイル 94 は、ある瞬間について図 5 の 6 本の湾曲した下向き点線矢印で示される、変動的な磁界 M1 を生成する。導電性流体 96 に誘導された渦電流は次いで、同一の瞬間について図 5 の 6 本の湾曲した上向き点線矢印で示される、変動的な磁界外乱 M2 を生成する。検査される領域上でコイルが移動する際、磁界外乱 M2 は変動する。磁界外乱 M2 は、プローブに接続された測定回路を使用して検出されうる。外乱は、コイル 94 の誘導リアクタンスの変化において検出される。リアクタンスは、キャパシタンス又はインダクタンスにより、交流電流の通過に対して電子部品が表出する、抵抗の一形態である。交流電流がリアクタンスを有する構成要素を通して流れる時に、エネルギーの磁界又は電界への貯蔵、及びそこからの放出が、交互に行われる。磁界の場合、リアクタンスは誘導性である。

#### 【0057】

図 5 に示す誘導コイル 94 は、図 3 及び図 4 を参照して上述された種類の任意のシステムにおいて使用されうる。導電性流体 96 は、鈍的衝撃において飛散した場合、誘導コイル 94 を使用して検出されうる。微小粒 6 の誘電殻体は、特定の圧力閾値の関数である破裂強度を備えて設計されうる。その場合、鈍的衝撃インジケータデバイスは、かかる閾値を超過する圧力を発生させるいかなる鈍的衝撃も、検出することが可能である。鈍的衝撃事象を検出するための誘導コイルの使用には、誰にでも視認可能な鈍的衝撃の指標がないという利点がある。その代わりに、整備担当者のみ、及び、検査されている構造物が航空機の場合には任意で運航乗員がアクセス可能な遠隔装置に、電氣的指標が送信されうる。

#### 【0058】

代替的な実行形態により、コイル 94 は、米国特許第 7,312,608 号において図示され、説明されている、携帯型導通検査装置の一部分でありうる。

#### 【0059】

図 6 は、代替的な実施形態によるシステムの構成要素を示す図である。このシステムによって実装された測定方法は、鈍的衝撃事象の前後に実行される、導電性流体で満たされた微小粒を包含する構造物の領域において、渦電流を生成するステップと、渦電流生成器を取り除き、次いで、渦電流によって加熱された領域の熱画像を捕捉するステップとを含む。図示の目的のために、図 6 は、表面に接着されたか、又は表面上のコーティングの中に埋設された中空微小粒を備えたアップリケ 96（点線の楕円で示されている）を有する、複合航空機胴体部 132 の一部分の検査を示している。中空微小粒の中の導電性媒体は、衝撃の際に飛散した場合、局所的に温度を上昇させるに十分な強度の渦電流を創出するために高出力無線周波数（RF）コイル 134 を使用して、画像化されることが可能であり、結果として得られた温度上昇は、熱画像化カメラ 136（例えば赤外線カメラ）を使用して画像化される。結果として得られた画像は、データ取得/制御コンピュータシステム 138 に電氣的に結合された表示モニタ 140 上に表示されることが可能であり、色の変動が鈍的衝撃の領域を示す。

#### 【0060】

この熱画像化方法は、高出力 RF コイル 134 をアップリケ 96 に近接して配置し、次いで、電磁場を生成するためにコイルを作動させることを含む。高出力 RF コイル 134

の励起周波数は、100から400kHzの範囲内でありうる。この範囲は、複合材料を貫通する電磁場を創出するために見出されたものである。磁界の変化によって渦電流が導電媒体に誘導されることは、良く知られている。例えば、磁界の変化は、コイルと導電媒体との相対運動から、又は、電磁場の経時変動によって、生じうる。適用された電磁場がより強力であるか、導電媒体の導電率が高くなるか、又は、運動の相対速度が速くなると、より大きな渦電流が生起される。図6に示す応用では、変動的な磁界によって誘導された渦電流は、アップリケ96のどこかの領域が、衝撃領域内の中空微小粒を破裂させるに足る圧力を伴う、鈍的物体による衝撃を受けたか否かに応じて、相違することになる。その結果として、衝撃領域内の渦電流は、衝撃領域外の渦電流よりも強力になる。衝撃領域の内側と外側との渦電流の強度の相違が、それに対応する種々の加熱の度合いを発生させることになる。コイルの励起電流は、加熱の制御を可能にするよう変調されたパルス幅でありうる。

10

#### 【0061】

方法は、過熱された領域の熱画像化を更に含む。より具体的には、アップリケ96内の導電性媒体についての電磁的状态情報を明らかにするために、導電媒体の熱画像が創出される。図6に示す実施形態では、熱画像は、熱画像化カメラ136を使用して生成される。他の実施形態では、熱画像は、複合構成要素の表面上に感熱フィルムを配置することによって創出されうる。感熱フィルムは、温度感応型であり、過熱された領域の光学的に視認可能な表現を生成する。かかる感熱フィルムは、米国特許第7,287,902号において詳細に説明されている。

