

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5728168号  
(P5728168)

(45) 発行日 平成27年6月3日(2015.6.3)

(24) 登録日 平成27年4月10日(2015.4.10)

(51) Int.Cl.	F 1	
<b>F 2 3 R</b> 3/12 (2006.01)	F 2 3 R 3/12	
<b>F 2 3 R</b> 3/16 (2006.01)	F 2 3 R 3/16	
<b>F 2 3 R</b> 3/28 (2006.01)	F 2 3 R 3/28	D
<b>F 2 3 R</b> 3/34 (2006.01)	F 2 3 R 3/34	
<b>F O 2 C</b> 7/22 (2006.01)	F O 2 C 7/22	C

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2010-110858 (P2010-110858)  
 (22) 出願日 平成22年5月13日(2010.5.13)  
 (65) 公開番号 特開2010-266193 (P2010-266193A)  
 (43) 公開日 平成22年11月25日(2010.11.25)  
 審査請求日 平成25年4月18日(2013.4.18)  
 (31) 優先権主張番号 12/454, 137  
 (32) 優先日 平成21年5月13日(2009.5.13)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 591150029  
 デラヴァン・インコーポレーテッド  
 DELAVAN INCORPORATE  
 D  
 アメリカ合衆国アイオワ州50265, ウ  
 エスト・デモイン, フォース・ストリート  
 811  
 (74) 代理人 100094651  
 弁理士 大川 晃  
 (74) 代理人 100123478  
 弁理士 田邊 隆  
 (72) 発明者 コーンウェル, マイケル・デー  
 アメリカ合衆国 ミネソタ州、ブルーミン  
 トン, コロラド・ロード・サウス 100  
 16

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービン・エンジン用無炎燃焼システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ガスタービン・エンジン用の無炎バーナであって、

a) 長手方向軸と、上流部分と、下流部分とを有するバーナ本体であって、前記バーナ本体の前記上流部分は、一次渦流発生チャンバおよびその下流スロートを画定し、空気旋回器が連係する前記一次渦流発生チャンバが、前記空気旋回器を通じて圧縮機排気を受け入れ、それによって下流の燃焼生成ガスを前記バーナ本体に向かって引き込む再循環領域を形成するように適合及び構成される、バーナ本体と、

b) 複数の一次燃料インジェクタであって、各々が、前記スロートの下流の前記バーナ本体のディフューザに画定された内側に面した出口オリフィスを有する、複数の一次燃料インジェクタと、

c) 前記スロートの下流を向いた面に画定された出口オリフィスを有する、少なくとも1つの二次燃料インジェクタと

を含み、

ここで、前記一次および二次燃料インジェクタが燃料を燃焼生成ガスの再循環領域に放出するように適合および構成される、無炎バーナ。

【請求項2】

前記バーナ本体の前記上流部分の前記空気旋回器が、半径型空気旋回器である、請求項1に記載の無炎バーナ。

【請求項3】

前記一次渦流発生チャンバと前記バーナ本体の前記下流部分との間に画定される第2の半径型空気旋回器をさらに含む、請求項2に記載の無炎バーナ。

【請求項4】

前記バーナ本体の前記下流部分において、前記一次渦流発生チャンバに近接して画定される円錐型空気旋回器をさらに含む、請求項2に記載の無炎バーナ。

【請求項5】

前記少なくとも1つの二次燃料インジェクタの前記下流に面した出口オリフィスが前記一次渦流発生チャンバと前記ディフューザとの間に画定される、請求項1に記載の無炎バーナ。

【請求項6】

a) 前記バーナ本体の前記下流部分に画定された末広のディフューザ部分であって、前記ディフューザ部分に、圧縮機排気の旋回流を前記ディフューザ部分に送り込むための第2の空気旋回器が画定される、ディフューザ部分を、含む請求項1に記載の無炎バーナ。

【請求項7】

前記第1の空気旋回器が半径型旋回器であり、かつ前記第2の空気旋回器が円錐型旋回器である、請求項6に記載の無炎バーナ。

【請求項8】

前記バーナ本体の前記上流部と、前記下流部と、前記スロート部とが、前記スロート部に近接するほど先細になる先細末広の内側形状を形成する、請求項1に記載の無炎バーナ。

【請求項9】

前記第1の空気旋回器及び前記第2の空気旋回器が、双方とも半径型旋回器である、請求項6に記載の無炎バーナ。

【請求項10】

前記一次燃料インジェクタの各々が、燃料のジェットを放出するように構成された燃料噴霧ノズルを備え、前記燃料のジェットが、圧縮機排気と同時に噴射されることで、自己点火の前に、燃料と空気との十分な混合を促進する、請求項1に記載の無炎バーナ。

【請求項11】

a) 前記バーナ本体の前記下流部分に画定された末広のディフューザ部分であって、前記ディフューザ部分に、圧縮機排気の旋回流を前記ディフューザ部分に送り込むための第2の空気旋回器が画定される、ディフューザ部分と

b) 前記一次渦流発生チャンバと前記ディフューザとの間の前記スロートの下流に画定された下流に面する出口オリフィスであって、燃料を再循環燃焼生成ガスの中に放出するための下流に面する出口オリフィスを有する少なくとも1つの前記二次燃料インジェクタと、を含む、請求項6に記載の無炎バーナ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービン・エンジンに関し、より詳細には、ガスタービン・エンジンの燃焼器用バーナに関する。

【背景技術】

【0002】

当該技術分野においては、ガスタービン・エンジンに燃料を噴射するための様々な装置及び方法が公知である。かかる装置のうち、多くのものは、ガスタービン・エンジンの燃焼器に燃料を噴射し、希薄条件下で燃焼を持続させることを目的としている。希薄燃焼は、燃料効率が良く、且つ、望ましくない排出物質の生成レベルを比較的低く抑えることができるため、ガスタービン・エンジンの低出力設定に望ましい。航空機用ガスタービン・エンジンは、NO<sub>x</sub>排出を低減するため、ますます希薄な運転がなされるよう設計が進められている。産業用ガスタービン・エンジンは、主としてNO<sub>x</sub>生成率を低下させるため、希薄な部分予混合燃焼による希薄運転に切り換わりつつある。しかしながら、希薄燃焼

10

20

30

40

50

に向かう動きは、動作性に関する問題によって妨げられてきた。極めて希薄な燃焼は、非常に不安定であることが分かっている。希薄条件で生成される火炎は不安定な傾向があり、点検しないまま放置すれば、その不安定性から、結果として希薄火炎の吹き消えが起こり得る。そのうえ、希薄吹き消えが起こらなかったとしても、希薄燃焼の不安定性から、結果として強い音波が生じることがあり、それによってガスタービン・エンジンの構造内に望ましくない雑音及び応力が起こり得る。不安定性を軽減し、燃焼過程を制御することにより火炎の安定性を向上させるための対策が講じられ得る。しかしながら、極めて希薄な条件、例えば、液体燃料を使用するガスタービンについて約0.60当量比未満では、従来の方法は、所望の安定性を提供するのに十分でない可能性がある。

#### 【0003】

極めて希薄な条件において安定した燃焼を提供する一つの方法は、無炎燃焼過程を用いることである。ほとんどの燃焼不安定性には、3つの部分からなる循環過程が関わり、ここでは、流体力学的現象の結果として熱発生率に変動が生じ、それが音響モードを結合して強めることで、ひいては不安定な流体力学構造が生じ、それによって熱発生率の変動につながる等する。無炎燃焼では、かかる結合は起こらない。無炎燃焼においてこの種類の結合が起こることは不可能なため、それ以外では燃焼器又はタービン・ブレードに損傷を与え得る強い音波が抑制される。

