

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-106896

(P2017-106896A)

(43) 公開日 平成29年6月15日 (2017.6.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 M 99/00 (2011.01)	G 0 1 M 99/00	2 G 0 2 4
B 6 4 C 1/00 (2006.01)	B 6 4 C 1/00	B
B 6 4 D 37/02 (2006.01)	B 6 4 D 37/02	
B 6 4 F 5/00 (2017.01)	B 6 4 F 5/00	C

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-184234 (P2016-184234)	(71) 出願人	500520743
(22) 出願日	平成28年9月21日 (2016.9.21)		ザ・ボーイング・カンパニー
(31) 優先権主張番号	14/864,469		The Boeing Company
(32) 優先日	平成27年9月24日 (2015.9.24)		アメリカ合衆国、60606-2016
(33) 優先権主張国	米国 (US)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
		(74) 代理人	110002077
			園田・小林特許業務法人
		(72) 発明者	スウィート、ウィリアム ジュー.
			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

最終頁に続く

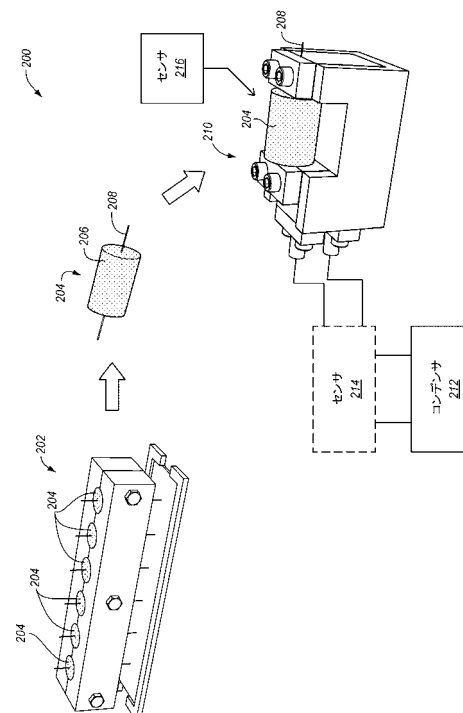
(54) 【発明の名称】 航空機燃料タンクのための密封剤試験

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする装置及び方法を提供する。

【解決手段】 試料204、試験固定具210、及びコンデンサ212を含む。試料204は、円筒形状を有する航空機燃料タンク用の非導電性密封剤206、及び軸方向に密封剤206内で中心に置かれている導電性ワイヤ208を備える。試験固定具210は、試験中に試料204を固定する。コンデンサ212は、試験固定具210に電氣的に接続され、ワイヤ208を電流で気化させ、密封剤206への機械的衝撃を発生させる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円筒形状を有する、航空機燃料タンク用の非導電性密封剤（２０６）、及び軸方向に前記密封剤内で中心に置かれた導電性ワイヤ（２０８）を備える試料（２０４）、試験中に前記試料を固定するように構成された試験固定具（２１０）、並びに前記試験固定具（２１０）に電氣的に接続され、前記ワイヤ（２０８）を電流で気化し、前記密封剤（２０６）への機械的衝撃を発生させることにより、前記航空機への落雷をシミュレーションするように構成されるコンデンサ（２１２）を備えるシステム（２００）。

10

【請求項 2】

前記ワイヤ（２０８）を気化しているときに前記密封剤（２０６）の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成されたセンサ（２１４）を更に備える、請求項 1 に記載のシステム（２００）。

【請求項 3】

前記センサ（２１４）が、ある時間間隔にわたって前記ワイヤ（２０８）における電圧を測定し、前記時間間隔にわたって前記コンデンサ（２１２）によって前記ワイヤ（２０８）に印加される前記電流を測定し、前記電圧、前記電流、及び前記時間間隔に基づいて、前記密封剤（２０６）の中に蓄積された前記エネルギーを計算するように構成される、請求項 2 に記載のシステム（２００）。

20

【請求項 4】

前記センサ（２１６）が、前記ワイヤ（２０８）を気化しているときに前記密封剤（２０６）の表面速度を測定し、前記表面速度、前記密封剤（２０６）の密度、及び前記密封剤（２０６）の波の速さに基づいて、前記密封剤（２０６）の中に蓄積された前記エネルギーを計算するように構成される、請求項 2 に記載のシステム（２００）。

【請求項 5】

前記ワイヤ（２０８）が、前記試料を前記試験固定具（２１０）に電氣的に接続する、前記密封剤（２０６）の端部に近接する露出した部分を有する、請求項 1 に記載のシステム（２００）。

【請求項 6】

30

前記ワイヤ（２０８）が、 $100\text{ }\mu\text{m}$ から $300\text{ }\mu\text{m}$ の間の直径を有する、請求項 1 に記載のシステム（２００）。

【請求項 7】

前記ワイヤ（２０８）がアルミニウムを含む、請求項 6 に記載のシステム（２００）。

【請求項 8】

円筒形状を有する、航空機燃料タンク用の非導電性密封剤、及び軸方向に前記密封剤内で中心に置かれた導電性ワイヤを備える試料（２０４）を製作すること（３０２）、前記試料を試験固定具の中に固定すること（３０４）、並びに前記ワイヤを電流で気化して、前記密封剤への機械的衝撃を発生させることによって、前記航空機への落雷をシミュレーションすること（３０６）を含む方法（３００）。

40

【請求項 9】

前記ワイヤを気化しているときに前記密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算すること（３０８）を更に含む、請求項 8 に記載の方法（３００）。

【請求項 10】

前記蓄積されたエネルギーを計算することは、ある時間間隔にわたって前記ワイヤにおける電圧を測定すること（３１０）、前記時間間隔にわたって前記ワイヤに印加された前記電流を測定すること（３１２）、並びに前記電圧、前記電流、及び前記時間間隔に基づいて、前記密封剤の中に蓄積された前記

