

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-502193

(P2017-502193A)

(43) 公表日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2C 7/00 (2006.01)	FO2C 7/00	D
B64F 5/00 (2017.01)	B64F 5/00	B
B64D 45/00 (2006.01)	B64D 45/00	Z
FO1D 25/00 (2006.01)	FO2C 7/00	A
	FO2C 7/00	F

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-536978 (P2016-536978)
 (86) (22) 出願日 平成26年12月3日 (2014.12.3)
 (85) 翻訳文提出日 平成28年8月3日 (2016.8.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/FR2014/053148
 (87) 国際公開番号 W02015/086957
 (87) 国際公開日 平成27年6月18日 (2015.6.18)
 (31) 優先権主張番号 1362549
 (32) 優先日 平成25年12月13日 (2013.12.13)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(71) 出願人 505277691
 サフラン エアクラフト エンジンス
 フランス国、75015・パリ、ブルーバ
 ール・ドユ・ジエネラル・マルシイアル・
 バラン、2
 (74) 代理人 110001416
 特許業務法人 信栄特許事務所
 (72) 発明者 アンフリアニ、アレクザンドル
 フランス国、エフー77550 モワシー
 ークラマイエル セデックス、レオーロン
 ーポワン ルネ ラボ、スネクマ ペ
 イ (ア・ジ・イ)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業の予測

(57) 【要約】

本発明は、複数のダメージカウンタにより監視される複数のコンポーネントを備えた航空機エンジンに実行されるメンテナンス作業を予測するための方法及びシステムに関連している。前記複数のダメージカウンタの各々は、対応するダメージ上限により制限される。当該システムは、経験ミッションを含む学習データベース(31)から一連のシミュレーションミッションを繰り返し抽出することにより、前記ダメージカウンタ(C1~Cm)の消費をシミュレートするように構成された処理手段(7)と、現在のシミュレーションミッションに関連する少なくとも1つのダメージカウンタが前記ダメージカウンタに関連するダメージ上限に達するまで、前記複数のダメージカウンタの各々の累積消費を繰り返しごとに測定するように構成された処理手段(7)と、前記現在のシミュレーションミッションにメンテナンス戦略を適用することで、前記航空機エンジンに対して実行されるメンテナンス作業を示すメンテナンスインジケータを決定するように構成された処理手段(7)と、を備える。

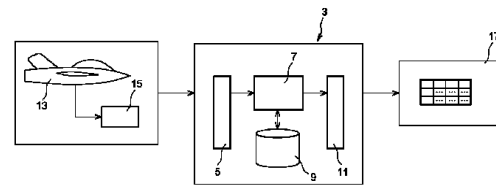


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のダメージカウンタにより監視される複数のコンポーネントを備えた航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業を予測する方法であって、各ダメージカウンタは、対応するダメージ上限により制限され、

前記方法は、

学習データベース(31)から一連のシミュレーションミッションを繰り返し抽出することにより、前記ダメージカウンタ(C1~Cm)の消費をシミュレートするステップと、

現在のシミュレーションミッションに関連する少なくとも1つのダメージカウンタが前記ダメージカウンタに関連するダメージ上限により制限された所定の値に達するまで、前記複数のダメージカウンタの各々の累積消費を繰り返しごとに測定するステップと、

前記現在のシミュレーションミッションにメンテナンス戦略を適用することで、前記航空機エンジン(19)に対して計画されるメンテナンス作業を示すメンテナンスインジケータを決定するステップと、
を含むことを特徴とする、方法。

10

【請求項 2】

現在の戦略の適用ごとに、当該現在の戦略に関連するコストインジケータと有効性インジケータの決定と、前記コストインジケータ及び有効性インジケータの関数としての妥協インジケータの決定とを含む、一連の様々なメンテナンス戦略を適用するステップと、

様々な戦略のための妥協インジケータを比較して最適なメンテナンス戦略を選択するステップと、
を含むことを特徴とする、請求項1に記載の方法。

20

【請求項 3】

メンテナンス戦略の適用は、

各ダメージカウンタの前記累積消費を決められた回数の飛行まで推定するステップと、ダメージ上限に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業をグループ化するステップと、

を含むことを特徴とする、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項 4】

メンテナンス戦略の適用は、

前記現在のシミュレーションミッションのダメージカウンタの消費を、中間閾値又はダメージ上限より下の上限と比較するステップと、

前記中間上限に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業をグループ化するステップと、

を含むことを特徴とする、請求項1又は2に記載の方法。

30

【請求項 5】

前記シミュレートされたダメージカウンタの消費を複数回繰り返すことで、各メンテナンスインジケータに関連する一連の消費値を決定するステップと、

各メンテナンスインジケータに関連する前記消費値の平均を算出するステップと、
を含むことを特徴とする、請求項1~4のうちいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 6】

前記学習データベースは、

一連の経験ミッションと、前記経験ミッションの各々に関連するポテンシャルセンサの消費と、

ポテンシャルセンサに関連するダメージ上限と、対応するメンテナンスアクションを含む所定のメンテナンスプランと、

を含むことを特徴とする、請求項1~5のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記学習データベースは、ミッションインジケータをさらに含み、

50

前記ミッションインジケータは、ミッション毎の重大性インジケータと、ミッション毎の飛行期間インジケータと、ミッションタイプインジケータとを含むことを特徴とする、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記一連のシミュレーションミッションは、経験ミッションのサブセットからランダムに抽出されることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記データベースの更新を含むことを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のうちいずれか一項に記載の方法を適用することで、航空機エンジンフリートに用いられるメンテナンス予測ツール。

【請求項 11】

複数のダメージカウンタにより監視される複数のコンポーネントを備えた航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業を予測するシステムであって、各ダメージカウンタは、対応するダメージ上限により制限され、

