

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5846617号  
(P5846617)

(45) 発行日 平成28年1月20日(2016.1.20)

(24) 登録日 平成27年12月4日(2015.12.4)

(51) Int.Cl.	F 1
<b>F 2 4 F</b> 13/06 (2006.01)	F 2 4 F 13/06 C
<b>F 2 4 F</b> 9/00 (2006.01)	F 2 4 F 13/06 A
<b>B 6 0 H</b> 1/34 (2006.01)	F 2 4 F 9/00 L
<b>A 6 1 M</b> 16/06 (2006.01)	F 2 4 F 9/00 Z
	B 6 0 H 1/34 6 5 1 Z
	請求項の数 8 (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-526815 (P2014-526815)  
 (86) (22) 出願日 平成25年6月13日(2013.6.13)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2013/066321  
 (87) 国際公開番号 W02014/017208  
 (87) 国際公開日 平成26年1月30日(2014.1.30)  
 審査請求日 平成27年1月22日(2015.1.22)  
 (31) 優先権主張番号 特願2012-163897 (P2012-163897)  
 (32) 優先日 平成24年7月24日(2012.7.24)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 598015084  
 学校法人福岡大学  
 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号  
 (74) 代理人 100099508  
 弁理士 加藤 久  
 (74) 代理人 100093285  
 弁理士 久保山 隆  
 (74) 代理人 100182567  
 弁理士 遠坂 啓太  
 (74) 代理人 100195327  
 弁理士 森 博  
 (72) 発明者 赤木 富士雄  
 福岡県福岡市城南区七隈八丁目19番1号  
 学校法人福岡大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流体搬送装置および流体搬送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

噴出口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成する噴出部と、  
 前記搬送流体の外側に被搬送流体を前記搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給することにより、前記被搬送流体を前記渦輪内へ格納する被搬送流体供給手段とを有し、前記被搬送流体を前記渦輪とともに搬送する流体搬送装置。

【請求項 2】

前記被搬送流体供給手段は、前記噴出部の壁面に沿って前記被搬送流体を吐出する流路である請求項 1 記載の流体搬送装置。

【請求項 3】

前記被搬送流体供給手段は、前記噴出部の壁面に設けられた加熱源または冷却源により前記被搬送流体を生成するものである請求項 1 記載の流体搬送装置。

【請求項 4】

噴出口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成するとともに、前記搬送流体の外側に被搬送流体を前記搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給することにより、前記被搬送流体を前記渦輪内へ格納し、前記渦輪とともに搬送する流体搬送方法。

【請求項 5】

被搬送流体を層流噴流となる条件で噴出する第 1 の噴出口と、  
 前記第 1 の噴出口の外周部を囲むように前記第 1 の噴出口の内接円の直径の 1 / 2 以下の幅で環状に形成され、第 2 流体を環状噴流として噴出する第 2 の噴出口と

を有し、

前記第1の噴出口から噴出する被搬送流体の速度を $U_m$ 、前記第2の噴出口から噴出する第2流体の速度を $U_a$ としたとき、

$$0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$$

である流体搬送装置。

【請求項6】

前記第1の噴出口から噴出する被搬送流体のレイノルズ数は、0より大きく、かつ、2000以下である請求項5記載の流体搬送装置。

【請求項7】

前記被搬送流体を前記環状噴流内に維持したまま搬送する目標までの距離は、50cm以上である請求項5または6に記載の流体搬送装置。

10

【請求項8】

第1の噴出口から被搬送流体を層流噴流となる条件で速度 $U_m$ で噴出するとともに、前記第1の噴出口の外周部を囲むように前記第1の噴出口の内接円の直径の $1/2$ 以下の幅で環状に形成された第2の噴出口より、第2流体を環状噴流として速度 $U_a$ （但し、 $0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$ ）で噴出することを特徴とする流体搬送方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、気体や液体などの被搬送流体を噴出部から空間内へ噴き出し、噴出部から離れた目標箇所まで拡散を抑えつつ局所的に搬送する流体搬送装置および流体搬送方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

被搬送気体を吹出口から目標箇所へ向けて空間中へ吹き出すことにより、その被搬送気体を目標箇所へ到達させる気体搬送方法として、例えば特許文献1には、吹出口から吹き出した被搬送気体を、環状であって、かつ、その環状の周方向に対し直交する断面の形態として環状形成気体が断面中心部周りで渦流状に回転する渦輪の状態で、目標箇所に向けて空間中を進行させる方法が開示されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平7-332750号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記従来の方法では、被搬送気体そのものをパルス状の流量変動により吹出口から吹き出させることにより、渦輪の形成と被搬送気体の渦輪内への格納を同時に行っているが、この方法では実際に被搬送気体を渦輪内に連続して格納することはできない。すなわち、従来の方法では、被搬送気体を離れた目標地点まで拡散を抑えながら連続的に搬送することは難しい。

40

【0005】

そこで、本発明においては、気体や液体などの被搬送流体を噴出部から空間内へ噴き出し、噴出部から離れた目標箇所まで拡散を抑えつつ局所的に搬送することが可能な流体搬送装置および流体搬送方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の流体搬送装置は、噴出口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成する噴出部と、搬送流体の外側に被搬送流体を搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給する被搬送流体供給手段とを有するものである。また、本発明の流体搬送方法は、噴出

50

口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成するとともに、搬送流体の外側に被搬送流体を搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給することを特徴とする。

【0007】

これらの発明によれば、搬送流体の外側に搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給された被搬送流体が、噴出口で搬送流体が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。

【0008】

ここで、被搬送流体供給手段は、噴出部の壁面に沿って被搬送流体を吐出する流路であることが望ましい。これにより、噴出部の壁面に沿って吐出された被搬送流体を中心に噴出口で搬送流体が巻き上がることによって渦輪が形成されるので、被搬送流体が渦輪の中心部へ格納される。

10

【0009】

また、加熱された流体または冷却された流体を目標箇所まで搬送する際には、被搬送流体供給手段は、噴出部の壁面に設けられた加熱源または冷却源により前記被搬送流体を生成するものとして行うことができる。これにより、渦輪を形成する搬送流体を噴出部の壁面に設けられた加熱源または冷却源により加熱または冷却することで、この搬送流体の加熱または冷却された部分を中心に巻き込んで渦輪を形成することができる。

【0010】

また、本発明の別の流体搬送装置は、被搬送流体を層流噴流となる条件で噴出する第1の噴出口と、第1の噴出口の外周部を囲むように第1の噴出口の内接円の直径の1/2以下の幅で環状に形成され、第2流体を環状噴流として噴出する第2の噴出口とを有するものである。

20

【0011】

また、本発明の別の流体搬送方法は、第1の噴出口から被搬送流体を層流噴流となる条件で噴出するとともに、第1の噴出口の外周部を囲むように第1の噴出口の内接円の直径の1/2以下の幅で環状に形成された第2の噴出口より、第2流体を環状噴流として噴出することを特徴とする。

【0012】

これらの発明によれば、第2の噴出口から噴出される環状噴流が、エアーカーテンとしての役割を果たし、第1の噴出口から層流噴流となる条件で噴出される被搬送流体（以下、「主噴流」ともいう。）の拡散を抑えるので、被搬送流体を環状噴流内に維持したまま局所的に搬送することが可能となる。

30

【0013】

ここで、第1の噴出口から噴出する被搬送流体（主噴流）の速度（第1の噴出口から噴出する被搬送流体の体積流量を第1の噴出口の断面積で除算したものを）を $U_m$ 、第2の噴出口から噴出する第2流体（環状噴流）の速度（第2の噴出口から噴出する第2流体の体積流量を第2の噴出口の断面積で除算したものを）を $U_a$ としたとき、

$$0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$$

であることが望ましい。より好ましくは、 $U_a / U_m = 1$ である。

【0014】

最適な速度比は、主噴流の速度によって変化するが、実用範囲内の噴出速度において、第1の噴出口の直径 $D$ に対して、 $10D$ の被搬送距離まで拡散を完全に防御するためには、 $0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$ とする。なお、 $U_a / U_m = 0.75$ が目標距離まで被搬送流体を環状噴流内に維持したまま局所的に搬送するための最適な速度比である。なお、 $U_a / U_m = 1$ になると、環状噴流のエアーカーテンとしての機能は徐々に低下して、 $U_a / U_m > 2$ ではほとんど機能しなくなる。また、 $U_a / U_m < 0.25$ では、拡散は抑制されるものの $10D$ の被搬送距離まで拡散を完全に防御することができなくなる。

40

【発明の効果】

【0015】

本発明の流体搬送装置および流体搬送方法によれば、噴出口から空間内へ搬送流体を噴

50

き出すことにより渦輪を形成するとともに、搬送流体の外側に被搬送流体を搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給することにより、搬送流体の外側に搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給された被搬送流体が、噴出口で搬送流体が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、被搬送流体を渦輪とともに噴出口から離れた目標箇所まで拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

【0016】

また、本発明の別の流体搬送装置および流体搬送方法では、第1の噴出口から被搬送流体を層流噴流となる条件で噴出するとともに、第1の噴出口の外周部を囲むように第1の噴出口の内接円の直径の1/2以下の幅で環状に形成された第2の噴出口より、第2流体を環状噴流として噴出することにより、環状噴流がエアーカーテンとしての機能を果たし、被搬送流体の拡散を抑えて、被搬送流体を環状噴流内に維持したまま局所的に搬送することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図2】図1のノズルのB-B'断面図である。

【図3A】図1のノズルの先端部の変形例を示すA部拡大図である。

【図3B】図1のノズルの先端部の変形例を示すA部拡大図である。

【図4A】図1の流体搬送装置による流体搬送の様子を示す説明図である。

20

【図4B】図1の流体搬送装置による流体搬送の様子を示す説明図である。

【図4C】図1の流体搬送装置による流体搬送の様子を示す説明図である。

【図5】本発明の第2実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図6】本発明の第3実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図7A】図6の被搬送流体を供給するノズルの例を示す縦断面図である。

【図7B】図6の被搬送流体を供給するノズルの例を示す縦断面図である。

【図8】本発明の第4実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

30

【図9】本発明の第5実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図10】本発明の第6実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図11A】本発明の実施例における数値シミュレーションのための計算格子モデルの外観図である。