20

#### 【0062】

図6に示すように、高出力RFコイル134は、制御可能な電源142によって電力供給される。電力供給されたRFコイル134を胴体部132の複合外板の表面に近接して配置することは、電流の流れをアップリケ96、及びアップリケ96の関連付けられた局所過熱に、誘導する。熱画像化カメラ136は、RFコイル134を取り除いた後に過熱されたアップリケ96の温度勾配を記録することを可能にするために、アップリケ96の全部又は一部を内包する視野を伴って、外板表面に方向付けられる。データ取得/制御コンピュータシステム138は、下記でより詳細に説明されるように、熱画像化カメラ136からのデータを記録し、かつ、様々な熱画像化技術のために、制御可能電源142の制御を提供する。

30

#### 【0063】

較差画像化プロセスを伴うある種の実施形態に関して、初期（例えば鈍的衝撃事象の前）及び最終（鈍的衝撃事象の後）のアップリケ96の画像が捕捉される。各々の場合において、誘導コイル134に電力が印加され、手動的な実施形態では、検査者/作業者が検査されるべき領域の上でコイル134を振り動かす。コイル134の所望の運動、及び、コイル134の外板表面からの距離は、コイル134の電力レベル、RF周波数、形状及びサイズに依拠する。コイルの電磁場は、アップリケ96及び下層外板のいかなる導電性領域内にも、渦電流を誘導的に生成する。導電性材料内で生成される渦電流は、局所電路に応じて、熱を生成するに足る強度のものになる。熱画像化カメラ136は、鈍的衝撃事象の前と後との相対加熱を画像化するために使用される。相対加熱は、ある種の実施形態に関して、初期画像値を最終画像値から差し引くことによって、較差熱画像化を使用して決定される。

40

#### 【0064】

図6に示すシステムでは、熱画像化カメラ136は、焦点面アレイ赤外線カメラを備えうる。コイル134によって生成された誘導電流は、励起技術を構成し、検査されたそれぞれの領域の電磁挙動におけるいかなる相違も明らかにする、温度勾配を生成する。誘導電流過熱は、アップリケ96の下層の構造物を損傷することなく過熱の制御を可能にするために、パルスの生成されうる。加えて、熱画像化カメラ136によって捕捉されたフレームは、画像が、電流がパルス調整される前に取得され、次いで電流がパルス調整された後に捕捉されうるように、（データ取得/制御コンピュータシステム138、及び制御

50

可能電源 1 4 2 に電氣的に結合された同期化ユニット 1 4 4 によって、) コイル 1 3 4 に供給された電流パルスと同期化されうる。データ取得/制御コンピュータシステム 1 3 8 は、熱画像化カメラ 1 3 6 と電源 1 4 2 の両方を制御し、かつ、カメラからのデータを保存するよう、プログラムされる。捕捉された熱画像化データの提示は、表示モニタ 1 4 0 上に提供され、追加処理のためにメモリに保存される。

#### 【0065】

自動化システムを用いる代替的な実施形態では、誘導コイルの運動は、データの同期化のためにコンピュータ制御システムによって制御された、外板表面に沿った運動、コイル励起、及び熱画像化を伴う、三軸位置付け装置を使用して達成される。

#### 【0066】

図 7 A 及び図 7 B は、別の実施形態による、導電性流体で満たされた破裂可能な微小粒 6 でコーティングされた基材 2 と、微小粒 6 が無傷である時に互いに電氣的に結合されない(開路 1 6 で示されている)一対の蛇状電気伝導体 1 2 及び 1 4 と、電圧源 1 8 (例えば電池)とを備える、鈍的衝撃インジケータシステムの上面図を表している。電気伝導体 1 2 及び 1 4 は、基材 2 の中に埋設された、又は基材 2 の上に印刷された、ワイヤ又は他の電流経路を備えうる。図 7 A は、全ての微小粒 6 が無傷であり、かつ、電気伝導体 1 2 、1 4 を通る電流が  $I = 0$  である時のシステムを示し、一方図 7 B は、いくつかの微小粒が破裂し、導電性流体が、放出されて導電性流体の液溜まり又は集積 2 0 を形成した後のシステムを示す。導電性の液だまり又は集積 2 0 の範囲が、電気伝導体 1 2 と 1 4 とを互いに電氣的に結合するに足る場合、電圧源 1 8 の電源端子からアース端子にわたる回路が閉じることになる。完結した回路を通して流れる電流  $I = I_d$  は、電流計 6 0 (又は他の電流検出器)によって検出されることが可能であり、電流計 6 0 は、微小粒殻体の強度によって規定された閾値を上回る衝撃を示すよう、警告装置 6 2 に警告信号を送信する。

#### 【0067】

「オームの法則」に従って、電圧源 1 8 の端子間にわたる発生可能な相違(すなわち端子電圧)が一定している時、電流  $I_d$  は、完結した回路の抵抗に反比例することになる。かかる抵抗は次いで、完結した回路の長さに正比例するが、これはつまり、電流  $I_d$  が完結した回路の長さに反比例することを意味する。ワイヤの位置がマッピングされていれば、次いで、電流計 6 0 によって測定された電流レベルから、衝撃の場所が決定されうる。