#### 【0004】

無炎燃焼は、工業用火炉において成功を収めている。この技術には、極めて希薄な混合気の使用が関わり、そこでは、高温の酸化能物質が分散した反応帯において極めて高レベルの乱流で燃料と反応する。無炎燃焼は、工業用火炉において、NO<sub>x</sub>レベルの低い極めて安定した燃焼を生じることが示されている。この燃焼方法は、反応が分散している性質の結果として明確な可視炎がないため、「無炎燃焼」と称される。工業用火炉における無炎燃焼の適用では、高酸化能物質は、空気を熱交換器に通して火炉の排ガスで予熱するか、又は空気を高温の再循環排ガスと直接混合するか、そのいずれかによって所要温度に達する。こうした火炉は、典型的には燃焼領域の外部にある導管を介して燃焼ガスを再利用する。従来のバーナにはこうした導管及び/又は熱交換器があるため、無炎燃焼の適用は地上での運転に限られていた。

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

かかる従来の方法及びシステムは、概してその使用目的を満足すると考えられている。しかしながら、再循環用の導管又は熱交換器なしに無炎燃焼を生じさせるための、改良された装置及び方法が、なお必要とされている。本発明は、こうした問題に対する解決策を提供する。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0006】

本発明は、ガスタービン・エンジン用の有用な新規の無炎バーナに関する。この無炎バーナは、長手方向軸と、上流部分と、下流部分とを有するバーナ本体を備える。バーナ本体の上流部分は、空気旋回器が連係する一次渦流発生チャンバを画定する。一次渦流発生チャンバは、空気旋回器を通じて圧縮機排気を受け入れ、それによって下流の燃焼生成ガスをバーナ本体に向かって引き込む再循環領域を形成するように適合及び構成される。バーナはまた、燃料を再循環燃焼生成ガスに放出するための、バーナ本体の下流部分と動作可能に接続された燃料噴射手段も備える。

#### 【0007】

バーナ本体の上流部分の空気旋回器は、半径型空気旋回器であってもよい。第2の半径型空気旋回器が、一次渦流発生チャンバとバーナ本体の下流部分との間に画定され得る。バーナ本体の下流部分には、一次渦流発生チャンバに近接して円錐型空気旋回器が画定され得る。無炎バーナは、バーナ本体の下流部分に画定される末広のディフューザ部分を備え得る。第2の空気旋回器がディフューザ部分に画定され、圧縮機排気の旋回流をディフ

10

20

30

40

50

ューザ部分に送り込み得る。第1の空気旋回器は半径型旋回器であってもよく、第2の空気旋回器は円錐型旋回器であってもよい。また、第1の空気旋回器及び第2の空気旋回器が、双方とも半径型旋回器であり得ることも企図される。

【0008】

燃料噴射手段は、バーナ本体の下流部分から下流に延在する複数の燃料インジェクタ延長管を備えてもよく、このインジェクタ延長管は斜め内側に曲がっていて、再循環燃焼生成ガスに燃料を噴射する。燃料噴射手段は、一次渦流発生チャンバとバーナ本体の下流部分との間に画定されたバーナ本体のスロート部に近接して下流を向いた面に画定された出口オリフィスを有する少なくとも1つの燃料インジェクタを備え得る。別の態様において、燃料噴射手段は複数の燃料インジェクタを備えてもよく、各々は、バーナ本体の下流部分においてディフューザの内側を向いた面に画定された出口オリフィスを有する。一次渦流発生チャンバ及び空気旋回器は、圧縮機排気の旋回流を、実質的に完全な接線方向で一次渦流発生チャンバに導入するように構成され得る。一次渦流発生チャンバの上流部に、上流の燃料インジェクタが画定されてもよい。

10

【0009】

バーナ本体の上流部と、下流部と、スロート部とは、スロート部に近接するほど先細になる先細末広の内側形状を形成し得る。バーナ本体のスロート部は、複数の二次燃料インジェクタを備え得る。これらの燃料インジェクタの各々は、燃料のジェットを放出するように構成された燃料噴霧ノズルを備えてもよく、この燃料のジェットは、圧縮機排気と同時に噴射されることで、自己点火の前に燃料と空気との十分な混合を促進する。

20

【0010】

一次渦流発生チャンバと、空気旋回器と、燃料インジェクタとは、無炎燃焼反応を持続させるように構成及び適合されることができ、ここで燃料対空気比は約0.4未満である。一次渦流発生チャンバと、空気旋回器と、燃料インジェクタとは、無炎燃焼反応を持続させるように構成及び適合されることができ、ここでCO排出量は約10ppm未満であり、及び/又はNOx排出量は約10ppm未満である。一次渦流発生チャンバと空気旋回器とは、一次渦流発生チャンバ内に旋回流を発生させて、再循環領域内での燃焼生成ガスと圧縮機排気との混合を達成するように構成されることができ、ここで圧縮機排気に対する燃焼生成物の比は、少なくとも約2.5～約1.0である。

30

【0011】

本発明の装置及び方法についての以上の、及びその他の特徴は、当業者には、以下の好ましい実施形態の詳細な説明から、図面を併せて考慮することで、より容易に明らかとなるであろう。

【0012】

本特許又は出願ファイルは、少なくとも1つのカラーで作成された図面を含む。カラー図面の本特許又は特許出願公報のコピーは、所管局に請求し、所要の料金を支払うことで提供される。

【0013】

本発明の関係する技術分野の当業者が、本発明の方法及び装置をどのように作製及び使用すべきかについて、必要以上の実験なしに容易に理解できるよう、以下に本発明の好ましい実施形態が、特定の図を参照して詳細に説明される。

40

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明に従い構成された3つの無炎バーナの代表的な実施形態を含むガスタービン・エンジンの燃焼器の一部の斜視図であり、燃焼器内におけるバーナの配置を示す。

【図2】図1の燃焼器の一部の斜視図であり、燃焼器と分離された無炎バーナの1つを示す。

【図3】図2の無炎バーナの部分分解斜視図であり、燃料ラインがどのようにバーナと接続されるかを示す。

【図4】図3の無炎バーナの断面側面立面図であり、バーナの燃料及び空気内部通路を示

50

す。

【図5】図4のバーナの一部の断面側面立面図であり、燃料ノズルの1つからの燃料の放出を示す。

【図6】図1の燃焼器の一部の断面側面立面図であり、バーナ及び燃焼器におけるフローの概略図を示す。

【図7】本発明に従い構成された3つの無炎バーナの別の代表的な実施形態を含むガスタービン・エンジンの燃焼器の一部の斜視図であり、燃焼器内におけるバーナの配置を示す。

【図8】図7の燃焼器と無炎バーナの1つとの部分分解斜視図であり、バーナがどのように燃焼器と接続されるかを示す。

【図9】図8の無炎バーナの分解した断面側面立面図であり、一次渦流発生チャンバと、空気旋回器と、燃料インジェクタとを示す。

【図10】図9の無炎バーナの断面側面立面図であり、バーナを通じた空気及び燃料の流路を示す。

【図11】図10の無炎バーナの一部の断面側面立面図であり、二次燃料ノズルからの燃料の放出を示す。

【図12】図10の無炎バーナの一部の断面側面立面図であり、一次燃料ノズルからの燃料の放出を示す。

【図13】図7の燃焼器の一部の断面側面立面図であり、バーナ及び燃焼器における空気フローの概略図を示す。

【図14】本発明に従い構成された例示的無炎バーナにおける7つの異なる燃料タイプについての、ある燃焼温度範囲にわたるCO排出量のプロットである。

【図15】図14の無炎バーナにおける9つの異なる燃料タイプについての、図14の燃焼温度範囲に対応した、ある範囲の空気/燃料当量比にわたるNO<sub>x</sub>排出量のプロットである。

【図16】図14の無炎バーナの試験装置内における状態の一連の写真であり、ある範囲の空気/燃料比にわたる燃焼性を示す。

【図17】図14の無炎バーナにおける燃焼についての一連の310nm波長の画像であり、Jet-A燃料、12% Pについて、6つの異なる空気/燃料比の状態を示す。

【図18】当量比が0.55の図14の無炎バーナについての、ある範囲の半径方向位置にわたる温度のプロットであり、5つの異なる軸方向位置における温度プロファイルを示す。

