

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6615328号  
(P6615328)

(45) 発行日 令和1年12月4日(2019.12.4)

(24) 登録日 令和1年11月15日(2019.11.15)

(51) Int.Cl.

F 1

FO2C 3/30 (2006.01)  
F23R 3/28 (2006.01)FO2C 3/30  
F23R 3/28B  
B

請求項の数 16 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-514358 (P2018-514358)  
 (86) (22) 出願日 平成28年8月19日 (2016.8.19)  
 (65) 公表番号 特表2018-527514 (P2018-527514A)  
 (43) 公表日 平成30年9月20日 (2018.9.20)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2016/047685  
 (87) 國際公開番号 WO2017/048455  
 (87) 國際公開日 平成29年3月23日 (2017.3.23)  
 審査請求日 平成30年9月7日 (2018.9.7)  
 (31) 優先権主張番号 14/856,973  
 (32) 優先日 平成27年9月17日 (2015.9.17)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(73) 特許権者 599078705  
シーメンス エナジー インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国 32826-2399  
フロリダ オーランド アラファヤ トレ  
イル 4400  
(74) 代理人 100108453  
弁理士 村山 靖彦  
(74) 代理人 100110364  
弁理士 実広 信哉  
(72) 発明者 ヒーナ・エイチ・ダンドワニ  
アメリカ合衆国・フロリダ・32839・  
オーランド・グランド・セントラル・パー  
クウェイ・2352・ユニット・12

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】拡散バーナー内への独立制御される3段の水噴射

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

タービンエンジンのための燃焼システムであって、  
燃焼チャンバーと；

ガス燃料が火炎ゾーン内で燃焼する前記燃焼チャンバー内に前記ガス燃料を提供するよう  
に構成された一次燃料出口と、前記火炎ゾーン内に二次液体を噴霧するように構成された  
二次液体ノズルと、前記火炎ゾーン内に水を噴霧するように構成された霧化工アキップ  
と、を有する燃料ノズル組立体と；

前記一次燃料出口に前記ガス燃料を供給するために前記一次燃料出口と流体連通して  
いるガス燃料管と；

前記ガス燃料管と流体連通している一次水管であって、前記一次燃料出口の上流で前記  
ガス燃料管内の前記ガス燃料と混合するために一次水を供給する、一次水管と；

前記二次液体ノズルと流体連通している二次水管であって、前記二次液体ノズルを通じて  
前記火炎ゾーンに二次水を供給する、二次水管と；

前記霧化工アキップと流体連通している三次水管であって、前記霧化工アキップを通じて  
前記火炎ゾーンに三次水を供給する、三次水管と；

前記一次水、前記二次水及び前記三次水の流量が、前記燃料ノズル組立体の上流に配置  
された水供給システムによって制御され、これにより、前記タービンエンジンの性能を最  
適化し、

前記水供給システムが、3つのスロットルバルブを制御するように構成された制御装置

10

20

を含み、前記 3 つのスロットルバルブの 1 つが、前記一次水管、前記二次水管及び前記三次水管のそれぞれに配置され、前記制御装置が、タービン負荷パーセントに応じてルックアップテーブルに基づいて前記一次水、前記二次水及び前記三次水の前記流量を達成するために前記 3 つのスロットルバルブを制御し、

前記ルックアップテーブルが、前記タービンエンジンが定期運転させられる前に実行されるチューニングプロセスで生成され、前記チューニングプロセスが、所定の負荷レベルに前記タービンエンジンを設定するステップと、前記所定の負荷レベルにおいて複数の基準に基づいてタービンエンジン性能を最適化する、水 / 燃料比と一次水 / 二次水 / 三次水の割合とを決定するステップと、前記タービンエンジンを次の負荷レベルに設定するステップと、を含むことを特徴とする燃焼システム。

10

#### 【請求項 2】

前記複数の基準が、前記燃料ノズル組立体への前記ガス燃料の流れを制御する燃料ガススロットルバルブの能力と、前記タービンエンジンからの排ガス中の窒素酸化物 (NOx) 放出の濃度と、前記燃焼チャンバの壁部上での水衝突の存在と、前記タービンエンジンのタービンセクション内での複数の周方向位置で測定された温度の間の変化量と、前記燃焼チャンバ内での燃焼ガス圧力の振動の振動数及び振幅と、を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼システム。

#### 【請求項 3】

前記タービンエンジンの性能を前記一次水のみにより最適化することができる場合には、前記二次水及び前記三次水が使用されず、前記タービンエンジンの性能を前記一次水及び前記二次水のみにより最適化することができる場合には、前記三次水が使用されないことを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼システム。

20

#### 【請求項 4】

前記二次液体ノズルが、前記燃料ノズル組立体の中心線上に配置された 1 つのノズル開口部を有し、前記ノズル開口部が、中空円錐状噴霧パターンで前記火炎ゾーン内に前記二次液体を噴霧することを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼システム。

#### 【請求項 5】

前記霧化工アキップが、前記二次液体ノズルを取り囲む等しく離間された周方向パターンで配置された複数の第 1 開口部を有し、前記複数の第 1 開口部が、前記火炎ゾーン内に前記三次水を噴霧することを特徴とする請求項 4 に記載の燃焼システム。

30

#### 【請求項 6】

前記一次燃料出口が、前記霧化工アキップを取り囲む等しく離間された周方向パターンで配置された複数の第 2 開口部を有し、前記複数の第 2 開口部が、前記燃焼チャンバ内に前記ガス燃料及び前記一次水を提供することを特徴とする請求項 5 に記載の燃焼システム。

#### 【請求項 7】

前記燃焼システムが、前記一次燃料出口及び前記ガス燃料が使用されない交互モードで動作するように構成され、前記二次液体ノズルによって噴霧される前記二次液体が、前記火炎ゾーン内で燃焼する液体燃料であり、前記霧化工アキップが、前記火炎ゾーンに水のみを供給し、前記液体燃料が、前記二次水管の所定位置で前記二次液体ノズルと流体連通している液体燃料管によって供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼システム。

40

#### 【請求項 8】

タービンエンジンのための水 / 燃料噴射システムであって、

ガス燃料が火炎ゾーン内で燃焼する燃焼チャンバ内に前記ガス燃料を提供するように構成された一次燃料出口と、前記火炎ゾーン内に二次液体を噴霧するように構成された二次液体ノズルと、前記火炎ゾーン内に水を噴霧するように構成された霧化工アキップと、を有する燃料ノズル組立体と；