#### 【0068】

図 8 は、図 7 A 及び図 7 B に示すシステムを使用して、直接的な視覚指標なく、鈍的衝撃のレベル(すなわち強さ)及び場所の測定を提供するための、プロセスを示している。一対の電気伝導体が電圧源の端子に接続されており、かつ、互いには接続されていない時に、感知状態はオンになっている(状態 2 2)。図示の目的で、衝撃が発生したと仮定される(事象 2 4)。システムの応答は、図 8 の決定ブロック 2 6 に示すように、衝撃が微小粒破壊の閾値を上回るか否かに依拠することになる。微小粒が破裂していない場合、次いで通知は付与されず(オプション 2 8)、感知状態はオンのままである(状態 2 2)。反対に、微小粒が破裂した場合、次いで、中空微小粒の内部の導電性流体は衝撃個所の周囲で飛散することになる(事象 3 0)。十分な量の導電性流体が飛散した場合、次いで、導電性流体は、電圧端子を形成する電源ワイヤとアースワイヤとの間に電流経路を創出することになる(事象 3 2)。結果として得られた、完結した回路(すなわちループ)内の電流は、電流検出器によって検出され(ステップ 3 4)、電流検出器は、閾値を超過する衝撃が発生したことを示す信号 3 6 を出力する。また更に、電気伝導体(例えばワイヤ)の位置がマッピングされており、かつ、電流検出器が、完結した回路内の電流レベルの測定が可能な電流計の形態である場合には、次いで、かかる電流計は、衝撃場所プロセッサに電流レベルを示す信号を出力することになる。衝撃場所プロセッサは、マッピングされたワイヤに対する衝撃の場所 4 0 を決定するルックアップテーブルに、電流レベルを入力しうる(ステップ 3 8)。

#### 【0069】

直流電圧源 1 8 (例えば、構造物に取り付けられていない電池)は、図 7 A 及び図 7 B

10

20

30

40

50

では、電流を感知するための一列になっている手段と共に示されている。衝撃が、対をなす蛇状電気伝導体 12 と 14 との間の回路を完結させる。そうでない場合、回路は存在せず、電流は測定されない。交流電流は直流電流よりも導線を通じての電圧降下が少ないことから、構造物に取り付けられていない何らかの種類の交流発電機にプラグ接続することが、より効率的な方法であろう。

#### 【0070】

図9は、代替的な実施形態による、鈍的衝撃インジケータの上面図を表している。この鈍的衝撃インジケータは、図7A及び図7Bに示した先行の実施形態と同一の原理（すなわち、衝撃個所に導電性流体を放出して、電子回路を完結させるために微小粒を破壊すること）で作動するが、その規模はより小さい。図9に示す実施形態は、基材（すなわちテープ又はアップリケ）の表面に接着されて、表面上に分布する、いくつもの受動型RFIDチップ42aから42dを備える。多数の中空微小粒6は、複数の微小粒6がRFIDチップ42aから42dのそれぞれの上を覆っている状態で、基材の表面に接着されるか、又は、基材の中に埋設される。衝撃を受けた微小粒を破裂させるに足る圧力を発生させる鈍的衝撃に応答して、衝撃個所の微小粒は破裂し、一又は複数のRFIDチップ42aから42dに重なっているかもしれない領域内に、導電性流体20を放出することになる。

10

#### 【0071】

図10に示すように、各受動型RFIDチップ42は、好ましくは、一对の蛇状電気伝導体12及び14に接続されたRFID集積回路64を備え、蛇状電気伝導体12及び14は、それらの間における導電性流体の不存在下では、互いに電氣的に接続されない。導電性流体の放出に응答して、電気伝導体12及び14は、完結した回路を形成して、これらの電気伝導体が、RFID読取装置との通信のためのアンテナコイルと、特定の閾値を上回る衝撃が発生した局所的領域を検出するための感知コイルとの、両方としての役割を果たすことを可能にする。閾値は、好ましくは、微小粒8の殻体の破裂強度の関数である。

20

#### 【0072】

RFID集積回路64は、情報を保存し、処理すること、無線周波数(RF)信号を変調し、復調すること、インシデント読取装置信号から直流電力を収集すること、及び他の特定の機能を実行する。電気伝導体12及び14は、導電性流体と電氣的に接続している時に、RF信号を受信し、送信するアンテナとしての役割を果たす。固有のFIDタグ情報は、各RFIDチップの不揮発性メモリに保存される。RFID集積回路64は、データを処理するために、チップワイヤードロジックか、プログラムされた又はプログラマブルなデータプロセッサのいずれかを含む。

30

#### 【0073】

図10は電気伝導体12及び14がRFIDチップ42の内部に組み込まれている実施形態を示すが、RFIDチップが取り付けられるテープ又はアップリケ上に印刷された電気伝導体12及び14を有することも、可能である。この代替的な実施形態による鈍的衝撃インジケータは、より少ないRFIDチップを使用して、より広い対象範囲を提供することが可能である。