50

エネルギーを計算すること（３１４）

を更に含む、請求項９に記載の方法（３００）。

【請求項１１】

前記蓄積されたエネルギーを計算することは、

前記ワイヤを気化しているときに前記密封剤の表面速度を測定すること（３１６）、並びに

前記表面速度、前記密封剤の密度、及び前記密封剤の波の速さに基づいて、前記密封剤の中に蓄積された前記エネルギーを計算すること（３１８）

を更に含む、請求項９に記載の方法（３００）。

【請求項１２】

前記ワイヤ（２０８）が、１００μmから３００μmの間の直径を有する、請求項８に記載の方法（３００）。

【請求項１３】

前記ワイヤ（２０８）がアルミニウムを含む、請求項１２に記載の方法（３００）。

【請求項１４】

前記試料を製作することが、

前記ワイヤを軸方向にモールドの円筒形空洞内で中心に置くこと（３２０）、

前記円筒形空洞を液状密封剤で満たすこと（３２２）、及び

前記液状密封剤を硬化させること（３２４）

を更に含む、請求項８に記載の方法（３００）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、航空機の分野に関し、詳細には、航空機の燃料タンクで利用される密封剤の試験に関する。

【背景技術】

【０００２】

航空機燃料タンクは、ファスナと一緒に固定される幾つかのセクションを含む。ファスナ及びタンクの係合する表面は、燃料タンクが漏れないことを保証するために、密封剤でコーティングされる。密封剤はまた、タンク内の燃料と、航空機が雷に打たれた場合に、ファスナと燃料タンクのセクションとの間に発生し得るアーク放電との間の機械的なバリアを形成する。しかしながら、落雷中に起こり得るアーク放電は、密封剤に機械的応力を発生させることがあり、これにより密封剤が裂け又は割れ、アークが燃料を発火させることがある。それ故、連邦航空局（ＦＡＡ）は、航空機燃料タンクに用いられる密封剤が、航空機への落雷による応力に耐えることができることを保証するために、試験が行なわれることを求めている。

【０００３】

航空機燃料タンクのための現行の試験方法は、燃料タンクに用いられるファスナとパネルのサンプルを組立てることと、サンプルを通る高電流を印加することと、を含む。電流はファスナの周囲にアークを発生させ、アークは、ファスナに付けられる密封剤に応力を加える。密封剤の割れ目又は亀裂がファスナの周囲に存在するかを決定するために、その後、サンプルが検査される。

【０００４】

現行の試験方法に関する問題は、サンプルの組立てに費用と時間がかかることである。更に、ファスナとパネルの間の機械的接合部におけるばらつきのため、サンプルごとに、又は同じサンプルにおけるファスナごとに、ファスナの周囲にアーク放電を信頼度良く再現することは困難である。

【０００５】

それ故、航空機燃料タンクに利用される密封剤が、航空機への落雷に対してどのように

10

20

30

40

50

反応し得るかについての試験を改良する必要性が存在する。

【発明の概要】

【0006】

本書に記載される実施形態は、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする装置及び方法を提供する。密封剤のサンプルに埋め込まれたワイヤが、電流によって気化され、これは、試験ごとに再現可能である機械的衝撃を密封剤に加える。その後、サンプルは、破壊又は亀裂について検査され得、これらは、航空機への落雷によって引き起こされる応力に対して密封剤がどのように反応し得るかを示し得る。

【0007】

1つの実施形態は、試料、試験固定具、及びコンデンサを含む。試料は、円筒形状を有する航空機燃料タンク用の非導電性密封剤、及び軸方向に密封剤内で中心に置かれている導電性ワイヤを備える。試験固定具は、試験用試料を固定する。コンデンサが、試験固定具に電氣的に接続され、ワイヤを電流で気化させ、密封剤に機械的衝撃を発生させることにより、航空機への落雷をシミュレーションする。

【0008】

別の実施形態は、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする方法を含む。本方法は、円筒形状を有する航空機燃料タンク用の非導電性密封剤、及び軸方向に密封剤内で中心に置かれている導電性ワイヤを備える試料を製造することを含む。本方法は、試験固定具に試料を固定することと、電流を用いてワイヤを気化させ、密封剤に機械的衝撃を発生させることにより、航空機への落雷をシミュレーションすることと、を更に含む。

【0009】

別の実施形態は、試料、試験固定具、及びコンデンサを製造するためのモールドを含む。モールドは、導電性ワイヤがモールドの円筒形空洞内で軸方向に中心に置かれることを可能にし、航空機燃料タンク用の非導電性液状密封剤を空洞内に受け取る。密封剤を硬化させると、モールドは、円筒形空洞の長軸を通る平面に沿って分離し、試料を放出する。試験固定具は、試験用試料を固定し、コンデンサは、電流で密封剤内のワイヤを気化させ、密封剤への機械的衝撃を発生させることによって、航空機への落雷をシミュレーションする。

【0010】

上記の要約は、明細書の幾つかの態様の基本的理解を提供する。この要約は、明細書の広範な概観ではない。それは、明細書の主要な又は重要な要素を同定することを意図していないし、また明細書の特定の実施形態のいかなる範囲、若しくは特許請求のいかなる範囲を記載することも意図していない。その唯一の目的は、後で提示される詳細な記載の前置きとして、単純化された形で明細書の幾つかの考えを提示することである。

【0011】

幾つかの実施形態が、例示によってのみ、また添付の図面を参照して、記載される。同じ参照番号は、全ての図面について、同じ要素又は同じ種類の要素を表す。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】例示的な実施形態における、幾つかの内部燃料タンクを利用する航空機である。