前記一次燃料出口に前記ガス燃料を供給するために前記一次燃料出口と流体連通しているガス燃料管と；

50

前記ガス燃料管と流体連通している、第1スロットルバルブを含む一次水管であって、前記一次燃料出口の上流で前記ガス燃料管内の前記ガス燃料と混合するために一次水を供給する、一次水管と；

前記二次液体ノズルと流体連通している、第2スロットルバルブを含む二次水管であって、前記二次液体ノズルを通じて前記火炎ゾーンに二次水を供給する、二次水管と；

前記霧化工アキヤップと流体連通している、第3スロットルバルブを含む三次水管であって、前記霧化工アキヤップを通じて前記火炎ゾーンに三次水を供給する、三次水管と；

前記一次水管、前記二次水管及び前記三次水管に加圧水を提供するためのポンプと；

前記第1スロットルバルブ、前記第2スロットルバルブ及び前記第3スロットルバルブと通信する制御装置であって、前記一次水、前記二次水及び前記三次水の流量が、前記制御装置によって制御され、これにより、前記タービンエンジンの性能を最適化する、制御装置と；

を備え、

前記制御装置が、タービン負荷パーセントに応じてルックアップテーブルに基づいて前記一次水、前記二次水及び前記三次水の前記流量を達成するために前記第1スロットルバルブ、前記第2スロットルバルブ及び前記第3スロットルバルブを制御するように構成され、

前記ルックアップテーブルが、前記タービンエンジンが定期運転させられる前に実行されるチューニングプロセスで生成され、前記チューニングプロセスが、所定の負荷レベルに前記タービンエンジンを設定するステップと、前記所定の負荷レベルにおいて複数の基準に基づいてタービンエンジン性能を最適化する、水／燃料比と一次水／二次水／三次水の割合を決定するステップと、前記タービンエンジンを次の負荷レベルに設定するステップと、を含むことを特徴とする噴射システム。

#### 【請求項9】

前記タービンエンジンの性能を前記一次水のみにより最適化することができる場合には、前記二次水及び前記三次水が使用されず、前記タービンエンジンの性能を前記一次水及び前記二次水のみにより最適化することができる場合には、前記三次水が使用されないことを特徴とする請求項8に記載の噴射システム。

#### 【請求項10】

前記複数の基準が、前記燃料ノズル組立体への前記ガス燃料の流れを制御する燃料ガススロットルバルブの能力と、前記タービンエンジンからの排ガス中の窒素酸化物( NO<sub>x</sub> )放出の濃度と、前記燃焼チャンバの壁部上での水衝突の存在と、前記タービンエンジンのタービンセクション内での複数の周方向位置で測定された温度の間の変化量と、前記燃焼チャンバ内での燃焼ガス圧力の振動の振動数及び振幅と、を含むことを特徴とする請求項8に記載の噴射システム。

#### 【請求項11】

タービンエンジン燃焼システム内での3段の水噴射のための水流量を決定するための方法であって、

前記タービンエンジン燃焼システム内での一次水、二次水及び三次水の噴射を有するタービンエンジンを提供するステップと；

所定の負荷レベルで動作するように前記タービンエンジンを設定し、タービン動作データを測定するステップと；

前記タービン動作データを用いた前記タービンエンジン燃焼システム内での1段のみの水噴射又は2段の水噴射を用いて複数のタービン動作基準が前記所定の負荷レベルで満たされるかどうかを決定するステップと；

1段のみの水噴射又は2段の水噴射を用いて前記タービン動作基準が前記所定の負荷レベルで満たされない場合に3段の水噴射を開始するステップと；

一次水／二次水／三次水の割合を前記所定の負荷レベルのための予備値に設定するステップと；

水／燃料比を前記所定の負荷レベルのための予備値に設定するステップと；

10

20

30

40

50

前記水 / 燃料比及び前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合を用いて前記タービンエンジンを動作させ、前記タービン動作データを測定するステップと；

前記タービン動作データを用いて前記複数のタービン動作基準が満たされるかどうかを決定するステップと；

前記タービン動作基準を満たすために前記水 / 燃料比が最適値にあるかどうかを決定し、前記水 / 燃料比が最適値にない場合には前記水 / 燃料比を新たな値に設定し、前記タービンエンジンを動作させるステップに戻すステップと；

前記タービン動作基準を満たすために前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合が最適値にあるかどうかを決定し、前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合が最適値にない場合には前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合を新たな値に設定し、前記タービンエンジンを動作させるステップに戻すステップと；

ルックアップテーブルにおいて前記所定の負荷レベルに対する前記水 / 燃料比及び前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合を格納し、前記タービン動作基準が満たされ且つ前記水 / 燃料比及び前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合が最適化された場合に、新たな負荷レベルで動作させるように前記タービンエンジンを設定するステップと；  
を含むことを特徴とする方法。

#### 【請求項 1 2】

前記複数の基準が、前記タービンエンジン燃焼システムへのガス燃料の流れを制御する燃料ガススロットルバルブの能力と、前記タービンエンジンからの排ガス中の窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) 放出の濃度と、燃焼チャンバの壁部上での水衝突の存在と、前記タービンエンジンのタービンセクション内での複数の周方向位置で測定された温度の間の変化量と、前記燃焼チャンバ内での燃焼ガス圧力の振動の振動数及び振幅と、を含むことを特徴とする請求項 1 1 に記載の方法。

#### 【請求項 1 3】

前記タービンエンジン燃焼システムが、前記一次水、前記二次水及び前記三次水とともに燃料を燃焼チャンバ内に噴射するように構成された燃料ノズル組立体を含み、水供給システム内の制御装置が、前記水 / 燃料比及び前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合を得るために、前記一次水、前記二次水及び前記三次水の流量を制御することを特徴とする請求項 1 1 に記載の方法。

#### 【請求項 1 4】

前記燃料ノズル組立体が、  
ガス燃料が火炎ゾーン内で燃焼する前記燃焼チャンバ内に前記ガス燃料を提供するように構成された一次燃料出口、前記火炎ゾーン内に二次液体を噴霧するように構成された二次液体ノズル、及び前記火炎ゾーン内に水を噴霧するように構成された霧化工アキップと；

前記一次燃料出口に前記ガス燃料を供給するために前記一次燃料出口と流体連通しているガス燃料管と；

前記ガス燃料管と流体連通している一次水管であって、前記一次燃料出口の上流で前記ガス燃料管内の前記ガス燃料と混合するために一次水を供給する、一次水管と；

前記二次液体ノズルと流体連通している二次水管であって、前記二次液体ノズルを通じて前記火炎ゾーンに二次水を供給する、二次水管と；

前記霧化工アキップと流体連通している三次水管であって、前記霧化工アキップを通じて前記火炎ゾーンに三次水を供給する、三次水管と；  
を含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の方法。

