

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6840201号
(P6840201)

(45) 発行日 令和3年3月10日(2021.3.10)

(24) 登録日 令和3年2月18日(2021.2.18)

(51) Int.Cl.

F 0 1 D 25/00 (2006.01)

F I

F 0 1 D 25/00

Q

請求項の数 16 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2019-156679 (P2019-156679)	(73) 特許権者	501479868
(22) 出願日	令和1年8月29日 (2019.8.29)		カール・フロイデンベルク・カーゲー
(65) 公開番号	特開2020-33997 (P2020-33997A)		Carl Freudenberg KG
(43) 公開日	令和2年3月5日 (2020.3.5)		ドイツ連邦共和国デー－69469ヴァインハイム、ヘーネルヴェーク2－4
審査請求日	令和1年8月29日 (2019.8.29)		Hoechnerweg 2－4, D－69469 Weinheim, Germany
(31) 優先権主張番号	18191594.3	(74) 代理人	100114890
(32) 優先日	平成30年8月30日 (2018.8.30)		弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100098501
			弁理士 森田 拓
		(74) 代理人	100116403
			弁理士 前川 純一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ターボ機械用のフィルタの設計、制御および動作

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ターボ機械（3）への空気供給部（2）用のフィルタアセンブリ（1）を設計および／または制御するための方法（100）であって、前記方法（100）は、

・前記フィルタアセンブリ（1）の少なくとも1つのフィルタ段（11～13）の入口に存在する空気中の粒子（4）の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ が、前記粒子（4）の平均粒径 d の関数として算出されるステップ（110）と、

・前記粒子（4）の平均粒径 d に依存して前記粒子（4）の所与の濃度が前記ターボ機械（3）の出力および／または寿命にどの程度悪影響を及ぼすかを示す感度スペクトル $S(d)$ が算出されるステップ（120）と、

・前記フィルタ段（11～13）に使用可能かつ／または接続可能もしくは接続解除可能な少なくとも1つのフィルタ候補（14）に対して、前記濃度 $n(d)$ と前記フィルタ候補（14）のフィルタ特性とから、前記フィルタ段（11～13）の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ が算出されるステップ（130）と、

・前記濃度 $n'(d)$ と前記感度スペクトル $S(d)$ とから、品質基準（1a, 14a）が算出され、前記フィルタ候補（14）および／または前記フィルタアセンブリ（1）に割り当てられるステップ（140）と、を含む方法（100）。

【請求項 2】

前記フィルタ段（11～13）の出口における推定すべき前記粒子（4）の前記濃度 n

10

20

’ (d) を算出するために、付加的に、前記フィルタ段 (11～13) の入口における空気の圧力 p が、前記粒子 (4) の平均粒径 d に依存して使用される (131)、請求項1記載の方法 (100)。

【請求項3】

前記フィルタ段 (11～13) の出口における推定すべき前記粒子 (4) の前記濃度 n ’ (d) に対して付加的に、前記フィルタ段 (11～13) の出口における推定すべき前記空気の圧力 p ’ も算出される (132)、請求項2記載の方法 (100)。

【請求項4】

前記感度スペクトル S (d, M) および／または前記濃度 n (d, M)、 n ’ (d, M) は、付加的に前記粒子 (4) の材料 M にも依存する、請求項1から3までのいずれか1項記載の方法 (100)。

【請求項5】

前記フィルタアセンブリ (1) が、前記空気の通流方向に相前後して接続された複数の前記フィルタ段 (11～13) から選択される (105)、請求項1から4までのいずれか1項記載の方法 (100)。

【請求項6】

前記フィルタアセンブリ (1) の通流抵抗が、前記品質基準 (1a, 14a) に対する所定の境界条件のもとで最適化されるように、前記フィルタアセンブリ (1) が、1つ以上のフィルタ候補 (14) から形成される (150)、請求項1から5までのいずれか1項記載の方法 (100)。

【請求項7】

最適化が付加的な境界条件のもとで少なくとも1つの前記フィルタ段 (11～13) の停止時間に関して実施される (151)、請求項6記載の方法 (100)。

【請求項8】

前記感度スペクトル S (d) は、少なくとも、前記粒子 (4) による浸食攻撃に対するかつ／または化学的腐食攻撃に対する前記ターボ機械 (3) の感受性が前記粒子 (4) の平均粒径 d にどの程度依存するかを示す、請求項1から6までのいずれか1項記載の方法 (100)。

【請求項9】

ターボ機械 (3) への空気供給部 (2) 用のフィルタアセンブリ (1) からなるシステムを動作させるための方法 (200) であって、前記方法 (200) は、

・前記フィルタアセンブリ (1) の少なくとも1つのフィルタ段 (11～13) の入口に存在する空気中の粒子 (4) の現在の濃度および／または推定すべき濃度 n (d) が、前記粒子 (4) の平均粒径 d の関数として算出されるステップ (210) と、

・前記フィルタ段 (11～13) に存在する少なくとも1つのフィルタに対して、前記濃度 n (d) と前記フィルタのフィルタ特性とから、前記フィルタ段 (11～13) の出口における推定すべき前記粒子 (4) の濃度 n ’ (d) が算出されるステップ (220) と、

・前記フィルタ段 (11～13) の入口における空気の圧力 p と前記フィルタのフィルタ特性とから、前記フィルタ段 (11～13) の出口における推定すべき空気の圧力 p ’ が算出されるステップ (230) と、