【図19】当量比が0.35の図14の無炎バーナについての、ある範囲の半径方向位置にわたる温度のプロットであり、5つの異なる軸方向位置における温度プロファイルを示す。

【図20】5つの異なる流量についての、図14の無炎バーナにおけるある範囲の軸方向位置及び半径方向位置にわたる温度を示す一群のプロット、並びに、4つの位置及び2つの異なる燃料タイプについての、ある範囲の当量比にわたる温度のプロットである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

ここで図面が参照され、図面において同様の参照符号は、本発明の同様の構造的特徴又は態様を示す。説明及び例示する目的上、及び限定する目的はなしに、本発明に係る無炎バーナの例示的実施形態の部分図が図1に示され、これは概して参照符号100により指定される。後述されるとおり、本発明に係る無炎バーナの他の実施形態、又はその態様が、図2～図13に提供される。本発明のシステムは、ガスタービン・エンジン、又は任意の他の好適な適用において、安定した無炎燃焼を持続させるために使用することができる。

【0016】

図1に示されるとおり、無炎バーナ100は、ガスタービン・エンジンにおける使用に適し、典型的な燃焼器10の周囲に配置され得る。無炎バーナ100は、燃料を燃焼器1

10

20

30

40

50

0に噴射する専用の手段として使用され得ることが企図される。また、無炎バーナ100は、燃焼器10内の従来の燃料インジェクタの間に分散して置かれることも企図される。図2に示されるとおり、バーナ100は、カラーリング30を燃焼器開口20に取り付けることによって燃焼器10に取り付けるように構成される。溶接、ろう付け、又は締結具、例えば、従来の燃料インジェクタを燃焼器に取り付けるために典型的に用いられる締結具の使用を含め、任意の好適な取付け方法が用いられ得る。図3に示されるとおり、燃料を燃焼器10の外部の供給源からバーナ100を通じて燃焼器10の内部に送給するための燃料ライン40が、バーナ100に取り付けられる。

#### 【0017】

図4は、無炎バーナ100の断面を示す。バーナ100は、長手方向軸104と、上流部分106と、下流部分108とを有するバーナ本体102を備える。バーナ本体102の上流部分106は、空気旋回器112が連係する一次渦流発生チャンバ110を画定する。一次渦流発生チャンバ110は、空気旋回器112を通じて圧縮機排気を受け入れるように適合及び構成され、従って圧縮機排気の流れにより引き起こされた強渦流が、結果として渦崩壊をもたらし、下流からの燃焼生成物を一次渦流発生チャンバ110に再循環させる(引き込む)。

#### 【0018】

バーナ本体102の上流部分106の空気旋回器112は、半径型空気旋回器である。第2の半径型空気旋回器118が、一次渦流発生チャンバ110とバーナ本体102の下流部分108との間に画定される。無炎バーナ100は、バーナ本体102の下流部分108に画定される末広のディフューザ部分120を有する。空気旋回器118はディフューザ部分120に画定され、圧縮機排気の旋回流をディフューザ部分120に送り込む。一次渦流発生チャンバ110及び空気旋回器112は、圧縮機排気の旋回流を、実質的に完全な接線方向で一次渦流発生チャンバ110に導入するように構成される。しかしながら、当業者は、燃焼生成ガスを引き込んで無炎燃焼を持続させるのに十分な渦流強度があるならば、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、任意の好適な旋回器構成が用いられ得ることを容易に理解するであろう。

#### 【0019】

バーナ100は、また、バーナ本体102の下流部分108と動作可能に接続された燃料インジェクタ先端123と、上流に向かって流れる再循環領域116(図4には図示されないが、図6を参照されたい)の中に燃料を放出するためのインジェクタ延長管122とを備え、再循環領域116は引き込まれる燃焼生成ガスを含む。インジェクタ延長管122は、燃料と圧縮機排気との双方を噴射する。燃料は、インジェクタ延長管122内で部分的又は完全に気化される。燃料インジェクタ先端123は、燃料噴射か、又はインジェクタ延長管122を通じて送られる燃料の霧化を行う。図4及び図5に示されるとおり、インジェクタ延長管122は下流部分108から下流に延在し、斜め内側に曲がっていて、再循環領域116に含まれる引き込まれる燃焼生成ガスに燃料を噴射する。

#### 【0020】

一次渦流発生チャンバ110とディフューザ部分120との間にあるノズル本体102の内部の狭まった領域に、スロート部124が画定される。バーナ本体102の上流部分106と、下流部分108と、スロート部124とは、スロート部124に近接するほど先細になる先細末広の内側形状を形成する。先細末広の部分は、渦のよどみ点を安定化させてより安定した再循環領域を作り出し、さらに、再循環チャンバ内の渦流も安定化させる。この先細末広の構造により、再循環される燃焼生成物がスロート部124より上流の一次渦流発生チャンバ110に入ることが防止される。

#### 【0021】

図6は、運転中にバーナ100及び燃焼器10の内部で生じる空気及び燃焼生成物のフローパターンの概略図を示す。圧縮機排気130は、旋回器112及び118を通り抜け、バーナ本体102の中心軸104に対して完全に又はほぼ完全に接線方向でバーナ100の内部に入る。これにより、燃焼器10の内部にまで及ぶ渦132が作り出される。空

10

20

30

40

50

気はまた、インジェクタ延長管 1 2 2 を通じても入る。渦 1 3 2 の内側部分は、その周囲より圧力が低く、渦 1 3 2 は燃焼器 1 0 の中まで十分に及ぶため、再循環領域 1 1 6 の燃焼排出ガスが渦 1 3 2 の中に引き込まれ、スロート 1 2 4 のすぐ下流のよどみ点まで上流に送り戻される。インジェクタ延長管 1 2 2 は、再循環領域 1 1 6 の再循環される燃焼排出ガスの内部又はそのごく近傍に出口を有するため、再循環領域 1 1 6 の再循環される、又は引き込まれる燃焼排出ガスの中に燃料を噴射することができる。燃焼排出ガスは典型的には、当量比に応じて、例えば約 9 0 0 ~ 約 1 8 0 0 の範囲の温度、又は極めて希薄な燃焼については約 1 2 0 0 未満の温度を有するため、インジェクタ延長管 1 2 2 から噴射される燃料の燃焼を持続させるための熱は十分にある。

#### 【 0 0 2 2 】

引き続き図 6 を参照すると、バーナ 1 0 0 から出る燃焼空気流は、旋回器 1 1 2 及び 1 1 8 によって引き起こされる強い渦流を有し、チャンバ 1 0 で燃焼生成物の渦 1 3 2 の強い渦流を引き起こすため、渦崩壊が生じ、チャンバ 1 0 の中心に再循環領域 1 1 6 が発生する。この再循環領域 1 1 6 により、高温の、酸素が欠乏した燃焼生成物が、上流のよどみ点（図 4 に示されるとおりスロート 1 2 4 に位置する）まで上流に運ばれ、次に矢印 1 3 4 によって示されるとおり下流に運ばれる。この上流及び下流に動く間に、インジェクタ延長管 1 2 2 を通じて噴射される燃料ジェットが流れに混じり、点火する。燃焼の一部は、外側の再循環領域 1 3 6 でも起こる。

#### 【 0 0 2 3 】

チャンバ 1 0 では、入ってきたばかりの燃焼空気と、高温の燃焼生成物と、燃料との間で強力な混合が起こるため、下流に向かって流れる混合流 1 3 4 は、流入する空気又は既に再循環しているガスを含み得る。この強力な混合は無炎燃焼の特徴である。再循環領域 1 1 6 において上流に向かって流れる再循環する圧縮機排出ガスと、バーナから燃焼器 1 0 を通じて流れ、下流タービン（図示せず）に至る、下流に向かって流れる混合流 1 3 4 との間に、せん断帯が存在する。渦 1 3 2 はこのせん断帯の内側にある。加えて、バーナ 1 0 0 の出口に隣接した燃焼器 1 0 の角部に外側再循環領域 1 3 6 が発生する。別のせん断帯が、下流に向かって流れる混合流 1 3 4 と再循環ガス 1 3 6 との間に存在する。矢印 1 3 8 は、上流及び下流に向かって流れるガスを含む、チャンバ全体を通じて存在する接線流の成分を概略的に示す。円周方向の流れ 1 3 8 は、チャンバ 1 0 の壁に近いほど大きい。フロー 1 3 8 は無炎燃焼に必須ではないが、バーナ 1 0 0 によって引き起こされる強い渦流によって生じるものの一つである。