#### 【請求項 1 5】

前記水供給システムが、前記一次水管、前記二次水管及び前記三次水管に加圧水を提供するためのポンプと、前記一次水管、前記二次水管及び前記三次水管のそれぞれ内の第 1 スロットルバルブ、第 2 スロットルバルブ及び第 3 スロットルバルブと、を含み、前記制御装置が、前記水 / 燃料比及び前記一次水 / 二次水 / 三次水の割合を得るために、前記第 1 スロットルバルブ、前記第 2 スロットルバルブ及び前記第 3 スロットルバルブのポジシ

10

20

30

40

50

ヨンを制御することを特徴とする請求項1\_4に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記方法が、前記タービンエンジンが定期運転させられる前に実行され、前記ルックアップテーブルが、前記タービンエンジンの定期運転動作中に、前記一次水、前記二次水及び前記三次水の流量を制御するために前記制御装置によって使用されることを特徴とする請求項1\_3に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、全体として、タービンエンジンのための拡散火炎燃焼器に関し、より具体的に、当該拡散火炎燃焼器に液体の形態の水を供給するためのノズルシステム及び方法であって、水が、ノズルにおける3つの独立制御される噴射位置を介して燃焼器に提供される、ノズルシステム及び方法に関する。 10

【背景技術】

【0 0 0 2】

世界のエネルギーは、増加し続ける必要があり、従って、信頼性のあり、入手可能な効率的且つ環境的に適合した発電に対する需要を作り出す。ガスタービンエンジンは、効率的な出力を提供する公知の一機械であり、しばしば、発電所内の発電機又は航空機もしくは船舶内のエンジンのための用途を有する。典型的なガスタービンエンジンは、圧縮機セクション、燃焼セクション及びタービンセクションを含んでいる。圧縮機セクションは、燃焼セクションに圧縮空気流を提供し、燃焼セクションでは、空気が、燃料、例えば天然ガスと混合される。燃焼セクションは、複数の周方向に配置された燃焼器を含んでおり、これら燃焼器は、空気と混合されて点火されて作動ガスを発生させる燃料を受容する。作動ガスは、タービンセクションを通じて膨張し、関連するペーンによってタービンセクション内のブレードの列を横切って誘導される。作動ガスがタービンセクションを通過すると、作動ガスはブレードを回転させ、これは、続いて、シャフトを回転させ、それにより機械的仕事を提供する。 20

【0 0 0 3】

作動ガスの温度は、特定のタービンエンジン構成に対していくらかの所定の温度を越えないように厳しく制御される。これは、極めて高い温度が、エンジンのタービンセクション内のさまざまな部品を損傷する可能性があるためである。しかしながら、作動ガスの温度が高ければ高いほどガスの流れが速くなり、これがエンジンのより効率的な動作をもたらすので、損傷を引き起こすことなく作動ガスの温度を可能な限り高くすることが望ましい。 30

【0 0 0 4】

1つの公知のガスタービンエンジン構成では、燃焼セクションが、燃料ノズル組立体、燃焼器及び移行部品を含んでおり、燃料ノズル組立体が、燃料が空気と混合されて燃やされる燃焼器内に燃料及び冷却水を導入し、高温燃焼ガスは、タービンセクション内に移行部品を通過する。燃料ノズル組立体、燃焼器及び移行部品の構成は、長年にわたって良好に発展させてきたが、タービン性能、効率及び耐久性の継続的な向上がそれでも常に望まれている。 40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

$\text{NO}_x$ は、 $\text{NO}$ （一酸化窒素）及び $\text{NO}_2$ （窒素酸化物）を含む単分子窒素酸化物に対する総称である。タービン燃焼器の発展は、全体システム構成の一部である他の不可欠な範囲にネガティブに影響を与えることなく排ガス $\text{NO}_x$ 放出に対処することに焦点が当てられている。拡散火炎燃焼器により、水又は蒸気が、 $\text{NO}_x$ 放出を制御するために燃焼器内に噴射される。しかしながら、水を噴射することは、高い燃焼器ダイナミクスの形態の望ましくない安定性の問題と、ライナークラックに関連する耐久性の問題と、を引き起こす。 50

す可能性がある。このようなシステムの発展は、これら競合する構成基準、すなわち放出、ダイナミクス及びハードウェア寿命のデリケートなバランスを要求する。ノズルを通じた水噴射の柔軟性は、最適なバランスを達成するためのキーである。

**【課題を解決するための手段】**

**【0006】**

本発明の教示に従えば、独立制御される水噴射の3段を有する燃料ノズル組立体を含むタービンエンジン燃焼システムが開示されている。第3段を通じて水を導入する目的は、燃焼器バスケット内の他の流体との水の混合を改善することである。ウォータージェットと外部の空力学的力との間の増大した相互作用は、表面張力を小さくするジェットの表面エネルギーの増大に起因して、水滴の早期の形成を促進する。第1段は、ノズルへの入口でガス燃料と混合される水を含み、第1段の水は、燃焼器内に噴射されるガス燃料と混合し、ガス燃料とともに移動する。第2段は、二次液体ノズルを介して燃焼器内に噴射される水を含み、二次液体ノズルは、液体燃料稼働中には燃料オイルのために使用されるが、ガス燃料稼働中には二次水のために使用されてもよい。第3段は、まとめて霧化工アキヤップとして公知である複数のオリフィスノズル孔を介して燃焼器内に噴射される水を含んでいる。霧化工アキヤップノズルは、始動の信頼性を向上させるために燃料オイル稼働の点火中に燃料を霧化するために使用され、ガス燃料稼働中に水噴射のために使用することができる。アルゴリズム及び基準は、水噴射の3段を制御し、これにより、NO<sub>x</sub>放出と、燃焼ダイナミクスと、燃焼器バスケット壁部上及びノズルの下流の移行部品上での水の衝突と、を含むタービン動作基準の最適なバランスを達成するために規定される。

**【0007】**

本発明のさらなる特徴は、添付の図面と合わせて得られる、以下の説明及び添付した特許請求の範囲から明らかになるであろう。

**【図面の簡単な説明】**

**【0008】**

**【図1】**公知の構成のガスタービンエンジンの断面等角図である。

**【図2】**3段の水噴射を有するマルチ機能燃料ノズルの非限定的な実施形態の部分的な断面側面図である。

**【図3】**図2の3段の水噴射燃料ノズルの端面図である。

**【図4】**図2の3段の水噴射ノズルと接続された水供給及び制御システムの概略図である。

**【図5】**ガスタービンノズル及び燃焼器内での3段の水噴射のための最適な水流量を決定するための方法のフローチャート図である。

**【発明を実施するための形態】**

**【0009】**

ガスタービンエンジンのための拡散バーナーでの3段の水噴射に向けられた本発明の実施形態の以下の説明は、実際は単に例示的なものであり、本発明又は本発明の用途もしくは使用を限定するよう全く意図されていない。