・前記粒子 (4) の平均粒径 d に依存して前記粒子 (4) の所与の濃度が前記ターボ機械 (3) の出力および／または寿命にどの程度悪影響を及ぼすかを示す感度スペクトル S (d) が算出されるステップ (235) と、

・前記フィルタ段 (11～13) の出口における前記粒子 (4) の前記濃度 n ’ (d,) と、前記空気の前記圧力 p ’ ならびに前記感度スペクトル S (d) と、から前記ターボ機械 (3) の出力損失 L が算出されるステップ (240) と、を含む方法 (200)。

【請求項 10】

前記出力損失 L が所定の閾値を上回ったこと (250) に応答して、前記ターボ機械 (3) のオンライン清掃過程がトリガされる (260)、かつ／または、前記ターボ機械 (3) のメンテナンスが要求される (270)、
請求項 9 記載の方法 (200)。

【請求項 11】

前記出力損失 L の算出は、前記ターボ機械 (3) に入る前記粒子 (4) の量 Q の算出を含む、
請求項 9 または 10 記載の方法 (200)。

【請求項 12】

ターボ機械 (3) への空気供給部 (2) 用のフィルタアセンブリ (1) を動作させるための方法 (300) であって、

前記フィルタアセンブリ (1) の少なくとも 1 つのフィルタ段 (11~13) の効力 (11a~13a) および／またはフィルタタイプ (11b~13b) は、前記フィルタ段 (11) の入口における粒子 (4) の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ の変化 (310) に追従し、

フィルタの効果がフィルタへの電圧の印加によって、かつ／または、フィルタへの電流通流で動作させることによって活性化可能であるフィルタを有するフィルタ段 (11~13) が選択され、前記フィルタ段の前記効力 (11a~13a) は、電圧および／または電流を増減するステップ (322) によって適合化される (320)、
方法 (300)。

【請求項 13】

前記フィルタ段 (11~13) の前記効力 (11a~13a) は、前記フィルタ段 (11~13) を迂回するバイパス管路 (15) の有効流路断面を増減するステップ (321) によって適合化される (320)、
請求項 12 記載の方法 (300)。

【請求項 14】

前記フィルタ段 (11~13) の入口における前記粒子 (4) の現在の濃度 $n(d)$ は、前記フィルタアセンブリの周辺空気中の前記粒子 (4) の濃度の測定から算出される (111)、
請求項 1 から 13 までのいずれか 1 項記載の方法 (100~300)。

【請求項 15】

前記フィルタアセンブリ (1) の周辺空気中の前記粒子 (4) の現在の濃度および／または推定すべき濃度は、外部データソースに関連させられ (112)、さらに、前記フィルタ段 (11~13) の入口における前記粒子 (4) の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ の算出のために使用される (113)、
請求項 1 から 14 までのいずれか 1 項記載の方法 (100~300)。

【請求項 16】

コンピュータプログラムであって、

コンピュータ上、および／または制御機器上、および／または組み込みシステム上で実行されるとき、前記コンピュータ、前記制御機器または前記組み込みシステムに、請求項 1 から 15 までのいずれか 1 項記載の方法 (100~300) を実施させる機械可読命令を含んでいる、
コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えばガスタービンまたは圧縮機などのターボ機械の空気供給部用のフィルタアセンブリを設計および／または制御するための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

空気が圧縮されるガスタービン、圧縮機および他のターボ機械の機能は、供給された空気中の粒子によって障害を受ける可能性がある。多くの種類の粒子は、時間と共にターボ機械内に蓄積（汚損）する可能性があり、そのためタービンプレードの空気力学が変化し、これによって効率が悪化し、ターボ機械の定期的な清掃が必要になる。特定の種類の粒子は、機械的な浸食によって、かつ／または化学的な腐食によってタービンプレードに直接損傷を与える可能性もある。

【0003】

ドイツ省エネルギー・環境保全ガス工業会（1991）のパンフレット「給気濾過」には、問題が詳細に説明されており、さらにターボ機械に供給される空気用のフィルタリングの適切な設計によって、停止時間とターボ機械の効率とがどのように改善され得るかが示されている。

10

【0004】

U. Schirmeister、F. Mohrらによる刊行物「Impact of Enhanced GT Air Filtration on Power Output and Compressor Efficiency Degradation」（ASME Turbo Expo 2016、2016.06.13～17、韓国、ソウル）では、給気濾過自体がターボ機械への空気供給の圧力損失を引き起こし、それによって、ターボ機械の出力が低下することが開示されている。それゆえ、粒子の最良の堆積を伴うフィルタは、経済的な観点から見ても自ずと最適なフィルタとはいえない。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

それゆえ、本発明の課題は、ターボ機械の空気供給のためのフィルタの設計および／または制御を体系化すると同時に自動化することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この課題は本発明により、独立請求項による方法ならびに並列的関係の独立請求項によるコンピュータプログラムによって解決される。さらなる好適な実施形態は、それらと従属関係にある従属請求項から明らかとなる。

【0007】

本発明の枠内では、ターボ機械への空気供給部用のフィルタアセンブリを設計および／または制御するための方法が開発された。

30

【0008】

この方法では、フィルタアセンブリの少なくとも1つのフィルタ段の入口に存在する空気中の粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ が、粒子の平均粒径 d の関数として算出される。