【図11B】本発明の実施例における数値シミュレーションのための計算格子モデルの外観図である。

【図11C】本発明の実施例における数値シミュレーションのための計算格子モデルの外観図である。

40

【図12】本発明の実施例として用いた噴流の流量変動の波形図である。

【図13A】無次元渦度分布を用いた水中における渦輪（水渦輪）の形成過程を示す図である。

【図13B】無次元渦度分布を用いた水中における渦輪（水渦輪）の形成過程を示す図である。

【図13C】無次元渦度分布を用いた水中における渦輪（水渦輪）の形成過程を示す図である。

【図14A】渦輪到達位置の位相変化を示す図である。

【図14B】渦輪直径の位相変化を示す図である。

【図15A】無次元渦度分布を用いた空気中における渦輪（空気渦輪）の形成過程を示す

50

図である。

【図 1 5 B】無次元渦度分布を用いた水中における渦輪（水渦輪）の形成過程を示す図である。

【図 1 6】渦輪の無次元循環と脈動噴流のストローハル数  $St_r$  の関係を示す図である。

【図 1 7 A】渦輪の循環が最大となる脈動条件における空気渦輪の形成過程を示す図である。

【図 1 7 B】渦輪の循環が最大となる脈動条件における空気渦輪の形成過程を示す図である。

【図 1 8 A】熱流体を渦輪内へ格納するための方法を示す概略図である。

【図 1 8 B】熱流体を渦輪内へ格納するための方法を示す概略図である。

【図 1 8 C】熱流体を渦輪内へ格納するための方法を示す概略図である。

【図 1 9 A】熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

【図 1 9 B】熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

【図 1 9 C】熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

【図 1 9 D】熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

【図 1 9 E】熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

【図 2 0】方法 4 の場合における渦輪中心点温度と渦輪の到達距離の関係を示す図である。

【図 2 1】本発明の第 7 実施形態における流体搬送装置を構成する二重ノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。

【図 2 2】図 2 1 の二重ノズルの先端部から噴出される流体の可視化写真を示す図である。

【図 2 3】単ノズルの噴出口からの距離  $Z$  に対する速度分布の変化を示す説明図である。

【図 2 4】二重ノズルの第 1, 第 2 の噴出口からの距離  $Z$  に対する速度分布の変化を示す説明図である。

【図 2 5】二重ノズルの第 1, 第 2 の噴出口からの距離  $Z$  に対する速度分布の変化を示す説明図である。

【符号の説明】

【0018】

F 0 搬送流体

F 1 被搬送流体

1, 5, 9, 12, 15, 19 流体搬送装置

2, 6, 7, 10, 11, 13, 16, 20 ノズル

2 a, 6 a, 7 a, 10 a, 11 a, 13 a, 16 a, 20 a 噴出口

2 b, 6 b, 10 b, 13 b, 16 b, 20 b 内壁面

2 c, 10 c, 13 c, 16 c, 20 c 外壁面

3, 8 流路

3 a, 8 a 噴出口

4 渦輪

14, 17 小空間

14 a, 17 a 開口部

18 フィルタ材

21 加熱源

30 二重ノズル

31 第 1 の噴出口

32 第 2 の噴出口

40 単ノズル

41 噴出口

【発明を実施するための形態】

【0019】

10

20

30

40

50

## (実施の形態1)

図1は本発明の第1実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図、図2は図1のノズルのB-B'断面図である。図1および図2に示すように、本発明の第1実施形態における流体搬送装置1は、噴出口2aから空間内へ搬送流体F0を噴き出すことにより渦輪を形成する噴出部としての円筒状のノズル2を備える。また、流体搬送装置1は、噴出口2aの近傍の搬送流体F0の外側に被搬送流体F1を供給する被搬送流体供給手段として、ノズル2の内壁面2bに沿って被搬送流体F1を吐出する流路3を有する。

## 【0020】

流路3は、図2に示すように円筒状のノズル2の壁内に形成された環状の小流路である。被搬送流体F1は、ノズル2の内側の搬送流体F0の流れ場に向かって流路3の噴出口3aから送り出される。流路3の噴出口3aのノズル2の噴出口2aからの距離a、流路3のノズル2への合流角度および流路3の幅bは任意に設定することが可能であるが、被搬送流体F1がノズル2の内壁面2bに沿って噴出口2aまで運ばれるように設定することが望ましい。なお、流路3は全周に渡って環状に形成せず、部分的または所定間隔を設けて形成しても良い。

10

## 【0021】

搬送流体F0による渦輪の連続形成は、噴出口2aより噴出させる搬送流体F0の噴出流量を時間変動させることによって行う。流量変動の波形は、例えば、以下の周期的、間欠的あるいは任意に変動する波形を用いることが可能である。

20

(1) 正弦波形

(2) 正弦波形の立ち上がりまたは立下りの加速度を変化させた波形

(3) 方形波形

(4) 三角波形

(5) 台形状の波形

(6) 上記(1)~(5)の波形において、各周期の間に流量が零の停止区間を含んだ間欠状の波形

(7) 上記(1)~(6)の波形を組み合わせた波形

また、形成される渦輪の大きさ、体積、進行速度、強さ(減衰し難さ)および到達可能距離は、以上で示した波形の振幅、周期、間欠期間の長さおよび波形の組み合わせの順番を変化させることによって調節することが可能である。

30

## 【0022】

被搬送流体F1は、例えば、流路3の上流側に任意の圧力をかけて加圧したり、流れの流量変動に合わせて流路3の上流側の圧力を変動させながら加圧したりすることにより、噴出口3aから搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で送り出される。あるいは、ノズル2内の流れの変動によって生じる圧力差を利用して加圧することなく送り出すことも可能である。

## 【0023】

渦輪の連続形成は、噴出口2aより噴出させる搬送流体F0の噴出流量を一定として、流路3より送り出される被搬送流体F1の噴出流量を、搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で時間変動させることによっても可能である。被搬送流体F1の噴出流量の変動波形は、上記(1)~(7)の波形を用いることが可能である。

40

## 【0024】

なお、ノズル2の先端部は、図1のA部に示すようにノズル2の中心軸に対して垂直とする他、図3Aに示すように外壁面2c側をテーパ状としたり、図3Bに示すように内壁面2b側をテーパ状としたりする場合もある。なお、綺麗な渦輪を形成するためには、図3Aに示すものが最も望ましく、次に望ましいものは図1のA部に示すものである。また、ノズル2に代えてオリフィス等の噴出部とすることも可能である。

## 【0025】

50

図4A～図4Cは図1の流体搬送装置1による流体搬送の様子を示す説明図である。流路3から被搬送流体F1を搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給しつつ、前述のように例えば間欠的に噴出口3aから空間内へ搬送流体F0を噴き出すと、図4Aに示すように被搬送流体F1が、噴出口3aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪4内へ直接的に格納され、図4Bに示すように渦輪4とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、図4Cに示すように、所定の時間間隔で連続的に噴出口3aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

【0026】

なお、本実施形態においては、被搬送流体F1を吐出する流路3の噴出口3aをノズル2の内壁面2bに設けた構成としているが、噴出口3aはノズル2の外壁面2c側に設けたり、内壁面2bおよび外壁面2cの両方に設けたりすることも可能である。要するに、搬送流体F0の外側に被搬送流体F1を搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給して、噴出口3aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪4内へ直接的に格納されるように構成すれば良い。

【0027】

(実施の形態2)

図5は本発明の第2実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。図5に示すように、本発明の第2実施形態における流体搬送装置5は、円筒状のノズル6の内側にさらに円筒状のノズル7を備えている。搬送流体F0は内側のノズル7によって供給され、間欠的にノズル6の噴出口6aから空間内へ噴き出される。被搬送流体F1は、ノズル6とノズル7との間に形成される環状の流路8から搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給される。

【0028】

または、搬送流体F0はノズル7より噴出流量を一定として供給され、ノズル6の噴出口6aから空間中へ一定流量で噴き出される。被搬送流体F1は、環状の流路8から搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で間欠的に供給される。

【0029】

なお、流路8の噴出口8aからノズル6の噴出口6aまでの距離(ノズル7の噴出口7aから噴出口6aまでの距離)a、および、流路8の幅bは任意に設定することが可能であるが、被搬送流体F1がノズル6の内壁面6bに沿って噴出口6aまで運ばれるように設定することが望ましい。また、被搬送流体F1の流路8からの送り出し方法については、第1実施形態と同様である。さらに、ノズル6,7の先端部の形状についても、第1実施形態と同様である。

【0030】

このような構成においても、流路8から被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給しつつ、間欠的に噴出口6aから空間内へ搬送流体F0を噴き出すと、被搬送流体F1が、噴出口6aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口6aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

【0031】

または、ノズル7より供給される搬送流体F0の噴出流量を一定として、ノズル6の噴出口6aから空間内へ一定流量で噴出させつつ、流路8から供給される被搬送流体F1の噴出流量を、搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で間欠的に供給することによっても搬送流体F0が巻き上がって渦輪の形成が行われ、かつ被搬送流体F1の渦輪内への直接的な格納が可能となる。

【0032】

なお、本実施形態においては、搬送流体F0を供給するノズル7の噴出口7aがノズル

10

20

30

40

50

6の噴出口6aよりも内側に配置された構成であるが、ノズル7の噴出口7aがノズル6の噴出口6aよりも外側に配置された構成や、ノズル7の噴出口7aとノズル6の噴出口6aとは同一面上に配置された構成とすることも可能である。この場合も同様に、ノズル6とノズル7との間に形成される環状の流路8から搬送流体F0の外側へ被搬送流体F1が搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給されることにより、ノズル7の噴出口7aから空間内へ噴き出される搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ、被搬送流体F1が直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。

【0033】

(実施の形態3)

図6は本発明の第3実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。図6に示すように、本発明の第3実施形態における流体搬送装置9は、間欠的に空間内へ搬送流体F0を噴き出す円筒状のノズル10の内壁面10b上に、被搬送流体F1を供給する流路を構成するノズル11を設けたものである。ノズル11は、図7Aに示すように、内壁面10b上に1個または所定間隔で複数個の円管形状の噴出口11aを配置した構成や、図7Bに示すように、内壁面10bに沿う円環形状の噴出口11aを配置した構成とすることが可能である。

