

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 1 月 30 日(30.01.2014)



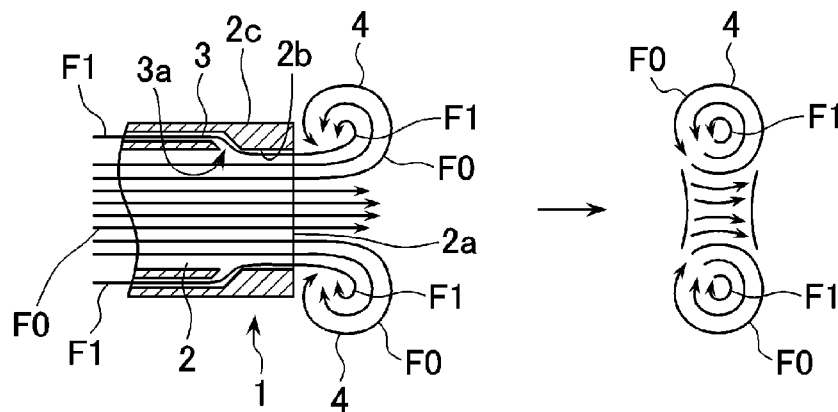
(10) 国際公開番号
WO 2014/017208 A1

- (51) 国際特許分類:
F24F 13/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/066321
- (22) 国際出願日: 2013 年 6 月 13 日(13.06.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-163897 2012 年 7 月 24 日(24.07.2012) JP
- (71) 出願人: 学校法人福岡大学(FUKUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 赤木 富士雄(AKAGI, Fujio); 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 学校法人福岡大学内 Fukuoka (JP). 山口 住夫(YAMAGUCHI, Sumio); 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 学校法人福岡大学内 Fukuoka (JP). 安東 洋一(ANDO, Youichi); 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 学校法人福岡大学内 Fukuoka (JP). 比嘉和夫(HIGA, Kazuo); 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 学校法人福岡大学内 Fukuoka (JP). 原賀 勇壮(HARAGA, Isao); 〒8140180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 1 9 番 1 号 学校法人福岡大学内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 加藤 久, 外(KATO, Hisashi et al.); 〒8120011 福岡県福岡市博多区博多駅前 3 丁目 2 5 番 2 1 号博多駅前ビジネスセンター 4 1 1 号 Fukuoka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: FLUID TRANSPORTATION DEVICE AND FLUID TRANSPORTATION METHOD

(54) 発明の名称: 流体搬送装置および流体搬送方法



(57) Abstract: Provided is a fluid transportation device and a fluid transportation method in which a transported fluid such as a gas or a liquid can be ejected into a space from an ejection unit and transported locally to a target location distant from the ejection unit while minimizing scattering. In the present invention, the transporting fluid (F0) is ejected from an ejection port (2a) into a space and thereby forms vortex rings (4), and the transported fluid (F1) is fed to the outside of the transporting fluid (F0) at a speed that is lower than that at the center of the transporting fluid (F0), whereby the transported fluid (F1) is directly accommodated in the vortex rings (4) formed by the transporting fluid (F0) moving in a rolling motion at the ejection port (2a), and transported together with the vortex rings (4).

(57) 要約: 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。本発明では、噴出口 2 a から空間内へ搬送流体 F 0 を噴き出すことにより渦輪 4 を形成するとともに、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することにより、被搬送流体 F 1 が、噴出口 2 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 4 内へ直接的に格納され、渦輪 4 とともに搬送される。

WO 2014/017208 A1

WO 2014/017208 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：流体搬送装置および流体搬送方法

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。

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

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。

[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。
- [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することができる。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。
- [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。

[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 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 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、 $U_a / U_m \leq 1$ 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、 $U_a / U_m \geq 1$ 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。

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。

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。

[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。

[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。

[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）の形成過程を示す図である。

[図15B]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16]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17A]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17B]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18A]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18B]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18C]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19A]熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

[図19B]熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

[図19C]熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

[図19D]熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

[図19E]熱流体の渦輪内への格納結果を示す図である。

[図20]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21]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22]図21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23]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24]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25]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
2a、6a、7a、10a、11a、13a、16a、20a 噴出口
2b、6b、10b、13b、16b、20b 内壁面
2c、10c、13c、16c、20c 外壁面
3、8 流路
3a、8a 噴出口
4 渦輪

- 14, 17 小空間
- 14a, 17a 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] (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 θ 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に、部分的または所定間隔を設けて形成しても良い。

[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 F 0 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。

(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。

[0022] 被搬送流体 F 1 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 3 a から搬送流体 F 0 の外側に搬送流体 F 0 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 2 a より噴出させる搬送流体 F 0 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 F 1 の噴出流量を、搬送流体 F 0 の外側に搬送流体 F 0 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 F 1 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。

[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 3 A に示すように外壁面 2 c 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] 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 F 0 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 6 a から空間中へ一定流量で噴き出される。被搬送流体 F 1 は、環状の流路 8 から搬送流体 F 0 の外側に搬送流体 F 0 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 8 a からノズル 6 の噴出口 6 a までの距離（ノズル 7 の噴出口 7 a から噴出口 6 a 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 F 1 がノズル 6 の内壁面 6 b に沿って噴出口 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 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 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 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 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。
- [0031] または、ノズル 7 より供給される搬送流体 F 0 の噴出流量を一定として、ノズル 6 の噴出口 6 a 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 F 1 の噴出流量を、搬送流体 F 0 の外側に搬送流体 F 0 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 F 0 が巻き上がって渦輪の形成が行われ、かつ被搬送流体 F 1 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 F 0 を供給するノズル 7 の噴出口 7 a がノズル 6 の噴出口 6 a 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 7 a がノズル 6 の噴出口 6 a よりも外側に配置された構成や、ノズル 7 の噴出口 7 a とノズル 6 の噴出口 6 a 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 ϕ 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 0 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 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 1 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。

[0037] または、ノズル 1 1 の噴出口 1 1 a から被搬送流体 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の条件で間欠的に供給しつつ、噴出口 1 0 a から空間内へ搬送流体 F 0 を一定流量で噴き出すと、被搬送流体 F 1 が、噴出口 1 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 1 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。

[0038] なお、本実施形態においては、被搬送流体 F 1 を吐出するノズル 1 1 をノズル 1 0 の内壁面 1 0 b に設けた構成としているが、ノズル 1 1 をノズル 1 0 の外壁面 1 0 c 側に設けたり、内壁面 1 0 b および外壁面 1 0 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 の外側へ被搬送流体 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 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。