40

#### 【0074】

導電性流体が中空微小粒8から放出されると、電気伝導体12及び14は、図7Bを参照して前述した状態で、完結した回路を形成することになる。ここでも、完結した回路内を流れる電流の大きさは、完結した回路の長さに反比例することになる。RFID集積回路64の応答は、放出された導電性流体によって変更される。受動型RFIDチップ42は、クエリされると、電気伝導体12及び14内の異なるインピーダンスにより、異なる周波数応答を有することになる。電気伝導体12及び14は、電氣的に接続されている時には、RFID読取装置のような別のデバイスと通信するためのアンテナとしての役割を果たす。前述の衝撃状況によるインピーダンスの変化は、感知されることが可能なアンテナ応答のシフトを引き起こすことになる。

50

## 【 0 0 7 5 】

図 9 に示す実施形態により、R F I D チップ 4 2 a から 4 2 d の各々は、受動的な種類のものである。受動型 R F I D チップが走査アンテナのフィールドを通過する時、R F I D チップ 4 2 の電気伝導体 1 2 及び 1 4 ( 図 1 0 参照 ) は、走査アンテナによって出力された R F 信号を捉え、次いで、固有の整理番号又は他のカスタマイズされた情報のような何らかの追加的データと共に、その信号を返送する。より具体的には、蛇状電気伝導体 1 2 及び 1 4 は、R F I D チップが電磁場から電力を引き出して、それによって R F I D チップの回路を励起する、電磁場を生成する。R F I D 回路 6 4 のトランシーバは、次いで、不揮発性メモリ内でエンコードされ、かつそこから読み出された、識別情報を送信する。

10

## 【 0 0 7 6 】

代替的には、R F I D チップは能動的な、つまり、各チップがそれ自体の電圧源 ( 例えば電池 ) によって電力供給される種類でありうる。図 1 1 は、電圧源 1 8 によって電力供給される R F I D 集積回路 6 4 と、R F I D 集積回路 6 4 によって送信されたセンサデータを受信することが可能な R F I D 読取装置 6 6 とを備えるシステムの、構成要素を示している。前述のように、モニタされる構造物の衝撃領域の内部に接着された R F I D チップは、R F I D 読取装置 6 6 によってクエリされると、電気伝導体 1 2 及び 1 4 内のインピーダンスの変化により、異なる周波数応答を有することになる。電気伝導体 1 2 及び 1 4 は、電氣的に接続されている時には、衝撃感知コイルと R F I D 読取装置 6 6 と通信するためのアンテナとの、両方としての役割を果たす。R F I D 読取装置 6 6 は、その電力出力、及び使用される無線周波数に応じて電波を発する。放出された導電性流体と共に R F チップが R F I D 読取装置 6 6 の電磁帯を通過する時に、R F I D 集積回路 6 4 は、読取装置の起動信号を検出する。R F I D 読取装置 6 6 は、R F I D 集積回路 6 4 の不揮発性メモリ内でエンコードされたチップ識別データをデコードし、かかるチップ識別データは、処理のためにホストコンピュータに ( 変化後の R F I D チップの周波数応答を表すデータと共に ) 送られる。構造物に接着されたテープ又はアップリケ上で複数の R F I D チップがマッピングされている場合、鈍的衝撃を示す周波数応答を有するいかなる R F I D チップの識別も、それらの場所及び衝撃領域の範囲を決定するように処理されうる。

20

## 【 0 0 7 7 】

代替的な実施形態による鈍的衝撃インジケータが、図 1 2 に概略的に示されている。任意には、このインジケータシステムは、以下で説明される目的のために、内部に埋設された多数の中空微小粒 6 ( 色付きの流体で満たされている ) を有する層又はコーティングを取り込みうる。図 1 2 に示す実行形態では、破断可能材料 ( 例えばワイヤ ) で作られた蛇状電気伝導体 4 4 が、基材 2 ( 例えばテープ又はアップリケ ) 上に、又は基材の中に配置され、かかる基材は次いで、モニタされるべき構造物の表面上に適用される。代替的には、他の何らかの形状 ( 例えば螺旋形 ) を有する電気伝導体のグリッドが用いられうる。

30

## 【 0 0 7 8 】

図 1 2 に示すように、蛇状電気伝導体 4 4 は、電源 5 0 の電圧端子にそれぞれ接続された一対の端子を有する。従って、蛇状電気伝導体 4 4 が完全に初期のままである時に、電流は、( 直列に接続された ) 電気伝導体 4 8、4 4 及び 4 6 を経由して、導通インジケータ 4 9 を通って流れる。一実行形態では、導通インジケータ 4 9 は、電球又は L E D ほど単純であるか、或いは、導電の喪失により電圧が降下する時に起動されるコンピュータ制御のプログラムのよう、より複雑である可能性もある。

40

## 【 0 0 7 9 】

蛇状電気伝導体 4 4 の上を覆う領域における鈍的衝撃に応答して、電気伝導体 4 4 の一又は複数の曲がり目が破断することがあり、その場合、導通インジケータ 4 9 を通る電流の流れが停止することになる。この状態において、導通インジケータ 4 9 は、技術者に対して、鈍的衝撃事象が発生したことを示すが、衝撃個所の場所又は範囲は示さない。任意には、( 図 1 3 に提示する断面図に示すように ) 衝撃の前に微小粒 6 ( 色付きの流体で満たされている ) が蛇状電気伝導体 4 4 によって占められた領域の上に分布していた場合、