【0009】

この情報は、任意のやり方で得ることができる。例えば、フィルタアセンブリの設計の枠内では、ターボ機械の場所における、すなわちフィルタアセンブリの意図された使用場所における周辺空気において測定を実施することができる。同様に、フィルタアセンブリの周辺空気中の粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度は、例えば気象サービスまたは環境当局などの外部データソースから受け取ることができる。

40

【0010】

ここでは、粒子の平均粒径 d に依存して当該粒子の所与の濃度がターボ機械の出力および／または寿命にどの程度悪影響を及ぼすかを示す感度スペクトル $S(d)$ が算出される。この感度スペクトルは、経験値の大量のデータ量に基づいており、この場合、ターボ機械の出力データは、ターボ機械の入口における粒子の現在の濃度 $n(d)$ と相関している。

【0011】

吸入された粒子による、動作障害あるいは損傷に対してでさえ実際のターボ機械の感受

50

性は、一方では粒子の平均粒径に依存し、他方では実際のターボ機械に対しても大いに特異的であることが認識された。そのため、例えば、タービンプレードは、遮熱コーティングなどの薄い機能層で多重にコーティングされている。これらの層は、浸食攻撃では厚い基材よりも著しく早く破壊される。しかしながら、遮熱コーティングの破壊は、動作中に、その後の保護を失った高燃焼温度に晒された基材の直接の機能不全にもつながることになる。それゆえ、浸食を引き起こす可能性がある比較的大きな粒子の吸入は回避しなければならない。

【0012】

また、例えば、粒子の蓄積（汚損）に対する感受性は、タービンプレードの幾何形状および材料にも大きく依存している。

10

【0013】

最後に、タービンプレードの化学的腐食に対する感受性は、粒子の化学組成に依存し、この化学組成も粒子の平均粒径 d と関連する。

【0014】

したがって、感度スペクトルは、電離放射線に対する等価線量の生物学的有効性の評価と類似の機能を果たす。そこでは、放射線の種類に応じて、1つの同じ吸収線量の有効性は20倍変動し得る。粒子の平均粒径 d は、この類推において放射線の種類の機能を果たす。

【0015】

ここにおいて、実際のターボ機械が、所定の粒径範囲の粒子による障害を受けやすいならば、これらの障害は、そのような粒子が実際に供給された空気中に含まれている場合のみ発生する。つまり、空気濾過の種類および程度に応じた実際の必要性は、ターボ機械の場所において生じる粒径と、該粒径に依存する実際のターボ機械の感受性と、の相互作用において確定される。

20

【0016】

そのため、例えば、ターボ機械の場所において出現する粒径の一部のみが、ターボ機械にそれなりの規模で障害を与えるかまたは損傷させるケースが起こり得る。したがって、これらの粒子のみを除去すれば十分である。他のすべての粒子は、フィルタアセンブリを通過させることができ、このことは複数の有利な効果をもたらす。このフィルタアセンブリは、より安価に製造することができると同時により少ない通流抵抗を有する。すなわち、ターボ機械の動作中に通流されるときに圧力損失がより僅かになる。最後に、フィルタアセンブリ内に蓄積される粒子の総数が少なくなるので、フィルタを交換しなければならないまでより長期の動作時間が可能になる。

30

【0017】

それゆえ、フィルタ段に使用可能でかつ／または接続可能もしくは接続解除可能な少なくとも1つのフィルタ候補に対して、濃度 $n(d)$ と、フィルタ候補のフィルタ特性とから、フィルタ段の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ が算出される。この濃度 $n'(d)$ と、感度スペクトル $S(d)$ と、から品質基準が算出され、フィルタ候補および／またはフィルタアセンブリに割り当てられる。

【0018】

この品質基準は、さまざまな方法で使用できる。例えば、フィルタアセンブリの設計の際には、可能なフィルタアセンブリのリストは、事前選択を行い、さらに別の基準を含むフィルタアセンブリの最終選択を容易にするために、品質基準の値に従って分類することができる。品質基準は、例えば、勾配降下法などの自動最適化法を用いて、品質基準に関して最適なフィルタアセンブリを見つけるために使用することもできる。そのような最適化を手動プロセスで見つけることは現実的ではない。なぜなら、利用可能なフィルタのカatalogは、用途領域に応じて2,000～20,000の間のフィルタを含んでおり、多段フィルタの場合には可能な組み合わせの数が多すぎるからである。

40

【0019】

フィルタアセンブリの自動評価は、流体力学の既知の法則に基づいて行うことができる

50

。粒子の平均粒径 d と流入速度にも依存した各フィルタの堆積レートは、フィルタが流通したときに標準で詳細に検査される。つまりそれは、考慮の対象になる各フィルタに対して、フィルタの後方における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ の計算のために利用可能である。

【0020】

しかしながら品質基準も、例えばフィルタアセンブリをオンラインで制御するために使用することができる。そのため、例えば、フィルタ段の入口に存在する粒子の粒径に依存する濃度 $n(d)$ は、天候状態または季節に依存して変化し得る。したがって、例えば、個々のフィルタ段を必要に応じて活動化または非活動化させること、もしくは電氣的に動作するフィルタの駆動制御を変更することは有用であり得る。そのため、例えば、所定の季節に対しては飛翔花粉の増加が現れるが、ただしこれは雨が降ると再び大幅に減少する。