前記システムは、

経験ミッションを含む学習データベース(31)から一連のシミュレーションミッションを繰り返し抽出することにより、前記ダメージカウンタ(C1~Cm)の消費をシミュレートするように構成された処理手段(7)と、

現在のシミュレーションミッションに関連する少なくとも1つのダメージカウンタが前記ダメージカウンタに関連するダメージ上限に達するまで、前記複数のダメージカウンタの各々の累積消費を繰り返しごとに測定するように構成された処理手段(7)と、

前記現在のシミュレーションミッションにメンテナンス戦略を適用することで、前記航空機エンジンに対して実行されるメンテナンス作業を示すメンテナンスインジケータを決定するように構成された処理手段(7)と、
を備える、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、航空機エンジンのメンテナンスの分野に関する。詳細には、本発明は、航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業を予測するための方法及びシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

航空機エンジンに行われるメンテナンス作業の予測は、エンジンの様々な要素の推定される損傷(ダメージ)又は磨耗の関数として決定される。

【0003】

しかし、1つの飛行任務と別の飛行任務とで変化し得る条件下で(例えば軍用機の場合)航空機エンジンを使用すると、エンジンへのダメージを直接予測することは不可能である。この場合、評価は、飛行パラメータの記録から各飛行任務に関して算出されたダメージカウンタに基づいて行われる。

【0004】

航空機エンジンは、様々なコンポーネントを各々が含む複数のモジュールから構成されている。各コンポーネントは、監視されるべき複数のゾーン又は要素を含み得、これらがコンポーネントの寿命を左右する。本明細書以下、簡略化のために、単にコンポーネントに関して論じる。ダメージカウンタが各コンポーネントに関連付けられ、コンポーネントにより消費された実際のサイクルの数をカウントする。また、各々のダメージカウンタは、少なくとも1つのダメージ上限にも関連付けられている。1以上の上限に達したときに、様々なメンテナンスアクションをなし得る。これらのメンテナンスアクションはメンテ

10

20

30

40

50

ナンスプランに記載されており、取り外しをしない検査とは異なり、損傷部品を交換することであり、取り外しを必要とする検査を含む。メンテナンス管理作業の目的は、部品又はコンポーネントの動作可能使用期間を最大限引き延ばすようにジャストインタイムのメンテナンス作業を行うことである。

【0005】

しかし、ダメージカウンタの消費、及び、これらの消費速度は、1つのミッションと別のミッションとで、特にミッションタイプにより著しく異なる。従って、ダメージカウンタがそれらの上限に、異なる速度で、従って、異なる飛行で達する場合がある。そして、ダメージカウンタにより定義されるメンテナンスが、非常に頻繁な取り外しを必要とする場合がある。ダメージカウンタがそれらの上限に達する時点が異なり得ることが、しばしば頻繁な取り外しを生じる。これらの様々な取り外しが、航空機の規則的な利用可能性に影響する場合がある。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、本発明の目的は、全ての安全要求条件及び制約を尊重しつつ、航空機の利用可能性を向上させるために航空機エンジンへのメンテナンス作業を最適化することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、複数のダメージカウンタにより監視される複数のコンポーネントを備えた航空機エンジン又は航空機エンジンの一部に行われるべきメンテナンス作業を予測する方法に関する。前記複数のダメージカウンタの各々は、対応するダメージ上限により制限されている。この方法は、

20

学習データベースから一連のシミュレーションミッションを繰り返し抽出することにより、前記ダメージカウンタの消費をシミュレートするステップと、

現在のシミュレーションミッションに関連する少なくとも1つのダメージカウンタが前記ダメージカウンタに関連するダメージ上限により制限された所定の値に達するまで、前記複数のダメージカウンタの各々の累積消費を繰り返しごとに測定するステップと、

前記現在のシミュレーションミッションにメンテナンス戦略を適用することで、前記航空機エンジンに対して計画されるメンテナンス作業を示すメンテナンスインジケータを決定するステップと、
を含む。

30

【0008】

センサの消費を一連のミッションの単純な抽出によりシミュレートすることにより、メンテナンスアクションの回数及びタイプを、実装されたメンテナンス戦略に従って予測できる。メンテナンス戦略は、前記ダメージ上限に関連する所定の値により定義されている。このシミュレーション原理は、計算ステップのための非常に高い融通性を、低コストで、また、統計学の特別な知識を必要とせず可能にする。

【0009】

有利には、前記方法は、

40

現在の戦略の適用ごとに、当該現在の戦略に関連するコストインジケータと有効性インジケータの決定と、前記コストインジケータ及び有効性インジケータの関数としての妥協インジケータの決定とを含む、一連の様々なメンテナンス戦略を適用するステップと、

様々な戦略のための妥協インジケータを比較して最適なメンテナンス戦略を選択するステップと、を含む。

【0010】

これは、ダメージカウンタの変性を考慮すること、及び、適用されるべき最良の戦略を効率的に見出すことにより、メンテナンス戦略の良好な利用を可能にする。

【0011】

第1の実施形態によれば、メンテナンス戦略の適用は、

50

各ダメージカウンタの前記累積消費を決められた回数の飛行まで推定するステップと、ダメージ上限に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業をグループ化するステップと、を含む。

【0012】

メンテナンス作業のグループ化は、エンジン有効性向上の手段をもたらす。例えば、メンテナンス作業のグループ化と同時に、次の50回又は100回の飛行中にトリガーされるアクションの予測により2000回飛行のホライズンをシミュレートできる。