[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 1 2 は、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 1 3 の壁面内に被搬送流体 F 1 を供給する流路を構成する小空間 1 4 を設けたものである。ノズル 1 3 の内壁面 1 3 b には、小空間 1 4 より

被搬送流体 F 1 を搬送流体 F 0 の外側へ供給するための孔やスリットなどの開口部 1 4 a が設けられている。

[0040] または、搬送流体 F 0 はノズル 1 3 から空間中へ一定流量で噴き出される。被搬送流体 F 1 は、小空間 1 4 に設けた開口部 1 4 a から搬送流体 F 0 の外側に搬送流体 F 0 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。

[0041] なお、小空間 1 4 の寸法および体積、開口部 1 4 a 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 4 a から噴出される被搬送流体 F 1 がノズル 1 3 の内壁面 1 3 b に沿って噴出口 1 3 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 3 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 1 4 の開口部 1 4 a から被搬送流体 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 3 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 3 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 3 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。

[0043] または、小空間 1 4 の開口部 1 4 a から被搬送流体 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となる条件で間欠的に供給しつつ、噴出口 1 3 a から空間内へ搬送流体 F 0 を一定流量で噴き出すと、被搬送流体 F 1 が、噴出口 1 3 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 3 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。

[0044] なお、本実施形態においては、小空間 14 から被搬送流体 F 1 を噴出する開口部 14 a をノズル 13 の内壁面 13 b に設けた構成としているが、ノズル 13 の外壁面 13 c 側に設けたり、内壁面 13 b および外壁面 13 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 13 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。

[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 F 0 を噴き出す円筒状のノズル 16 の壁面内に被搬送流体 F 1 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 16 b には、小空間 17 より被搬送流体 F 1 を搬送流体 F 0 の外側へ供給するための開口部 17 a が設けられている。また、この開口部 17 a 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。

[0046] なお、小空間 17 の寸法および体積、開口部 17 a およびフィルタ材 18 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 17 a からフィルタ材 18 を介して噴出される被搬送流体 F 1 がノズル 16 の内壁面 16 b に沿って噴出口 16 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 16 の先端部の形状についても、第 1 実施形態と同様である。

[0047] このような構成においても、小空間 17 の開口部 17 a からフィルタ材 18 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 16 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 16 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 16 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。

[0048] なお、本実施形態においては、小空間 17 から被搬送流体 F 1 を噴出する開口部 17 a およびフィルタ材 18 をノズル 16 の内壁面 16 b に設けた構成としているが、ノズル 16 の外壁面 16 c 側に設けたり、内壁面 16 b および外壁面 16 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 16 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。

[0049] (実施の形態 6)

図 10 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 19 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 10 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 20 の内壁面 20 b および外壁面 20 c に加熱源 21 を設けたものである。なお、加熱源 21 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 20 の先端部の形状については、第 1 実施形態と同様である。

[0050] このような構成において、間欠的にノズル 20 の噴出口 20 a から空間内へ搬送流体 F 0 を噴き出すと、ノズル 20 の内周面 20 b および外周面 20 c に加熱源 21 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 20 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 20 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。

[0051] なお、本実施形態においては、加熱源 21 をノズル 20 の内周面 20 b お

よび外周面 20c 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 F0 の外側に加熱された被搬送流体 F1 を生成させて、搬送流体 F0 の中心の速度よりも低速度で供給し、噴出口 20a 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。また、加熱源 21 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。

[0052] (実施の形態 7)

図 21 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 ($= \rho U_0 D / \mu = U_0 D / \nu$, ρ : 密度, U_0 : 噴流の断面平均速度, D : 噴出口 31 の直径, μ : 粘性係数, ν : 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 からは、第 1 の噴出口 31 から噴出する被搬送流体とは別の第 2 流体を環状噴流として噴出する。なお、第 2 流体は、被搬送流体と同じ流体とすることも可能である。

[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、

$$0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$$
 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 2 2 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 3 2 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 3 1 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。

[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 3 0 の先端から 50 cm 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。

[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 3 1 の位置と第 2 の噴出口 3 2 の位置は、図 2 1 に示すように同一位置とするのが望ましいが、噴出口 3 1 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 3 2 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 3 1 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 3 1 の位置および第 2 の噴出口 3 2 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 2 1 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部とすることも可能である。

[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。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] (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。

[0064] 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、その形状は長方形状（三次元では円柱状）に近い形状を示している。

[0065] 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。

[0066] 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、 ν 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。

[0067] (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 $U_m \leq 1$ 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 $U_a/U_m \leq 1$ 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、 $0 \leq r \leq D_m/2$ （ 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、 $D_m/2 < r \leq D_a/2$ 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。

[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 $U_a/U_m \leq 1$ 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] [$1 < U_a/U_m \leq 2$ 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 $1 < U_a/U_m \leq 2$ 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 $U_a/U_m \leq 1$ 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。

[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 $U_a/U_m \leq 1$ 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。

[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、 $U_a/U_m \leq 1$ 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] 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 $1 < U_a/U_m \leq 2$ 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 $U_a/U_m \leq 1$ 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]

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 $U_a / U_m \leq 1$ 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1〜2D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
- (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

[0081] 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、その後に各項目の検討結果を示す。

[0082] (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。

[0083] [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11A～図11Cに示した。図11Aは軸対称モデル図、図11Bは全周モデル図、図11C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	・連続の式 ・三次元ナビエ・ストークス方程式 ・エネルギー方程式（熱輸送解析時のみ上式と併せて使用）
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	・ラージ・エディ・シミュレーション ・SGSモデルは、ダイナミックスマゴリンスキーモデル

[0084] 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を行うことを可能にしている。

[0085] [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12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。

[0086] [数1]

$$\text{振幅レイノルズ数 : } Re_0 = \frac{V_0 d_n}{\nu} \quad (1) \quad , \quad \text{ウオーマスレイ数 : } \alpha = \frac{d_n}{2} \sqrt{\frac{2\pi}{\nu T}} \quad (2)$$

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

[0087] [実験結果による渦輪の形成過程の確認]

図13A～図13C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。

[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。

[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、「C F D (C o m p u t a t i o n a l F l u i d D y n a m i c s) 」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 C F D 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。

[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 C F D 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。

[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] 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 St_r （式（2）参照。）を用いて表すことができ $St_r \approx 0.05$ 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 : $Re_0 = 2350$, $\alpha = 23.3$, $St_r = 0.146$