10

【0021】

フィルタアセンブリの事前設計のための方法が使用されているか、あるいはフィルタアセンブリのオンライン制御のための方法が使用されているかにかかわらず、効果は同じである。すなわち、粒子の堆積は、動作もしくは寿命に対して最も障害的となる粒子に集中する可能性がある。その一方で、フィルタアセンブリは、ターボ機械が問題なく許容する粒子を妨げることなく通過させる。それにより、フィルタアセンブリ内で、いつかは除去されなければならないこれらの粒子が不必要に蓄積されることはなく、さらに不要な通流抵抗が空気供給部に導入されることもない。つまり、フィルタアセンブリによって引き起こされる圧力損失は、必要なものに限定される。

20

【0022】

特に好適な実施形態では、フィルタ段の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ を算出するために、付加的に、フィルタ段の入口における空気の圧力 p が、粒子の平均粒径 d に依存して使用される。このようにして、粒子の1つの同じ平均粒径 d に対する、1つの同じフィルタのフィルタ性能は、フィルタの入口における流入速度に依存することを考慮することができる。そのため、例えば、低い流入速度のもとでは、粒子の移送は拡散によるものが有利であるが、一方、所定の速度範囲では、慣性力が、フィルタ内の粒子の堆積を増加させる。圧力 p には、フィルタ段の流入によって生じる動圧も含めることができる。

30

【0023】

それゆえ、さらに特に好適な実施形態では、フィルタ段の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ に対して付加的に、フィルタ段の出口における推定すべき空気の圧力 p' も算出される。各フィルタ段の出口における圧力 p' からは、各フィルタ段の出口における濃度 $n'(d)$ と結び付けて、さらにフィルタ段を離れる粒子の平均粒径 d に依存する粒子の質量流量も明らかになる。ここでは特に、最後のフィルタ段を離れてターボ機械に入る粒子の質量流量が重要である。そのため、例えばフィルタアセンブリに要求されるフィルタ性能は、粒子の最大許容質量流量の形態で特定されてもよい。そのような仕様の動機は、例えば、ターボ機械の2回の清掃もしくはメンテナンスの間の期間内に吸入された全粒子は、許容範囲内の所定の規模の汚損もしくは損傷しか引き起こさないことにあり得る。特に、フィルタ段の入口における圧力 p と、当該フィルタ段の出口における圧力 p' と、の間の圧力差は、データベースから呼び出すことが可能である。なぜならそれは、フィルタに対する重要なパラメータのうちの1つであり、市場で利用可能な各フィルタに対して正規化された方法で適宜測定されるからである。

40

【0024】

さらに特に好適な実施形態では、感度スペクトル $S(d, M)$ 、および／または濃度 $n(d, M)$ 、 $n'(d, M)$ は、付加的に粒子の材料 M 、すなわち粒子の化学組成にも依存する。このようにして、粒子とフィルタもしくはターボ機械との相互作用が材料依存性であることが考慮されるならば、その後のフィルタ内の堆積、もしくは通過粒子のターボ機械への障害作用をより正確に決定することができる。そのため、例えば砂粒のような硬

50

い粒子は、ターボ機械内ではより多くの浸食を引き起こすが、一方、塩の結晶のような反応性粒子は、ターボ機械内でより大きな腐食に寄与する。フィルタ内では、粒子が例えば静電気力またはファンデルワールス力のような物理的な力作用によってフィルタ材料に結合されると粒子は堆積する。これらの力作用は材料依存性である。

【0025】

好適には、フィルタアセンブリは、空気の通流方向に相前後して接続された複数の段から選択される。したがって、上述したように、特に、各フィルタ段がその通流抵抗によって圧力差を生じる結果として生じるフィルタ段の間の相互作用を考慮することができる。

【0026】

好適には、フィルタアセンブリは、当該フィルタアセンブリの通流抵抗が、品質基準に対する所定の境界条件のもとで最適化されるように、1つ以上のフィルタ候補から形成される。通流抵抗が小さいほど、圧力損失も少なくなり、ターボ機械の効率が改善される。同時に、空気供給部内に必要量のフィルタ材料のみが存在することにより、当該空気供給部内にも必要量の粒子のみが堆積することが引き起こされる。このことは、フィルタの受け入れ容量が使い果たされてフィルタを交換しなければならない、避けられない時点を先に延ばす。

【0027】

それゆえ、別の好適な実施形態では、最適化が付加的な境界条件のもとで少なくとも1つのフィルタ段の停止時間に関して実施される。このようにして、この停止時間と、ターボ機械の出力と、ターボ機械の寿命と、の間の目標対立に対する適切な妥協的解決手段を得ることもできる。フィルタがより効果的ならば、ターボ機械の出力は、通流抵抗の増加によって低下する。それと引き替えに、ターボ機械の寿命は延び、メンテナンスコストが低減される。なぜならターボ機械に作用する粒子がより少なくなるからである。しかしながらこれもまた、フィルタがより早期にいっぱいになり交換しなければならないこととの引き替えによって獲得されるものである。さほど効果的ではないフィルタは、後でいっぱいになり、より小さな通流抵抗により、ターボ機械は、今やここではより多くの出力を供給する。それと引き替えに、このターボ機械は早めに清掃または修理する必要がある。なぜならより多くの粒子が入り込んで付着しているからである。