【0013】

第2の実施形態によれば、メンテナンス戦略の適用は、前記現在のシミュレーションミッションのダメージカウンタの消費を、中間閾値又はダメージ上限より下の上限と比較するステップと、前記中間上限に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業をグループ化するステップと、を含む。

10

【0014】

有利には、前記方法は、前記シミュレートされたダメージカウンタの消費を複数回繰り返すことで、各メンテナンスインジケータに関連する一連の消費値を決定するステップと、各メンテナンスインジケータに関連する前記消費値の平均を算出するステップと、を含む。

【0015】

これによれば、メンテナンス作業をより現実的に予測し、且つ統計的情報を得る手段を提供する。

20

【0016】

前記学習データベースは、一連の経験ミッションと、前記経験ミッションの各々に関連するポテンシャルセンサの消費と、ポテンシャルセンサに関連するダメージ上限と、対応するメンテナンスアクションを含む所定のメンテナンスプランと、を含む。

【0017】

有利には、前記学習データベースは、ミッションインジケータをさらに含み、前記ミッションインジケータは、ミッション毎の重大性インジケータと、ミッション毎の飛行期間インジケータと、ミッションタイプインジケータとを含むことを特徴とする、請求項6に

30

【0018】

これは、データベースを充実させ、また、ミッションを、重大性、タイプ又は期間の関数として分類できる。こうして、ミッションは、ランダムにより現実的に行われるように関連的に分類される。

【0019】

有利には、前記一連のシミュレーションミッションは、経験ミッションのサブセットからランダムに抽出される。

40

【0020】

この結果、前記シミュレーションが、航空機ベース、フリート又は特定のミッションタイプに特異的に行われうる。こうして、メンテナンスプランが航空機の利用方法に適合可能となる。

【0021】

有利には、前記方法はデータベースの更新を含む。

【0022】

これは、将来の及び乗客に応じた適合ミッションを代表するデータベースを有する手段を提供する。

50

【 0 0 2 3 】

また、本発明は、上記の特徴に従うメンテナンス作業予測方法を各航空機エンジンに適用することにより航空機エンジンフリートに用いられるメンテナンス予測ツールも対象とする。

【 0 0 2 4 】

また、本発明は、複数のダメージカウンタにより監視される複数のコンポーネントを備えた航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業を予測するシステムである。各ダメージカウンタは、対応するダメージ上限により制限され、

前記システムは、

経験ミッションを含む学習データベースから一連のシミュレーションミッションを繰り返し抽出することにより、前記ダメージカウンタの消費をシミュレートするように構成された処理手段と、

現在のシミュレーションミッションに関連する少なくとも1つのダメージカウンタが前記ダメージカウンタに関連するダメージ上限に達するまで、前記複数のダメージカウンタの各々の累積消費を繰り返しごとに測定するように構成された処理手段と、

前記現在のシミュレーションミッションにメンテナンス戦略を適用することで、前記航空機エンジンに対して実行されるメンテナンス作業を示すメンテナンスインジケータを決定するように構成された処理手段と、

を備える。

【 0 0 2 5 】

本発明による装置及び方法のその他の具体的な特徴及び利点は、情報として提供されているが限定的ではない以下の説明を、添付図面を参照しつつ読むことで明らかになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 6 】

【 図 1 】本発明に係るエンジン又はエンジンの一部に行われるべきメンテナンス作業を予測するためのシステムを概略的に示す。

【 図 2 】航空機エンジンのためのダメージカウンタの構造を概略的に示す。

【 図 3 】本発明による、航空機エンジンへのメンテナンス作業を予測する方法を概略的に示すフローチャートである。

【 図 4 A 】全ての経験ミッション及び関連するポテンシャルセンサを含むテーブルを概略的に示す。

【 図 4 B 】航空機エンジンのメンテナンスプランを記載したテーブルを概略的に示す。

【 図 5 】本発明の好ましい実施形態に係るメンテナンス作業を予測する方法を示すブロック図である。

【 図 6 A 】本発明に係る方法の適用例を概略的に示す。

【 図 6 B 】本発明に係る方法の適用例を概略的に示す。

【 図 6 C 】本発明に係る方法の適用例を概略的に示す。

【 図 6 D 】本発明に係る方法の適用例を概略的に示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 7 】

本発明の概略的原理は、航空機エンジンのダメージカウンタの消費を、ミッションデータベースから開始して予測すること、及び、この予測を利用して、前記エンジンのエンジン有効性及びメンテナンスコストを最適化するためにメンテナンス戦略の適用を最適化することである。

【 0 0 2 8 】

図 1 は、本発明による、航空機エンジンに行われるべきメンテナンス作業を予測するためのシステムを概略的に示す。

【 0 0 2 9 】

有利には、予測システム 1 は、地上ステーションでインストールされ、コンピュータシステム 3 を含む。コンピュータシステム 3 は、通常、入力手段 5 と、処理手段 7 と、記憶

10

20

30

40

50

手段 9 と、出力手段 11 とを含む。記憶手段 9 は、本発明に係る予測方法の実行に適合されたコード命令を含むコンピュータプログラムを含み得ることに留意されたい。このコンピュータプログラムは、記憶手段 9 並びに入力手段 5 及び出力手段 11 に関連した処理手段 7 により実行され得る。

【0030】

各飛行任務に関し、航空機 13 は、その搭載コンピュータ 15 に飛行パラメータを収集し、記録する。これらのデータは、定期的に（例えば、各飛行任務後に）ダウンロードされて、予測システム 1 により読み出され得る。これらのデータの幾つかが地上ステーションにリアルタイムで送信され得ることが理解されよう。

【0031】

予測システム 1 により読み出されたデータは、ダメージカウンタ 17 の消費を測定するために（すなわち、モジュールに生じた又はモジュールにより消費された真のサイクル数をカウントするために）使用されることで、航空機エンジンの様々なモジュールの磨耗又は損傷が推定される。