**【0010】**

図1は、圧縮機セクション12、燃焼セクション14及びタービンセクション16を含むガスタービンエンジン10の断面等角図であり、圧縮機セクション12、燃焼セクション14及びタービンセクション16は、全て外部ハウジング又はケーシング30内に包囲されており、エンジン10の動作は、中心シャフト又はロータ18を回転させ、従って機械的仕事を作り出す。エンジン10は、以下で説明する本発明への関係を提供するために、非限定的な例を用いて図示及び説明される。当業者は、他のガスタービンエンジン構成も本発明と関連して使用することができることを理解するであろう。ロータ18の回転は、圧縮機セクション12内に空気を引き込み、圧縮機セクション12では、空気が、ベーン22によって誘導され、回転ブレード20によって圧縮され、燃焼セクション14に搬送され、燃焼セクション14では、圧縮空気が、燃料、例えば天然ガスと混合され、燃料/空気混合物が、高温作動ガスを作り出すために点火される。より具体的に、燃焼セクシ

10

20

30

40

50

ヨン 1 4 は、燃料をそれぞれ受容する、周方向に配置された複数の燃焼器 2 6 を含み、燃料は、噴射器又はノズル（図示せず）によって燃焼器 2 6 内に噴射され、圧縮空気と混合され且つ点火器 2 4 によって点火され、これにより、作動ガスを作り出すために燃焼され、作動ガスは、移行部品 2 8 によってタービンセクション 1 6 内に誘導される。そして、作動ガスは、タービンセクション 1 6 内の周方向に配置された静止ベーン（図 1 では図示せず）によって誘導され、これにより、周方向に配置された回転可能なタービンブレード 3 4 を横切って流れ、これは、タービンブレード 3 4 を回転させ、従ってロータ 1 8 を回転させる。

#### 【 0 0 1 1 】

ガスタービンエンジン、例えばエンジン 1 0 は、極めて高温の燃焼ガスを生成し、タービン効率を高めることが望ましい。しかしながら、極めて高温の燃焼ガスは、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）放出の増大を引き起こすことが公知である。燃料ノズルを介してタービン燃焼器 2 6 内に水を噴射することは、燃焼ガス温度を制御して NO<sub>x</sub> 放出を減少させ且つ部品耐久性を改善するために、当技術分野において公知の技術である。しかしながら、水噴射の使用は、それ自体に問題がないわけではない。10

#### 【 0 0 1 2 】

適切な霧化又は気化なく燃焼器 2 6 内に噴射される水は、燃焼器バスケット壁部に衝突し、燃焼器バスケット壁部を損傷する可能性のある局所的な熱衝撃冷却を引き起こす可能性がある。また、極めて大量の水噴射は、燃焼器 2 6 内の燃焼品質の問題を引き起こす可能性もある。さらに、極めて大量の水を水噴射ドーナツ（以下で述べる）内でガス燃料の流れ内に噴射しようとすることは、実際には、燃料流れを制限する背圧を引き起こす可能性がある。これら及び他の理由のために、水噴射の増大された柔軟性を提供するノズルが望まれる。20

#### 【 0 0 1 3 】

図 2 は、タービンエンジン拡散火炎燃焼器のための燃料ノズル組立体 1 0 0 の側面図である。本発明の非限定的な実施形態に従って、ノズル組立体 1 0 0 は、水噴射の 3 段を提供するように構成されている。燃料管 1 0 2 は、燃料ノズル組立体 1 0 0 にガス燃料 1 0 4 を供給する。一次水管 1 0 6 は、燃料管 1 0 2 に連結された水噴射ドーナツ型部 1 0 8 に水を供給する。水噴射ドーナツ型部 1 0 8 は、燃料管 1 0 2 を取り囲むように又は取り巻くように取り付けられている。水噴射ドーナツ型部 1 0 8 は、燃料管 1 0 2 を通って流れる燃料 1 0 4 内に 1 つ以上の水流 1 1 0 を噴射することを容易にすることができます。燃料管 1 0 2 内での燃料及び水の混合物は、（図 3 に示す）一次燃料出口 1 1 2 を通って流れ、混合物は、（図 1 の燃焼器 2 6 であってもよい）燃焼器 1 1 4 内で点火される。一次燃料出口 1 1 2 は、円形パターンで配置された複数の孔 1 3 2 を含み、ガス燃料及び一次水の混合物は、孔 1 3 2 を通って燃焼器 1 1 4 に提供される。30

#### 【 0 0 1 4 】

加えて、水は、燃料ノズル組立体 1 0 0 の下流の燃焼器 1 1 4 内の燃焼火炎ゾーン 1 1 6 内に噴射される。燃料 1 0 4 内及び火炎ゾーン 1 1 6 内双方に水を噴射することは、NO<sub>x</sub> 放出を良好に制御することを提供することができ、他のタービン動作基準を満たすことに柔軟性を提供する。本明細書で使用される水は、そのさまざまな相を指し、液体又は蒸気並びに液体及び蒸気の組み合わせを含み、小滴を含む。あるいは、水は、本明細書では、液体、蒸気又はスチームを指してもよい。ノズル組立体 1 0 0 内では、火炎ゾーン 1 1 6 内に直接噴射される水が、以下で説明するように、二次段及び三次段を含んでいる。40

#### 【 0 0 1 5 】

二次水管 1 1 8 が、燃料ノズル組立体 1 0 0 への水噴射の選択的な第 2 段を供給する。具体的に、二次水管 1 1 8 からの水噴射の第 2 段は、二次液体ノズル 1 2 0 （図 3 ）に提供される。タービンが、本発明の対象であるガス燃料モードで動作しているときに、二次液体ノズル 1 2 0 は、第 2 段の水噴射のために使用される。タービンが、本発明の対象ではない液体燃料モードで動作しているときに、二次液体ノズル 1 2 0 は、二次水管 1 1 8 の代わりに液体燃料管 1 2 2 によって提供される液体燃料の噴射のために使用される。50