【0028】

前述の考察から続いて、本発明は、事前設計とは切り離されて全般的に、ターボ機械への空気供給部用のフィルタアセンブリを動作させるための方法にも関している。

【0029】

この方法では、少なくとも1つのフィルタ段の入口に存在する空気中の粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ が、粒子の平均粒径 d の関数として算出される。フィルタ段に存在する少なくとも1つのフィルタに対して、濃度 $n(d)$ と、フィルタのフィルタ特性と、からフィルタ段の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ が算出される。フィルタ段の入口における空気の圧力 p と、フィルタのフィルタ特性と、からフィルタ段の出口における推定すべき空気の圧力 p' が算出される。ここでは、粒子の平均粒径 d に依存して当該粒子の所与の濃度がターボ機械の出力および／または寿命にどの程度悪影響を及ぼすかを示す感度スペクトル $S(d)$ が算出される。

【0030】

フィルタ段の出口における粒子の濃度 $n'(d)$ と、空気の圧力 p' および感度スペクトル $S(d)$ と、からターボ機械の出力損失 L が算出される。

【0031】

この出力損失 L は、例えば、ターボ機械に入る粒子の量 Q と結び付けられてもよい。濃度 $n'(d)$ と圧力 p' とから質量流量が生じ、時間に関する積分によって量 Q が提供される。例えば、汚損の結果としてのターボ機械の効率の損失は、特にターボ機械内に堆積した粒子の総量に依存することが認識された。例えば浸食および／または腐食による損傷の程度も、決定的には、最後のメンテナンス以降の粒子の総分量によって決定され得る。したがって、出力損失 L の算出は、好適には、ターボ機械内に入る粒子の量 Q の算出を含

10

20

30

40

50

む。

【0032】

出力損失 L が決定されると、ターボ機械の清掃またはメンテナンスが必要とされる時点が状態に依存して決定され得る。もはや一定の動作時間毎にこの清掃またはメンテナンスを行うことは必ずしも必要ではなく、この場合、所要の安全上の余裕度に基づいて、常に、ある程度の残留動作時間が「贈呈」されている。

【0033】

それゆえ、特に好適な実施形態では、出力損失 L が所定の閾値を上回ったことに対する応答ステップにおいて、ターボ機械のオンライン清掃過程がトリガされ、かつ／またはターボ機械のメンテナンスが要求される。

10

【0034】

冒頭において既に述べたように、フィルタ段の入口における粒子の濃度 $n(d)$ は、必ずしも静的でなければならないというわけではなく、むしろ例えば季節的にもしくは天候状態に基づいて変化し得る。それゆえ、本発明は、全般的に、ターボ機械への空気供給部用のフィルタアセンブリを動作させるための方法にも関している。この方法では、フィルタアセンブリの少なくとも1つのフィルタ段の効力および／またはフィルタタイプを、当該フィルタ段の入口における粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ の変化に追従させる。

【0035】

その際、フィルタ段の出口における推定すべき粒子の濃度 $n'(d)$ および／またはフィルタ段の出口における推定すべき空気の圧力 p' に対するこの追従の効果は、特に、前記のフィルタアセンブリを設計および／または制御するための方法に対する説明と類似のやり方で決定され得る。つまり、これに関する開示の範囲は、動作させるための方法に対して完全に使用可能である。

20

【0036】

既に上述したように、これによって、ターボ機械用の給気濾過を実際の要求に適合化させることが可能になる。例えば、周辺空気が大雨の後で非常にきれいであるならば、より多くの空気質量流量をターボ機械に通過させる著しく弱いフィルタリングを設定することができる。同様に、例えば花粉用もしくは黄砂用に特別に設けられたフィルタは、まさに、周辺空気においてこの種の粒子が実際に想定されているときに接続させることができる。したがって、この種の特別なフィルタは、一方では不必要に汚染されず、他方ではフィルタアセンブリの通流抵抗に常時寄与することはない。

30

【0037】

例えば、フィルタ段の効力は、フィルタ段を迂回するバイパス管路の有効流路断面を増減することによって適合化され得る。この目的のために、例えば、方向制御弁または比例弁を使用することができる。

【0038】

しかしながら、例えば、その効果がフィルタへの電圧の印加によって、かつ／またはフィルタへの電流通流で動作させることによって活性化可能であるフィルタを有するフィルタ段を選択することも可能である。その後のフィルタ段の効力は、電圧および／または電流を増減することによって適合化され得る。これに対する一例は、塵埃粒子が放電電極を介して帯電され、引き続きこれによって塵埃粒子が堆積電極に堆積する集塵器がある。

40

【0039】

説明した方法のすべてにおいて、好適には、フィルタ段の入口における粒子の現在の濃度 $n(d)$ は、フィルタアセンブリの周辺空気中の粒子の濃度の測定から算出することができる。したがって、例えば降雨の結果としての減少、あるいはターボ機械の近傍における建設作業による増加などの変化に対しては、特に適時に反応することができる。

【0040】

さらに、説明した方法のすべてにおいて、フィルタアセンブリの周辺空気中の粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度は、外部データソースに関連させることができ、

50

さらに、フィルタ段の入口における粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d)$ の算出のために使用することができる。例えば、気象サービスからの気象データを用いて、雨が降るか、あるいは黄砂がターボ機械の場所に吹き込むことが予測できる。

【0041】

説明された方法は、特に完全にまたは部分的にコンピュータ制御されて実行することができる。対応するソフトウェアは、特に、例えば既存の設計または制御ソフトウェア用の更新またはアップグレードとして販売することができ、その限りでは独立した製品である。それゆえ、本発明は、それがコンピュータ上および／または制御機器上および／または組み込みシステム上で実行されるときに、当該コンピュータ、制御機器、もしくは組み込みシステムに、説明された方法のうちの1つ以上を実施させる機械可読命令を備えたコンピュータプログラムにも関する。同様に、本発明は、コンピュータプログラムを備えた機械可読データ媒体またはダウンロード製品にも関する。