【0032】

図 2 は、航空機エンジン用のダメージカウンタの構造を概略的に示す。

【0033】

航空機エンジン 19 は、モジュールのセット A1, A2, A3 から構成され、各モジュールが、異なるコンポーネント B1, B2, B3 を含む。各コンポーネントは、コンポーネントの寿命を測定するために使用できる複数のゾーン又は要素 E1 ~ E5 を含み得る。そして、少なくとも 1 つのダメージカウンタ C1 ~ Cm が各要素 E1 ~ E5 に関連付けられて、この要素により消費されるサイクルの実数をカウントする。各ダメージカウンタの消費は、ダメージカウンタにより監視されているコンポーネントの、寿命（故障前）を特定する少なくとも 1 つのダメージ上限により制限されている。

【0034】

そして、1 又は複数のダメージ上限に達したとき、テーブル又はメンテナンスプラン（図 4B を参照）に記載されているメンテナンスアクションが想定されなければならない。

【0035】

図 3 は、本発明に係る航空機エンジンへのメンテナンス作業を予測する方法を概略的に示すフローチャートである。

【0036】

ステップ E1 において、処理手段 7 は、ダメージカウンタ C1 ~ Cm の消費をシミュレートするように構成され、これは、一連のシミュレーションミッションを学習データベース 31（例えば、記憶手段 9 に収容されている）から繰り返し抽出することにより行われる。学習データベース 31 は、一連の経験ミッションと、所定のメンテナンスプランを収容している。経験ミッションは、実際の飛行中に収集されたデータを含み、作業フィードバックを提供する。

【0037】

図 4A は、一連の経験ミッションと、関連するポテンシャルセンサとを含むテーブルを概略的に示す。

【0038】

第 1 の縦列は、様々なミッション M1 ~ Mn のためのコード又は番号を含む。その他の縦列は、エンジンの様々な要素に関連した様々なダメージカウンタ C1 ~ Cm を示す。また、各ミッション中の各カウンタの消費を示す。各カウンタにより示されるサイクル又は消費の数値は、例えば、エンジンの対応するコンポーネントの磨耗又は損傷の測定値であり得る。

【0039】

図 4B は、航空機エンジンのメンテナンスプランに記載したテーブルを概略的に示す。である。

【0040】

10

20

30

40

50

第1の縦列は、エンジンの一連のモジュールA1～Anを示す。各モジュールの様々なコンポーネントB1～B3は、第2の縦列に示されている。第3の縦列は、各コンポーネントの様々な場所又は様々な要素E1～E5を示す。第4の縦列は、エンジンの様々な要素に関連するダメージカウンタC1～Cmを示す。第5の縦列は、様々なダメージカウンタC1～Cmに関連するダメージ上限S1～Smを示し、第6の縦列は、交換される前に複数回検査され得る要素の検査間の間隔I1～Imを示すであろう。最後に、第7の縦列は、ダメージ上限に達したときに各要素又はコンポーネントに行われるべきメンテナンス作業OP1～OPmを示す。

【0041】

有利には、学習データベース31は、様々なミッションを定義付けるインジケータにより充実され得る。各ミッションM1～Mnは、例えば、重大性インジケータと、飛行期間インジケータと、ミッションタイプインジケータとにより定義され得る。重大性インジケータは、ミッション中の広域ダメージを示す。例えば、広域ダメージは、ダメージカウンタの最大値、平均値、又は最小値であり得る。

10

【0042】

こうして、ステップE1は、ダメージカウンタC1～Cmの消費をシミュレートする。これは、様々なミッションの連続的シミュレーション（過去に学習データベース31に収容されたデータから引き出したデータから開始）により行われる。各ミッションはランダム（無作為）に抽出され、ダメージカウンタの消費が、抽出されたミッションから推定される。

20

【0043】

第1の変型例によれば、このような抽出は、将来のミッションに関する表示を何も有さずに、エンジン又はエンジンフリートの経年変化をモデル化するために完全にランダムに行われる。

【0044】

第2の変型例によれば、シミュレーションは、学習データベースをフィルタリングし、そして、選択されたフィルタに従ってランダムに抽出することにより指向的に行われる。この場合、シミュレーションは、典型的に、将来のミッションに関する情報（ミッションのタイプ、重大性、飛行時間）の予測を考慮することで特定される。例えば、一連のシミュレーションミッションが、経験ミッションのサブセット（ミッション重大性インジケータ、並びに/又はミッション飛行時間、及び/若しくはミッションタイプの関数として選択されることができ）からランダムに抽出され得る。

30

【0045】

ステップE2及びE3において、処理手段7は、各ダメージカウンタC1～Cmの繰り返しごとの累積消費を測定するように構成されている。この反復は、現在のシミュレーションミッションに関する少なくとも1つのダメージカウンタが、ダメージカウンタに関連するダメージ上限により限定された所定の値に達するまで行われる。従って、所定の値は、対応するダメージ上限以下である。例えば、所定の値は、ミッションの個数及びダメージ上限値の関数として決定される。

【0046】

より詳細には、処理手段7は、ステップE2において、ステップE1により得られた現在の各シミュレーションミッションに関してダメージカウンタC1～Cmの各々の累積消費を算出する。ステップE3は、現在のシミュレーションミッションに関して、ダメージ上限に関連する所定の値に既に達した少なくとも1つのダメージカウンタがあるかどうかをチェックするためのテストである。テストの結果、このようなダメージ上限値が見つからなければ、ステップE1は、新しい現在のミッションを抽出するために再び開始される。反対に、少なくとも1つのダメージカウンタが、所定の値に達していた場合には、以下のステップE4～E6が実行される。