【0034】

または、搬送流体F0はノズル10から空間中へ一定流量で噴き出される。被搬送流体F1は、ノズル11の噴出口11aから搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で間欠的に供給される。

【0035】

なお、ノズル11の噴出口11aからノズル10の噴出口10aまでの距離a、ノズル10の内壁面10bからノズル11の噴出口11aの中央までの高さc、円環形状の噴出口11aの内径dおよび円環形状の噴出口11の幅eは、任意に設定することが可能であるが、ノズル11の噴出口11aから噴出される被搬送流体F1がノズル10の内壁面10bに沿って噴出口10aまで運ばれるように設定することが望ましい。また、被搬送流体F1のノズル11からの送り出し方法については、第1実施形態と同様である。さらに、ノズル10の先端部の形状についても、第1実施形態と同様である。

【0036】

このような構成においても、ノズル11の噴出口11aから被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給しつつ、間欠的に噴出口10aから空間内へ搬送流体F0を噴き出すと、被搬送流体F1が、噴出口10aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口10aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

【0037】

または、ノズル11の噴出口11aから被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度の条件で間欠的に供給しつつ、噴出口10aから空間内へ搬送流体F0を一定流量で噴き出すと、被搬送流体F1が、噴出口10aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口10aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

【0038】

なお、本実施形態においては、被搬送流体F1を吐出するノズル11をノズル10の内壁面10bに設けた構成としているが、ノズル11をノズル10の外壁面10c側に設けたり、内壁面10bおよび外壁面10cの両方に設けたりすることも可能である。要するに、搬送流体F0の外側へ被搬送流体F1を搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給して、噴出口10aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納されるように構成すれば良い。

10

20

30

40

50

## 【0039】

(実施の形態4)

図8は本発明の第4実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。図8に示すように、本発明の第4実施形態における流体搬送装置12は、間欠的に空間内へ搬送流体F0を噴き出す円筒状のノズル13の壁面内に被搬送流体F1を供給する流路を構成する小空間14を設けたものである。ノズル13の内壁面13bには、小空間14より被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ供給するための孔やスリットなどの開口部14aが設けられている。

## 【0040】

または、搬送流体F0はノズル13から空間中へ一定流量で噴き出される。被搬送流体F1は、小空間14に設けた開口部14aから搬送流体F0の外側に搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で間欠的に供給される。

10

## 【0041】

なお、小空間14の寸法および体積、開口部14aの寸法、設置位置、設置間隔および個数は、任意に設定することが可能であるが、開口部14aから噴出される被搬送流体F1がノズル13の内壁面13bに沿って噴出口13aまで運ばれるように設定することが望ましい。また、被搬送流体F1の送り出し方法については、第1実施形態と同様である。さらに、ノズル13の先端部の形状についても、第1実施形態と同様である。

## 【0042】

このような構成においても、小空間14の開口部14aから被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給しつつ、間欠的に噴出口13aから空間内へ搬送流体F0を噴き出すと、被搬送流体F1が、噴出口13aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口13aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

20

## 【0043】

または、小空間14の開口部14aから被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ搬送流体F0の中心の速度よりも低速度となる条件で間欠的に供給しつつ、噴出口13aから空間内へ搬送流体F0を一定流量で噴き出すと、被搬送流体F1が、噴出口13aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口13aから離れた目標箇所まで被搬送流体F1の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

30

## 【0044】

なお、本実施形態においては、小空間14から被搬送流体F1を噴出する開口部14aをノズル13の内壁面13bに設けた構成としているが、ノズル13の外壁面13c側に設けたり、内壁面13bおよび外壁面13cの両方に設けたりすることも可能である。要するに、搬送流体F0の外側に被搬送流体F1を搬送流体F0の中心の速度よりも低速度で供給して、噴出口13aで搬送流体F0が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納されるように構成すれば良い。

40

## 【0045】

(実施の形態5)

図9は本発明の第5実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。図9に示すように、本発明の第5実施形態における流体搬送装置15は、間欠的に空間内へ搬送流体F0を噴き出す円筒状のノズル16の壁面内に被搬送流体F1を供給する流路を構成する小空間17を設けたものである。ノズル16の内壁面16bには、小空間17より被搬送流体F1を搬送流体F0の外側へ供給するための開口部17aが設けられている。また、この開口部17aには、多孔質材、繊維材や浸透膜等により構成されたフィルタ材18が設けられている。

50

## 【 0 0 4 6 】

なお、小空間 1 7 の寸法および体積、開口部 1 7 a およびフィルタ材 1 8 の寸法、設置位置、設置間隔および個数は、任意に設定することが可能であるが、開口部 1 7 a からフィルタ材 1 8 を介して噴出される被搬送流体 F 1 がノズル 1 6 の内壁面 1 6 b に沿って噴出口 1 6 a まで運ばれるように設定することが望ましい。また、被搬送流体 F 1 の送り出し方法については、第 1 実施形態と同様である。さらに、ノズル 1 6 の先端部の形状についても、第 1 実施形態と同様である。

## 【 0 0 4 7 】

このような構成においても、小空間 1 7 の開口部 1 7 a からフィルタ材 1 8 を介して被搬送流体 F 1 を搬送流体 F 0 の外側へ搬送流体 F 0 の中心の速度よりも低速度で供給しつつ、間欠的に噴出口 1 6 a から空間内へ搬送流体 F 0 を噴き出すと、被搬送流体 F 1 が、噴出口 1 6 a で搬送流体 F 0 が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口 1 6 a から離れた目標箇所まで被搬送流体 F 1 の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

10

## 【 0 0 4 8 】

なお、本実施形態においては、小空間 1 7 から被搬送流体 F 1 を噴出する開口部 1 7 a およびフィルタ材 1 8 をノズル 1 6 の内壁面 1 6 b に設けた構成としているが、ノズル 1 6 の外壁面 1 6 c 側に設けたり、内壁面 1 6 b および外壁面 1 6 c の両方に設けたりすることも可能である。要するに、搬送流体 F 0 の外側に被搬送流体 F 1 を搬送流体 F 0 の中心の速度よりも低速度で供給して、噴出口 1 6 a で搬送流体 F 0 が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納されるように構成すれば良い。

20

## 【 0 0 4 9 】

(実施の形態 6)

図 1 0 は本発明の第 6 実施形態における流体搬送装置を構成するノズルの噴出口近傍の拡大断面図である。本発明の第 6 実施形態における流体搬送装置 1 9 は、加熱された流体を目標箇所まで搬送するものであり、図 1 0 に示すように、間欠的に空間内へ搬送流体 F 0 を噴き出す円筒状のノズル 2 0 の内壁面 2 0 b および外壁面 2 0 c に加熱源 2 1 を設けたものである。なお、加熱源 2 1 を設ける領域の寸法、設置位置および設置面積は、任意に設定することが可能である。また、ノズル 2 0 の先端部の形状については、第 1 実施形態と同様である。

30

## 【 0 0 5 0 】

このような構成において、間欠的にノズル 2 0 の噴出口 2 0 a から空間内へ搬送流体 F 0 を噴き出すと、ノズル 2 0 の内周面 2 0 b および外周面 2 0 c に加熱源 2 1 により加熱された被搬送流体 F 1 が生成される。そして、この生成された被搬送流体 F 1 が、噴出口 2 0 a で搬送流体 F 0 が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納され、渦輪とともに搬送される。これを間欠的に行うことにより、所定の時間間隔で連続的に噴出口 2 0 a から離れた目標箇所まで被搬送流体 F 1 の拡散を抑えつつ、局所的に搬送することが可能となる。

## 【 0 0 5 1 】

なお、本実施形態においては、加熱源 2 1 をノズル 2 0 の内周面 2 0 b および外周面 2 0 c の両方に設けた構成としているが、いずれか一方にのみ設けた構成とすることも可能である。要するに、搬送流体 F 0 の外側に加熱された被搬送流体 F 1 を生成させて、搬送流体 F 0 の中心の速度よりも低速度で供給し、噴出口 2 0 a で搬送流体 F 0 が巻き上がることによって形成される渦輪内へ直接的に格納されるように構成すれば良い。また、加熱源 2 1 に代えて冷却源を設けた構成とすることで、冷却された流体を目標箇所まで搬送することが可能となる。

40

## 【 0 0 5 2 】

(実施の形態 7)

図 2 1 は本発明の第 7 実施形態における流体搬送装置を構成する二重ノズルの噴出口近

50

傍の拡大断面図である。本発明の第7実施形態における流体搬送装置は、図21に示すように、第1の噴出口31と、第1の噴出口31の外周部を囲むように形成された環状の第2の噴出口32とからなる二重ノズル30を備える。なお、本実施形態においては、第1の噴出口31は円筒状であり、第2の噴出口32は第1の噴出口31と中心軸が同軸で、第1の噴出口31の直径の1/2以下の幅で形成された円環状である。

#### 【0053】

第1の噴出口31からは、被搬送流体を層流噴流となる条件で噴出する。具体的には、第1の噴出口31から噴出する被搬送流体のレイノルズ数  $Re (= U_0 D / \mu = U_0 D / \nu)$ 、 $\rho$  : 密度、 $U_0$  : 噴流の断面平均速度、 $D$  : 噴出口31の直径、 $\mu$  : 粘性係数、 $\nu$  : 動粘性係数) を、0より大きく、かつ、2000以下とする。一方、第2の噴出口32

10

#### 【0054】

ここで、第1の噴出口31から噴出する被搬送流体の速度を  $U_m$ 、第2の噴出口32から噴出する第2流体の速度を  $U_a$  としたとき、被搬送流体の速度  $U_m$  と第2流体の速度  $U_a$  の比  $U_a / U_m$  が、 $0.25 < U_a / U_m < 2$  となるようにする。

#### 【0055】

図22は図21の二重ノズル30の先端部から噴出される流体の可視化写真を示している。図22に示すように、本実施形態における流体搬送装置では、第2の噴出口32から噴出される環状噴流がエアーカーテンとして機能し、第1の噴出口31から層流噴流となる条件で噴出される被搬送流体の拡散を抑えるので、被搬送流体を環状噴流内に維持したまま拡散を抑えつつ局所的に搬送することが可能である。