10

【0042】

本方法は、特にターボ機械として例えばガスタービンおよび圧縮機に適用可能であるが、これらに限定されるものではない。

【0043】

詳細な説明部分

以下では、本発明の対象を図面に基づき説明するが、本発明の対象はこれによって限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

20

【0044】

【図1】ターボ機械3への空気供給部2の上流のフィルタアセンブリ1の例示的な効果を示した図

【図2】フィルタアセンブリ1を駆動制御および／または設計するための方法100の実施例を示した図

【図3】フィルタアセンブリ1を動作させるための方法200の実施例を示した図

【図4】フィルタアセンブリ1を動作させるための方法300の実施例を示した図

【発明を実施するための形態】

【0045】

図1は、ターボ機械3への空気供給部2の上流に配置されているフィルタアセンブリ1の効果を一時的に示しており、関与するサイズを明らかにしている。

30

【0046】

フィルタアセンブリ1は、相前後して接続されたフィルタ段11～13を含む。見やすくするために、図1では第1のフィルタ段11の作用のみがより詳細に示されており、他のフィルタ段12、13の存在は単純に示されているだけである。

【0047】

ターボ機械3は、第1のフィルタ段11の通過前に圧力 p を有する空気を吸入する。フィルタ段11は、より低い圧力 p' に向かって圧力損失を引き起こす。フィルタ段11の役割は、粒子4を空気から濾過することである。各粒子4は粒径 d を有し、材料 M からなる。粒子4は、フィルタ段11の通過前は濃度 $n(d, M)$ で存在し、この濃度 $n(d, M)$ は、粒子4の平均粒径 d にも材料 M にも依存している。この濃度 $n(d, M)$ は、フィルタ段11によって濃度 $n'(d, M)$ に低減される。

40

【0048】

フィルタアセンブリ1の設計では、特にフィルタ段11に対するさまざまなフィルタ候補14を検査することができ、それに対しては図1には示されていない品質基準14aを用いて、それぞれのフィルタ性能がターボ機械3の要求に対してどの程度適合しているかを評価することができる。

【0049】

フィルタ性能へのターボ機械3の要件は、感度スペクトル $S(d, M)$ にあり、これは、材料 M からなりかつ平均粒径 d を有する粒子4がそれぞれターボ機械3の動作もしくはは

50

寿命に対してどのくらい障害的に悪影響を及ぼしているかを示す。図1中の対応する線図は、見やすくするために、二次元で示されている。この線図は、本来は、その高さ $S(d, M)$ が座標 d および M に依存する三次元の起伏図でなければならないものであろう。

【0050】

図1には、フィルタ段11をバイパス管路15によって迂回することができることが示されている。したがって、例えば、フィルタ性能は、供給空気中の粒子4の変動する濃度 $n(d, M)$ に適合化され得る。

【0051】

図2は、フィルタアセンブリ1を設計および／または制御するための方法100の一実施例を示す。任意選択的なステップ105では、複数のフィルタ段11～13からなるフ

10

【0052】

ステップ110では、少なくとも1つのフィルタ段11～13の入口における粒子4の濃度 $n(d, M)$ が決定される。このことは、ステップ111に従って直接測定によって行うことができる。代替的にまたは組み合わせの中で、ステップ112に従って周辺空気中の粒子濃度を外部データソースから呼び出し、ステップ113に従って濃度 $n(d, M)$ を算出するために使用することができる。

【0053】

ステップ130では、フィルタ段11～13の出口における推定すべき粒子濃度 $n'(d, M)$ が決定される。その際は特にステップ131に従って、付加的に、フィルタ段の入口における空気の圧力 p も使用することができ、さらにステップ132に従って、付加的に、フィルタ段11～13の出口における推定すべき圧力 p' を算出することができる。

20

【0054】

このことには依存せずに、ステップ120では、粒子4に対するターボ機械3の感度スペクトル $S(d, M)$ が算出される。ステップ140では、フィルタ段11～13の出口における粒子の残留濃度 $n'(d, M)$ および圧力 p' と結び付けて、当該感度スペクトル $S(d, M)$ から、現在フィルタ段11～13内で使用されているフィルタ候補14に対する品質基準14aもしくは全体としてのフィルタアセンブリ1に対する品質基準1aが算出される。ステップ150では、品質基準1a、14aに対する所定の境界条件を維持しながら、フィルタアセンブリ1の通流抵抗を最適化するフィルタ候補14がここで見つけられ得る。ステップ151によれば、少なくとも1つのフィルタ段11～13の停止時間が、さらなる境界条件を形成し得る。

30

【0055】

図3は、フィルタアセンブリ1を動作させるための方法200の一実施例を示す。ステップ210では、少なくとも1つのフィルタ段11～13の入口における粒子4の濃度 $n(d, M)$ が算出される。ステップ220では、フィルタ段11～13の出口における推定すべき粒子4の濃度 $n'(d, M)$ が算出される。さらに、ステップ230では、入口側の圧力 p から出口側の圧力 p' までの圧力損失が算出される。ステップ235では、粒子4の平均粒径 d に依存して当該粒子4の所与の濃度がターボ機械3の出力および／または寿命にどの程度悪影響を及ぼすかを示す感度スペクトル $S(d)$ が算出される。ステップ240では、濃度 $n'(d, M)$ と、出口側の圧力 p' ならびに感度スペクトル $S(d)$ と、から出力損失 L が算出される。