次液体ノズル 120 は、1つのみの開口部を有し、ノズル組立体 100 の中心線 124 上に位置決めされている。二次液体ノズル 120 は、火炎ゾーン 116 内での効果的な分配のために中心線 124 周りで等しく分布された中空円錐状噴霧パターンで燃焼器 114 内に二次水（あるいは液体燃料）を分配する。

#### 【0016】

三次水管 126 は、燃料ノズル組立体 100 への水噴射の選択的な第3段を供給する。具体的に、三次水管 126 からの水噴射の第3段は、霧化工アキップ 128（図3）に提供される。タービンが、本発明の対象であるガス燃料モードで動作しているときに霧化工アキップ 128 は、複数のウォータージェットの形態の第3段（三次）の水噴射のために使用される。霧化工アキップ 128 は、タービン始動中に霧化空気の噴射のために、又はタービンが液体燃料モードで動作しているときに一次水の噴射のために使用され、液体燃料モードは、本明細書ではさらに説明しない。霧化工アキップ 128 は、典型的に、二次液体ノズル 120 を取り囲んで等しく離間された、2つ以上の平面オリフィス加圧ノズル孔 130 を有し、霧化工アキップ 128 は、火炎ゾーン 116 内で分配するために、平面オリフィス加圧ノズル孔 130 を通じて、燃焼器 114 内に細いウォータージェットの形態の水を分配する。10

#### 【0017】

二次水管 118 及び三次水管 126 は、典型的に、一次水管 106 と組み合わせて使用される。合計の水噴射量と、一次段、二次段及び三次段の間での分割と、の指定に使用されるロジックが、以下で説明される。一次水管 106、二次水管 118 及び三次水管 126 は、典型的に、以下で説明する水供給及び制御ネットワークを介して、同じ水供給源によって供給される。20

#### 【0018】

図3は、燃料ノズル組立体 100 の端面図である。図3は、燃焼器 114 内からノズル組立体 100 を見たとして、図2の右側から見たノズル組立体 100 を描いている。図3では、上述したいくつかの要素のポジション及び形態が、はっきりと見ることができる。図3の中心では、1つのみの中心開口部を有する二次液体ノズル 120 が、見ることができる。二次液体ノズル 120 から径方向外側すぐに、複数の孔 130 を有する霧化工アキップ 128 がある。図3に示される例では、霧化工アキップ 128 は、4つの孔 130 を有している。霧化工アキップ 128 からさらに径方向外側には、複数の孔 132 を含む一次燃料出口 112 がある。一次燃料出口 112 は、典型的に、（下流の方が小さい）円錐形状を有し、二次液体ノズル 120 及び霧化工アキップ 128 から若干上流に位置決めされている。上流及び下流は、タービンを通る燃料及び空気流の方向を参照し、下流は、図2の右側である。30

#### 【0019】

複数の旋回翼 134 が、一次燃料出口 112 から径方向外側において周方向パターンで位置している。旋回翼 134 は、燃焼空気が燃焼器 114 に入るための経路を提供する。旋回翼 134 は、燃焼空気に回転運動を誘導し、従って、燃焼器 114 内でほぼ完全な燃焼につながるより高い程度の混合を促進する。

#### 【0020】

図4は、図2の燃料ノズル組立体 100 の側面図と組み合わせられる、水供給及び制御ネットワーク 150 の概略図である。水供給及び制御ネットワーク 150 は、ノズル組立体 100 への一次水、二次水及び三次水の制御された流れを提供する。水ネットワーク 150 は、タービン燃焼器噴射のための適切な量の脱塩水又は他の水の供給部を収容する水タンク 152 を含んでいる。タンク 152 からの水は、フィルター 154 を通ってポンプ 156 へ流れ、ポンプ 156 は、燃焼器噴射のために必要とされるレベルに水圧を増大させる。ポンプ 156 の下流では、水ネットワークは、一次管、二次管及び三次管に分岐する。40

#### 【0021】

水管 160 が、一次流量計 162 及び一次水噴射スロットバルブ 164 を含み、一次

流量計 162 及び一次水噴射スロットルバルブ 164 は、一次水管 106 への一次（段Ⅰ）噴射水の制御された流れを提供するために使用される。図 2 に示し且つすでに述べたように、一次水管 106 は、水がガス燃料 104 と混合される水噴射ドーナツ型部 108 に水を提供する。水管 170 が、二次流量計 172 及び二次水噴射スロットルバルブ 174 を含み、二次流量計 172 及び二次水噴射スロットルバルブ 174 は、二次水管 118 への二次（段Ⅱ）噴射水の制御された流れを提供するために使用される。図 2 に示し且つすでに述べたように、二次水管 118 は、二次水を燃焼器 114 内に分配する二次液体ノズル 120 に水を提供する。水管 180 が、三次流量計 182 及び三次水噴射スロットルバルブ 184 を含み、三次流量計 182 及び三次水噴射スロットルバルブ 184 は、三次水管 126 への三次（段Ⅲ）噴射水の制御された流れを提供するために使用される。  
図 2 に示し且つすでに述べたように、三次水管 126 は、三次水を燃焼器 114 内に分配する霧化アキヤップ 128 に水を提供する。

10

#### 【0022】

制御装置 190 は、流量計 162 / 172 / 182 及びスロットルバルブ 164 / 174 / 184 と通信し、制御装置 190 は、一次噴射水、二次噴射水及び三次噴射水の望ましい流量を確立するために、スロットルバルブ 164 / 174 / 184 の開放ポジションを制御する。任意のタービン負荷 レベル に対する望ましい流量の決定は、以下で説明される。水回収管 192 及び水回収バルブ 194 は、ポンプ 156 によって提供されたが水管 160 / 170 / 180 によって消費されなかった水をタンク 152 に再循環させることをもたらす。

20

#### 【0023】

すでに述べたように、すべてのタービン動作性能基準を達成することは、特に高負荷動作中には、困難なバランスである。ノズルシステム 100 の 3 段の水噴射能力は、水供給及び制御ネットワーク 150 とともに、増大された柔軟性と、要求されるバランスを達成する能力と、を提供する。タービンエンジン、例えばタービンエンジン 10 は、非常に低い負荷（約 10%）から最大負荷（100%）まで広い範囲の負荷 レベル で動作される。水噴射の総量は、負荷 レベル とともに変化し、より高い負荷 レベル は、燃料に比例してより多くの水を要求する（水：燃料比又は W : F と表現される）。同様に、一次水と二次水と三次水との間の割合は、負荷 レベル に応じて変化し、低い負荷 レベル は、一次水のみを使用して十分な性能を示し、高い負荷 レベル は、水噴射の 3 段すべてを要求する可能性がある。