【図2】例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションするシステムを示す。

【図3A】例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする方法のフローチャートである。

【図3B】例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする方法のフローチャートである。

【図3C】例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする方法のフローチャートである。

【図4】例示的な実施形態における、幾つかの円筒形空洞を含むモールドを示す。

【図 5】例示的な実施形態における、密封剤の試料のための製造プロセス中のモールドの様々な図を示す。

【図 6】例示的な実施形態における、密封剤の試料のための製造プロセス中のモールドの様々な図を示す。

【図 7】例示的な実施形態における、密封剤の試料のための製造プロセス中のモールドの様々な図を示す。

【図 8】例示的な実施形態における、密封剤の試料の図を示す。

【図 9】例示的な実施形態における、試験固定具の図である。

【図 10】例示的な実施形態における、試料試験の結果を示す。

【図 11】例示的な実施形態における、5つの異なる密封剤に対して実施された試験結果の表を示す。

10

【発明を実施するための形態】

【0013】

図面及び以下の記載は、具体的な例示の実施形態を示す。それ故、本書に明示的に記載又は図示されていないけれども、実施形態の原理を具現し、実施形態の範囲内に含まれる様々なアレンジメントを、当業者は考案することができるということが、認められであろう。更に、本書に記載されたいかなる例も、実施形態の原理を理解するのに役立つことが意図されており、そのような具体的に記載された例及び条件に限定されないものと解釈されねばならない。その結果、発明の思想は、下記の具体的な実施形態又は例に限定されず、特許請求の範囲及びそれらの等価物によって限定される。

20

【0014】

図 1 は、例示的な実施形態における、幾つかの内部燃料タンク 102～108 を含む航空機 100 を示す。航空機 100 は、中央翼タンク 102、航空機 100 に搭載されている様々なエンジンに対応する主タンク 103～106、及び航空機 100 のそれぞれの側のエンジン用のリザーブタンク 107～108 を含み得る。様々なタンクを航空機 100 に搭載する 1 つの目的は、重量配分である。燃料は重いので、航空機 100 に搭載されている様々なタンク 102～108 の間で燃料の重量が均等に配分されることを、複数のタンクが保証する。このことはまた、燃料が消費されるときに、航空機 100 の重心が制御されることを可能にする。例えば、燃料は、飛行中にタンク 102～108 間で再配分され、燃料の重量が均等に配分されることを可能にし得る。様々なタンクを航空機 100 に搭載する他の目的は、燃料システムのいかなる 1 つの構成要素の故障も、1 つより多いエンジンの動力の喪失をもたらさないことを保証することである。

30

【0015】

F A A は、航空機 100 への直接の落雷、掃引落雷、コロナ、及び／又はストリーマに起因する、航空機の燃料タンク（例えば、航空機 100 の燃料タンク 102～108）内の燃料蒸気発火の防止に関する規則を規定する。航空機 100 に対する空気力学的な力によって落雷が変形されるときに、掃引落雷が起こり、航空機 100 の機体にわたって異常な仕方で伝搬し得る。コロナは、航空機 100 と航空機 100 の周囲の領域との間の電位差の結果として起こる発光放電である。ストリーマは、航空機 100 に対する直接の落雷により発生する、又は落雷が差し迫っているときに発生する枝状のイオン化された経路である。

40

【0016】

タンク 102～108 内の様々なファスナ（図示せず）の周囲の密封剤が、応力により機械的に機能しなくなった場合、タンク 102～108 内の燃料の発火が起こり得る。例えば、現代の航空機は、燃料タンクを形成するために複合構造を利用することがあり、これは、多くの場合、金属ファスナで接合される炭素繊維とエポキシのパネルである。複合構造が高い電気抵抗を有する一方で、パネルを接合するのに用いられる金属ファスナは、落雷からの高電流がファスナを通して流れることを可能にし得、これは、ファスナと複合パネルの間のアークを引き起こし得る。このアークが密封剤を破壊した場合、アークはタンク内の燃料蒸気を発火させ得る。この懸念のため、F A A は、航空機内で燃料タンクを

50

密封するために用いる密封剤に対して試験を実施することを航空機製造業者に求める規則を制定している。

【0017】

現行の航空機燃料タンクの落雷試験は、複合パネルのセクションを金属ファスナで組立てることと、ファスナにアークを生じさせようと試みることと、を伴う。しかしながら、アークは、異なる試験間で再現するのが困難であり得る。例えば、異なる密封剤が、航空機燃料タンク内での可能な使用に対して試験されている場合、試験の結果における変動が、密封剤自体によるのか、又はむしろ、サンプル間のアークの違いによるのか、を決定することは、困難であり得る。

【0018】

本書に記載された実施形態は、（例えば、コンデンサ又はコンデンサのバンクからの高電流放電を利用して）気化されたときに、密封剤サンプルに、試験ごとに再現可能であり、またワイヤによってサンプル中に蓄積されたエネルギーに関して定量化もできる機械的応力を加える細い金属ワイヤを含む密封剤の円筒形サンプルを利用して、これらの問題を軽減することを目的とする。その後、サンプルは、破壊について検査され得、サンプル中に蓄積されたエネルギーと互いに関係付けられた場合に、密封剤の材料性能に関する情報を提供する。更に、そのような試験を様々な温度で実施することは、（大きい及び／又は不規則な形状であり得る）ファスナ及びパネルアセンブリを環境チャンバ内に置こうと試みるよりも、容易である。

【0019】

図2は、例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションするシステム200を示す。この実施形態において、システム200はモールド202を含み、モールド202は、燃料タンクの密封剤を応力試験するための1つ以上の試料204を作るために利用される。その後、試料204は、モールド202から取り除かれ得る。この実施形態において、試料204は、（例えば、モールド202内の1つ以上の空洞を利用して）円筒形状に形成された非導電性密封剤206、及び軸方向に密封剤206内で中心に置かれている導電性ワイヤ208を備える。

【0020】

その後、試料204は、試験固定具210の中に置かれ得、試験固定具210は、試料204を所定の場所に固定する。試験固定具210はまた、ワイヤ208を1つ以上のコンデンサ212に電氣的に接続し、コンデンサ212は、試料204内のワイヤ208に高電流を印加する。コンデンサ212からの電流は、ワイヤ208を気化し、密封剤206への機械的衝撃を発生させる。