40

【0056】

ステップ250では、出力損失 L が所定の閾値を上回っているかどうかを検査される。閾値を上回っていない（真理値0）ならば、何もしない。閾値を上回っている（真理値1）ならば、ステップ260においてターボ機械3のオンライン清掃過程がトリガされ、かつ／またはステップ270においてターボ機械3のメンテナンスが要求される。

【0057】

図4は、フィルタアセンブリ1を動作させるための方法300の一実施例を示す。ステ

50

ップ 3 1 0 では、フィルタ段 1 1 ～ 1 3 の入口における粒子の現在の濃度および／または推定すべき濃度 $n(d, M)$ の変化が識別される。これに対してステップ 3 2 0 では、フィルタ段 1 1 ～ 1 3 の効力 1 1 a ～ 1 3 a および／またはフィルタタイプ 1 1 b ～ 1 3 b の適合化によって反応する。この目的のために、ステップ 3 2 1 によれば、例えば弁の開閉によって、バイパス管路 1 5 の有効流路断面を変更することができる。ステップ 3 2 2 によれば、フィルタ段 1 1 ～ 1 3 の電氣的駆動制御を変更することができる。

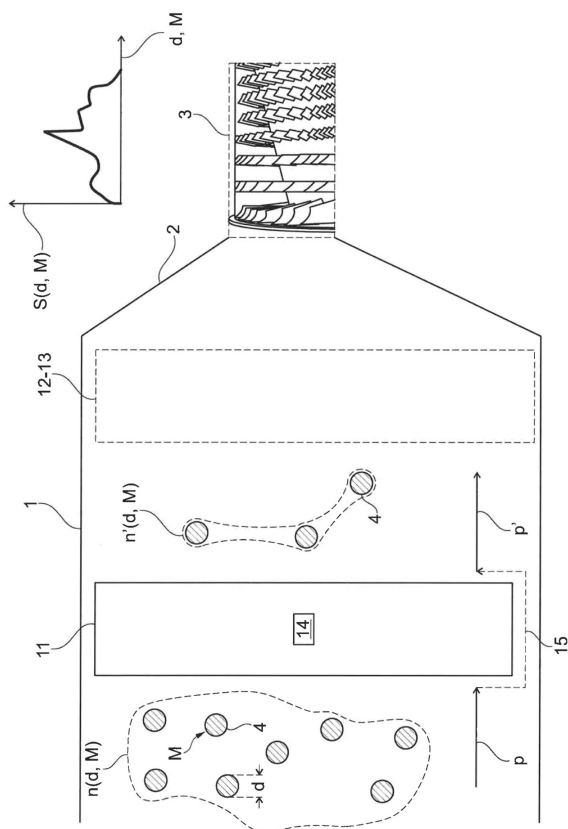
【符号の説明】

【0 0 5 8】

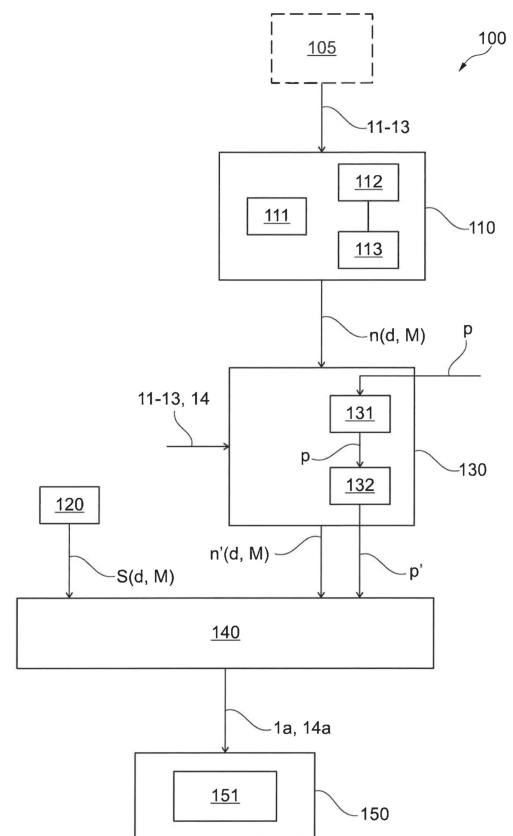
1	フィルタアセンブリ	
1 a	フィルタアセンブリ 1 の品質基準	10
1 1 ～ 1 3	フィルタアセンブリ 1 のフィルタ段	
1 1 a ～ 1 3 a	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 の効力	
1 1 b ～ 1 3 b	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 のフィルタタイプ	
1 4	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 のフィルタ候補	
1 4 a	フィルタ候補 1 4 の品質基準	
1 5	フィルタアセンブリ 1 内のバイパス管路	
2	ターボ機械 3 への空気供給部	
3	ターボ機械	
4	粒子	
1 0 0	フィルタアセンブリ 1 を設計および／または制御するための方法	20
1 0 5	段 1 1 ～ 1 3 を有するフィルタアセンブリ 1 の選択	
1 1 0	粒子 4 の濃度 $n(d, M)$ の算出	
1 1 1	濃度 $n(d, M)$ の測定	
1 1 2	外部データソースへの濃度の問合せ	
1 1 3	外部データを用いた濃度 $n(d, M)$ の算出	
1 2 0	感度スペクトル $S(d, M)$ の算出	
1 3 0	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 通過後の濃度 $n'(d, M)$ の算出	
1 3 1	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 通過前の圧力 p の考慮	
1 3 2	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 通過後の圧力 p' の算出	
1 4 0	品質基準 1 a, 1 4 a の算出	30
1 5 0	品質基準 1 a, 1 4 a に対する境界条件を用いた最適化	
1 5 1	境界条件としてのフィルタ段 1 1 ～ 1 3 の停止時間	
2 0 0	フィルタアセンブリ 1 を動作させるための方法	
2 1 0	粒子 4 の濃度 $n(d, M)$ の算出	
2 2 0	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 通過後の濃度 $n'(d, M)$ の算出	
2 3 0	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 通過後の圧力 p' の算出	
2 3 5	感度スペクトル $S(d)$ の算出	
2 4 0	ターボ機械 3 の出力損失の算出	
2 5 0	出力損失 L に対する閾値を上回ったかどうかの検査	
2 6 0	ターボ機械 3 のオンライン清掃過程のトリガ	40
2 7 0	ターボ機械 3 のメンテナンスの要求	
3 0 0	フィルタアセンブリ 1 を動作させる方法	
3 1 0	濃度 $n(d, M)$ の変化の識別	
3 2 0	効力 1 1 a ～ 1 3 a および／またはフィルタタイプ 1 1 b ～ 1 3 b の適合化	
3 2 1	バイパス管路 1 5 の流路断面の変更	
3 2 2	フィルタ段 1 1 ～ 1 3 の電氣的駆動制御の変更	
d	粒子 4 の粒径	
L	ターボ機械 3 の出力損失	
M	粒子 4 の材料	50