50

十分な圧力を負荷するいかなる衝撃も、一又は複数の微小粒 6 の破裂を引き起こすことになり、この場合、放出された色付きの流体が、衝撃個所の場所及び範囲の視覚指標を技術者に提供する。

【 0 0 8 0 】

代替的な実行形態により、破断可能な電気伝導体は、構造物に接着された基材上の導電性メッシュの形態をとりうる。破断可能な電気伝導体の一部を破断するに足る力の鈍的衝撃事象が発生した場合には、破断の領域は、前述のように、誘導コイルを、単独で使用するか又は熱画像化カメラと併用して検出されうる。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 は、別の実施形態による、流体で満たされた微小粒を使用する、鈍的衝撃インジケータの断面図を表している。この場合、インジケータは、モニタされるべき構造物の表面に接着されることになる基材 2（すなわちテープ又はアップリケ）と、基材 2 に積層されるコーティング又は材料層の中に分布する、多数の中空微小粒 6 と、埋設された微小粒 6 を包含するコーティング又は層に積層される、pH 感応紙のシート 5 4 と、pH 感応紙 5 4 を覆って防護する、透明な防護層 5 2 とを備える。一実行形態では、中空微小粒 6 は、破裂した微小粒から流体が放出されると通常光又は他の光（UV、IR 等）の下で pH 感応紙 5 4 に視認可能な色変化を発生させることになる pH レベルを有する流体で、満たされる。微小粒 6 の殻体の全てが同一の破裂強度を有する場合、次いで、pH 感応紙 5 4 の色が変化している部分は、衝撃の際に負荷された圧力が破裂強度に対応する閾値を超過している領域の、場所及び範囲を示すことになる。

【 0 0 8 2 】

代替的な実行形態により、中空微小粒 6 の殻体は、種々の破裂強度を有し、かつ、異なる pH レベルを有する流体で満たされうる。例えば、比較的低い破裂強度を有する第 1 の多数の微小粒は、第 1 の pH レベルを有する流体で満たされ、比較的高い破裂強度を有する第 2 の多数の微小粒は、第 1 の pH レベルとは異なる第 2 の pH レベルを有する流体で満たされうる。インジケータが、第 1 の多数の微小粒を破裂させるに足るが、第 2 の多数の微小粒を破裂させるには十分でない衝撃を受ける場合、次いで、第 1 の pH レベルを有する流体のみが放出され、それによって、pH 感応紙 5 4 の、元の色から第 1 の色への色変化を引き起こすことになる。インジケータが、第 1 と第 2 の多数の微小粒を破裂させるに足る衝撃を受ける場合、次いで、第 1 の pH レベルを有する流体と第 2 の pH レベルを有する流体とが放出され、それによって、pH 感応紙 5 4 の、元の色から第 1 の色とは異なる第 2 の色への色変化を引き起こすことになる。

【 0 0 8 3 】

いくつかの実施形態では、微小粒殻体の耐破裂性（すなわち破裂強度）の変動は、多数の微小粒のそれぞれの壁の厚さを変えることによって、達成されうる。上記の例では、第 1 の多数の微小粒の壁厚は、第 2 の多数の微小粒の壁厚よりも薄いものでありうる。他の実施形態では、微小粒殻体の耐破裂性の変動は、当業者には既知の代替的な方法又は技術を使用して、達成されうる。ゆえに、滲出した流体は、場所をマーキングすると共に、表面に印加された鈍的衝撃力の強さを示しうる。

【 0 0 8 4 】

鈍的衝撃指標が容易に視認可能になることが特に望まれない場合については、微小粒は、放出されると裸眼では視認不可能であるが、UV 光又は IR 光を使用して見出されうる、UV 蛍光又は IR 蛍光の透明な染料で満たされうる。別の実施形態により、透明流体が微小粒の内部に包含され、かかる透明流体は、放出されると、検査者が適用する顕色剤の噴霧によって化学的に活性化された場合にのみ、視認可能になる。代替的な実施形態により、微小粒は、互いに接触状態になると反応して色付きのインジケータを創出する、少なくとも 2 つの分離された液体を包含する。

【 0 0 8 5 】

図 1 5 は、更に別の実施形態による、鈍的衝撃インジケータテープの一部分の断面図を表している。導電性流体で満たされた多数の中空微小粒 6 は、誘電材料の層（図示せず）



の中に埋設され、かかる誘電層は相互に対面する一対の導電性層 5 6 及び 5 8 の間に挟持されて、これが大型コンデンサを形成する。導電性層 5 6 及び 5 8 は、電気コネクタ 4 6 及び 4 8 を経由して、電圧源 5 0 の電圧端子と、導通インジケータ 4 9 のそれぞれの端子とにそれぞれ電氣的に結合される。微小粒 6 が無傷に保たれている時、導電性層 5 6 と 5 8 とを隔てる空間内における導電性流体の不存在により、一方の導電性層 5 6 又は 5 8 から他方の層へと流れる電流は存在しないことになる。反対に、鈍的衝撃において破裂した微小粒の数が、導電性層 5 6 と 5 8 とを繋ぐのに十分な導電性流体を放出するに足る場合、次いで、一方の導電性層 5 6 又は 5 8 から他方へと電流が流れうる。鈍的衝撃を示すこの電流の流れが、導通インジケータをオンに切り替えることになる。前記のように、導通インジケータ 4 9 は、電球又は L E D であるか、又は、完結した回路を通して電流が流れると起動される、コンピュータ制御のプログラムでありうる。