【0021】

図3A～図3Cは、例示的な実施形態における、航空機への落雷から密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションする方法300のフローチャートである。方法300は、システム200に関して記載されるが、方法300は、示されていないが、他のシステムによって実施され得る。本書に記載されたフローチャートのステップは、示されていないが、他のステップを含み得る。また、本書に記載されたフローチャートのステップは、代替的な順序で実施され得る。

【0022】

ある特定の燃料タンク密封剤（例えば、密封剤206）に応力試験を実施するために、試料204が作られる（ステップ302を参照）。例えば、モールド202が、試料204を作るために利用され得る。図4は、例示的な実施形態における、円筒形空洞402を含むモールド202を示す。図4は、モールド202についての1つの可能な構成を示すに過ぎず、要望に応じて他の構成が利用され得る。例えば、モールド202は、より多い又はより少ない空洞を含んでもよいし、異なる形又は大きさを有してもよいし、モールド202の複数の部分を一緒に固定するための種々の特徴部を含んでもよいし、等々である。

【0023】

図４において、空洞４０２は、上部４０４に沿った開口及び底部４０６に沿ったより小さい開口を含む。上部４０４は、密封剤２０６が、空洞４０２内に液体として導入されることを可能にする大きさであり、他方、底部４０６は、密封剤２０６が硬化するときに、ワイヤ２０８を所定の場所に固定し、また液状の密封剤２０６が空洞４０２から流れ出るのも防ぐような大きさである。

【００２４】

図５～図７は、例示的な実施形態における、密封剤の試料の製作プロセス中のモールド２０２の様々な図を示す。試料２０４を作るために、ワイヤ２０８が、空洞４０２内に挿入され得、軸方向に空洞４０２内で中心に置かれる（図５及び図３Ｃのステップ３２０を参照）。ワイヤ２０８は、アルミニウム又は何か他の種類の導電性金属であり得、通常は細い（例えば、ワイヤ２０８は、１００ミクロン（ μm ）から３００ μm の間の直径を有し得る）。全ての金属は、気化の前に多かれ少なかれエネルギーの蓄積を可能にする固有の気化熱を有する。高い気化熱を有する金属は、試料２０４内に高い応力を発生させるであろうし、高い強度の材料を試験する場合に、適切であろう。それ故、ワイヤ２０８用の金属の選択は、試験される材料の種類に依存し得る。

【００２５】

その後、液状の密封剤２０６が、モールド２０２の空洞４０２内に導入され得（図３Ｃのステップ３２２を参照）、硬化又は固められ得る（図６及び図３Ｃのステップ３２４を参照）。密封剤２０４を硬化させると、モールド２０２は、１つ以上のセクション７０１～７０２に分けられ、試料２０４がモールド２０２から取り除かれるのを可能にする（図７を参照）。

【００２６】

図８は、例示的な実施形態における、図５～図７に示された試料２０４の製作プロセスの結果を示す。この図において、試料２０４は、長さ８０２と直径８０４を有し、これらは、試料２０４に用いられる密封剤の種類、試料２０４に対して実施する試験の温度、等に依存して、変わり得る。例えば、高温での密封剤２０６の破壊機構は、延性破壊である可能性が高いので、密封剤２０６が高温（例えば、セ氏２５度より上）で試験される場合、大きい直径８０４（例えば、１１／２センチメートル（ cm ））を有するように、試料２０４を作ることが望ましいことがある。低温での密封剤２０６の破壊機構は、脆性破壊である可能性が高いので、低温（例えば、セ氏－２０度未満）で小さい直径８０４（例えば、１／２ cm ）を有するように、試料２０４を作ることが望ましいことがある。これは、モールド２０２の空洞４０２の寸法を修正することによって、行われ得る。

【００２７】

試料２０４を作ることに応じて、試料２０４は、試験固定具の中に固定される（方法３００のステップ３０４を参照）。例えば、試料２０４は、図２の試験固定具２１０の中に固定され得る。

【００２８】

図９は、例示的な実施形態における、試験固定具２１０の図である。図９は、試験固定具２１０の１つの可能な構成を示すに過ぎず、示されていないが、他の構成が存在し得る。この図において、試料２０４は、導電性クランプ９０２間で試験固定具２１０に取り付けられ、これにより、試料２０４のワイヤ２０８が、コンデンサ２１２に電氣的に接続されることができる。クランプ９０２はまた、試料２０４を所定の場所に固定する。コンデンサ２１２がワイヤ２０８に電氣的に接続されると、コンデンサ２０２は、ワイヤ２０８を通る電流を放電し、ワイヤ２０８を気化する。ワイヤ２０８を気化することは、密封剤２０６への機械的衝撃を発生させることにより、航空機への落雷から密封剤２０６に加えられる機械的応力をシミュレーションする（方法３００のステップ３０６を参照）。

【００２９】

ワイヤ２０８を気化することにより、密封剤２０６に加えられる機械的衝撃は、コンデンサ２１２の静電容量及びコンデンサ２１２の電圧を含む幾つかの要因に基づいて、変わる。（例えば、センサ２１４及び／又はセンサ２１６を利用して）試料２０４の密封剤２

10

20

30

40

50

06の中に蓄積されたエネルギーの量を測定することは、密封剤206の中に蓄積されたエネルギーを定量化するのに役立ち得る。

【0030】

システム200を利用して密封剤206の中に蓄積されたエネルギーは、複数の試験にわたって制御可能であり、コンデンサ212の電圧及び静電容量の組合せに基づく。幾つかの実施形態において、ワイヤ208を気化することにより、密封剤206の中に蓄積されたエネルギーは、センサ214及び／又はセンサ216によって測定され得る（図3のステップ308を参照）。例えば、センサ214は、ある時間間隔にわたるワイヤ208における電圧（図3Aのステップ310を参照）、及びある時間間隔にわたるワイヤ208に印加される電流（ステップ312を参照）を測定することができ、これにより、センサ214は、蓄積されたエネルギーを計算することができる。蓄積されたエネルギーはまた、時間とともに変わり得る。累積エネルギー蓄積量は、以下の式により電圧及び電流測定値から計算され得る：