30

#### 【0024】

図 5 は、ガスタービンノズル及び燃焼器での 3 段の水噴射のために最適な水流量を決定するための方法のフローチャート図 200 である。チューニングプロセスとして公知のフローチャート図 200 の方法は、タービン負荷の全範囲にわたって各負荷 レベル のための最適な 3 段の水噴射割合を決定する。このチューニングプロセスは、新たなタービンの運転が開始されるとき、又はメンテナンス手順後にタービンが運転されるために戻されるときに実行される。チューニングプロセスの結果として、各負荷 レベル に対する一次水、二次水及び三次水の流量は、制御装置 190 内に設定値として格納され、これら流量の設定値は、通常のタービン動作中に使用され、現在の動作負荷 レベル に基づいて水流量を確立する。

40

#### 【0025】

フローチャート図 200 のチューニングプロセスを行うために、“チューニングされる”（最適な水噴射割合を決定する）タービンは、データを集めるために、さまざまなセンサが装着されなければならない。これは、タービンの通常動作中に使用される要素、例えば燃料流れセンサ及びNOx 放出センサとともに、典型的にはタービンの通常動作のためには取り付けられない温度センサ（熱電対）及び燃焼器圧力センサを含む。フローチャート図 200 のチューニングプロセスでは、水流量パラメータが所定の値に設定される場合に、それらパラメータは、タービン内のノズルのすべてに対して、すなわち、例えば図 1 のタービン 10 の燃焼器 26 のそれぞれのためのノズルに対して、これらの所定の値に設

50

定される。

**【 0 0 2 6 】**

ボックス 202 では、チューニングされるタービンが、第 1 負荷 レベル、例えばピーク出力の 10 % に設定される。次のステップでは、10 % の負荷 レベルに対する最適な水噴射パラメータが、制御装置 190 によって使用されるルックアップテーブル又は他のファームウェア設定で、決定されて格納され、その後、タービンは、次の負荷 レベル（例えば 20 %）に設定される。判定菱形部 204 では、（ガス燃料 104 と水を混合させる一次水管 106 を介する）1 段のみの水噴射が、動作基準を満たすのに十分かどうかを決定するために、従来のチューニングプロセスが使用される。NOx 放出を制御するために多数の水噴射が必要とされない低い負荷 レベル、例えば 10 % では、シンプルな水噴射の 1 段のみが十分である可能性がある。この場合、負荷 レベルでの 1 段のみの水噴射のための最適な水 : 燃料比 (W : F) が決定される。これは、既存の公知のプロセスを使用して、又は 3 段の水噴射のための以下で説明される技術を使用して、決定される。<sup>10</sup> ボックス 206 では、判定菱形部 204 で 1 段のみの噴射が十分である場足、現在の負荷 レベルに対する形態パラメータ（例えば特定の W : F 比又は流量での一次水のみ）が、格納され、プロセスは、ボックス 202 に戻り、ボックス 202 で、タービンは、次の負荷 レベルに設定される。

**【 0 0 2 7 】**

判定菱形部 204 において、1 段のみの水噴射が、動作基準を満たすために十分でないことが決定されると、判定菱形部 208 において、（一次水管 106 及び二次水管 118 を介する）2 段の水噴射が、動作基準を満たすのに十分であるかどうかを決定するために、従来のチューニングプロセスが使用される。例えば、NOx 放出を制御するために適度な水噴射量が必要とされる負荷 レベル、例えば 40 % では、水噴射の 2 段が十分である可能性がある。この場合、負荷 レベルでの、段 I (一次水管 106) と段 II (二次水管 118) との間の分割とともに、2 段の水噴射のための最適な水 : 燃料比 (W : F) が決定される。これらは、既存の公知のプロセスを使用して、又は 3 段の水噴射のための以下で説明される技術を使用して、決定される。<sup>20</sup> ボックス 206 では、判定菱形部 208 で 2 段の噴射が十分である場足、現在の負荷 レベルに対する形態パラメータ（例えば全体的な W : F 比及び段 I と段 II との間での分割）が、格納され、プロセスは、ボックス 202 に戻り、このボックスで、タービンは、次の負荷 レベルに設定される。<sup>30</sup>

**【 0 0 2 8 】**

判定菱形部 208 において、2 段の水噴射が動作基準を満たすために十分でないことが決定されると、3 段の水噴射がボックス 210 で開始される。すでに述べたように、高い負荷 レベル（例えば 60 % よりも高い）では、水噴射が 2 段に制限されると、NOx 軽減のために必要とされる水噴射の量がタービン性能の他の態様に有害な影響をもたらし始める可能性がある。この解決法は、3 段の水噴射が、全動作基準のより良好なバランスを達成する柔軟性及び能力を提供することである。

**【 0 0 2 9 】**

ボックス 212 では、段 I (一次水管 106) と段 II (二次水管 118) と段 III (三次水管 126) との間での分割が、現在の負荷 レベルに対して確立される。<sup>40</sup> 3 段の噴射の開始後にボックス 212 が最初に行われるときには、分割がデフォルトの値、例えば 40 % の段 I、40 % の段 II 及び 20 % の段 III（これらの値は、単に例として与えられる）に設定される。ボックス 214 では、全体的な W : F 比が、現在の負荷 レベルに対して設定される。ここでも、デフォルトの W : F 比が、任意の与えられる負荷 レベルでの最初の繰り返しのために設定される。ボックス 216 では、タービン動作データが、タービンに取り付けられた複数のさまざまなセンサによって測定される。これらは、例えば、（タービンのノズルのそれぞれのための）燃料流量センサ、（各ノズルに対する各水管のための）水流量センサ、（燃焼器のそれぞれのための）燃焼器壁部 / ライナー温度、（燃焼器のそれぞれのための）燃焼ガス圧力、燃焼ガス温度及び / 又はタービン段周りでのさまざまな周方向ポジションにおける部品温度、並びに NOx 放出センサを含む。<sup>50</sup>

**【 0 0 3 0 】**

判定菱形部 218 では、タービン動作性能基準が、現在の負荷レベルにおいて W : F 比及び分割の現在値に従う場合に満たされるかどうかが決定される。いくつかの異なる動作基準が、判定菱形部 218 で考えられてもよい。これらは、噴射水流量に関するそれらの関連とともに、以下で説明される。