20

#### 【0056】

なお、被搬送流体の拡散状況は  $U_a / U_m$  によって変化するが、 $U_a / U_m = 0.75$  が目標距離まで被搬送流体を環状噴流内に維持したまま拡散を抑えつつ局所的に搬送するための最適な速度比である。本実施形態における流体搬送装置では、二重ノズル30の先端から50cm以上の離れた箇所を、目標距離として、被搬送流体を環状噴流内に維持したまま搬送することが可能である。

30

#### 【0057】

また、噴出口の流れ方向に対する位置について、第1の噴出口31の位置と第2の噴出口32の位置は、図21に示すように同一位置とするのが望ましいが、噴出口31の直径の範囲内であれば両者の噴出口の位置に差が生じても、第2の噴出口32から噴出される環状噴流がエアーカーテンとして機能し、第1の噴出口31から層流噴流となる条件で噴出される被搬送流体の拡散を抑えることが可能である。

#### 【0058】

また、第1の噴出口31の位置および第2の噴出口32の先端部は、ノズルの外壁面側をテーパ状としたり、ノズルの内壁面をテーパ状としたりする場合もある。なお、被搬送流体の拡散を抑えるためには、図21に示すものが最も望ましく、次に望ましいものはノズルの外壁面側をテーパ状としたものである。また、ノズルに代えてオリフィス等の噴出口とすることも可能である。

40

#### 【0059】

本実施形態における流体搬送装置は、手術中の患者の清潔な皮膚面に清潔な温風を非接触で搬送して、温めることで、従来、体温低下の危険性が高かった広範囲熱傷患者の体温を維持でき、安全な患者管理に貢献できる可能性がある。同様の使い方として、物理的な覆いが少なく、管理の容易な新しい保育器に利用できる可能性もある。内視鏡手術の際に、内視鏡の周囲から清潔で乾燥した温風を搬送し、その外層からは、加湿した温風を搬送することで、患者を温め、体温低下を防ぎながら、内視鏡の曇りを防止し、腹腔内の環境を生理的に保つことも可能であり、液体を流す内視鏡の場合にも、内視鏡の視野の周囲に

50

温度管理した液流を作ること、体温調節効果と、視野を邪魔する出血を視野の外に除ける効果が期待でき、安全な患者管理と、手術の操作性を改善することが期待できる。

【 0 0 6 0 】

また、悪環境下の工場内または作業現場における作業員、および不純物質やアレルギー物質を含んだ大気中で活動する人に対して汚染物質、不純物質およびアレルギー物質を除去した新鮮な空気を直接的に供給するための空気清浄装置として利用したり、ビニルハウス内で調温した二酸化炭素をピンポイントで農作物に向けて搬送し、農作物の温度管理や成長促進に利用したりすることも可能である。

【 0 0 6 1 】

なお、本実施形態においては、第1の噴出口31は真円筒状であり、第2の噴出口32は第1の噴出口31と中心軸が同軸の真円環状であるが、第1の噴出口31および第2の噴出口32の形状はこれらに限られない。例えば、第1の噴出口31の断面を楕円状とし、第2の噴出口32をこれに対応する環状としたり、第1の噴出口31の断面を多角形状とし、第2の噴出口32をこれに対応する環状としたりすることも可能である。これらの場合、第2の噴出口32の幅は、第1の噴出口31の内接円の直径の1/2以下とする。

【 0 0 6 2 】

次に、本実施形態における二重ノズル30の速度比 $U_a / U_m$ と被搬送流体の拡散状況について詳細に説明する。

【 0 0 6 3 】

( 1 ) 層流噴流の速度分布と被搬送流体の拡散

まず、比較のために単ノズル(一重ノズル)の先端から被搬送流体を層流噴流として噴出した場合について説明する。図23は、単ノズルの先端から被搬送流体を層流噴流として噴出した場合の、ノズルの中心軸を含んだ縦断面上におけるノズル噴出口からの距離Zに対する速度分布の変化を示す説明図である。

【 0 0 6 4 】

図23に示すように、単ノズル40の噴出口41( $Z = 0$ )における噴流(被搬送流体)の速度分布は、 $0 \leq r \leq D/2$ ( $r$ :単ノズル40の中心軸からの距離、 $D$ :噴出口41の直径)では速度 $U_0$ の一様な分布となり、単ノズル40の内壁よりも外側の $r > D/2$ ではわずかな幅の中(図中の破線A-A'間)で速度が急激に小さくなって0となる分布を示しており、その形状は長方形(三次元では円柱状)に近い形状を示している。

【 0 0 6 5 】

このとき、速度が急激に変化している被搬送流体と周囲の流体との間(破線A-A'間)では、速度差により大きなせん断力が働いて流体の混合効果が生じる。この混合効果は被搬送流体が半径方向外側( $r$ が正の方向)に拡がる作用、すなわち被搬送流体の拡散を発生させる。そして、被搬送流体の混合効果は下流に進むにつれて徐々に進行し、これにより被搬送流体の速度は、半径外側から徐々に低下し、反対に周囲流体の速度は徐々に増加する。この結果として、流体の混合が生じている領域の幅(破線A-A'間の幅)は、下流に進むにつれて拡がり(すなわち拡散する)、反対に速度が $U_0$ の一様分布を示す領域の幅は小さくなる。さらに下流に進んで $Z = 10D$ の位置では、速度が $U_0$ の一様分布を示す領域は消滅する。これよりも下流の位置では、噴流の最大速度 $U_1$ は $U_0$ よりも小さくなり、また被搬送流体の拡散は急激に進んで破線A-A'間の幅は急激に増加する。

【 0 0 6 6 】

上述した速度分布の変化は、被搬送流体の噴出速度 $U_0$ をレイノルズ数 $Re (= U_0 D / \nu)$   $> 1500$ となる条件で設定した場合にみられる。ここで、 $D$ は単ノズル40の噴出口41の直径を、 $\nu$ は被搬送流体の動粘性係数である。一方、被搬送流体の噴出速度 $U_0$ を $Re > 1500$ と設定して破線A-A'間の速度差を大きくした場合には、被搬送流体と周囲流体との間では非常に大きなせん断力が働くことによって流体の混合効果が強くなり、結果として被搬送流体は急激に拡散する。

【 0 0 6 7 】

( 2 ) 二重ノズルより噴出した噴流の速度分布と被搬送流体の拡散

次に、本実施形態における二重ノズル30について説明する。

【0068】

[環状噴流速度 $U_a$  / 主噴流速度 $U_m$  = 1の場合]

図24は、二重ノズル30の第1の噴出口31から被搬送流体Aを断面平均速度 $U_m$ の主噴流(層流噴流)として、第2の噴出口32から第2流体としての流体Bを断面平均速度 $U_a$ の環状噴流として、両噴流の速度比 $U_a / U_m = 1$ の条件で流体C中に噴出させた場合の第1, 第2の噴出口31, 32からの距離 $Z$ に対する速度分布の変化を示す説明図である。

【0069】

図24に示すように、二重ノズル30の第1の噴出口31( $Z = 0$ )における主噴流(被搬送流体A)の速度分布は、 $0 < r < D_m / 2$  ( $D_m$ : 第1の噴出口31の直径)では速度 $U_{m1}$ の一様な分布となり、 $r > D_m / 2$ ではわずかな幅の中(図中の破線E - E'間)で速度が急激に小さくなって0となる分布を示しており、その形状は長形状(三次元では円柱状)に近い形状を示している。同様に、二重ノズル30の第2の噴出口( $Z = 0$ )における環状噴流(流体B)の速度分布も、 $D_m / 2 < r < D_a / 2$ では速度 $U_{a1}$ の一様な分布となり、 $r > D_a / 2$ ではわずかな幅の中で速度が急激に小さくなって0となる分布を示しており、その形状は長形状(三次元では $r < D_m / 2$ の範囲が貫かれた円柱状)に近い形状を示している。

【0070】

このとき、環状噴流の半径外側(流体Bと流体Cの境界部)では、層流噴流の場合と同様に、速度差によって生じたせん断力に起因して流体の混合効果が発生し、この効果により流体Bは半径外側に、流体Cは半径内側に拡散する。この混合効果は下流方向に進むにつれて徐々に進行し、これにより流体Bの速度は半径外側から徐々に低下し、反対に流体Cの速度は徐々に増加する。この結果として、流体の混合が生じている領域の幅(破線E' - F間の幅)は拡がり、速度が $U_{a1}$ の一様分布を示す領域の幅は小さくなる。

【0071】

一方、主噴流と環状噴流の間では、やはり速度差によって生じたせん断力に起因して流体の混合効果が発生し、これによって被搬送流体Aは半径外側に、流体Bは半径内側に徐々に拡散する。しかしながら、流体の拡散が進むと両流体の境界部における速度差は小さくなるので、速度差によって生じる流体の混合効果も小さくなり、その結果として両流体の拡散がある程度抑制されて拡散領域の幅(破線E - E'間の幅)が小さい状態を保つことができる。この拡散の抑制は、流体Bの半径外側の拡散が進むまで続く。

【0072】

以上の結果より、二重ノズルにより被搬送流体Aを主噴流、流体Bを環状噴流として両噴流の速度比 $U_a / U_m = 1$ の条件で流体C中に噴出させた場合には、流体Bの拡散が進むまでは流体Bがエアーカーテンと同様の効果を示すことから被搬送流体Aの拡散が抑制されるために、被搬送流体Aを層流噴流として噴出させた場合に比べて拡散する範囲を抑制することができる。なお、以上で示した被搬送流体Aの拡散抑制の効果は、流体Bと流体Cが同質の場合でも同様に得ることができ、被搬送流体Aと流体Bが同質の場合でも同様に得ることができる。

【0073】

[ $1 < U_a / U_m = 2$ の場合]

図25は、二重ノズル30の第1の噴出口31から被搬送流体Aを断面平均速度 $U_m$ の主噴流(層流噴流)として、第2の噴出口32から第2流体としての流体Bを断面平均速度 $U_a$ の環状噴流として、両噴流の速度比 $1 < U_a / U_m = 2$ の条件で流体C中に噴出させた場合の第1, 第2の噴出口31, 32からの距離 $Z$ に対する速度分布の変化を示す説明図である。