40

【0047】

ステップE4～E6において、処理手段7は、現在のシミュレーションミッションにメ

50

ンテナンス戦略を適用するように構成されており、航空機エンジン 19 に行われるべきメンテナンス作業と、これらの作業を示すメンテナンスインジケータとを決定する。

【0048】

具体的には、ステップ E 4 において、ダメージカウンタ C_i が達したダメージ上限 S_i に対応するメンテナンスアクションが決定される。

【0049】

ステップ E 5 において、メンテナンス戦略がステップ E 4 のメンテナンスアクションに適用可能かどうかチェックされる。もし適用可能であればステップ E 6 が実行され、そうでなければ、再びステップ E 1 が開始される。

【0050】

最後に、ステップ E 6 においてメンテナンス戦略が適用され、メンテナンスインジケータが決定される。有利には、これらのインジケータは、取り外しの個数及びタイプを含む。

10

【0051】

このように、この方法を用いることで、抽出された一連のミッションに対して実行される戦略の関数としてのメンテナンスアクションの個数及びタイプを予測できる。

【0052】

有利には、ダメージカウンタの消費のシミュレーションは、各メンテナンスインジケータに関連している一連の消費値を決定するために複数回繰り返される。また、処理手段 7 は、各メンテナンスインジケータに関連付けられた消費値の平均を算出するように構成されている。こうして、図 2 におけるステップの多数回の繰り返しにより、メンテナンスインジケータの平均値を正確に推定し、また、これらの値から統計的情報も、例えばモンテカルロ法により抽出する手段が提供される。

20

【0053】

図 5 は、本発明の好ましい実施形態による、メンテナンス作業を予測する方法を示すブロック図である。この方法は、図 1 の予測システムを用いて有利に行われる。

【0054】

このブロック図は、メンテナンスプランのシミュレーションに関する第 1 の部分 P 1、及び、メンテナンス戦略の最適化に関する第 2 の部分 P 2 を含む。

【0055】

第 1 の部分 P 1 において、ブロック B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} 及び B_{14} は、ダメージカウンタ $C_1 \sim C_m$ の消費を予測するために用いられる入力データであり、これらのデータは過去から得られ、計画された将来のミッションの関数としてフィルタリングされ得る。過去から得られたデータを用いることが学習データベース 31 を完全にする。予測データを用いることで予測を精緻化でき、これは、ミッションのタイプ、期間及び重大性に関する情報を提供することにより行われて、学習データベース 31 の使用を精緻化する。

30

【0056】

より詳細には、ブロック B_{11} は、重大性データに関する。これらのデータは、ミッション $M_1 \sim M_n$ を、ダメージカウンタ $C_1 \sim C_m$ の消費に関するそれらの重大性の関数として分類するために用いられる。重大性データは以前のデータであってよく、ミッションの分布の関数として、例えばフリーのプロファイルタイプに依存して選択され得る。

40

【0057】

ブロック B_{12} は、ミッション $M_1 \sim M_n$ の期間に関する。これは各ミッションの飛行時間であり、又は、おそらく、詳細な情報（例えば、離陸時刻、アイドリング時間など）であり得る。

【0058】

ブロック B_{13} は、ミッション $M_1 \sim M_n$ をそれらのタイプの関数としてソートするためのデータに関する。これらのデータは、航空機ミッションの表記（例えば「訓練」又は「妨害」又は「燃料供給」タイプのミッションなど）に対応している。これらのデータは、以前のデータであっても、或いは、将来のミッションのための予測であってもよい。

50

【0059】

ブロック B_{14} は、ダメージカウンタ $C_1 \sim C_m$ の現在の状態に関する。これらのデータは、同一エンジン上の各ダメージカウンタにおける現在及び以前の消費である。

【0060】

ブロック B_2 は、処理手段7により実行され得るポテンシャルセンサ $C_1 \sim C_m$ の消費シミュレータである。消費シミュレータ B_2 は、入力としてデータ B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} 及び B_{14} を有し、これらのデータは、ミッションの重大性、期間及びタイプ、並びに、カウンタ $C_1 \sim C_m$ の現在の状態が知られているミッションのリストに対応している。消費シミュレータ B_2 は、学習データベース31にてランダムドロウ（無作為抽出）を行って、入力データに適合するか又は最も類似のミッションを抽出する。こうして、一連のミッションが、特定のミッションクラスに属する経験ミッションのサブセットから抽出される。例えば、消費シミュレータ B_2 は、フィルタを用いて、所定のミッション重大性、及び/若しくは、所定のミッションタイプ、並びに/又は、特定の期間周辺に属したミッションを抽出する。

10

【0061】

ブロック B_3 は、消費シミュレータ B_2 からの出力データを示し、このデータは、各飛行に関するダメージカウンタ $C_1 \sim C_m$ の予測消費を含む。こうして、各ダメージカウンタの累積消費を各ミッション後に入手できる。

【0062】

ブロック B_4 は、処理手段7により用いられるメンテナンスシミュレータであり、ダメージカウンタ $C_1 \sim C_m$ の累積消費を、メンテナンスプラン（図4B）で定義されたダメージ上限 $S_1 \sim S_m$ に関連する所定の値と比較する。ダメージカウンタのいずれもが、この上限に関連する所定の値に達していない場合、カウンタの現在の状態（ブロック B_{14} ）が更新データにより、コンポーネントの経年変化を考慮して更新され（ブロック B_5 ）、そして、ダメージカウンタの消費をシミュレートするステップが再び開始される。