条件B : $Re_0 = 4473$, $\alpha = 19.3$, $St_r = 0.053$

条件C : $Re_0 = 5926$, $\alpha = 19.3$, $St_r = 0.040$

[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V 1 および剥離渦輪V S 2 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。V S 2 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V 1 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 St_r 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_r / Re_0 の値が St_r 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 St_r が異なると）渦輪の循環 Re_r 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、 St_r を小さくすると、水渦輪の無次元循環は増大して $St_r \doteq 0.05$ 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 $St_r \doteq 0.05$ 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、 St_r 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 $Str \div 0.05$ 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。

[0100] 以上の結果より、脈動噴流の Re_0 、 α 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 $Str \div 0.05$ 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 $Str \div 0.05$ であることが確認された。

[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。

[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 0.5 mm 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。）

[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 $St_r = 0.053$ 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]

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。

[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。

[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。

[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。

[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 $St_r = 0.053$ 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1.5 mm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0.5 mmの場合よりも高い値を示しており、到達距離が4 d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10 dの位置では35.5℃（熱源の約44%）、到達距離が20 d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。

[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1.5 mm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20 dの位置で35.5℃程度（温度低下44.5℃）、到達距離が40 dの位置では22.5℃程度（温度低下57.5℃）であると推測される。

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。

[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搬送方法としての利用。
- (13) 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。
- (14) 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。
- (15) 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。
- (16) 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。

(17) 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_2 の高濃度搬送法としての利用。

(18) 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。

(19) 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。

請求の範囲

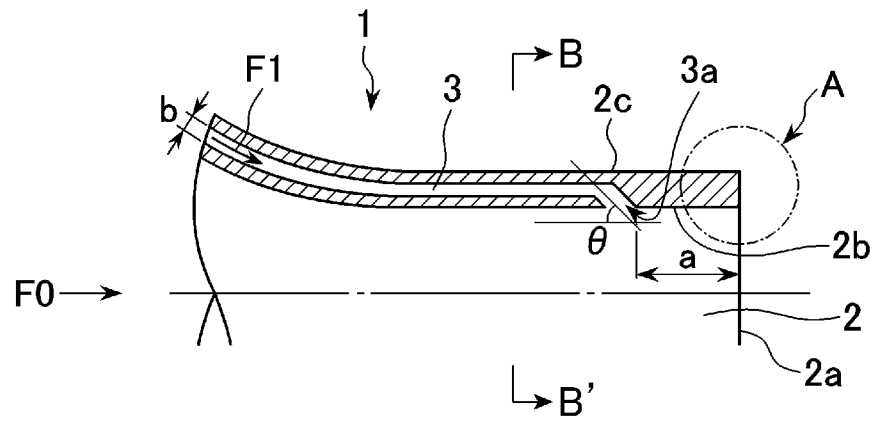
- [請求項1] 噴出口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成する噴出部と、
前記搬送流体の外側に被搬送流体を前記搬送流体の中心の速度よりも低速度で供給する被搬送流体供給手段と
を有する流体搬送装置。
- [請求項2] 前記被搬送流体供給手段は、前記噴出部の壁面に沿って前記被搬送流体を吐出する流路である請求項1記載の流体搬送装置。
- [請求項3] 前記被搬送流体供給手段は、前記噴出部の壁面に設けられた加熱源または冷却源により前記被搬送流体を生成するものである請求項1記載の流体搬送装置。
- [請求項4] 噴出口から空間内へ搬送流体を噴き出すことにより渦輪を形成するとともに、前記搬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を特徴とする流体搬送方法。
- [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
を有する流体搬送装置。
- [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、
$$0.25 \leq U_a / U_m \leq 2$$

である請求項5記載の流体搬送装置。
- [請求項7] 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8] 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6記載の流体搬送装置。
- [請求項9] 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

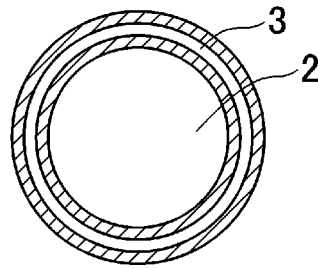
の距離は、50 cm以上である請求項5から8のいずれか1項に記載の流体搬送装置。

[請求項10] 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、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噴出することを特徴とする流体搬送方法。

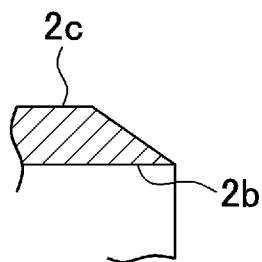
[図1]



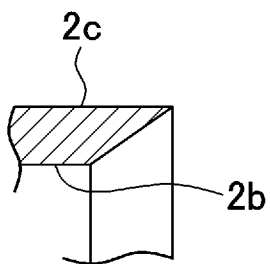
[図2]



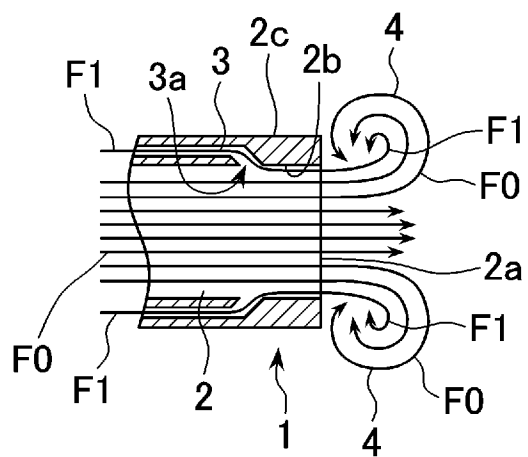
[図3A]



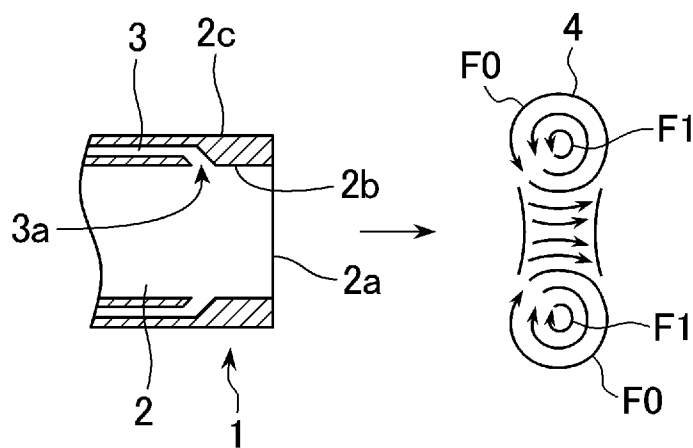
[図3B]