【0074】

図25に示すように、二重ノズル30の第1, 第2の噴出口31, 32( $Z = 0$ )における主噴流および環状噴流の速度分布の形状は、速度の値の違いを除けば $U_a / U_m = 1$

10

20

30

40

50

の場合と似ている。主噴流（被搬送流体 A）の速度分布は、 $0 \leq r \leq D_m / 2$  では速度  $U_{m1}$  の一様な分布となり、 $r > D_m / 2$  ではわずかな幅の中（図中の破線 D - D' 間）で速度が急激に小さくなって 0 となる分布を示しており、その形状は長形状（三次元では円柱状）に近い形状を示している。同様に、環状噴流（流体 B）の速度分布も、 $D_m / 2 < r \leq D_a / 2$  では速度  $U_{a1}$  の一様な分布となり、 $r > D_a / 2$  ではわずかな幅の中で速度が急激に小さくなって 0 となる分布を示しており、その形状は長形状（三次元では  $r < D_m / 2$  の範囲が貫かれた円柱状）に近い形状を示している。

【0075】

このとき、環状噴流の半径外側（流体 B と流体 C の境界部）では、この速度比の条件においても層流噴流の場合と同様に、速度差によって生じたせん断力に起因して流体の混合効果が発生し、この効果により流体 B は半径外側に、流体 C は半径内側に拡散する。この混合効果は下流方向に進むにつれて徐々に進行し、これにより流体 B の速度は半径外側から徐々に低下し、反対に流体 C の速度は徐々に増加する。この結果として、流体の混合が生じている領域の幅（破線 E' - F 間の幅）は拡がり、速度が  $U_{a1}$  の一様分布を示す領域の幅は小さくなる。

10

【0076】

一方、主噴流と環状噴流の間では、やはり速度差によって生じたせん断力に起因して流体の混合効果が発生し、これによって被搬送流体 A は半径外側に、流体 B は半径内側に徐々に拡散する。しかしながら、この速度比の条件における被搬送流体 A の拡散量は  $U_a / U_{m1}$  の場合よりも多い。この理由は、流体 B の速度の方が高くなったことによって被搬送流体 A を引き込む量、すなわち高速度の流体 B に引っ張られて流体 B 中に流入する被搬送流体 A の量が増加したためである。

20

【0077】

そして、下流方向の位置が第 1, 第 2 の噴出口 31, 32 より離れるにつれて、流体の拡散は進んで被搬送流体 A と流体 B の境界部における速度差が小さくなるので、速度差によって生じる流体の混合効果も小さくなり、その結果として被搬送流体 A および流体 B の拡散がある程度抑制されて拡散領域の半径方向の拡がり（破線 E - E' 間の幅の拡がり）を抑えることができる。しかしながら、拡散領域の幅は、 $U_a / U_{m1}$  の場合よりも広い。この拡散の抑制は、流体 B の半径外側の拡散が進むまで続く。

【0078】

30

以上の結果より、二重ノズルにより被搬送流体 A を主噴流、流体 B を環状噴流として、両噴流の速度比  $1 < U_a / U_{m2}$  の条件で流体 C 中に噴出させた場合には、流体 B によって得られるエアーカーテンと同様の効果により被搬送流体 A の拡散が抑制されるために、被搬送流体 A を層流噴流として噴出させた場合に比べて拡散する範囲を抑制することができる。しかしながら、被搬送流体 A の拡散量は  $U_a / U_{m1}$  の場合よりも大きくなる。なお、以上で示した被搬送流体 A の拡散抑制の効果は、流体 B と流体 C が同質の場合でも同様に得ることができ、被搬送流体 A と流体 B が同質の場合でも同様に得ることができる。

【0079】

[  $2 < U_a / U_{m}$  の場合 ]

40

第 1, 第 2 の噴出口 31, 32 ( $Z = 0$ ) における主噴流および環状噴流の速度分布の形状は、速度の値の違いを除けば  $U_a / U_{m1}$  の場合と似ている。しかしながら、この条件では環状噴流の半径外側で生じる流体 B の拡散の効果、および主噴流と環状噴流の間で生じる被搬送流体 A および流体 B の拡散の効果は非常に高くなる。このため、被搬送流体 A は第 1 の噴出口 31 の下流  $1 \sim 2D$  程度の位置で急速に拡散する。

【実施例】

【0080】

本発明の流体搬送装置および流体搬送方法について、以下の 3 つの数値シミュレーションを用いた評価を行った。

(1) 輸送に最適な渦輪を脈動噴流によって連続形成するための条件の解明

50

- ( 2 ) 熱流体を渦輪内へ効果的に格納するための手法の解明
- ( 3 ) 渦輪が有する熱流体の輸送能力の評価

【 0 0 8 1 】

まず、本実施例では検討の手段として数値シミュレーションを用いていることから、本シミュレーション結果の妥当性についての検証を各試験項目の検討に先立って実施した。以下に示す結果では、最初に数値シミュレーションの検証結果について示し、その後各項目の検討結果を示す。

【 0 0 8 2 】

- ( 1 ) 数値シミュレーション結果の妥当性の検証

本検討で用いた計算手法、計算コード、計算格子モデルおよび計算条件の妥当性について検証を行った。検証は、水中での渦輪形成を検証対象として用い、解析結果と実験結果を比較することによって行った。

【 0 0 8 3 】

[ 数値シミュレーションの手法について ]

計算に関する設定条件を表 1 に、計算に用いた 2 種類の格子モデル ( 以下、「全周モデル」および「軸対称モデル」と称す。 ) の概略を図 1 1 A ~ 図 1 1 C に示した。図 1 1 A は軸対称モデル図、図 1 1 B は全周モデル図、図 1 1 C は全周モデルのノズル部拡大図である。解析領域はノズルから広い空間に向かって噴流を周期的に噴出させる流れ場を想定しており、実験環境に合わせて設定している。

【表 1】

項 目	採用した方法
基礎方程式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続の式</li> <li>・三次元ナビエ・ストークス方程式</li> <li>・エネルギー方程式 (熱輸送解析時のみ上式と併せて使用)</li> </ul>
計算スキーム	空 間：有限体積法 (六面体セル) 時 間：2 次精度後退陰解法 対流項：中心差分法
乱流モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラージ・エディター・シミュレーション</li> <li>・SGS モデルは、ダイナミックスマゴリンスキーモデル</li> </ul>

【 0 0 8 4 】

全周モデルは、解析対象とする領域を忠実に再現した三次元の格子モデルであり、乱流解析の実施を考慮して計算格子の空間解像度を高く設定している。これにより渦輪の形成から拡散までの挙動変化を詳細にシミュレートすることができる。これに対して、軸対象モデルは全周モデルの 1 / 4 の領域だけを用いた格子モデルであり、切断面に周期境界条件を課すこと ( 流れ場に軸対称条件を課すことに相当 ) により三次元の流れ場の解析を短時間で行うことを可能にしている。

【 0 0 8 5 】

[ 噴流の脈動条件について ]

脈動噴流の流量変動の波形は、図 1 2 で示す正弦波形としている。この場合、流量変動の条件を表す速度振幅  $V_0$  および周期  $T$  は渦輪の形成条件となり、条件の表記では前記の  $V_0$  および  $T$  に加えて噴出口の直径  $d_n$  を用いた次式で示される無次元パラメータを用いている。

【 0 0 8 6 】

10

20

30

40

## 【数 1】

$$\text{振幅レイノルズ数} : \text{Re}_0 = \frac{V_0 d_n}{\nu} \quad (1) \quad , \quad \text{ウオーマズレイ数} : \alpha = \frac{d_n}{2} \sqrt{\frac{2\pi}{\nu T}} \quad (2)$$

$$\text{ストローハル数} : \text{Str} = \frac{d_n}{V_0 T} \quad (3)$$

## 【0087】

[ 実験結果による渦輪の形成過程の確認 ]

図 1 3 A ~ 図 1 3 C は、無次元渦度分布を用いた水中における渦輪（以下、「水渦輪」と称す。）の形成過程を示す図であって、流量変動の 1 周期間における渦輪の形成過程の位相変化について、実験結果および二つの格子モデルによる計算結果を用いて示している。図 1 3 A は実験結果図、図 1 3 B は全周モデルによる結果図、図 1 3 C は軸対称モデルによる結果図である。図のコンターは、局所領域の回転角速度に相当する渦度の分布を示しており、図中の矢印は渦の回転方向を示し、グレー色が濃いほど回転が速いことを表している。

10

## 【0088】

図 1 3 A の実験結果より渦輪の形成過程を確認すると、噴流の吐き出し期間にノズル内の壁面上に形成された境界層を示す渦度層 S 1 がノズルの出口で巻き上がることによって、輸送に用いる渦輪 V 1 が形成されている。一方、ノズルの吸い込み期間では吸い込み流れによってノズル内壁面上に境界層 S 2 が形成されるが、この S 2 はやがて壁面より剥離して剥離渦輪 V S 2 を形成する。噴流が吸い込みから吐き出しへと変化するにつれて V S 2 はノズル噴出口へと移動して、形成途中の V 1 と干渉している。このことから、V 1 の渦の強さ（渦輪の循環）に及ぼす V S 2 の影響は非常に大きいことが予測できる。

20

## 【0089】

[ 数値シミュレーションの検証結果 ]

以上で示した渦輪の形成過程について数値シミュレーション（以下、「CFD (Computational Fluid Dynamics)」と称す。）の結果（図 1 3 B , 図 1 3 C）を確認すると、全周モデルおよび軸対称モデルともに、V S 2 が実験結果に比べて拡散し難く V 1 と干渉している時間が長い結果となっており、特に軸対称モデルの結果ではこの傾向が強く表れていることが確認できる。このことは、本 CFD では V 1 の強さ（循環）がやや過小に見積もられ、その度合いは軸対称モデルの方が大きくなることを意味している。しかしながら、それ以外の点では実験結果とよい一致を示しており、V 1 の定性的な挙動変化は十分に評価できると考えられる。