10

#### 【 0 0 8 6 】

誰にでも容易に視認可能な指標を回避する代替的な実施形態により、微小粒は、放出されると裸眼では視認不可能であるが、U V 光又は I R 光を使用して見出されうる、U V 蛍光又は I R 蛍光の透明染料で満たされうるか、或いは、微小粒は、放出されると、検査者が適用する顕色剤の噴霧によって化学的に活性化された時にのみ視認可能になる、透明流体で満たされうる。

#### 【 0 0 8 7 】

更なる代替的な実施形態により、微小粒は、微小粒の破裂の前には分離されており、次いで互いに接触状態になると互いに反応して、それによって色付きの（すなわち視認可能な）インジケータを創出する、少なくとも 2 つの液体で満たされうる。

20

#### 【 0 0 8 8 】

上記で開示されているシステム及び方法の各々は、図 1 7 に示すような航空機 1 0 2 に対する高エネルギー鈍的衝撃をモニタするか、又は示すために、図 1 6 に示すような航空機の製造及び保守方法 1 0 0 において用いられうる。製造前の段階では、例示的な方法 1 0 0 は、航空機 1 0 2 の仕様及び設計 1 0 4 と、材料調達 1 0 6 とを含みうる。製造段階では、航空機 1 0 2 の構成要素及びサブアセンブリの製造 1 0 8 と、システム統合 1 1 0 とが行われる。その後、航空機 1 0 2 は、認可及び納品 1 1 2 を経て運航 1 1 4 に供される。顧客により運航される期間に、航空機 1 0 2 には、定期的な整備及び保守 1 1 6（改造、再構成、改修なども含みうる）が予定される。

30

#### 【 0 0 8 9 】

方法 1 0 0 のプロセスの各々は、システムインテグレータ、第三者、及び / 又はオペレータ（例えば顧客）によって実行又は実施されうる。本明細書の目的のために、システムインテグレータは、限定しないが、任意の数の航空機製造者及び主要システムの下請業者を含み、第三者は、限定しないが、任意の数のベンダー、下請業者、及び供給業者を含み、かつ、オペレータは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関などでありうる。

#### 【 0 0 9 0 】

図 1 7 に示すように、例示的な方法 1 0 0 によって製造された航空機 1 0 2 は、複数のシステム 1 2 0 及び内装 1 2 2 を備えた機体 1 1 8 を含みうる。高レベルのシステム 1 2 0 の例には、推進システム 1 2 4、電気システム 1 2 6、油圧システム 1 2 8、及び環境システム 1 3 0 のうちの一又は複数が含まれる。任意の数の他のシステムが含まれることもある。

40

#### 【 0 0 9 1 】

本書で具現化されたシステム及び方法は、製造及び保守方法 1 0 0 の一又は複数の段階において用いられうる。また、一又は複数のシステムの実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせは、例えば、航空機 1 0 2 の組立のプロセスにおいて、被加工物に対する高エネルギー鈍的衝撃の大きさ及び場所の測定法を提供することにより、製造段階 1 0 8 及び 1 1 0 で利用されうる。同様に、システムの実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせのうちの一又は複数を、航空機 1 0 2 の運航期間中に、限定する訳では

50

ないが例としては、整備及び保守 1 1 6 において利用しうる。

#### 【 0 0 9 2 】

システム及び方法が、様々な実施形態を参照して説明されてきたが、当業者には、本書の教示から逸脱することなく様々な変形例が可能であること、及び、その要素を同等物に置換しうるということが、理解されよう。加えて、特定の状況に対しては、本書で開示されている実践に概念及び簡素化を適合させるために、多数の修正例が可能となりうる。そのため、特許請求の範囲の対象である主題は開示されている実施形態に限定されないことが、意図されている。

#### 【 0 0 9 3 】

以下に明記されている、方法の特許請求は、そこに列挙されたステップがアルファベット順に実行されること（特許請求の範囲の中のいかなるアルファベット順序も、単に従前に列挙されたステップを参照する目的にのみ使用される）、又は列挙されている順番で実行されることが必要であると、解釈されるべきではない。またそれらは、2 つ以上のステップのいかなる部分も、同時に、又は入れ替えて実行することを排除すると解釈されるべきでもない。

#### 【 0 0 9 4 】

特許請求の範囲において使用する際、微小粒に関連する「基材の表面に近接して配置された」という文言は、少なくとも、（ 1 ）微小粒を表面に取り付けること、及び、（ 2 ）微小粒を表面に適用されるコーティングの中に埋設すること、を内包すると解釈されるべきである。