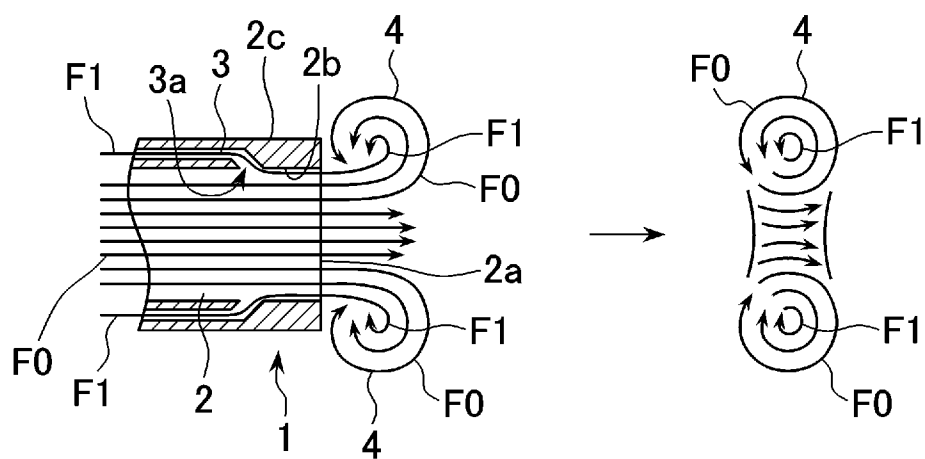
[図4A]



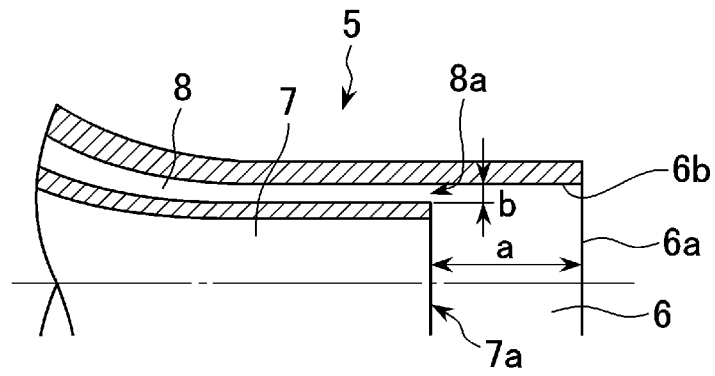
[図4B]



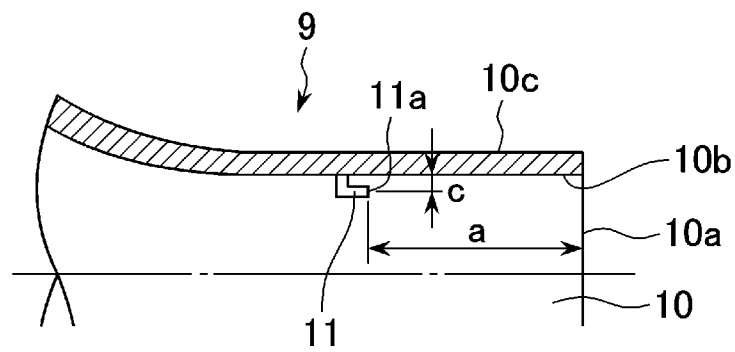
[図4C]



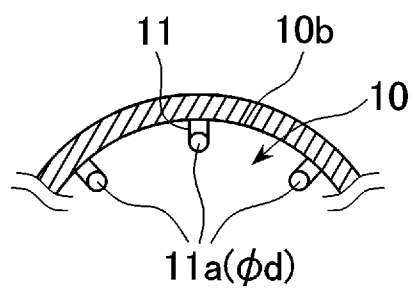
[図5]



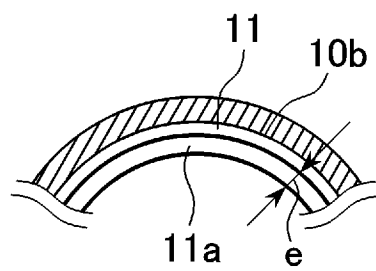
[図6]



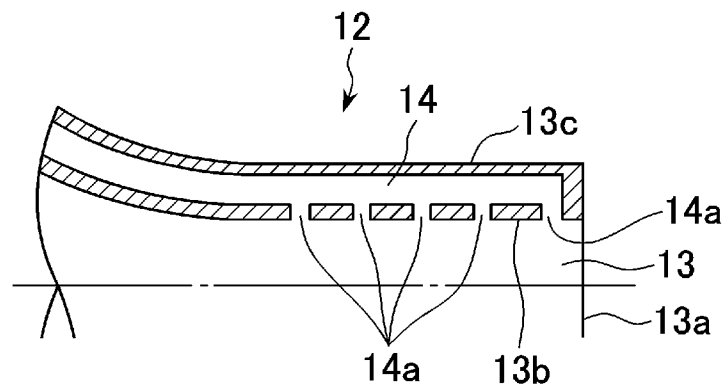
[図7A]



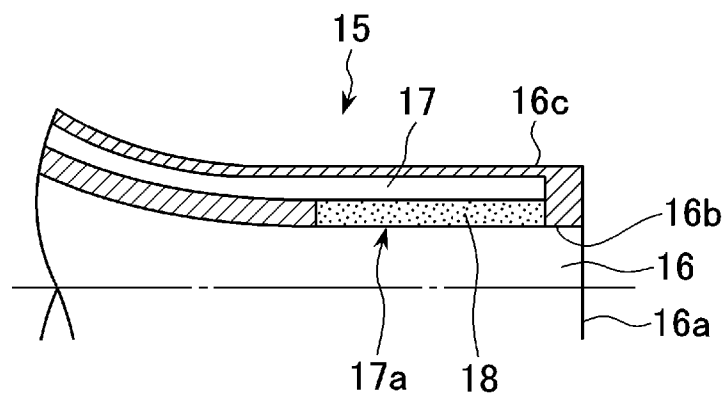
[図7B]