10

$$J_{cum} \int IV \Delta t$$

ここで、ジュールでの累積エネルギー（ J_{cum} ）は、電流（ I ）を電圧（ V ）で乗じたものをデルタ時間

(Δt)

で乗じた積分である。

20

【0031】

しかしながら、ワイヤ208に印加される電流及びワイヤ208に印加される電圧を測定することは、ワイヤ208を気化することによって密封剤206の中に蓄積されたエネルギーを計算するための可能な方法の1つにすぎない。例えば、センサ216（図2を参照）は、速度干渉計（Velocity Interferometer System for Any Reflector（VISAR））を含んでもよく、これは、ワイヤ208を気化するときの密封剤206の表面速度を測定するために用いられ得る（図3Bのステップ316を参照）。ワイヤ208が気化するとき引き起こされる衝撃関連の応力を計算し定量化するために、密封剤206の密度及び波の速さとともに表面速度が用いられ得る（図3Bのステップ318を参照）。応力は、式 $\sigma = 1 / 2 \rho c v_s$ によって計算され得る。ここで、応力（ σ ）は、 $0.5 \times$ 密封剤206の密度（ ρ ） $\times$ 密封剤206の波の速さ（ c ） $\times$ 密封剤206の測定された表面速度（ v_s ）である。

30

【0032】

幾つかの実施形態において、ワイヤ208は、試料204の端部の外側に延びなくてもよく、その代わりに、密封剤206の中に包まれてもよい。これらの実施形態において、ワイヤ208は、1対の太い電極に接続され、その各々が試料204の端部から延びる。その後、太い電極は、ワイヤ208と類似の方法で試験固定具210に取り付けられる。これは、ワイヤ208を気化するために利用されたエネルギーが、密封剤206の中に封じ込められ、エネルギーの一部が、密封剤206の外部にあるワイヤ208の部分を気化するために用いられるのではない、ということを保証することによって、利益を提供し得る。

40

【0033】

先に論じたように、燃料タンクの密封剤の応力試験は複数の試験にわたって再現可能である、ということは、これが、燃料タンクを表すためにファスナ及びパネルアセンブリを利用する現行の試験方法に関する1つの問題であるので、有利である。システム200又はシステム200に類似のシステムを利用する燃料タンク密封剤の試験が、いかに再現可能であるかを決定するために、試験が実施された。図10は、例示的な実施形態における、試料の試験の結果を示す。セ氏71度において222 μ ファラッド（ μF ）の静電容量及び700ボルト（V）から1250Vの間の電圧を有するコンデンサバンクを利用して、試験が実施された。これらの試験について、試料は、長さ2.54cmで直径1cmの

50

円筒形試料であった。各試料は、試料内部で軸方向に位置合わせされた $250\text{ }\mu\text{m}$ のアルミニウムワイヤを含んだ。各試験は、同じ種類の燃料タンク密封剤を利用した。

【0034】

試料に対して各電圧で4つの試験が実施され、エネルギー蓄積量が測定された。図10は、各ケースにおいて、エネルギー蓄積量が試験ごとにほとんど変わらなかったことを示す。これは、試験の結果（例えば、試料が破壊したか破壊しなかったかを決定すること）における変動が、同じ試験グループ（例えば、 700 V のグループの試料）内でのエネルギー蓄積量の違いによるものではないということを保証する。

【0035】

図11は、例示的な実施形態における、5つの異なる密封剤に実施された試験結果の表1100を示す。表1100は、 $250\text{ }\mu\text{m}$ の直径と28ミリメートルの長さのアルミニウムワイヤを用いて、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ における試料を利用して生成された。

10

【0036】

表1100を生成するために、試験が、 525 V 、 550 V 、 575 V 、 600 V 、及び 625 V において実施されたが、全ての密封剤が、これらの電圧の各々において試験されたわけではない。表1100はまた、左の列において、試験された各々の密封剤の種類についての計算された P_{50} を示す。 P_{50} は、ロジスティック回帰アルゴリズムを用いて計算され、試料の50%が機能しなくなることが期待されるエネルギーを表す。例えば、密封剤#1の P_{50} は、 13.03 J である。対照的に、密封剤#3の P_{50} は、 15.58 J で機能しなくなった。表1100を用いると、異なる密封剤がどのように応力に反応するかを明らかにすることが可能であり、これにより、どの密封剤が、航空機の落雷事象に反応して、より良い成績を収め得るかを決定することが可能になる。

20

【0037】

場合によっては、先に論じたように、ある特定の種類の密封剤が様々な温度にわたって脆性破壊又は延性破壊に抵抗する能力があるかどうかを決定するために、様々な温度で試料の試験を実施することが望ましい。この種の試験は、落雷事象が起こった場合に、燃料タンク内で起こり得る温度の変動が、燃料タンク内で用いられる密封剤の機械的強度に負の影響を与えないことを保証する。これらの種類の試験は、ファスナ及びパネルアセンブリが試験に用いられる場合に可能になるよりも、本書で論じた試料を利用して環境チャンバにおいて、より容易に実施することができる。

30

【0038】

更に、本書に記載の実施形態は、航空機燃料タンク用の密封剤の試験に言及するが、所望により、他の材料が試験され得る。この点において、導電性ワイヤの周囲で固められ得る又は硬化され得る任意の材料が、機械的応力に対する材料の反応を試験するために、利用され得る。

【0039】

航空機への落雷により密封剤に加えられる機械的応力をシミュレーションするための、本書で論じたシステム及び方法を利用して、様々な密封剤が、その性能に関して速く且つ正確に特徴付けられ得る。この種の試験はまた、航空機製造業者が、密封剤開発工程を加速し、航空機内で利用される燃料タンク密封剤に関するFAA規則への適合性を保証することを可能にする。

40

【0040】

更に、本開示は、以下の条項による実施形態を含む。

【0041】

条項1.