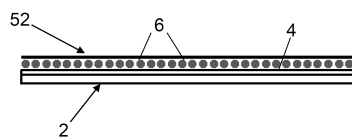
#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 9 5 】

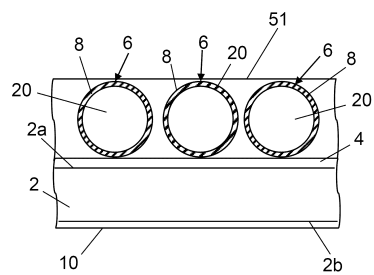
2	基材	
2 a	基材の第 1 表面	
2 b	基材の第 2 表面	
4	接着層	
6	微小粒	
8	殻体	
1 0	接着裏材	
1 2	電気伝導体	30
1 4	電気伝導体	
1 6	開路	
1 8	電圧源	
2 0	導電性流体	
4 2	R F I D チップ	
4 4	電気伝導体	
4 6	電気伝導体（電気コネクタ）	
4 8	電気伝導体（電気コネクタ）	
5 1	コーティング	
5 2	防護層	40
5 4	p H 感応紙	
5 6	導電性層	
5 8	導電性層	
6 4	無線周波数識別回路	
9 4	誘導コイル	
9 6	導電性流体（図 5）、アップリケ（図 6）	
1 0 0	航空機の製造及び保守方法	
1 3 2	胴体部	
1 3 4	高出力無線周波数（R F）コイル	
1 3 6	熱画像化カメラ	50