30

## 【0090】

図 1 4 A および図 1 4 B は、渦輪到達位置（渦輪断面の中心位置）ならびに渦輪直径の位相変化を示している。黒塗りのシンボルで表された実験結果と白抜きのシンボルで表された CFD 結果はよい一致を示しており、渦輪の挙動および寸法に関しては定量的な評価が可能であることが確認できる。

## 【0091】

以上の結果より、本シミュレーションでは渦輪の強さが実際よりも弱く見積もられる可能性があるが、渦輪の形成過程については定性評価が可能で、渦輪の挙動および寸法については定量評価も可能であることを確認した。

40

## 【0092】

( 2 ) 輸送に最適な渦輪を脈動噴流によって連続形成するための条件の解明

輸送に最適な渦輪は、渦輪の体積（輸送物を格納する容積）が大きく、かつ渦輪の強さを表す循環の値が大きい（拡散までに時間を要する）渦輪と考えることができる。従って、熱輸送に最適な渦輪の形成条件を明らかにするためには、空気中で形成される渦輪（以下、「空気渦輪」と称す。）の体積および循環と噴流の脈動条件との関係について明らかにする必要がある。

## 【0093】

50

ところで、前述した水中での渦輪（水渦輪）形成の実験結果によれば、渦輪の体積と循環は正比例の関係にあること、および渦輪の循環は脈動噴流のストローハル数  $Str$ （式（2）参照。）を用いて表すことができ、 $Str = 0.05$  の条件で循環が最大となることが分かっている。これらの実験結果が空気渦輪の形成過程に対しても同様に成立するならば、すなわち渦輪形成に関して流体力学的な相似性が確認されるならば、水渦輪の実験で得られた全ての知見は空気渦輪に対しても適用できることになる。

#### 【0094】

そこで、本実施例では、渦輪形成に関する流体力学的相似性の有無を確認した後に、空気渦輪の最適形成条件についての検討を行った。検討は、水渦輪で循環が最大となった条件を含む以下の三つの脈動条件について行った。

条件 A :  $Re_0 = 2350$  ,  $\omega = 23.3$  ,  $Str = 0.146$

条件 B :  $Re_0 = 4473$  ,  $\omega = 19.3$  ,  $Str = 0.053$

条件 C :  $Re_0 = 5926$  ,  $\omega = 19.3$  ,  $Str = 0.040$

#### 【0095】

##### [ 空気中における渦輪の形成過程 ]

図15Aには、条件Aの脈動条件における空気渦輪の位相変化について、無次元渦度分布を用いて示している。本CFDでは、全周モデルを用いた。また、図15Bには、同じ脈動条件における水渦輪の軸対称モデルを用いたCFD結果についても比較のために示している。図15Aおよび図15Bより、輸送に用いる渦輪V1および剥離渦輪VS2の形成から拡散までの挙動変化において、両者は大変よい一致を示している。VS2の拡散過程において水渦輪の方が拡散に時間を要する相違、および渦輪V1の断面形状に僅かな相違が見られるが、これは前述したシミュレーションの検証結果より、計算で用いた格子モデルの違いによるものであり作動流体の物性の違いによるものではないと判断できる。以上で示した空気渦輪と水渦輪の形成過程の一致は、条件BおよびCにおいても同様に確認されたことから（図は省略）、渦輪の形成過程では流体力学的な相似性が成立することが確認された。

#### 【0096】

##### [ 渦輪の強さと噴流の脈動条件との関係 ]

図16には、渦輪の無次元循環と脈動噴流のストローハル数  $Str$  との関係について、実験ならびにCFDより得られた結果を示している。この図において、無次元循環  $Re / Re_0$  の値が  $Str$  によって変化するということは、脈動噴流の振幅  $Re_0$  が同じ値でも周期  $T$  が異なると（すなわち  $Str$  が異なると）渦輪の循環  $Re$  が変化することを表している。実験値（図中の○）および実験結果と渦理論を基に確立した推定式の値（緑色のシンボル）より、 $Str$  を小さくすると、水渦輪の無次元循環は増大して  $Str = 0.05$  の条件で最大値となった後に急激に減少する変化を示す。このことは、循環が大きく拡散し難い渦輪（すなわち、輸送に最適な渦輪）は  $Str = 0.05$  となる速度振幅  $V_0$  および周期  $T$  の脈動条件で形成されることを示している。

#### 【0097】

水渦輪のCFD結果（図中の○）を見ると、無次元循環は条件A, B, Cのいずれにおいても実験値に比べて小さな値を示している。この理由としては、本CFDでは軸対称モデルを用いているために、全ての脈動条件において剥離渦輪が実際よりも拡散し難い結果となる。その結果として剥離渦輪が渦輪と干渉している時間は長くなり、渦輪の循環が小さくなったと考えられる。しかしながら、無次元循環の値の実験値に対する減少率は条件A, B, Cのいずれもほぼ同じであることから、 $Str$  に対する無次元循環の変化率は実験結果と一致しており、実験により得られた無次元循環が最大となる条件については軸対称モデルを用いたCFDによっても確認できることが分かる。

#### 【0098】

空気渦輪のCFD結果（図中の○）を見ると、条件Aにおける無次元循環は実験値に比べて小さな値を示しており、水渦輪の場合とほぼ同じ値を示している。この理由も水渦輪のCFDの場合と同じで、全周モデルを用いた場合でも剥離渦輪は実際よりも拡散し難い

10

20

30

40

50

結果となるために渦輪の循環が小さくなったと考えられる。これに対して、条件BおよびCでは、無次元循環は水渦輪の結果と大きく異なっており、実験値とほぼ同じ値を示している。この理由としては、以下のことが考えられる。

【0099】

図17Aおよび図17Bは、条件Bにおける無次元渦度分布を示している。この脈動条件では、噴流の吸い込み期間に形成される剥離境界層S2の流れ方向の長さが条件Aの場合(図15参照。)に比べて長く、上流方向に伸びていることが確認できる。このように剥離境界層が長く伸びた場合には渦度層が一つの領域に集まり難いために、条件Aのような大きな断面領域を有する剥離渦輪VS2は形成され難くなる。このため、剥離渦輪は拡散し易い状態となり、さらに計算においても軸対称条件を課していないことから剥離渦輪の拡散はさらに進んで渦輪の形成に及ぼす剥離渦輪の影響が小さくなるために、結果として渦輪の循環が大きくなったと考えられる。Strに対する無次元循環の変化の傾向は実験結果と一致しており、空気渦輪の無次元循環は水渦輪の場合と同様にStr = 0.05の条件で最大となることが分かる。またこの結果は、渦輪の循環(渦輪の強さ)においても流体力学的な相似性が成立することを示している。

10

【0100】

以上の結果より、脈動噴流の $Re_0$ , およびStrの条件が同じであれば、流体の物性の違いによらず渦輪の形成過程および循環は同じとなって流体力学的な相似性が成立すること、ならびに渦輪の循環はStr = 0.05の条件で最大となることが確認された。さらにこのことから、輸送に最適な渦輪の形成条件はStr = 0.05であることが確認された。

20

【0101】

(3) 熱流体を渦輪内へ効果的に格納するための条件の解明

熱流体の局所空間内集中輸送を実現するためには、熱流体を渦輪内に格納する必要がある。ところで、図13、図15および図17で示したように、渦輪は噴流の吐き出し期間にノズル内の壁面上で形成された境界層S1がノズルの出口で巻き上がることによって形成される。従って、熱流体を渦輪内に格納するためには、熱流体を脈動噴流として噴出させるのではなく、S1内に直接的に注入する方法が効果的であると考えられる。本実施例では、熱流体を渦輪内に格納するための効果的な方法について検討を行った。

30

【0102】

[格納方法の検討条件]

格納方法の検討は、以下の四つの方法(概略図を図18A~図18Cに示す。)について行った。

方法1: 熱流体を脈動噴流として噴出させた場合(最も単純な方法)(図示せず。)

方法2: ノズル内の壁面上に熱源を設置して境界層を加熱する方法(図18A参照。)

方法3: ノズルの内側と外側の壁面上に熱源を設置して境界層を加熱する方法(図18B参照。)

方法4: ノズル内の壁面に幅が0.5mmの流路を設けて、熱流体を境界層内へ自然注入する方法(熱流体の移動は、流路出口周辺の流動によって生じる圧力差で引き起こされる)(図18C参照。)

40

【0103】

熱流体のシミュレーションの計算では、これまで行ってきた計算とは異なって使用する基礎方程式が一つ増えるために、結果を得るまでには空気渦輪の場合の約3倍の計算時間を要する。このため、検討は本研究の開始段階で実験実績があった水渦輪の場合について行い、計算には軸対称モデルを用いた。検討に用いた流れ場の条件としては、水温が20の水中をStr = 0.053の脈動条件で形成した渦輪を用いて80の熱水を局所空間内集中輸送する場合を想定している。熱水輸送は、冷水の場合に比べて分子拡散の効果が強くなるので、最も厳しい輸送条件下における輸送能力の評価が可能となる。

【0104】

[熱流体の格納方法の検討結果]

50

図19A～図19Dには、4つの方法における熱流体の輸送結果について、温度分布を用いて示している。図19Aに示した方法1（従来例）の結果を見ると、渦輪内には熱流体がほとんど格納されておらず、この方法では局所空間内集中輸送ができないことが分かる。本方法では、ノズル内全体が80℃の熱水で満たされている状態から脈動を開始させているので、脈動の一周期目では熱流体が渦輪内に格納されるが、二周期目以降は熱流体が境界層内に流入しないために、熱流体は渦輪内に格納されない。

#### 【0105】

図19Bに示した方法2の結果を見ると、ノズル内壁面の熱源によって境界層内の流体が加熱されるために、渦輪内には熱水が格納されて局所空間内集中輸送が可能であることが確認できる。しかしながら、渦輪内の熱水の温度は、渦輪形成直後の位相で最も温度が高い渦輪中心点においても約25℃と加熱源の温度の約31%程度しかなく、熱流体を効果的に格納できているとは言えない。また、渦輪内へ格納される熱量は流体の熱伝達係数に大きく依存することになり、熱伝達係数が小さい空気に対しては適さないと考えられる。