円筒形状を有する、航空機燃料タンク用の非導電性密封剤、及び軸方向に密封剤内で中心に置かれた導電性ワイヤ、を備える試料、

試験中に試料を固定するように構成された試験固定具、並びに

試験固定具に電氣的に接続され、ワイヤを電流で気化させ、密封剤への機械的衝撃を発

50

生させることにより、航空機への落雷をシミュレーションするように構成されるコンデンサ、
を備えるシステム。

【0042】

条項2.

ワイヤを気化しているときに密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成されたセンサを更に備える、条項1のシステム。

【0043】

条項3.

センサが、ある時間間隔にわたってワイヤにおける電圧を測定し、その時間間隔にわたってコンデンサによってワイヤに印加される電流を測定し、電圧、電流、及び時間間隔に基づいて、密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成される、条項2のシステム。

【0044】

条項4.

センサが、ワイヤを気化しているときに密封剤の表面速度を測定し、表面速度、密封剤の密度、及び密封剤の波の速さに基づいて、密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成される、条項2のシステム。

【0045】

条項5.

ワイヤが、試料を試験固定具に電氣的に接続する、密封剤の端部に近接する露出した部分を有する、条項1のシステム。

【0046】

条項6.

ワイヤが、100 μm から300 μm の間の直径を有する、条項1のシステム。

【0047】

条項7.

ワイヤがアルミニウムを含む、条項6のシステム。

【0048】

条項8.

円筒形状を有する、航空機燃料タンク用の非導電性密封剤、及び軸方向に密封剤内で中心に置かれた導電性ワイヤを備える試料を製作すること、

試料を試験固定具の中に固定すること、並びに

ワイヤを電流で気化して、密封剤への機械的衝撃を発生させることによって、航空機への落雷をシミュレーションすること、を含む方法。

【0049】

条項9.

ワイヤを気化しているときに密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算することを更に含む、条項8の方法。

【0050】

条項10.

蓄積されたエネルギーを計算することは、

ある時間間隔にわたってワイヤにおける電圧を測定すること、

その時間間隔にわたってワイヤに印加される電流を測定すること、並びに

電圧、電流、及び時間間隔に基づいて、密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算すること、

を更に含む、条項9の方法。

【0051】

条項11.

蓄積されたエネルギーを計算することは、

10

20

30

40

50

ワイヤを気化しているときに密封剤の表面速度を測定すること、並びに
表面速度、密封剤の密度、及び密封剤の波の速さに基づいて、密封剤の中に蓄積された
エネルギーを計算すること、
を更に含む、条項 9 の方法。

【0052】

条項 12.

ワイヤが、100 μm から 300 μm の間の直径を有する、条項 8 の方法。

【0053】

条項 13.

ワイヤがアルミニウムを含む、条項 12 の方法。

10

【0054】

条項 14.

試料を製作することが、

ワイヤを軸方向にモールドの円筒形空洞内で中心に置くこと、

円筒形空洞を液状密封剤で満たすこと、及び

液状密封剤を硬化させること、

を更に含む、条項 8 の方法。

【0055】

条項 15.

試料を製作するためのモールドであって、導電性ワイヤを軸方向にモールドの円筒形空
洞内で中心に置き、円筒形空洞内に航空機燃料タンク用の非導電性液状密封剤を受け入れ
るように構成され、

20

密封剤を硬化させると、円筒形空洞の長軸を通る平面に沿って分離し、試料を放出するよ
うに構成されたモールド、

試験中に試料を固定するように構成された試験固定具、並びに

試験固定具に電氣的に接続され、ワイヤを電流で気化させ、密封剤への機械的衝撃を発
生させることにより、航空機への落雷をシミュレーションするように構成されるコンデン
サ、

を備えるシステム。

【0056】

条項 16.

ワイヤを気化しているときに密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成
されたセンサを更に備える、条項 15 のシステム。

30

【0057】

条項 17.

センサが、ある時間間隔にわたってワイヤにおける電圧を測定し、その時間間隔にわた
ってコンデンサによってワイヤに印加される電流を測定し、電圧、電流、及び時間間隔に
基づいて、密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算するように構成される、条項 16 の
システム。

【0058】

条項 18.

センサが、ワイヤを気化しているときに密封剤の表面速度を測定し、表面速度、密封剤
の密度、及び密封剤の波の速さに基づいて、密封剤の中に蓄積されたエネルギーを計算す
るように構成される、条項 16 のシステム。

40

【0059】

条項 19.

ワイヤが、100 μm から 300 μm の間の直径を有する、条項 16 のシステム。

【0060】

条項 20.