20

【0063】

一方、ダメージカウンタの少なくとも1つが、所定の値に達した場合には、メンテナンス戦略（ブロック B_6 ）が適用される。例えば、予測戦略を、決められた「50回飛行予測」タイプのタイムホライズンに適用して、50回飛行におけるダメージカウンタの値を推定することによりエンジン有効性を改善できる。次いで、消費シミュレーションステップが、決められたホライズンに対して再び実行され、その他のダメージカウンタが、それらに関連する所定の値に達していた場合、関連するメンテナンスアクションをグループ化でき、また、取り外しの個数及びタイプを決定できる。

30

【0064】

有利には、決められたホライズンに対するシミュレーションが、メンテナンスインジケータ（取り外しの個数及びタイプ）の平均を高精度で推定するために多数回（例えば数万回）行われる。

【0065】

第1の部分P1（メンテナンスシミュレーション）の終了後、メンテナンスインジケータに加え、最適化インジケータが得られる。最適化インジケータは特に、2つのインジケータ、すなわち、モジュール又はエンジンの有効性インジケータ（ブロック B_{61} ）、及び、メンテナンスに関連するコストインジケータ（ブロック B_{62} ）を含む。これらの最適化インジケータをブロック図の第2部分P2により使用することで、適用されるべき最良のメンテナンス戦略を見出せる。

40

【0066】

コストインジケータは、関連するメンテナンス戦略に依存する単一出力又は多出力関数であり、部分Pの消費、及び、取り外しコストCを含む。例えば所定の重み w_1 及び重み w_2 により加重されたコスト関数Jが、以下の式を有する、

【数 1】

$$J = w_1 \cdot P + w_2 \cdot C$$

【0067】

また、有効性インジケータは、モジュール（又はエンジン）の動作時間の、取り外し回数に対する比率として定義される関数である。有利には、有効性インジケータは、実際の動作時間を、実際の動作時間と、モジュールをメンテナンスしていた時間に費やされてい

【0068】

ブロック B₇ において、処理手段 7 は、コストと有効性との妥協インジケータを決定するように構成される。妥協インジケータは、コストパラメータ及び有効性デザインビリティパラメータの関数として定義できる。

【0069】

例えば、個々のコスト又は有効性デザインビリティ d^{DS} （符号 Y で示す）を、決められた各目的又はターゲット T のために以下のように定義できる。

【数 2】

$$d^{DS}(Y) = \begin{cases} 0 & \text{for } Y < LSL \\ \left(\frac{Y - LSL}{T - LSL} \right)^{\beta_1} & \text{for } LSL \leq Y \leq T \\ \left(\frac{USL - Y}{USL - T} \right)^{\beta_2} & \text{for } T < Y \leq USL \\ 0 & \text{for } USL < Y \end{cases}$$

式中、LSL は規格下限であり、USL は規格上限であり、 β_1 、 β_2 は、用途に依存する所定のパラメータである。デザインビリティ = 0 が、目標を考慮して受け入れられない解決策を示し、デザインビリティ = 1 が、最大要求性能を示すことが理解されよう。

【0070】

有利には、コストインジケータと有効性インジケータとは、グローバルデザインビリティ D を、以下のように、個々のコストデザインビリティ及び個々の有効性デザインビリティの関数として定義することにより組み合わせられる。

【数 3】

$$D = \sqrt{d_c^{DS} \times d_d^{DS}}$$

d_c^{DS} . . . コストデザインビリティ

d_d^{DS} . . . 有効性デザインビリティ

【0071】

グローバルデザイアビリティDは、単一目標の従来型最適化を得るために用いられる。

【0072】

ブロックB₈において、処理手段7は、単一出力又は多出力を有する最適化アルゴリズムを実行するように構成される。

【0073】

一般に、遺伝的アルゴリズムは、選択ステップと、混合ステップと、変異ステップとで用いられる。有利には、個々のパラメータの局所最適化を、特に戦略パラメータの最適化のために、シミュレートされたアニーリングにより加えることができる。

【0074】

ブロックB₉において、処理手段7は、所定の戦略のセットの中から新しいメンテナンス戦略を選択するように構成されている。

【0075】

例えば、一連の所定のメンテナンス戦略は、決められたホライズンを有する戦略、及び、中間上限を有する戦略を含む。

【0076】

決められたホライズンを有する戦略では、1つのダメージカウンタに関する計画された取り外しのときの、所定の飛行回数までの他の全てのダメージカウンタの累積消費が推定される。そして、所定の値（例えばダメージ上限に等しい）に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業がグループ化される。

【0077】

中間上限戦略は、ダメージ上限値よりも低い所定の値（中間上限と称する）を選択することから成る。従って、計画された取り外しが、現在のシミュレーションミッションのダメージカウンタに関連している場合、現在のシミュレーションミッションにおけるその他のダメージカウンタの消費が、対応する中間上限と比較される。次いで、中間上限に達したダメージカウンタに関連するメンテナンス作業がグループ化される。ダメージカウンタの中間上限は、カウンタに関連するダメージ上限の所与の割合として定義され得る。

【0078】

従って、メンテナンス戦略は、構造及び決められたパラメータにより定義された、良好な実践のためのルールである。最適化の目的は、これらのパラメータに関する最良の戦略又は戦略の組合せを探すことである。

【0079】

各新しい戦略の各々は、ブロックB₆にループバックすることによりテストでき、そしてメンテナンスシミュレータ（ブロックB₄）により適用される。次いで、最適化ステップが再開される。

【0080】

こうして、一連の様々なメンテナンス戦略が適用される。現在の戦略に関連する、コストインジケータ及び有効性インジケータが、各適用のために決定される。次のステップは、これらのコストインジケータ及び有効性インジケータの関数としての妥協インジケータを決定することである。様々な戦略のための妥協インジケータが、最適なメンテナンス戦略を選択するために互いに比較される。