10

#### 【0106】

図19Cに示した方法3の結果を見ると、熱源をノズルの外側の壁面にまで拡大したことによって、この熱源により加熱された流体が噴流の吸い込み時にノズル内へと流入してくるので、境界層内に流入する熱量が方法2の場合よりも増加して渦輪中心点の温度が約5℃上昇する結果が得られた。しかしながら、この方法も格納される熱量は流体の熱伝達係数に大きく依存することから、最適な格納方法とは言えない。

20

#### 【0107】

図19Dに示した方法4の結果を見ると、この方法では80℃の熱水が直接的に境界層内へ流入するので、最も効果的な方法であると推測される。境界層に流入した熱流体は渦輪内へと取り込まれており、熱流体の局所空間内集中輸送が可能であることが確認できる。渦輪形成直後の位相における渦輪中心点の温度は約30℃で、方法3の場合とほぼ同じ結果となった。本流路幅の条件では、渦輪の体積に対して流路から境界層へ流入した熱流体の体積が過小であったために、渦輪内へ取り込まれた熱流体はすぐに拡散してしまい温度は急激に低下してしまう。しかしながらこの点については、流路幅を広げて流入させる熱流体の体積を増加させることによって改善できると考えられる。

30

#### 【0108】

図19Eには、参考として熱流体を一定の流量で噴出した場合（すなわち、一般的な噴出方法）の熱流体の温度分布を示しているが、水温は流れの混合・拡散効果によってノズルから離れるに従って低下しており、方法2、3および4で見られたような局所空間内集中輸送はできないことが分かる。

#### 【0109】

以上の結果より、熱流体を渦輪内へ格納する方法としては、熱流体をノズル内の壁面に設けた流路より境界層内へ自然注入する方法4が最も効果的であることが確認された。また、方法2、3については、方法4より効果は劣るものの、渦輪内に熱流体を格納できており、方法1と比較して効果的であることが確認された。

40

#### 【0110】

##### （4）渦輪が有する熱流体の輸送能力の評価

前述の格納方法の検討により最も効果的であると判断した方法4を用いた場合の渦輪の輸送能力について評価を行った。流れ場の条件は格納方法の検討で用いた条件と同じで、水温が20℃の水中を $Str = 0.053$ の脈動条件で形成した渦輪を用いて80℃の熱水を局所空間内集中輸送する場合を想定している。輸送能力の評価は、図19Dで示した流路幅が0.5mmの場合に加えて、流路幅が1.5mmの場合についても行った。なお、本シミュレーションでは軸対称モデルを用いている。

#### 【0111】

##### [熱流体の輸送能力の評価結果]

図20には、それぞれの流路幅における渦輪中心点の温度と中心点の到達位置との関係

50

を示している。流路幅が0.5mmの結果を見ると、渦輪の形成時には40℃だった渦輪中心の温度は、渦輪がノズルから離れた直後には30℃まで急激に下がっており、熱流体の拡散が急激に進んだことが確認できる。この後は、拡散は緩やかに進むが、輸送を開始した時点での渦輪内の温度が高くないために、到達距離が4d(ノズル直径dの4倍)の位置では周囲の水温とほぼ同じ温度になっている。

#### 【0112】

一方、流路幅が1.5mmの結果を見ると、この場合でも渦輪中心の温度は渦輪がノズルから離れた直後に急激に下がっており、熱流体の拡散が急激に進んだことが確認できる。しかしながら、流路幅を広げて渦輪内へ流入する熱流体の体積を増加させたことによって渦輪中心点の温度は0.5mmの場合よりも高い値を示しており、到達距離が4dの位置でも45℃と熱源の約56%の温度を保っている。本流路幅における渦輪中心点の温度は、到達距離が10dの位置では35.5℃(熱源の約44%)、到達距離が20dの位置では22.5℃(熱源の約28%)であった。本シミュレーションでは軸対称モデルを用いることから、渦輪の循環が実際よりも小さく見積もられている。従って渦輪の実際の輸送能力は、上記の結果よりも高いと考えられる。

10

#### 【0113】

以上で示した水渦輪の熱輸送能力の評価結果を基にして、空気渦輪の輸送能力を推定してみる。空気渦輪の場合には、拡散の効果が水の場合の約10倍と大きいので、この値によれば輸送能力は水の場合の1/10に下がることになる。しかしながら、空気渦輪の移動速度は、脈動条件が同じ水渦輪の移動速度の約20~30倍と非常に速く、到達距離は伸びることになる。これらのことを考慮すれば、空気渦輪の輸送能力は水の場合(図20)の2~3倍程度高くなると考えられる。すなわち、流路幅を1.5mmとした場合の空気渦輪における渦輪中心点の温度変化は、到達距離が20dの位置で35.5℃程度(温度低下44.5%)、到達距離が40dの位置では22.5℃程度(温度低下57.5%)であると推測される。

20

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0114】

本発明の流体搬送装置および流体搬送方法は、広い空間あるいは管路やダクト内などの閉じた空間内において利用することができ、これらの空間内に満たされた液体中における異種または同種の液体の搬送手段として、気体中における異種または同種の気体の搬送手段として、または、液体中における気体の搬送手段として利用することが可能である。

30

#### 【0115】

また、具体的な利用用途としては、以下が挙げられる。

- (1) 家庭用および業務用の空調機器における送風方法としての利用。
- (2) 車載空調機器の送風方法としての利用。
- (3) パーソナルコンピュータ、大型サーバー、およびIT機器内の電子デバイスの集中冷却法としての利用。
- (4) 家庭用および業務用の各種空気清浄装置の送風方法としての利用
- (5) 家電品、業務機器、およびOA機器内の電子デバイスの集中冷却法としての利用。
- (6) ハイブリット車において排出される排熱を触媒の暖気に用いる際の熱搬送の手段としての利用。
- (7) ハイブリット車で排気ガスより回収した排熱を、エンジンならびにその周辺機器の暖気、または車内暖房として利用する際の排熱の搬送手段としての利用。
- (8) 冷凍車の冷凍庫出入り口におけるエアカーテンとしての利用。
- (9) 工場の冷凍庫出入り口におけるエアカーテンとしての利用。
- (10) 医療現場において、酸素吸引時の酸素を、酸素マスクを使わずに患者の口鼻に送るための搬送方法としての利用。
- (11) 医療現場において、麻酔吸引時の麻酔を、マスクを使わずに患者の口鼻に送るための搬送方法としての利用。
- (12) 医療現場において、手術中の患者の体温維持の目的で、暖気を患者に送るための

40

50

搬送方法としての利用。

( 1 3 ) 医療現場において、手術中に発生する気体から術者である医師を保護するための酸素の搬送方法としての利用。

( 1 4 ) 航空機内の非常用酸素マスクの酸素供給において、酸素マスクを使わずに酸素を患者の口鼻に送るための搬送方法としての利用。

( 1 5 ) 工場内の配管における暖気および冷気の搬送方法としての利用。

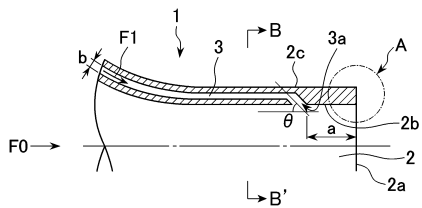
( 1 6 ) 上水道の浄化タンク内における消毒薬品の拡散促進方法としての利用。

( 1 7 ) ビニルハウス内および植物工場内における農作物、または植物の成長促進を目的とした暖気およびCO<sub>2</sub>の高濃度搬送法としての利用。

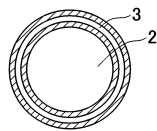
( 1 8 ) 化学プラント工場において、反応炉内の化学反応速度および濃度を局所的に制御するための薬品の搬送方法としての利用。