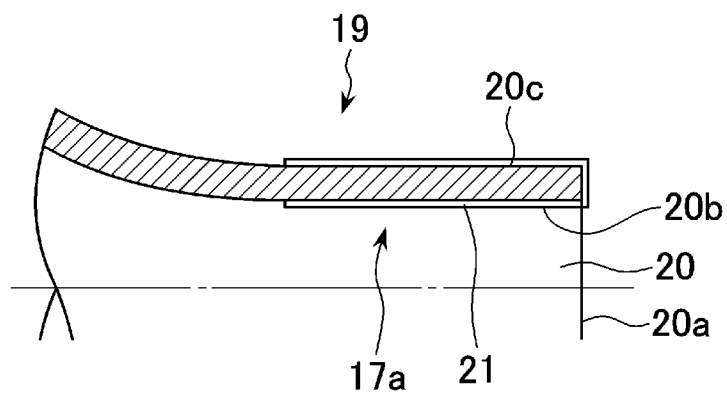
[図8]



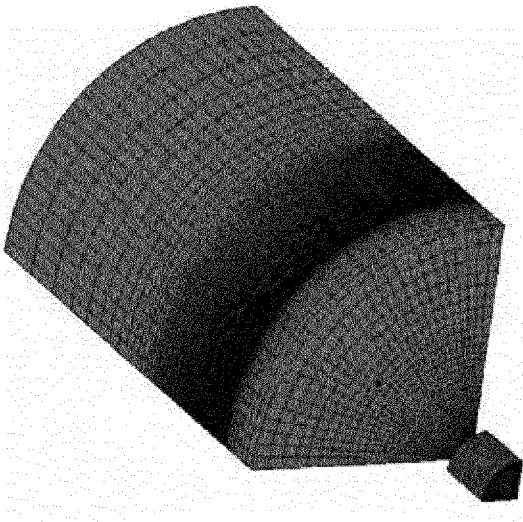
[図9]



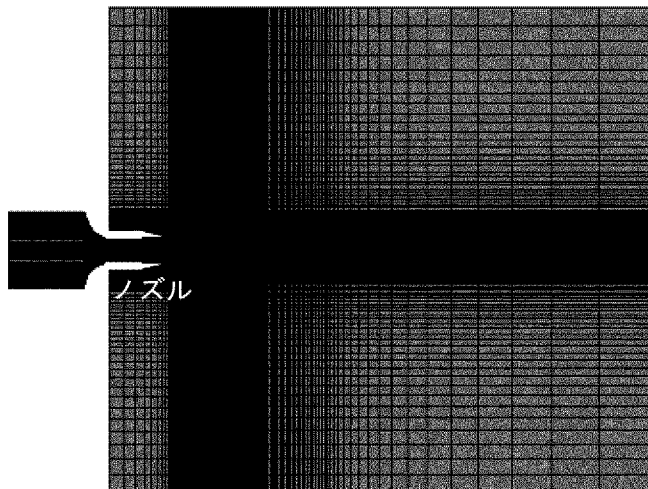
[図10]



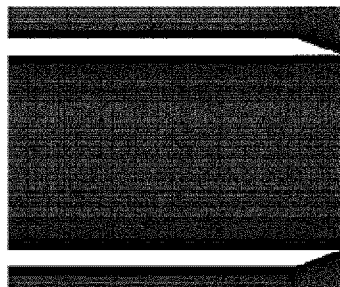
[図11A]



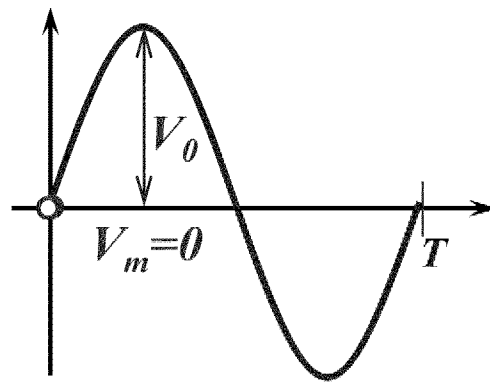
[図11B]



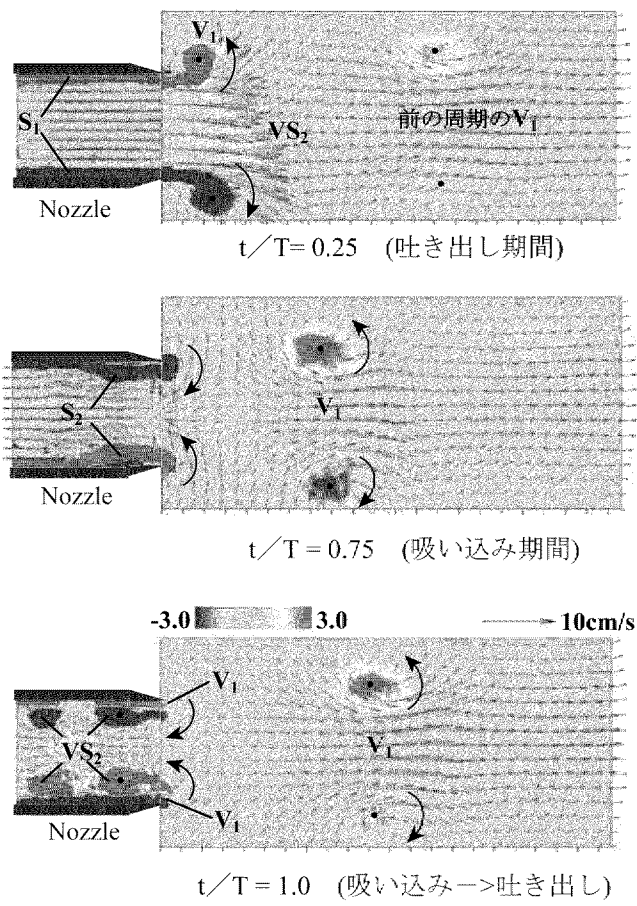
[図11C]



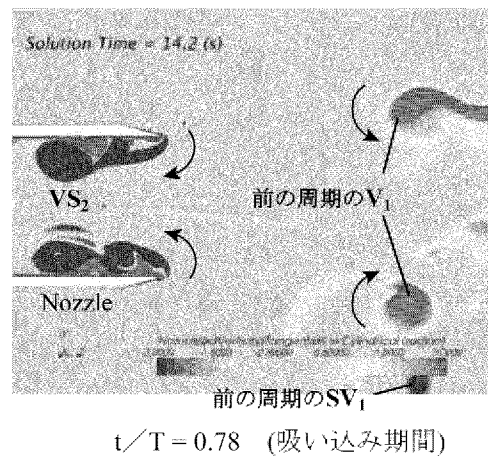
[図12]