n	フィルタ段 11～13 通過前の粒子 4 の濃度
n'	フィルタ段 11～13 通過後の粒子 4 の濃度
p	フィルタ段 11～13 通過前の空気の圧力
p'	フィルタ段 11～13 通過後の空気の圧力
Q	ターボ機械 3 内に入る粒子 4 の量
S	ターボ機械 3 の感度スペクトル

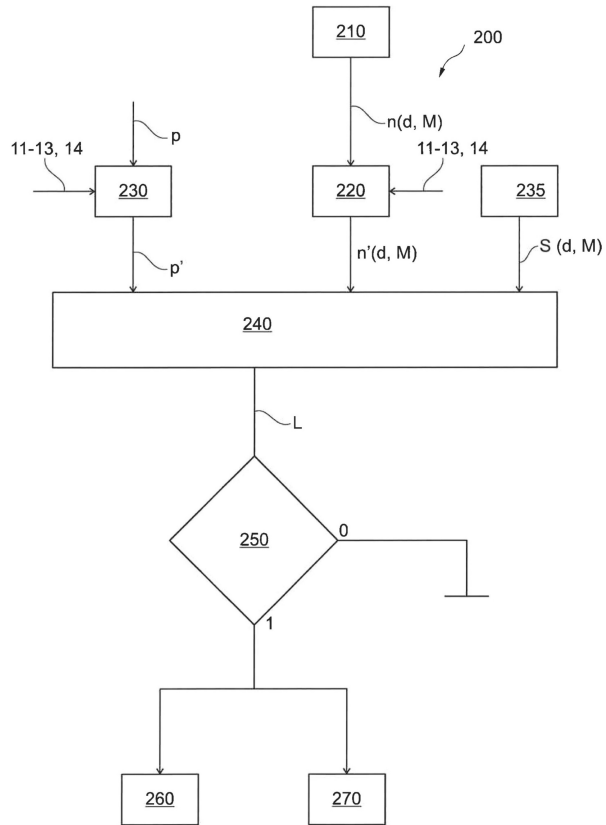
【図 1】



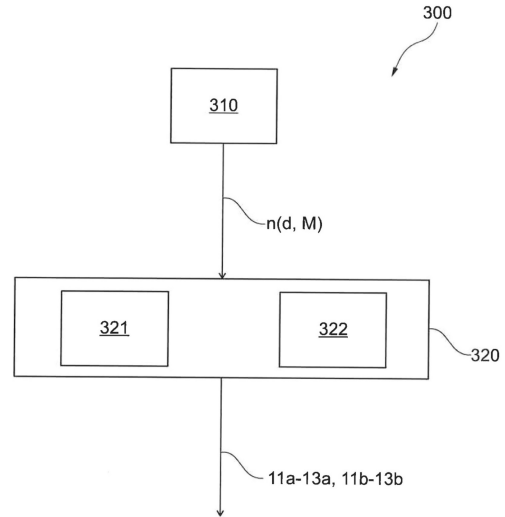
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 パトリック ヴェーバー

ドイツ連邦共和国 ヴァインハイム ミッテルガッセ 13

(72)発明者 ゲオアク ヒアシュ

ドイツ連邦共和国 ウブシュタット-ヴァイアー ホーフエッカーシュトラッセ 25

(72)発明者 トーマス シュロート

ドイツ連邦共和国 ボーベンハイム リングシュトラッセ 9

審査官 北村 一

(56)参考文献 特開2010-255612 (JP, A)

実開昭60-098729 (JP, U)

特開2018-076863 (JP, A)

特開2003-286861 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02C 1/00- 9/58

F23R 3/00- 7/00

F01D 13/00-15/12; 23/00-25/36

F04D 1/00-13/16; 17/00-19/02; 21/00-25/16; 29/00-35/00