**【 0 0 3 1 】**

判定菱形部 218 で考えられる第 1 動作基準は、燃料ガススロットルバルブが制御中であるかどうかである。ガススロットルバルブは、ガス燃料 104 の流れを絞るために使用される、燃料管 102 内のバルブである。バルブ流れに対するバルブのポジション特性曲線は、所定の参照流れ設定点に対するバルブのポジションを示す。流れとポジションとの間での非線形が極めて大きくなる場合、すなわち、流れの小さな増大に対して、バルブシステム変位が、極めて大きくなり、最大限界に達し、参照流れ設定点と実際の流れとの間の誤差を減少させる能力を失っている場合には、バルブは、制御外にあるとみなされる。このような制御外の状況は、水噴射ドーナツ型部 108 を介して噴射される一次水が極めて多いことから生じ、大きな水流が、ガス流れに対する制限を作り出し、燃料管 102 内に背圧を引き起こす。この場合、一次水の噴射量は、ガススロットルバルブの制御を回復するために減少されなければならない（二次水噴射及び / 又は三次水噴射を増大させる必要がある）。

10

**【 0 0 3 2 】**

判定菱形部 218 で考えられる第 2 動作基準は、NO<sub>x</sub> 放出が順守されているかどうかである。法令は、典型的に、NO<sub>x</sub> 放出が、規定値、例えばタービン排ガス中で 25 パーツパーセント（PPM）の濃度より低くとどまることを要求する。NO<sub>x</sub> 放出が極めて高いと、特に、これは、局所的な燃焼ガス温度が極めて高く、従って水噴射を増大させる必要があることを示す。この場合、全体的な W : F 比が、おそらく増大される必要がある。

20

**【 0 0 3 3 】**

判定菱形部 218 で考えられる第 3 動作基準は、液体の水が燃焼器壁部に衝突しているかどうかである。高い水噴射流れの状況では、ノズル組立体 100 から流出した大量の水が、完全に霧化せず、火炎ゾーン 116 内で空気 / 燃料混合物と拡散しない可能性がある。このように、水滴が燃焼器 114 の壁部に衝突するリスクがあり；これは、燃焼器壁部での熱的疲労につながる可能性があるので、望ましくない。水の衝突は、燃焼器壁部上に熱電対を配置して冷却スポットをモニタリングすることによって検出される。燃焼器壁部に水が衝突する場合には、全体的な W : F 比が、低下されるべきであるか（可能であれば、NO<sub>x</sub> 放出制限を妨害することなく）、又は段 I / II / III の分割が調節されるべきである。

30

**【 0 0 3 4 】**

判定菱形部 218 で考えられる第 4 動作基準は、タービンブレード経路温度が許容可能な範囲内にあるかどうかである。タービン 10 のタービンセクション 16 では、熱電対が、多くの周方向位置に配置されている。例えば、タービン 10 が、14 の燃焼器 26 を含んでいる場合、14 の熱電対が、タービン段周りで周方向に配置され、核熱電対から読み取る温度は、燃焼器 26 の特定の 1 つと関連付けられている。熱電対は、それら熱電対と軸方向に直接整列された燃焼器 26 内での状態を反映せず、むしろ、燃焼ガスがタービン軸に沿って流れときに燃焼ガスの“旋回”に起因して異なる周方向ポジションにある燃焼器 26 の状態を反映することに留意されたい。ブレード経路温度の広がりは、熱電対のいずれかの最小温度示数と最大温度示数との差と、熱電対のすべての平均温度示数と、を確認する。平均よりも顕著に低温のタービンブレード経路位置を確認するブレード経路温度の広がりは、燃焼が希薄であるか又は非常に多くの水を受けている、従って燃焼しない状態に達する 1 つ以上の燃焼器を示す。平均よりも顕著に高温のタービンブレード経路位置を確認するブレード経路温度の広がりは、通常、ノズル 100 の 1 つ以上にハードウェア破損 / 断裂を示す。水噴射方法は、ブレード経路温度の広がりが低温スポット又は高温

40

50

スポットを示すかどうかに応じて変化する。

**【0035】**

判定菱形部218で考えられる第5動作基準は、燃焼器ダイナミクスが許容可能な範囲内にあるかどうかである。燃焼器26内及び燃焼器26の下流での圧力振動は、燃焼器ダイナミクスとも称され、通常、火炎不安定性にも起因する、燃焼プロセスの非定常の結果である。圧力センサが、燃焼器ダイナミクスを測定するために使用される。過度の燃焼器ダイナミクスは、極めて大量の水が噴射されていることを示す可能性があり、圧力振動がタービンへの損傷を引き起こす可能性があるので、許容することはできない。水噴射は、過度の燃焼ダイナミクスが検出されると、減少されるか、又は3段の間で再びバランスをとる必要がある。

10

**【0036】**

上述した動作性能基準のすべてが満たされない場合、判定菱形部220では、W:F比が最適化されているかどうかが決定される。W:F比が最適化されていないと、プロセスは、ボックス214に戻るようにループし、ボックス214では、W:F比が新たな値に設定され、タービンは、新たなW:F比により定常状態に達することが可能であり、データが、ボックス216で再び測定され、判定菱形部218で評価される。

**【0037】**

W:F比が、判定菱形部220で最適化されると、判定菱形部222では、段I/I / I/Iの間での水噴射の分割が最適化されているかどうかが決定される。分割が最適化されていないと、プロセスは、ボックス212に戻るようにループし、ボックス212では、分割が新たな値に設定され、W:F比は、ボックス214ですでに設定されたものままであり、タービンは、新たな分割により安定状態に達することが可能であり、データが、ボックス216で再び測定され、判定菱形部218で評価される。W:F比及び分割は、それらが最適化されてすべてのタービン動作基準が満たされるまで、2つの入れ子にされたループで繰り返し調節される。

20

**【0038】**

判定菱形部220でW:F比が最適化され、判定菱形部222で水噴射の分割が最適化されるが、判定菱形部218でタービン動作基準がそれでも満たされない場合、タービン動作基準を満たすように水噴射によりなされる他ない。この場合、保守工学部門は、タービンの状態を評価するためにボックス224でコントクトされ、いくつかの保守又はメンテナンス手順が必要とされる。

30

**【0039】**

上述した性能基準のすべての評価と、W:F比及び分割の繰り返しの設定と、は、熟練のチューニングエンジニアによって手動で実行されるか、又はこのようなチューニングエンジニアから取得された知識に基づいてプログラムされたアルゴリズムによって実行されてもよい。

**【0040】**

タービン動作基準が、判定菱形部218で十分であると決定されると、現在の負荷レベルに対する3段の噴射形態パラメータ（例えば全体的なW:F比及び段I/I / I/Iの間での分割）が、ボックス206で格納され、プロセスが、ボックス202に戻り、ボックス202では、タービンが新たな負荷レベルに設定される。プロセスは、最適な水噴射形態パラメータが、100%の負荷レベルに対して格納された後に、終了する。