#### 【 0 0 2 4 】

様々な流れ成分が組み合わさることにより、燃料と、圧縮機排気と、燃焼生成ガスとの混合を促進する全体的なフローパターンが生じる。結果として、明らかな火炎前面のない実質的に一様な燃焼反応となる。燃料はインジェクタ延長管 1 2 2 から供給され、酸素は圧縮機排気 1 3 0 並びに燃焼生成物のなかの使われていない酸素から供給され、及び燃焼を持続させるための熱は再循環燃焼生成ガスによってもたらされる。従来の燃焼器のように、持続的な燃焼が、フローの不安定性及び音響効果を伴う明確な火炎前面によってもたらされる必要はない。むしろ、燃焼反応は、十分に混合された理想状態に極めて近いほぼ一様な形で分散する。結果として得られる燃焼反応は、公知の無炎燃焼システムに典型的なとおり極めて希薄な混合気であっても、優れた火炎安定性を有する。しかしながら、燃焼反応を持続させるための燃焼生成ガスは、圧縮機排気によって引き起こされる渦流を用いて引き込まれるため、公知の無炎燃焼器に典型的な重量の再循環用導管又は熱交換器は、いずれも無炎燃焼の達成に必要なない。無炎の運転モードを達成するために必要な条件は、強力に混合するための高乱流と、高温と、燃料と混合される場合の燃焼空気と燃焼生成物との混合気における低酸素濃度とである。バーナ 1 0 0 はこれらの条件を満たすことができ、また一方で、約 4 % の許容可能な圧力降下も有し、これはガスタービン・エンジンの高い効率性にとって重要である。

#### 【 0 0 2 5 】

一次渦流発生チャンバ 1 1 0、空気旋回器 1 1 2 / 1 1 8、及びインジェクタ延長管 1

10

20

30

40

50

22は、無炎燃焼反応を持続させるように構成及び適合され、ここで燃料対空気比は約0.4未満である。非無炎モードから無炎モードへの移行は漸進的である。空気/燃料比が約0.6未満に下がると、徐々に無炎モードに移行する。0.4より高い燃料対空気比でも低排出特性を持続することはできるが、著しく高い値、例えば、約0.6を上回ると、燃焼は分散せず、無炎と言うことはできなくなる。しかしながら、こうしたより高い燃料/空気比であっても、バーナ100はなお安定した燃焼を提供し、且つ排出量が少ない。従って当業者は、本明細書に提供される移行当量比が例示的であり、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、任意の好適な移行当量比を有するバーナが利用され得ることを理解するであろう。

#### 【0026】

一次渦流発生チャンバ110、空気旋回器112/118、及びインジェクタ延長管122は、無炎燃焼反応を持続させることができ、このときNO<sub>x</sub>排出量は約10ppm未満、及びCO排出量は約10ppm未満である。先行のガスタービン技術は、希薄な当量比でかかる低いNO<sub>x</sub>排出か、又はかかる低いCO排出のいずれかを提供することができるが、しかし同じ当量比で双方を提供することはできない。先行のガスタービン技術では、当量比が希薄吹き消えに近づくに従いNO<sub>x</sub>排出量は低減される傾向を有するが、CO排出量は、当量比が希薄吹き消えに近づくに従い増加する傾向を有する。一次渦流発生チャンバ110及び空気旋回器112は、一次渦流発生チャンバ110内に旋回流を発生させることにより燃焼生成ガスと圧縮機排気との混合を達成し、ここで圧縮機排気に対する燃焼生成物の比は、少なくとも約2.5~約1.0である。

#### 【0027】

図7は、無炎バーナ200の別の例示的実施形態に係る3つのバーナを有する燃焼器10の一部を示す。図7の燃料フローの矢印によって示されるとおり、バーナ200は、燃料を燃焼器10に一次段階と二次段階とで供給するよう多段階式である。図8に示されるとおり、バーナ200はカラー45及び締結具47を用いて燃焼器10に取り付けられるが、しかしながら、任意の他の好適な連結方法が用いられてもよい。

#### 【0028】

図9及び図10に示されるとおり、バーナ200は、バーナ100に関連して詳細に上述されたとおり、一次渦流発生チャンバ210を画定する上流部206と、空気旋回器212と、下流部208とを備える。図9に示されるとおり、スロート224と、円錐型旋回器218と、ディフューザ部分220とは別個の構成要素であり、バーナ200に組み付けられる。図10は二次燃料インジェクタ223を示し、各々が、スロート部224の下流を向いた面に画定された出口オリフィスを有する。図10には、二次燃料を、中央管路225を通じて二次燃料インジェクタ223まで導くための燃料回路が示される。図11は、燃料が燃料回路を通じてインジェクタ223から放出されるときに拡大図を示す。下流部208は複数の一次燃料インジェクタ222を備え、各々は、ディフューザ220の内側を向いた面に画定された出口オリフィスを有する。図12は、燃料が燃料回路を通じてインジェクタ222から放出されるときに拡大図を示し、この燃料は、入口227(図8を参照)を通じてバーナ200に入る。燃料インジェクタ222/223の各々は、燃料のジェットを放出するように構成された燃料噴霧ノズルを備えてもよく、この燃料のジェットは、圧縮機排気と同時に噴射されることで、自己点火の前に燃料及び空気の混合を促進する。場合により、一次渦流発生チャンバ210の最上流面に1つ又は複数のさらなる燃料インジェクタが配置されてもよい。当業者は、本明細書に記載されるとおりのインジェクタと併せて任意の好適なタイプのノズルが用いられてもよく、本明細書における呼称「一次」及び「二次」は、明確にするために使用されているに過ぎず、必要に応じて、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、一次及び二次燃料インジェクタの従来どおりの役割を変更したり、又は入れ替えたりし得ることを容易に理解するであろう。

#### 【0029】

図13は、バーナ200によって燃焼器10に作り出されるフローパターンの概略図を示す。圧縮機排気230は、旋回器212及び218を通り抜け、完全に又はほぼ完全に

10

20

30

40

50

接線方向でバーナ200の内部に入る。空気はまた、インジェクタ222の周辺にも入るが(図10及び図12に示されるとおり)、上流のインジェクタ223を通ることはない。当業者は、インジェクタ223が、インジェクタ222と同じく空気フローを取り込むように改変され得ることを理解するであろう。インジェクタ222及び/又は223が空気及び燃料を噴射するように構成されるとき、それらはエア・アシスト回路として使用され得る。これにより、図6を参照して上述されたものと同じく、渦232が作り出され、燃焼排出ガスが再循環領域216に引き込まれ、下流に向かって流れる混合流234と、外側再循環領域236と、接線流成分238とが提供される。燃料インジェクタ222/223は、再循環領域216の再循環される燃焼排出ガスにごく近接して出口を有するため、燃料を燃焼排出ガス216の中に噴射することができる。インジェクタ222/223は、上記のインジェクタ延長管122を備えるインジェクタ123と比較して、より大きい圧力降下を示す。インジェクタ222/223は、燃料が渦に侵入して再循環領域216に引き込まれるように、燃料を流れ場に侵入させるのに十分な燃料運動量を提供する。従って、延長管を渦に突き入れて、燃料を再循環領域216に直接噴射する必要はない。インジェクタ222/223は、噴霧器先端、別個のジェット式インジェクタ、又は十分な燃料運動量を提供することのできる任意の他の好適な噴射手段であってもよい。