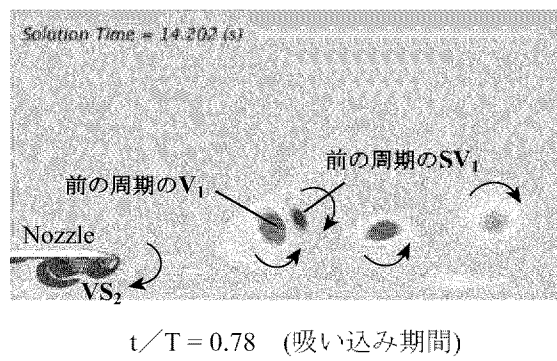
[図13A]



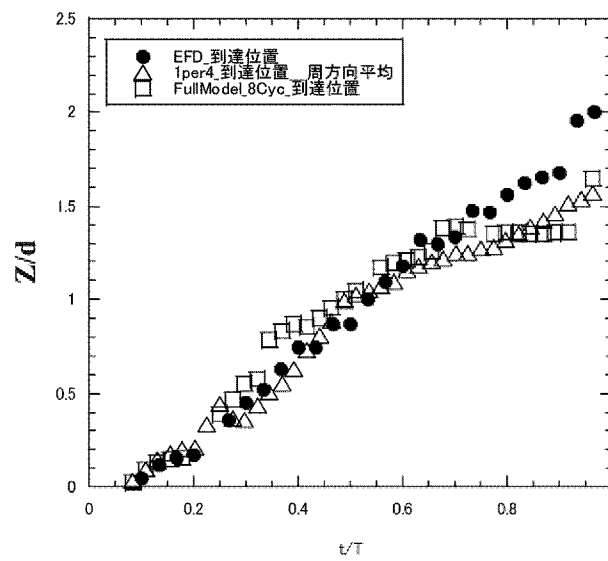
[図13B]



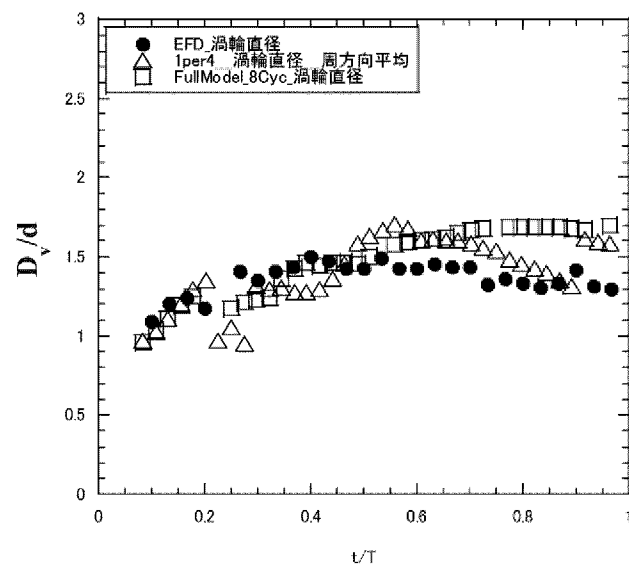
[図13C]



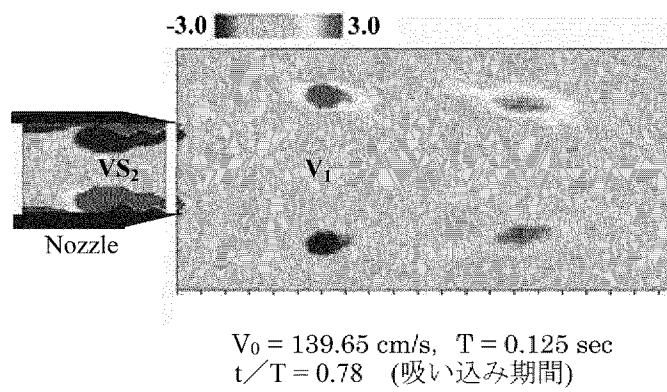
[図14A]



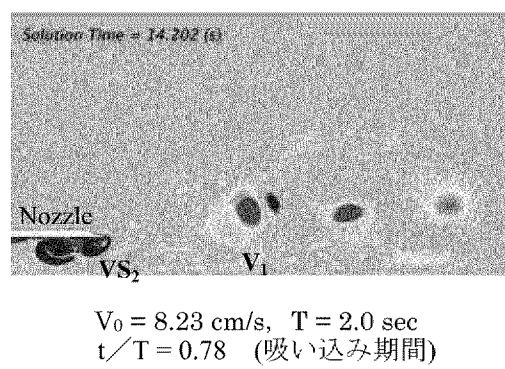
[図14B]



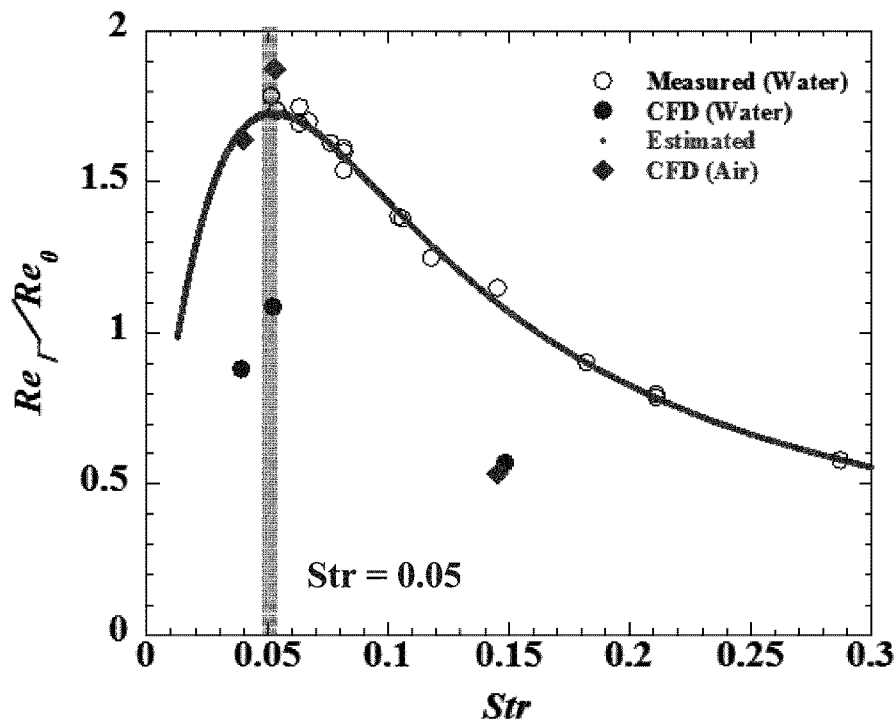
[図15A]