ワイヤが、試料を試験固定具に電氣的に接続する、密封剤の端部に近接する露出した部

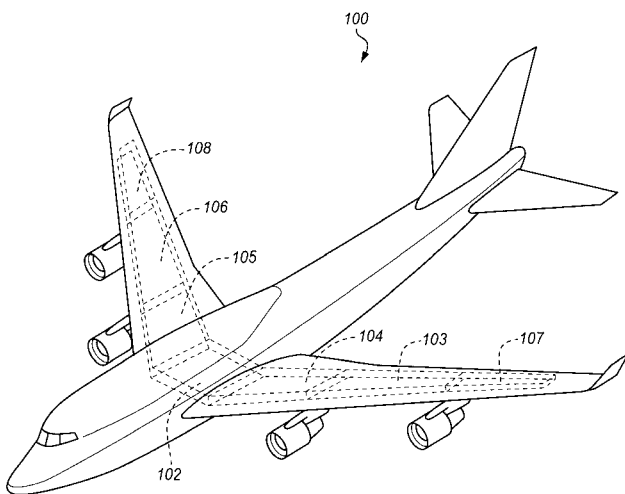
50

分を有する、条項 16 のシステム。

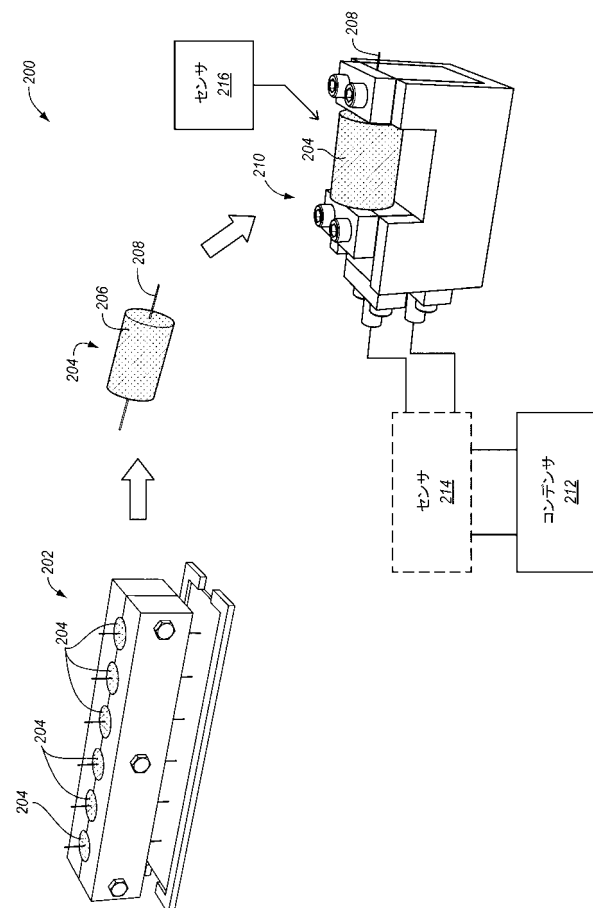
【0061】

特定の実施形態が本書に記載されたけれども、その範囲は、それら特定の実施形態に限定されない。むしろ、その範囲は、以下の特許請求の範囲及びその任意の等価物によって定められる。