1 3 8 データ取得 / 制御コンピュータシステム  
1 4 0 表示モニタ  
1 4 2 電源

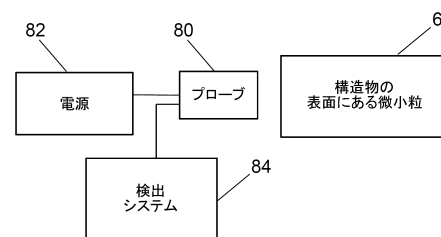
【図 1】



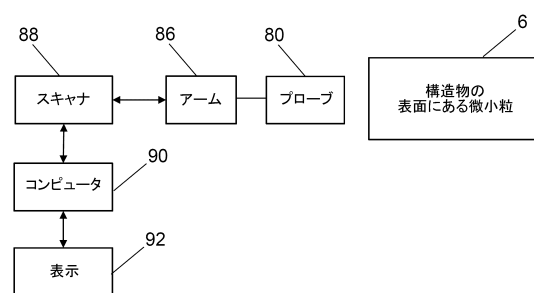
【図 2】



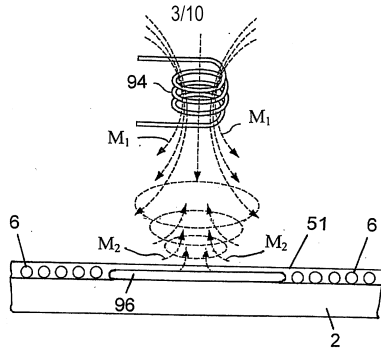
【図 3】



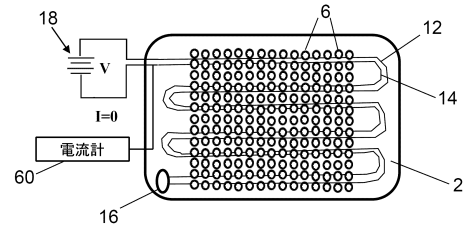
【図 4】



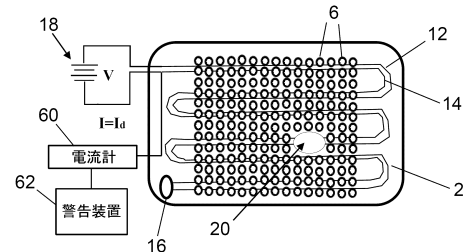
【図 5】



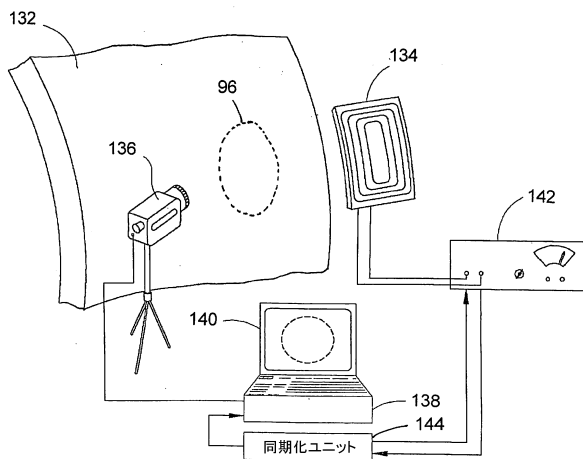
【図 7 A】



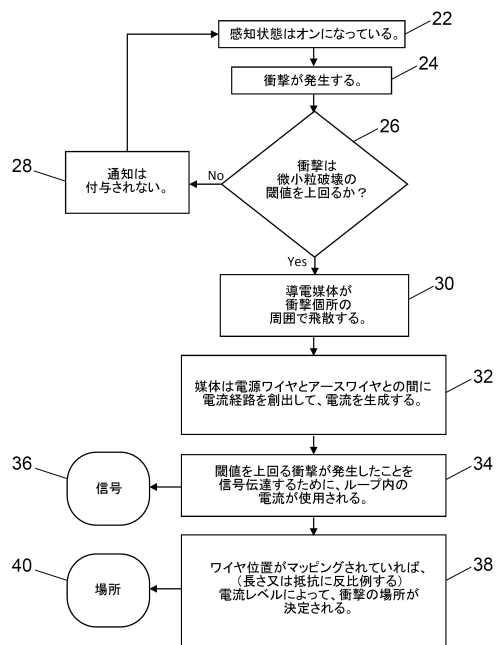
【図 7 B】



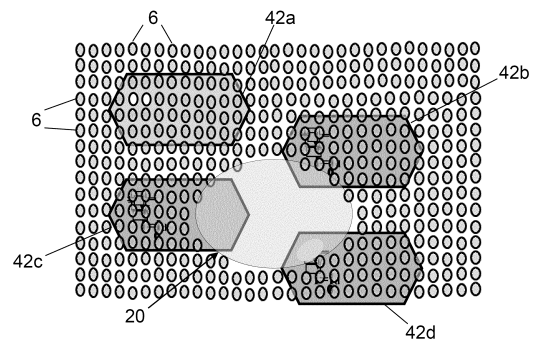
【図 6】



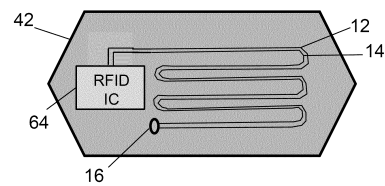
【図 8】



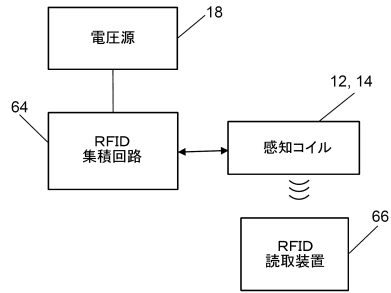
【図 9】



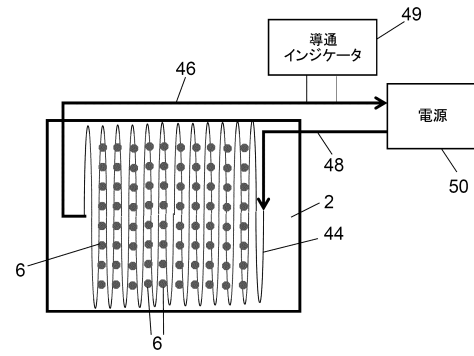
【図 10】



【図 1 1】



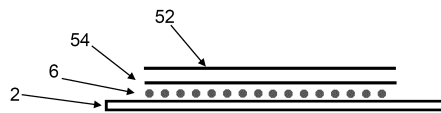
【図 1 2】



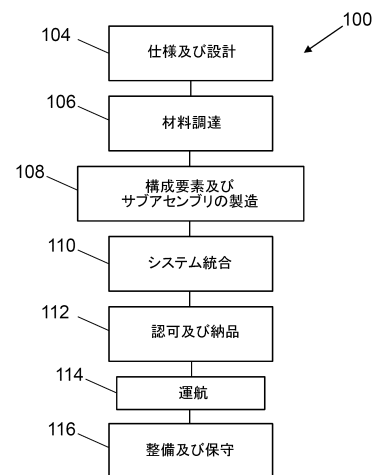
【図 1 3】



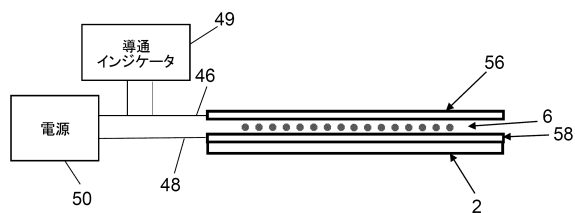
【図 1 4】



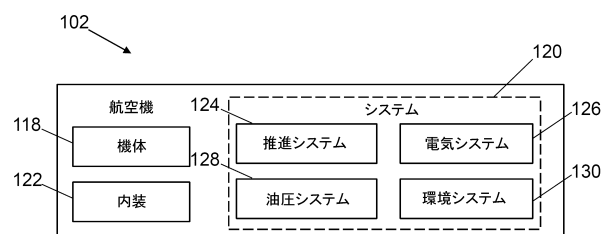
【図 1 6】



【図 1 5】



【図 1 7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 タピア, ウィリアム ジョセフ

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ  
100, メール コード 2ティ-42, ザ ボーイング カンパニー

審査官 森 雅之

(56)参考文献 米国特許第7312608(US, B2)

米国特許第7287902(US, B2)

米国特許第7434480(US, B2)

独国特許出願公開第102013200693(DE, A1)

特公昭53-26150(JP, B2)

米国特許第7647809(US, B1)

米国特許出願公開第2012/0225294(US, A1)

米国特許出願公開第2008/0224879(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 5/00

B64F 5/60