10

#### 【実施例】

#### 【0030】

実質的にバーナ100に関連して上述され、図3～図5に示されるとおりに、バーナを構成した。このバーナを試験室で試験した。図14及び図15のプロットは、ある範囲の当量比にわたるCO及びNOxの双方の濃度を示し、当量比に直接関係する火炎温度がプロットの横軸にとられる。様々な燃料を試験したが、ガスタービン・エンジンについて最も重要なものはJet-Aである。Jet-Aに関する結果から、約0.36を上回る当量比について10ppm未満のCO、及び約0.43未満の当量比について10ppm未満のNOxの排出量が示された。従って、CO及びNOxの双方の排出量が同時に10ppm未満となる約0.36～0.43の範囲が存在する。試験の設計には燃料の多段階式を組み込み、超低排出の範囲を広げた。しかしながら、無炎形態及び超低排出へは漸進的にしか移行せず、排出濃度は希薄吹き消えの寸前まで緩慢に増加する。

20

#### 【0031】

無炎燃焼を通じて生じた火炎構造は、十分に攪拌される反応器のものと同様である。Jet-Aについて約0.40を上回る当量比に関し、バーナによって作り出される火炎構造は、従来のガスタービン・インジェクタのものに似ていて、OH及びCHラジカルの濃度から明らかな火炎形状を確認することができる。しかしながら、それより低い当量比では、OH及びCHラジカルの幅が広がり、さらには拡散して表されるため、火炎形状はもはや識別できない。燃焼ラジカルが燃焼室の大部分を包囲し、火炎形状がもはや識別できないとき、その燃焼過程は無炎形態にあるとすることができる。

30

#### 【0032】

図16及び図17の画像に示されるとおり、約0.40を上回る当量比において、火炎は再循環領域によって固定される：当業者は、これが、古典的にガスタービン・エンジンに使用される渦流が安定化した火炎であると認識するであろう。このタイプの火炎は、渦の前方のよどみ点における摂動が火炎と結び付き得るため、不安定になり易い。燃焼が無炎形態にあるとき、火炎はもはや単一の点には、又は中心渦によっては固定されず、すなわち安定化せず、従って、流体構造における摂動は燃焼過程にほとんど影響を有しない。図16では、示される希薄吹き消えは、試験装置における希薄吹き消えを指す。

40

#### 【0033】

試験設計では、無炎形態での燃焼を行うことに成功したが、燃料分布の非対称性を有し、それが能力を制限していた。これは、改良した内部燃料マニホールドを使用し、且つ燃料延長管の長さ及び位置に大きな差がないようにすることで、修正することができる。

#### 【0034】

無炎燃焼の分散した性質のため、温度分布もまた、従来のガスタービン・インジェクタ

50

のものを上回って改善される。さらに、高い当量比のバーナを見ると、温度分布は、図18に示されるとおり、従来のインジェクタと類似して、高温ほど燃焼器の中心に近く、且つ低温ほど壁に近い。ここで  $r / D_c = 0.0$  は燃焼器の中心に相当し、 $r / D_c = 0.5$  は壁に相当する。この挙動は、バーナの15.24 cm (6インチ)、20.32 cm (8インチ)、及び25.40 cm (10インチ) 下流でとられた曲線についてのみ示され、これは、5.08 cm (2インチ) 及び10.16 cm (4インチ) 離れてとられた曲線が、バーナに近過ぎて流れが発生するほどではなかったためである。より高い中心温度は、サーマルNOxの強力な発生源であり、さらにタービン部分下流により大きい熱応力をかける。無炎形態の結果、燃焼器にわたって同じバルク温度又は平均温度になるが、図19に示されるとおり、いかなる直径方向の位置においても温度ははるかに平均に近い。図18及び図19では、図19の凡例に示されるとおり、燃焼器の長さに沿った種々の位置における様々な曲線がプロットされる。図19に示されるもの場合、0.75の長さ対直径比では温度は較的一様である。それ以上になると、温度は一様なままであるものの低下し、これは、0.75 L / Dの軸方向位置、すなわち15.24 cm (6インチ) までが完全燃焼であることを示している。0.75 L / D比を超えると、ほぼSTD条件にさらされる燃焼器の壁を通じて熱が失われる。

10

#### 【0035】

図20は、試験装置からとられた温度データの5つのプロットを示す。試験装置において熱電対のアレイを流れに横断するように置き、5枚の面積プロットに示されるとおり、様々な軸方向及び半径方向位置において温度データを得た。各プロットは、示されるとおりの、バーナにおける異なる流量に対応する。図20はまた、排気中の3つの熱電対と、図20では「再循環TC」との系列名が付けられた、燃料噴射の上流の再循環チャンバのスロートに置かれた熱電対とについての当量比に対する温度のプロットも示す。再循環熱電対は、燃焼の温度に近い再循環領域の温度を示したが、これは、バーナのスロート領域への高温の燃焼ガスの再循環が起こることを示している。

20

#### 【0036】

上述され、且つ図面に示される本発明の方法及びシステムは、先行する公知の無炎バーナのように重量の再循環用導管又は熱交換器を必要としないことを含め、優れた特性を有する無炎燃焼を提供する。この改良により、航空機環境におけるガスタービン・エンジンについて、並びに地上のガスタービン・エンジン、又は任意の他のガスタービン・エンジン環境において、無炎燃焼の利益が実現される。本発明の装置及び方法は、好ましい実施形態を参照して図示及び説明されているが、当業者は、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、それに対して変更及び/又は修正を加え得ることを容易に理解するであろう。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0037】

- 10 燃焼器
- 20 燃焼器開口
- 30 カラーリング
- 40 燃料ライン
- 45 カラー
- 47 締結具
- 100、200 無炎バーナ
- 102 バーナ本体
- 104 長手方向軸
- 106、206 上流部分
- 108、208 下流部分
- 110、210 一次渦流発生チャンバ
- 112、212 空気旋回器
- 116、216 再循環領域

40

50

- 1 1 8、2 1 8 空気巡回器
- 1 2 0、2 2 0 ディフューザ部分
- 1 2 2 インジェクタ延長管
- 1 2 3 燃料インジェクタ先端
- 1 2 4、2 2 4 スロート部
- 1 3 0、2 3 0 圧縮機排気
- 1 3 2、2 3 2 渦
- 1 3 4、2 3 4 下流に向かって流れる混合流
- 1 3 6、2 3 6 外側再循環領域
- 1 3 8、2 3 8 接線流成分
- 2 2 2 一次燃料インジェクタ
- 2 2 3 二次燃料インジェクタ
- 2 2 5 中央管路
- 2 2 7 入口