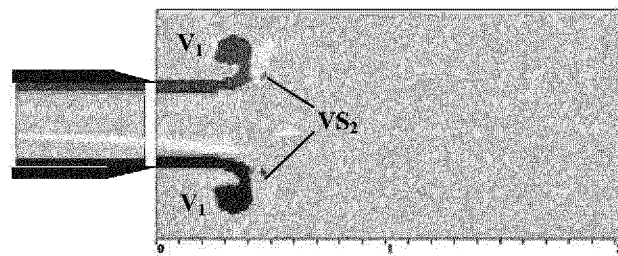
[図15B]



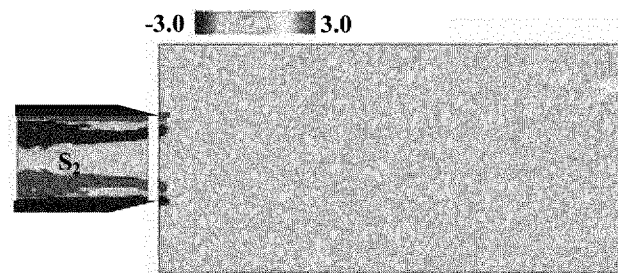
[図16]



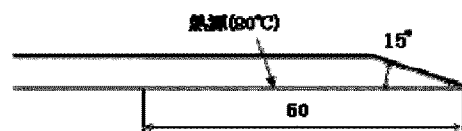
[図17A]

(a) $t/T = 1.25$ (吐き出し期間)

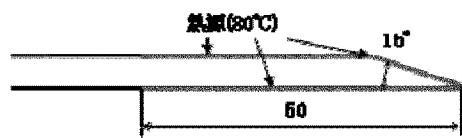
[図17B]

(b) $t/T = 0.78$ (吸い込み期間)

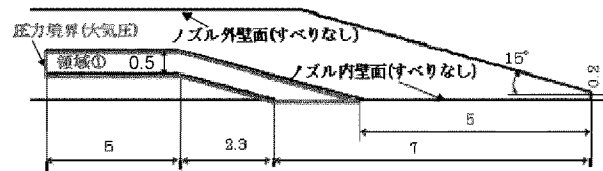
[図18A]



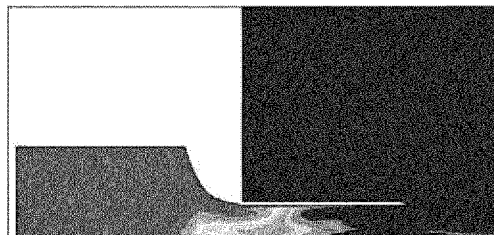
[図18B]



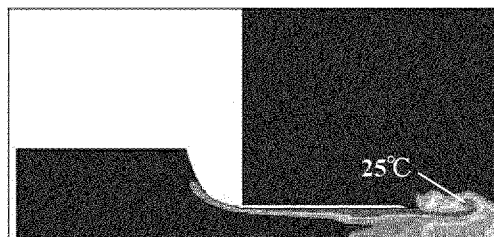
[図18C]



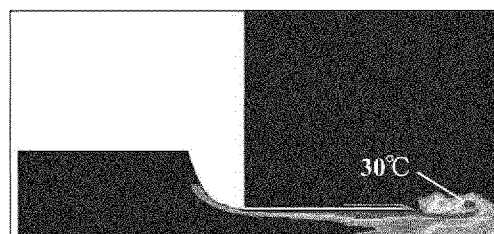
[図19A]



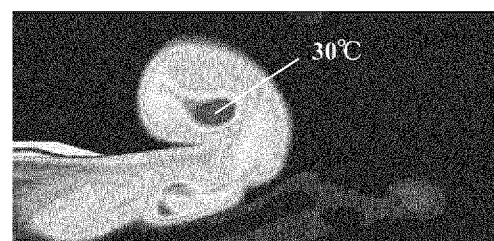
[図19B]



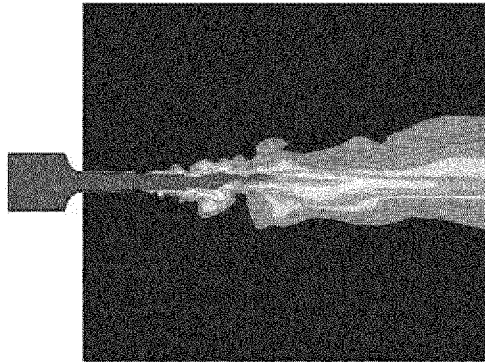
[図19C]



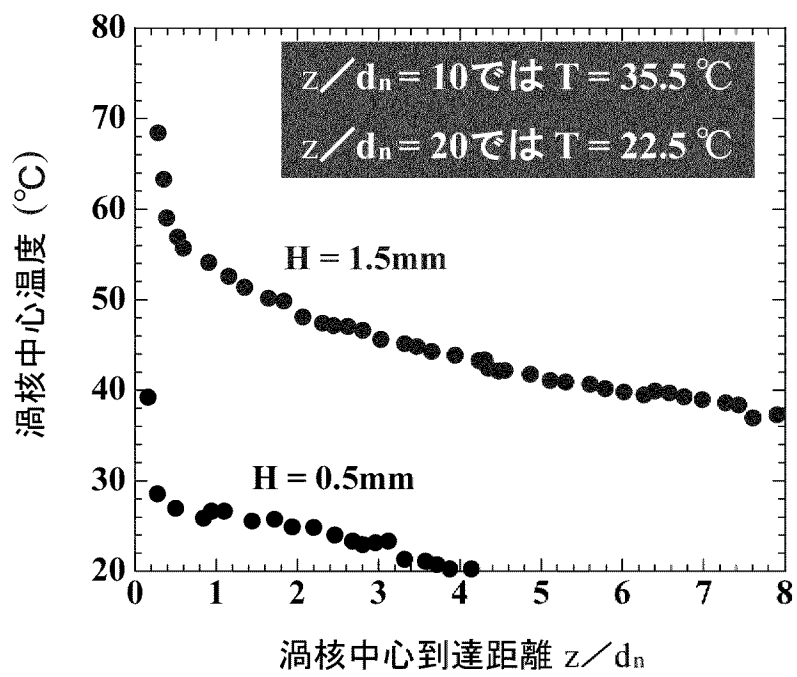
[図19D]