( 1 9 ) 気体中および液体中における微小粒子群の搬送方法としての利用。

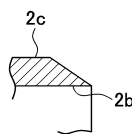
【 図 1 】



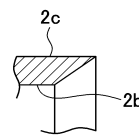
【 図 2 】



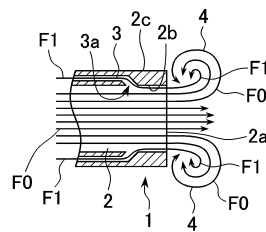
【 図 3 A 】



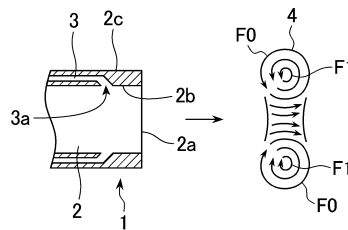
【 図 3 B 】



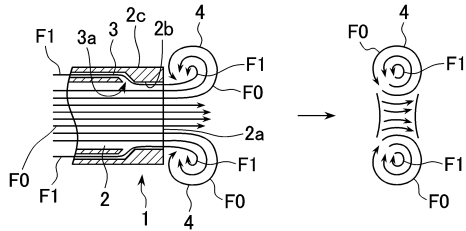
【 図 4 A 】



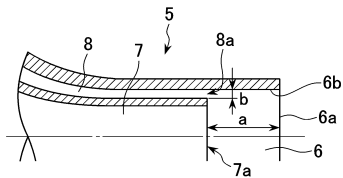
【 図 4 B 】



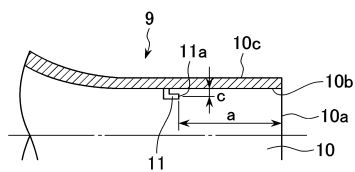
【図4C】



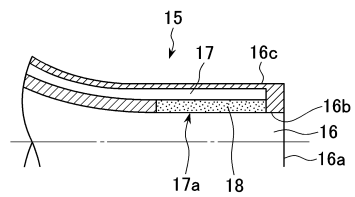
【図5】



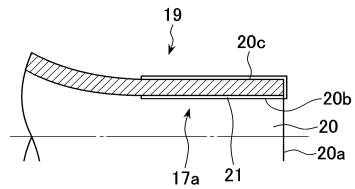
【図6】



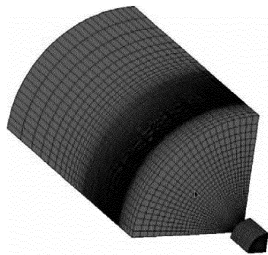
【図9】



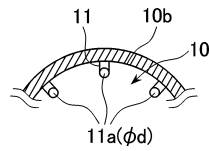
【図10】



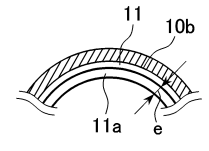
【図11A】



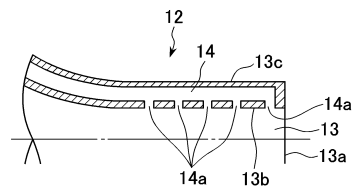
【図7A】



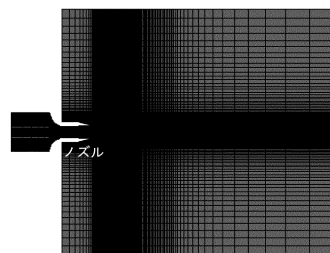
【図7B】



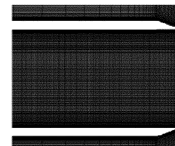
【図8】



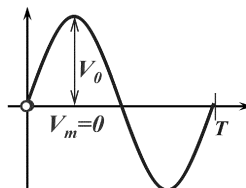
【図11B】



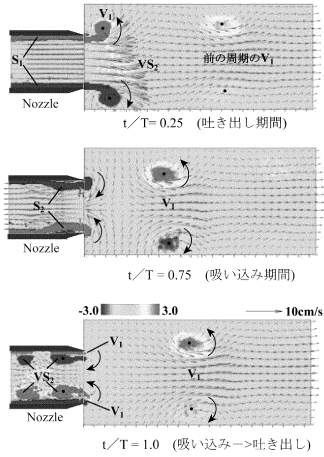
【図11C】



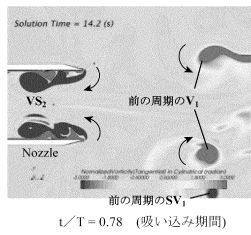
【図12】



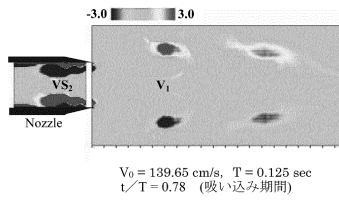
【図 13 A】



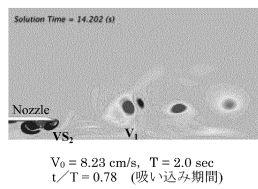
【図 13 B】



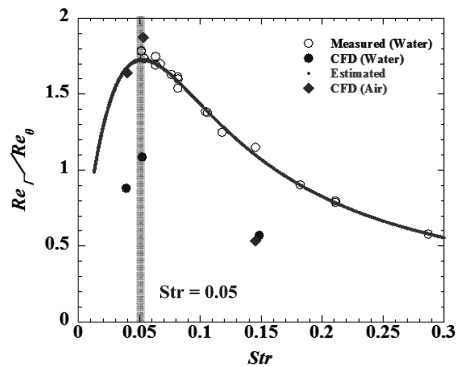
【図 15 A】



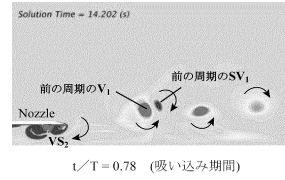
【図 15 B】



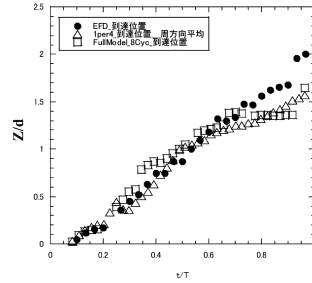
【図 16】



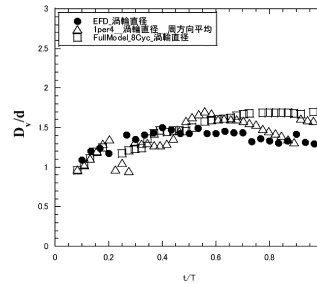
【図 13 C】



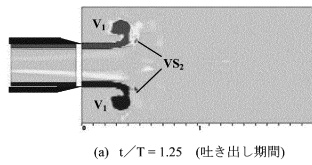
【図 14 A】



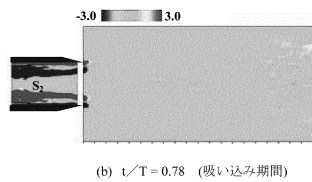
【図 14 B】



【図 17 A】



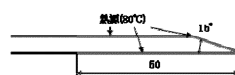
【図 17 B】



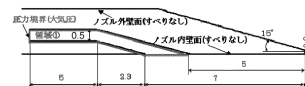
【図 18 A】



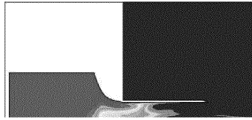
【図 18 B】



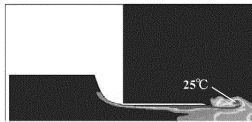
【図 18 C】



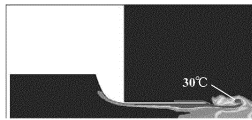
【図19A】



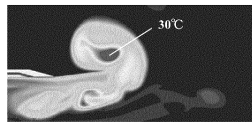
【図19B】



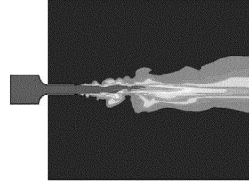
【図19C】



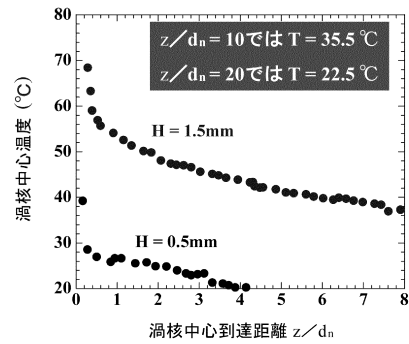
【図19D】



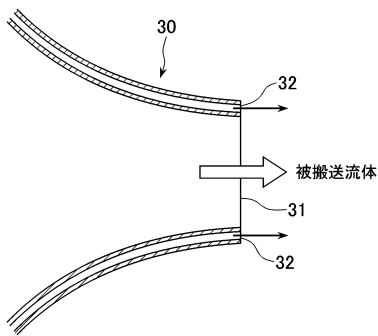
【図19E】



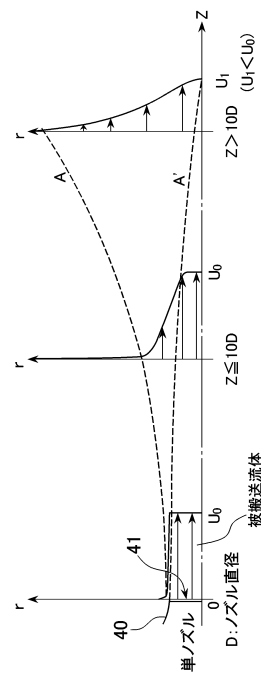
【図20】



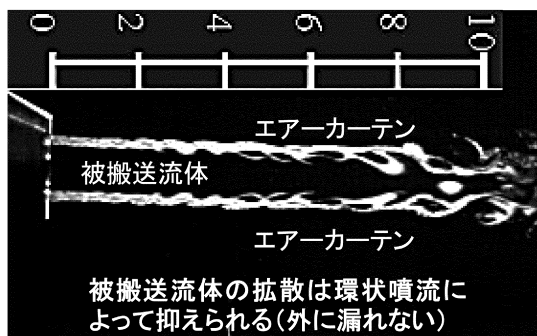
【図21】



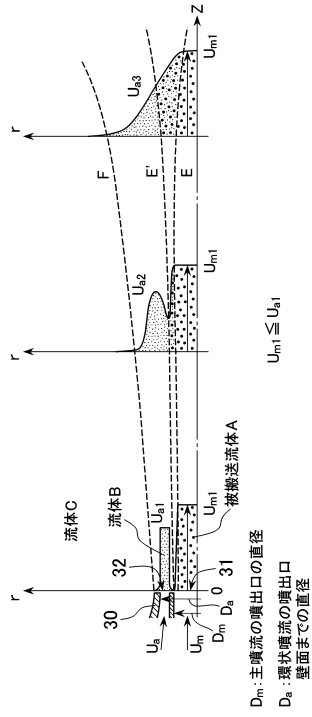
【図23】



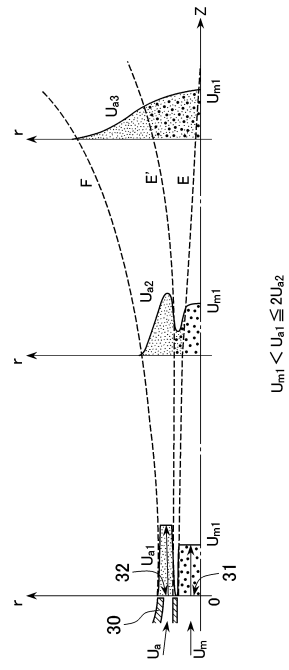
【図22】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
A 6 1 M 16/06 Z

- (72)発明者 山口 住夫  
福岡県福岡市城南区七隈八丁目19番1号 学校法人福岡大学内
- (72)発明者 安東 洋一  
福岡県福岡市城南区七隈八丁目19番1号 学校法人福岡大学内
- (72)発明者 比嘉 和夫  
福岡県福岡市城南区七隈八丁目19番1号 学校法人福岡大学内
- (72)発明者 原賀 勇壮  
福岡県福岡市城南区七隈八丁目19番1号 学校法人福岡大学内

審査官 佐藤 正浩

- (56)参考文献 実開昭63-163000(JP,U)  
特開2005-016412(JP,A)  
特開2000-176339(JP,A)  
特開2009-186127(JP,A)  
特開2012-097733(JP,A)  
特開昭63-150500(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |         |           |
|---------|-----------|
| F 2 4 F | 1 3 / 0 6 |
| A 6 1 M | 1 6 / 0 6 |
| B 6 0 H | 1 / 3 4   |
| F 2 4 F | 9 / 0 0   |