【図 1】

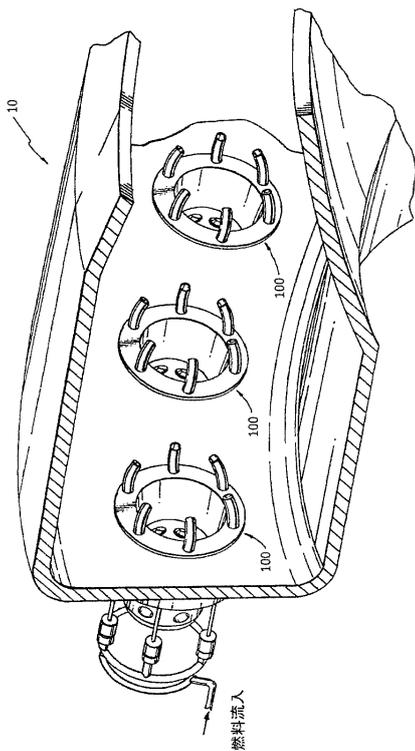


図 1

【図 2】

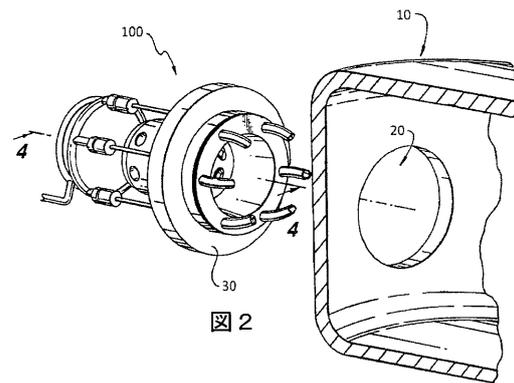


図 2

【図 3】

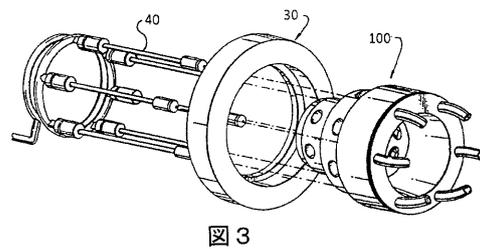


図 3

【 图 4 】

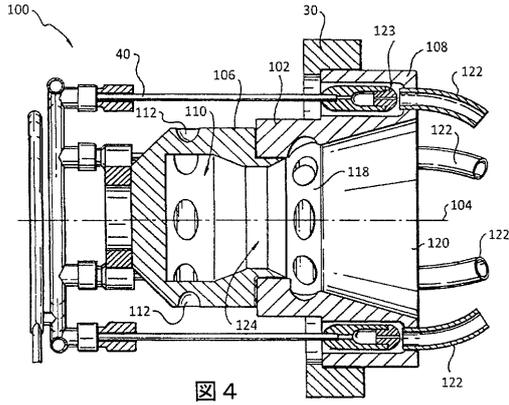


图 4

【 图 5 】

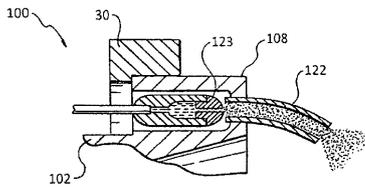


图 5

【 图 6 】

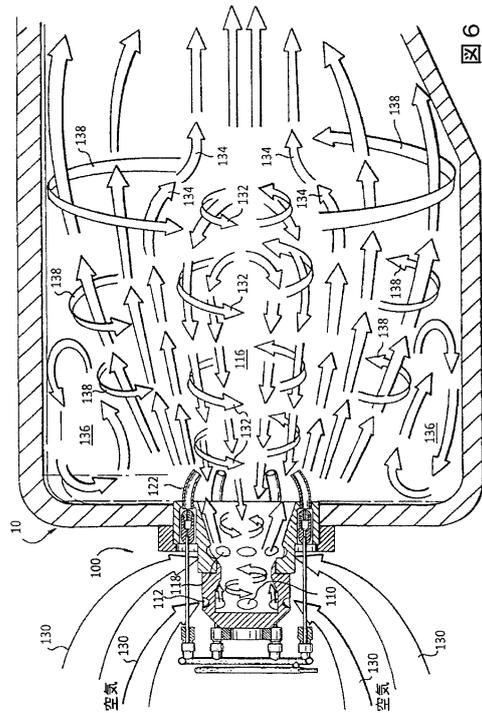


图 6

【 图 7 】

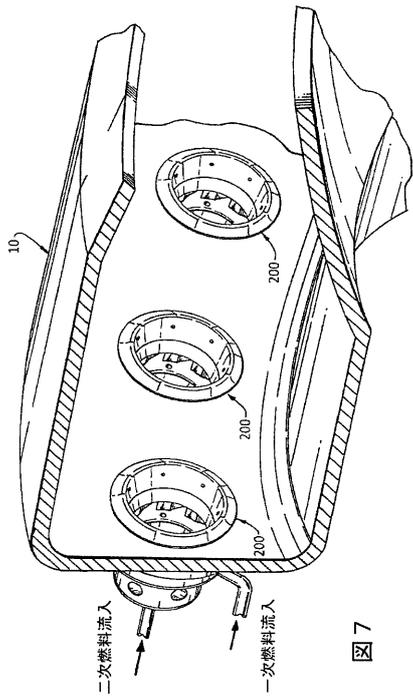


图 7

【 图 8 】

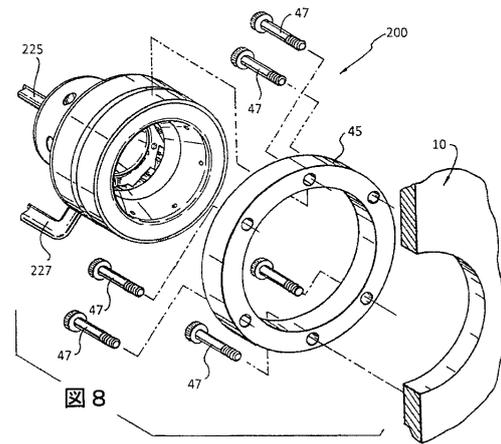


图 8

【図9】

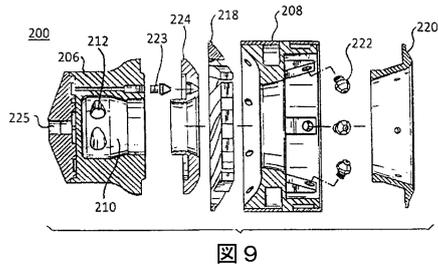


図9

【図11】