【0081】

有利には、学習データベースは、特定の航空機エンジンフリートの通常の及び/又は将来のミッションに適應するために更新される。こうして、最初にデータベースに記録された経験ミッションを、航空機の各グループのために実行されるミッションを示すデータに置換えできる。

【0082】

図6A～図6Dは、本発明による方法の2つの適用例を概略的に示す。2つの例の各々において、新しいエンジンのためのモジュールの一連の累積消費が、1400回の飛行のホライズンを予測するためにシミュレートされている。スタート時には、全てのダメージ

10

20

30

40

50

カウンタはゼロに等しい。また、選択されたホライズンでのシミュレーションが、結果の精度を高めるために少なくとも1000回行われる。

【0083】

より詳細には、図6A～図6Bは第1のシナリオを示し、このシナリオにおいて、メンテナンス作業が、それらのトリガー時に個々に実行される。図6Aは、対応するダメージカウンタにより識別されたメンテナンス作業の分布を示す。取り外しの時間間隔が時々非常に短くなり得ることに気づかれよう。また、図6Bは、取り外しごとの検査数の分布を示し、個々の取り外しが200であることを示す。

【0084】

図6C～図6Dは第2のシナリオを示し、このシナリオにおいては、短い間隔でのメンテナンス作業がグループ化されている。従って、メンテナンスアクションをトリガーしなければならないとき、次の50回飛行の範囲でトリガーされるだろう全てのアクションが予測される。図6Dは、50個の取り外しを含む140個の取り外しの分布を示す。複数のメンテナンス作業がグループ化されており、これが、航空機の利用可能性を第1のシナリオよりも良好にしている。

10

【0085】

最後に、本発明が、メンテナンス戦略の事前実行、或いは、エンジン又はエンジンフリートの現在の状態に依存した実行のためのツールであることが留意されよう。すなわち、このツールは、フリートの現在状態を無視する（すなわち推測する）か、又は、フリートの現在状態をリアルタイムで考慮して最良の戦略を選択するために使用できる。

20

【符号の説明】

【0086】

- 1 システム
- 3 コンピュータシステム
- 5 入力手段
- 7 処理手段
- 9 記憶手段
- 11 出力手段
- 17 ダメージカウンタ
- 19 航空機エンジン
- 31 学習データベース
- A モジュール
- B コンポーネント
- C ダメージカウンタ
- E 要素
- M ミッション
- OP オペレーション作業
- S ダメージ上限
- T ターゲット
- P1 メンテナンスプラン
- P2 メンテナンス戦略最適化

30

40

【 図 1 】

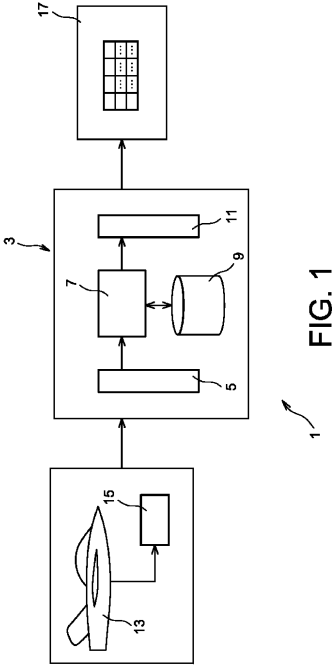


FIG. 1

【 図 2 】

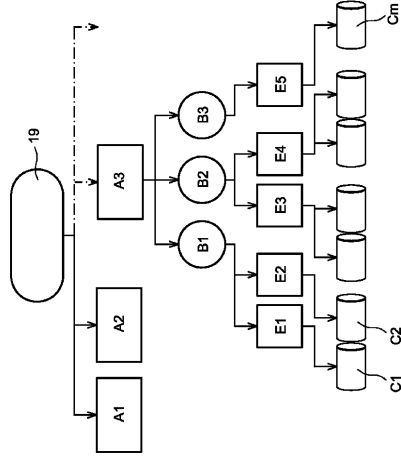


FIG. 2

【 図 3 】

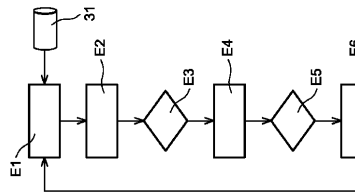


FIG. 3

【 図 4 A 】

	C1	C2	.....	Cm
M1	...	...		...
M2	...	...		...
.....				
Mn	...	...	.....	...

FIG. 4A

【 図 4 B 】

A1	B1	E1	C1	S1	I1	OP1
		E2	C2	S2		OP2
	B2	E3	C3	S3	I3	OP3
		E4	C4	S4		OP4
B3	E5	C5	S5		OP5	
.....	.....		Ci	Si		
An			Cm	Sm	Im	OPm