40

**【0041】**

フローチャート図200のチューニングプロセスが、100%まですべての負荷レベルに対して完了された後に、タービンは、通常の動作運転を開始することができ、格納されたデータ（全体的なW:F及び分割）は、任意の与えられる負荷レベルに対して望ましい3段の水流量を確立するために使用される。言い換えると、タービンの通常動作中に、フローチャート図200のチューニングプロセスは、使用されず；制御装置190は、現在のタービン負荷レベルに対するW:F及び分割の格納された値を単に使用し、水噴射の3段すべてに対して望ましい水流量を確定するためにスロットルバルブ164/174/1

50

84を設定する。

【0042】

タービン燃焼器における独立制御される3段の水噴射を提供する、上述したシステム及び方法は、タービン動作基準及び性能基準を満たすのに、より大きな柔軟性を提供する。特に、3段の水噴射は、従来の1段のみ又は2段の水噴射システムが燃焼品質、水の衝突又は燃料流れの問題に直面する高負荷レベルで、NO<sub>x</sub>を遵守したタービン動作を可能にする。

【0043】

以上の説明は、本発明の単なる例示的な実施形態を開示及び説明している。当業者は、このような説明及び添付した図面並びに特許請求の範囲から、さまざまな変更、修正及び変形例が、以下の特許請求の範囲で規定される本発明の精神及び範囲から逸脱することなくなされることを容易に理解するであろう。10

【符号の説明】

【0044】

10 タービンエンジン、16 タービンセクション、100 燃料ノズル組立体、10  
2 ガス燃料管、104 ガス燃料、106 一次水管、112 一次燃料出口、116  
火炎ゾーン、118 二次水管、120 二次液体ノズル、122 液体燃料管、12  
4 中心線、126 三次水管、128 霧化工アキップ、156 ポンプ、164 ,  
174 , 184 スロットルバルブ、190 制御装置

【図1】

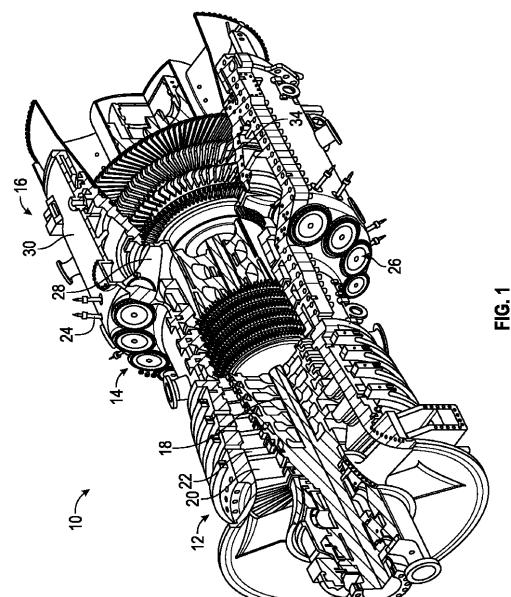


FIG.1

【図2】

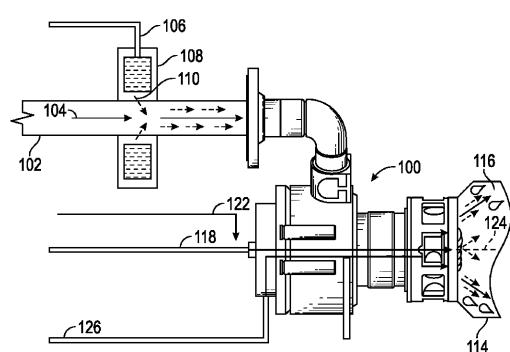


FIG.2

【図3】

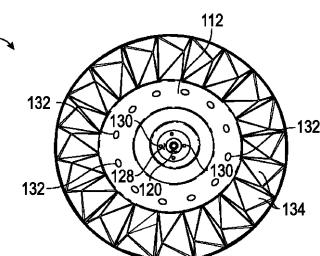
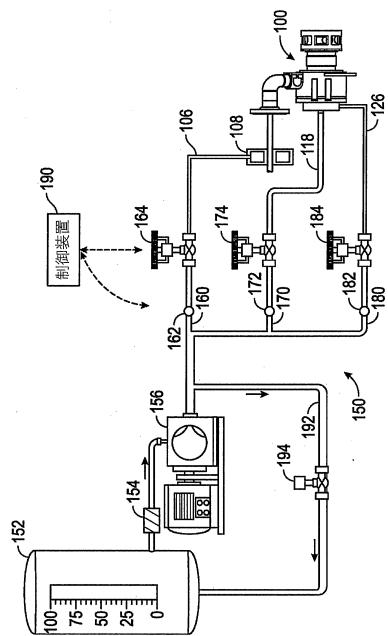
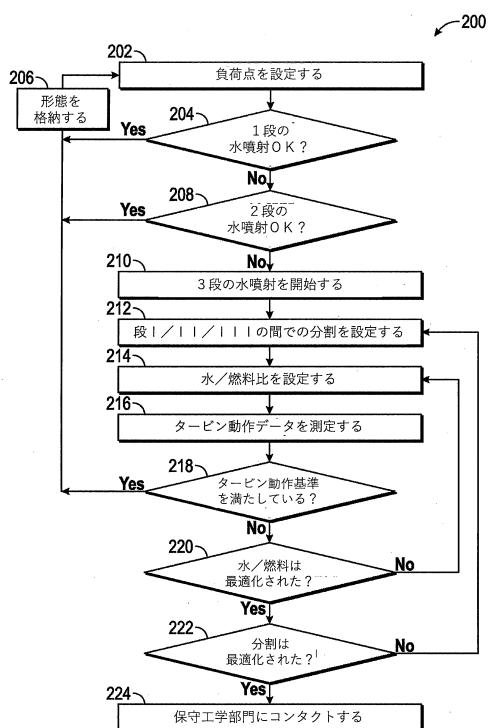


FIG.3

【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 シャーヴィン・ロッド

アメリカ合衆国・フロリダ・32766・チュルオタ・サボフ・ウェイ・1849

(72)発明者 グルデヴ・シン

アメリカ合衆国・フロリダ・32820・オーランド・カーヴィング・オーツクス・ウェイ・332  
9

審査官 小林 勝広

(56)参考文献 特表2013-530371(JP,A)

特開2014-177939(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 02 C 1 / 00 - 9 / 58

F 23 D 11 / 24 - 11 / 34

F 23 L 1 / 00 - 5 / 04、7 / 00 - 99 / 00

F 23 R 3 / 00 - 7 / 00