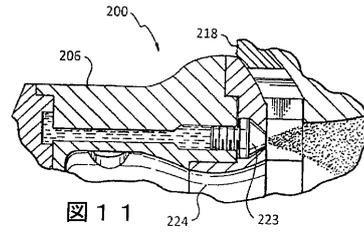


図11

【図12】

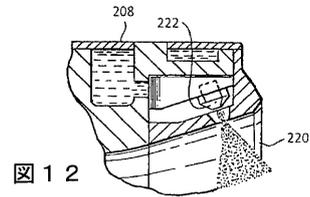


図12

【図10】

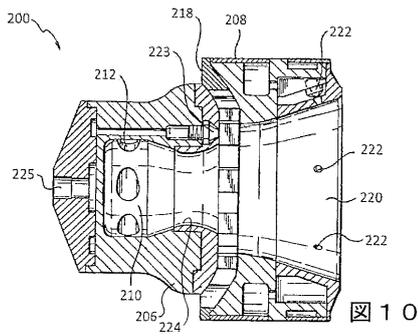


図10

【図13】

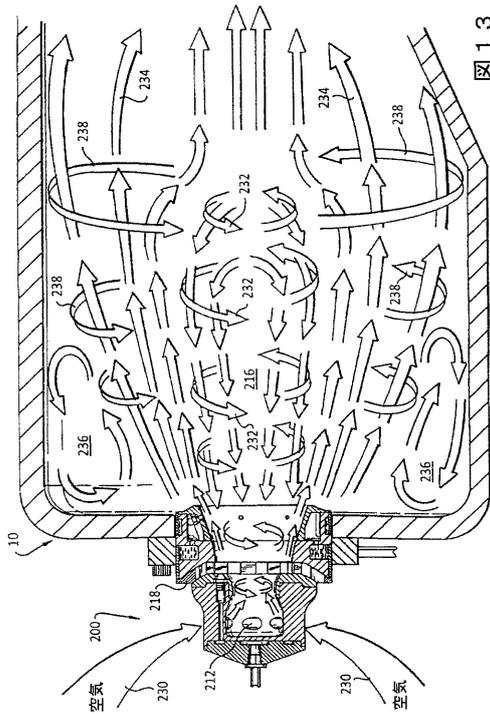


図13

【図14】

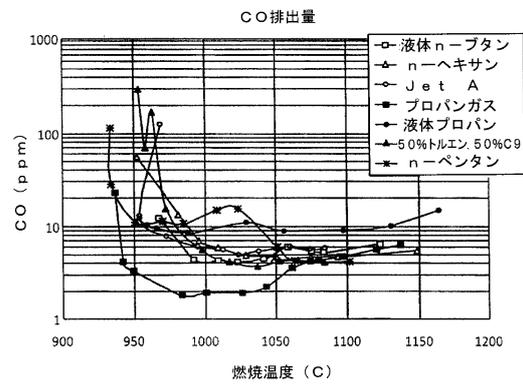


図14

【 図 1 5 】

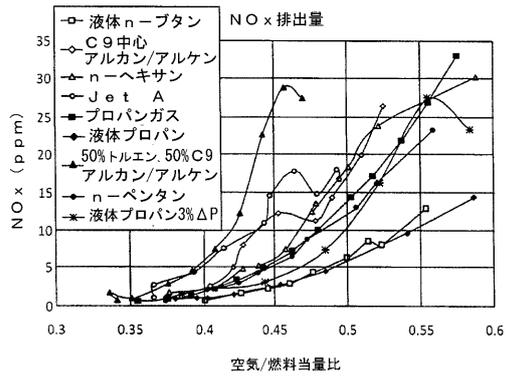


図 1 5

【図16】

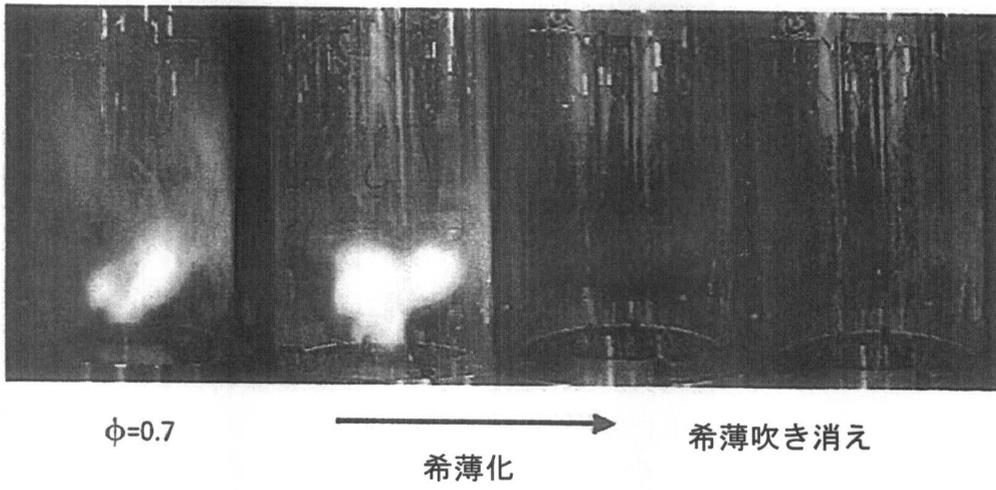


図16

【 図 17 】

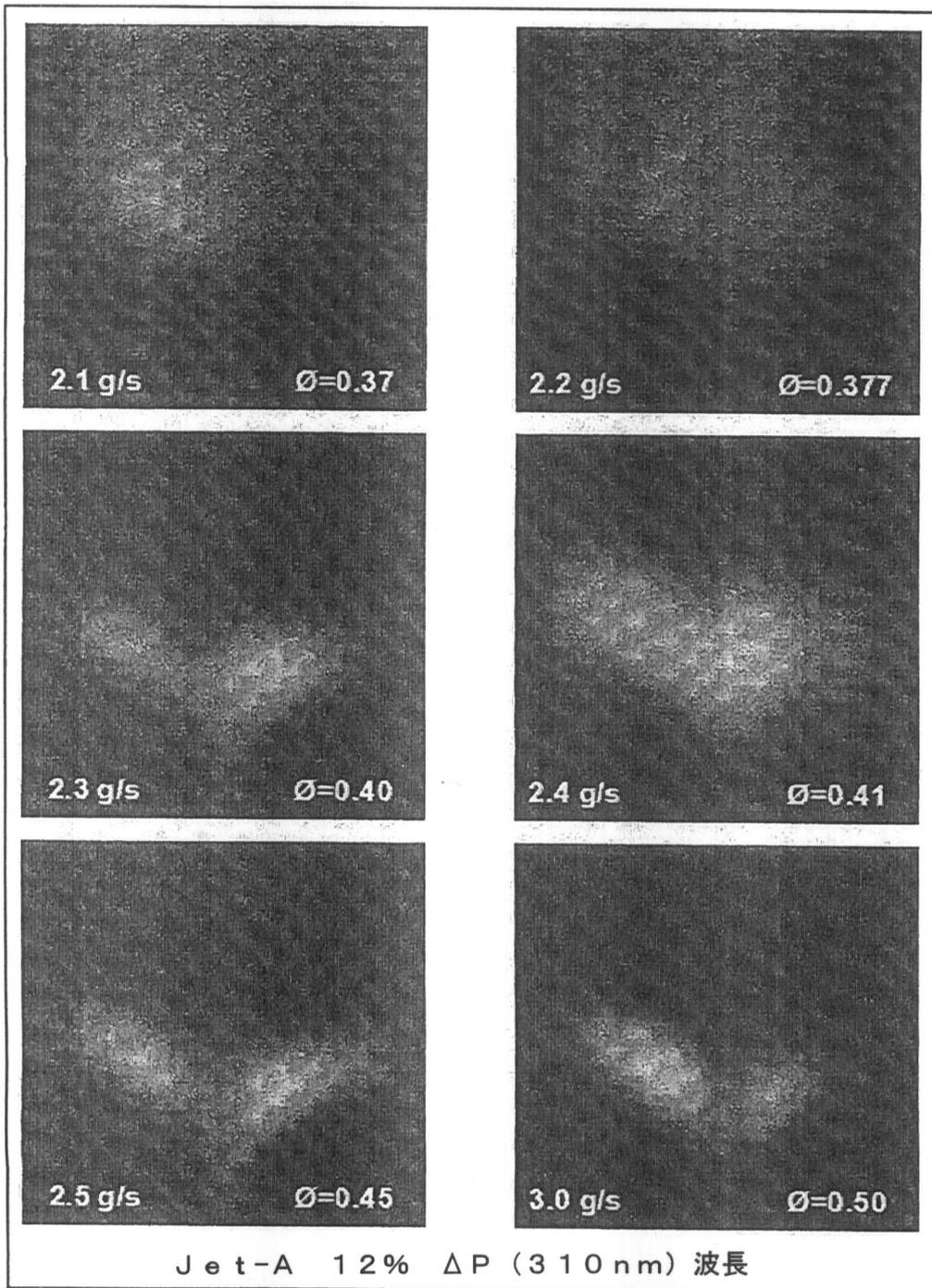
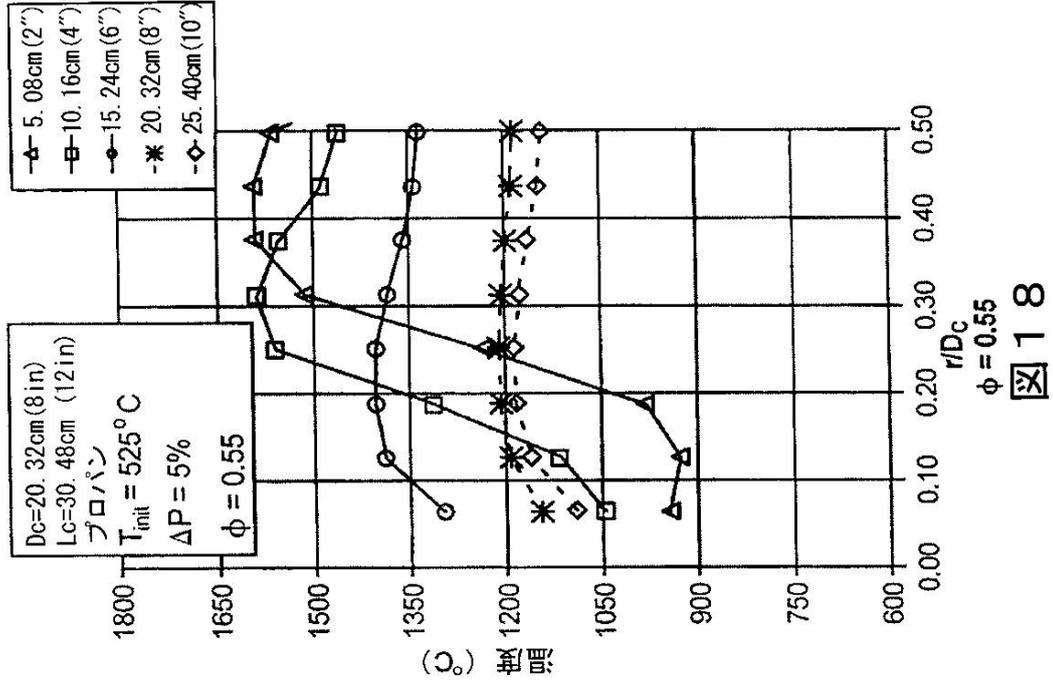
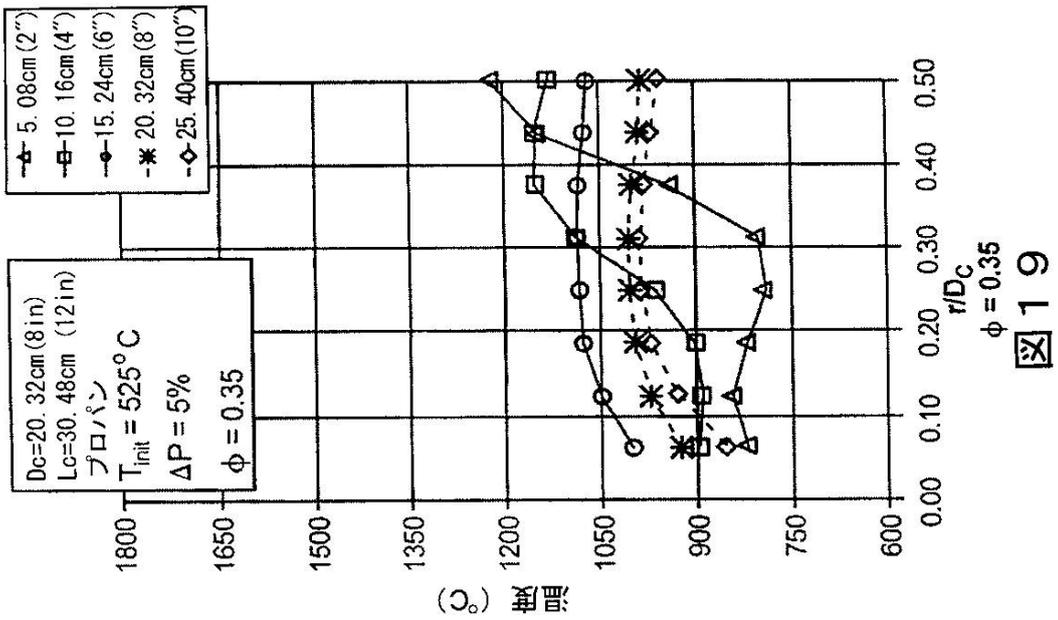