FIG. 4B

【 図 5 】

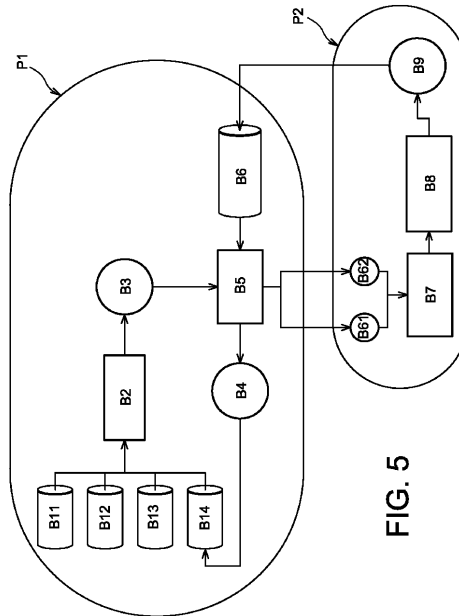


FIG. 5

【 図 6 A 】

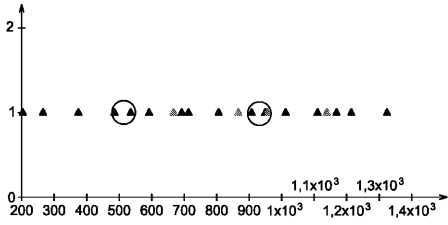


FIG. 6A

【 図 6 C 】

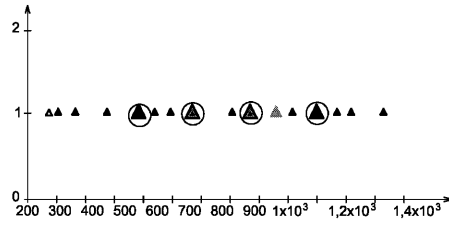


FIG. 6C

【 図 6 B 】

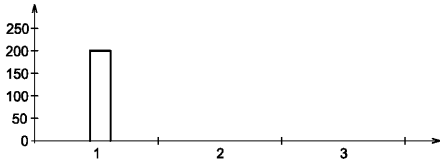


FIG. 6B

【 図 6 D 】

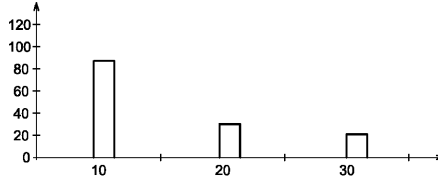


FIG. 6D

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/FR2014/053148

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G05B23/02 ADD.		
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) G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NAEEM ET AL: "Impacts of low-pressure (LP) compressors' fouling of a turbofan upon operational-effectiveness of a military aircraft", APPLIED ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, GB, vol. 85, no. 4, 2 January 2008 (2008-01-02), pages 243-270, XP022406374, ISSN: 0306-2619	1,3,5-11
A	the whole document ----- -/--	2,4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
9 October 2015		21/04/2016
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer José Luis Meseguer

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/053148

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HUGUES E ET AL: "Methods to assess the operational reliability of an aircraft system: problem of dependency between component states", LAAS REPORT, XX, XX, no. 6449, 1 June 2006 (2006-06-01), XP008083016, the whole document	1,10,11
A	----- MUHAMMAD NAEEM ET AL: "Implications of a Military Turbofan's High-Pressure Turbine Erosion for Blade's Creep Life-Consumption", JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, vol. 26, no. 1, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 177-182, XP055147177, ISSN: 0748-4658, DOI: 10.2514/1.38828 the whole document	1-11
A	----- US 2012/179326 A1 (GHELAM SAMIR [FR]) 12 July 2012 (2012-07-12) paragraph [0001] - paragraph [0024] paragraph [0054] - paragraph [0068]	1-11
A	----- WO 2013/182823 A1 (SNECMA [FR]) 12 December 2013 (2013-12-12) abstract page 1 - page 6 -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/053148

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012179326 A1	12-07-2012	FR 2970358 A1 US 2012179326 A1	13-07-2012 12-07-2012
WO 2013182823 A1	12-12-2013	CA 2874943 A1 EP 2859421 A1 FR 2991788 A1 US 2015186568 A1 WO 2013182823 A1	12-12-2013 15-04-2015 13-12-2013 02-07-2015 12-12-2013

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/053148

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G05B23/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G05B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	NAEEM ET AL: "Impacts of low-pressure (LP) compressors' fouling of a turbofan upon operational-effectiveness of a military aircraft", APPLIED ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, GB, vol. 85, no. 4, 2 janvier 2008 (2008-01-02), pages 243-270, XP022406374, ISSN: 0306-2619	1,3,5-11
A	le document en entier ----- -/--	2,4
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
9 octobre 2015		21/04/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé José Luis Meseguer

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/053148

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	HUGUES E ET AL: "Methods to assess the operational reliability of an aircraft system: problem of dependency between component states", LAAS REPORT, XX, XX, no. 6449, 1 juin 2006 (2006-06-01), XP008083016, le document en entier -----	1,10,11
A	MUHAMMAD NAEEM ET AL: "Implications of a Military Turbofan's High-Pressure Turbine Erosion for Blade's Creep Life-Consumption", JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, vol. 26, no. 1, 1 janvier 2010 (2010-01-01), pages 177-182, XP055147177, ISSN: 0748-4658, DOI: 10.2514/1.38828 le document en entier -----	1-11
A	US 2012/179326 A1 (GHELAM SAMIR [FR]) 12 juillet 2012 (2012-07-12) alinéa [0001] - alinéa [0024] alinéa [0054] - alinéa [0068] -----	1-11
A	WO 2013/182823 A1 (SNECMA [FR]) 12 décembre 2013 (2013-12-12) abrégé page 1 - page 6 -----	1-11

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/053148

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012179326 A1	12-07-2012	FR 2970358 A1 US 2012179326 A1	13-07-2012 12-07-2012
WO 2013182823 A1	12-12-2013	CA 2874943 A1 EP 2859421 A1 FR 2991788 A1 US 2015186568 A1 WO 2013182823 A1	12-12-2013 15-04-2015 13-12-2013 02-07-2015 12-12-2013

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	F 0 1 D 25/00	X
	F 0 1 D 25/00	W

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

(72) 発明者 リコルドー, ジュリアン, アレクシ, ルイ
 フランス国、エフ - 7 7 5 5 0 モワシー - クラマイエル セデックス、レオ - ロン - ポワン ル
 ネ ラボー、スネクマ ペ・イ(ア・ジ・イ)