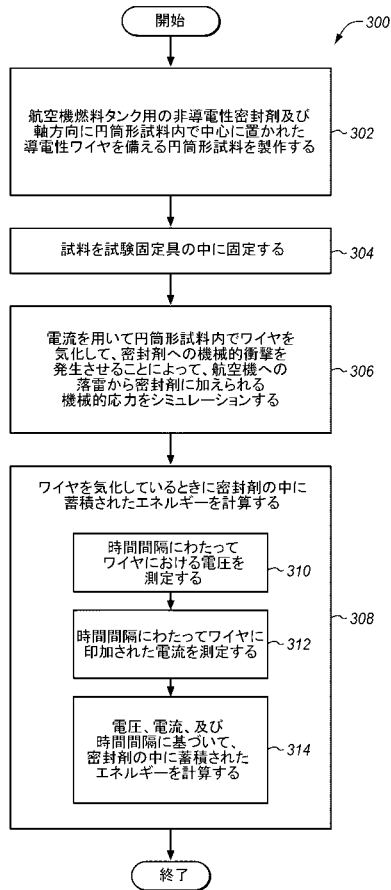
【図 1】



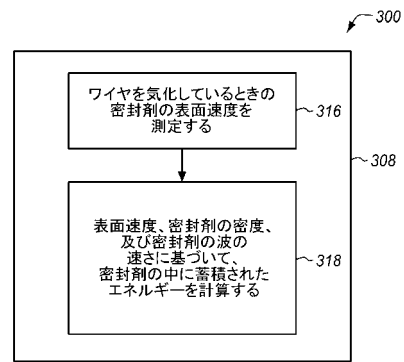
【図 2】



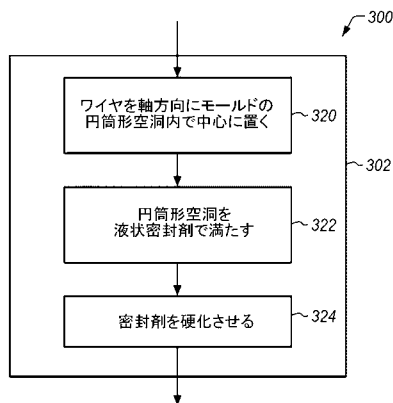
【図 3 A】



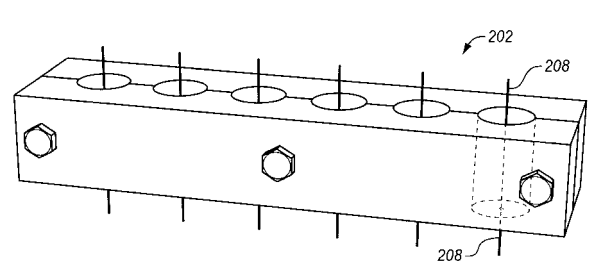
【図 3 B】



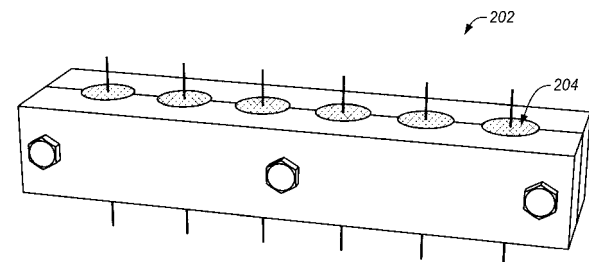
【図 3 C】



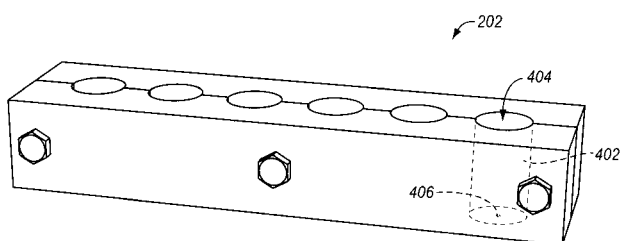
【図 5】



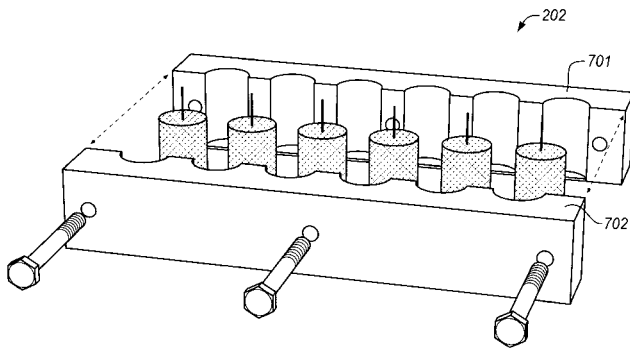
【図 6】



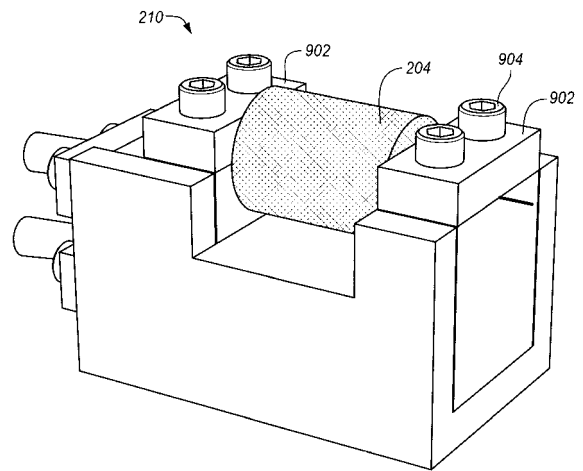
【図 4】



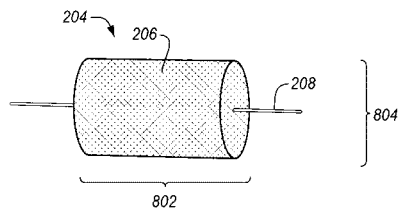
【図 7】



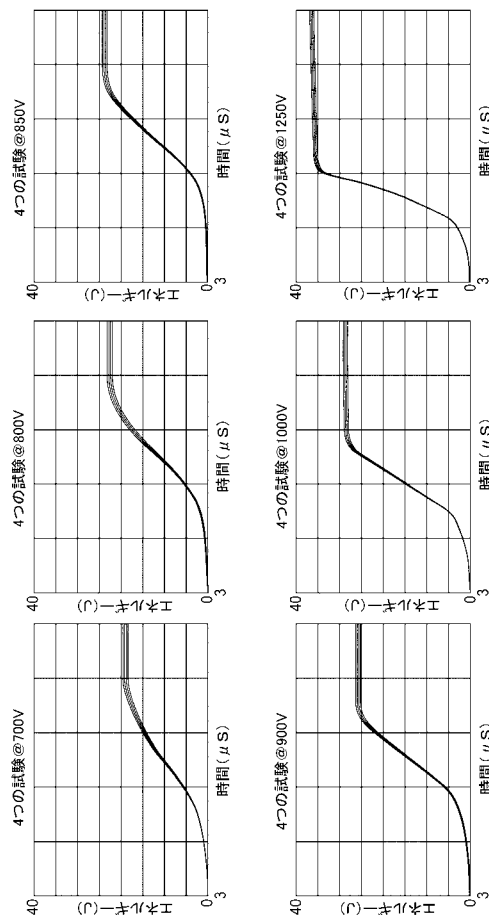
【図 9】



【図 8】



【図 10】



【図 11】

密封剤と P ₅₀	525V電荷	550V電荷	575V電荷	600V電荷	625V電荷
密封剤1 P ₅₀ = 13.03J	12.32J	13.33J	14.64J	当該範囲において 材料は試験 されていない	
	12.29J	13.28J	14.70J		
	12.29J	12.38J	14.60J		
	12.08J	13.41J	14.65J		
	12.28J	13.51J	14.61J		
密封剤2 P ₅₀ = 13.30J	12.41J	13.43J	14.67J	当該範囲において 材料は試験 されていない	
	12.47J	13.33J	14.60J		
	12.26J	13.26J	14.76J		
	12.51J	13.39J	14.68J		
	12.06J	13.53J	14.61J		
密封剤3 P ₅₀ = 15.58J	当該範囲において 材料は試験 されていない		14.69J	16.02J	17.31J
			14.62J	15.89J	16.82J
			14.66J	15.88J	17.17J
			14.80J	16.10J	17.38J
			14.75J	16.08J	17.33J
密封剤4 P ₅₀ = 14.34J	当該範囲において 材料は試験 されていない		13.76J	14.69J	16.15J
			13.37J	15.04J	15.60J
			13.31J	15.08J	16.00J
			13.63J	14.75J	16.00J
			13.51J	14.75J	16.26J
密封剤5 P ₅₀ = 12.05J	12.31J	13.65J	14.81J	当該範囲において 材料は試験 されていない	
	11.99J	13.18J			
	12.03J	13.31J			
	12.42J	13.08J			
	11.97J	13.18J			

機能しない
ことを示す

フロントページの続き

(72)発明者 ホーセン, ケヴィン アール.

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

(72)発明者 ダマソ, ジェイソン スコット

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

(72)発明者 デイ, アーサー シー.

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

Fターム(参考) 2G024 AD16 BA11 CA18 DA12 EA11

【外国語明細書】

2017106896000001.pdf

2017106896000002.pdf

2017106896000003.pdf

2017106896000004.pdf