図 17

【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 20 】

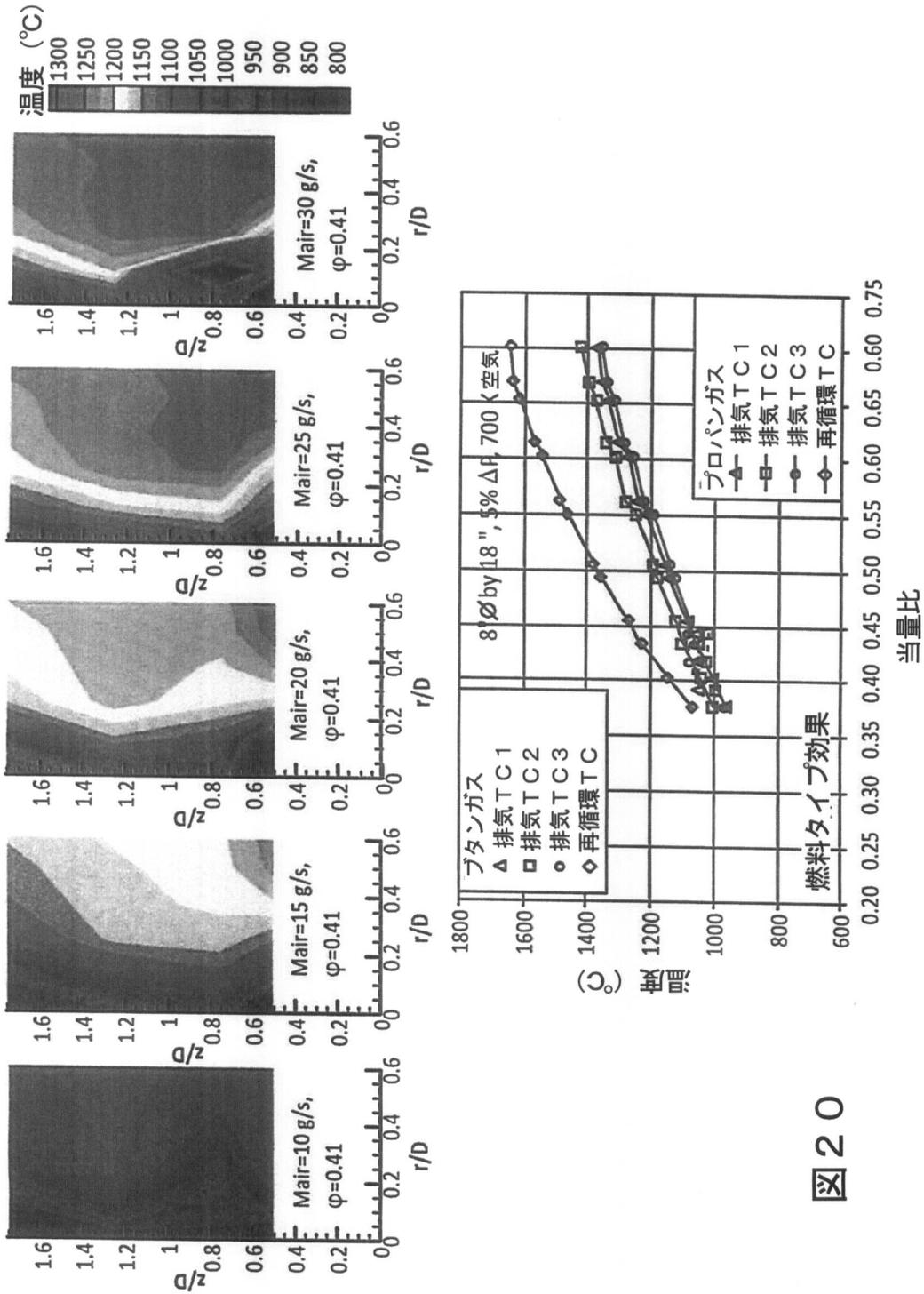


図 20

## フロントページの続き

- (72)発明者 オーバーマン, ニコラス・アール  
アメリカ合衆国 アイオワ州、ウエスト・デイ・モインズ, オフィス・パーク・ロード 1201  
, アpartment#1112
- (72)発明者 ガットマーク, エフライム  
アメリカ合衆国 オハイオ州、シンシナチ, ロールマン・エステーツ・ドライブ 5055

審査官 藤原 弘

- (56)参考文献 特開2008-096099(JP, A)  
米国特許出願公開第2007/0259296(US, A1)  
特開2002-162037(JP, A)  
米国特許第06045351(US, A)  
特開平07-318060(JP, A)  
特開昭51-058723(JP, A)  
特表2005-528571(JP, A)  
独国特許出願公開第19855034(DE, A1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02C	7/22
F02C	7/232
F23R	3/12
F23R	3/16
F23R	3/28
F23R	3/34