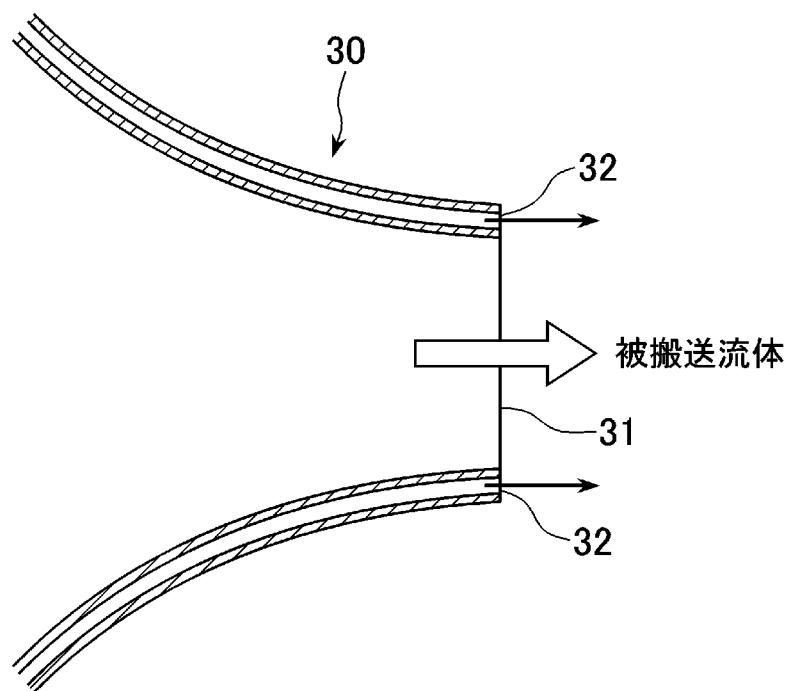
[図19E]



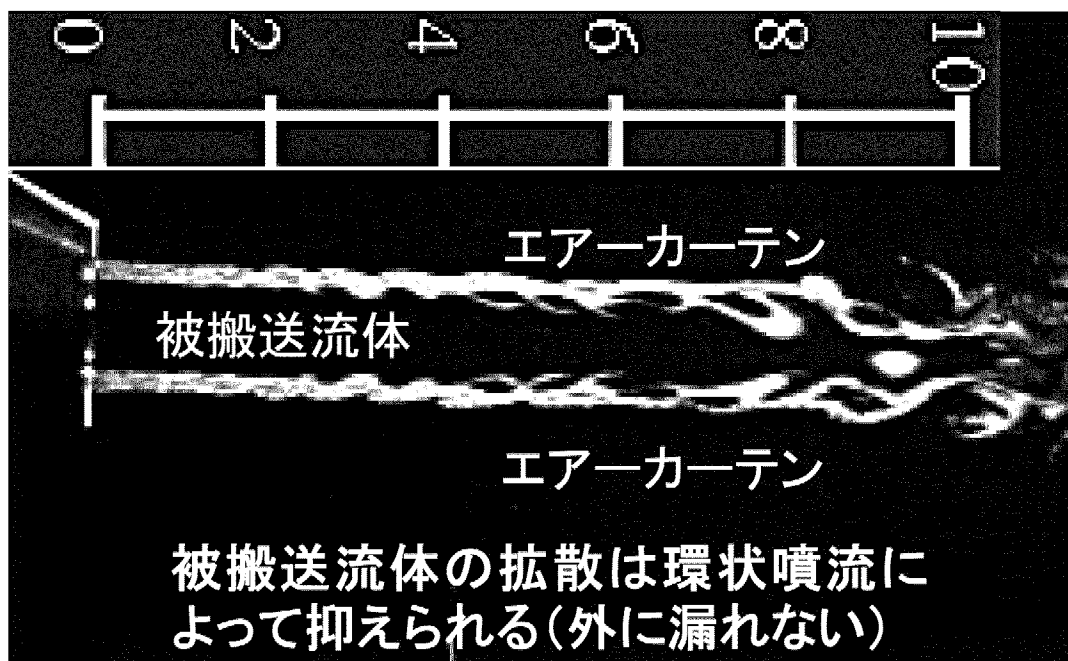
[図20]



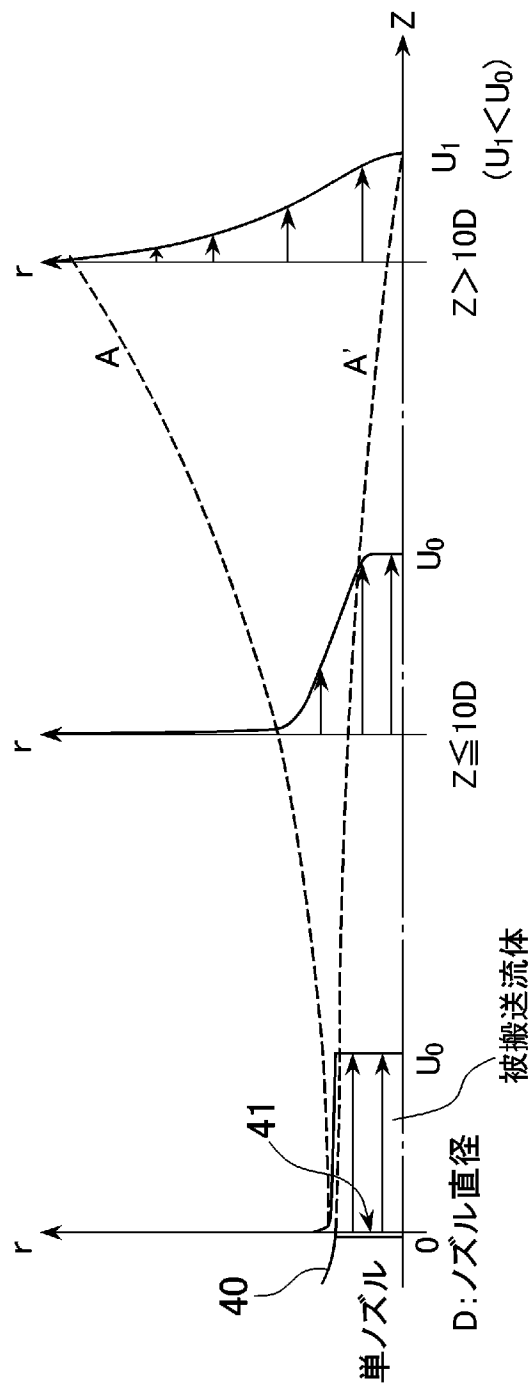
[図21]



[図22]



[図23]



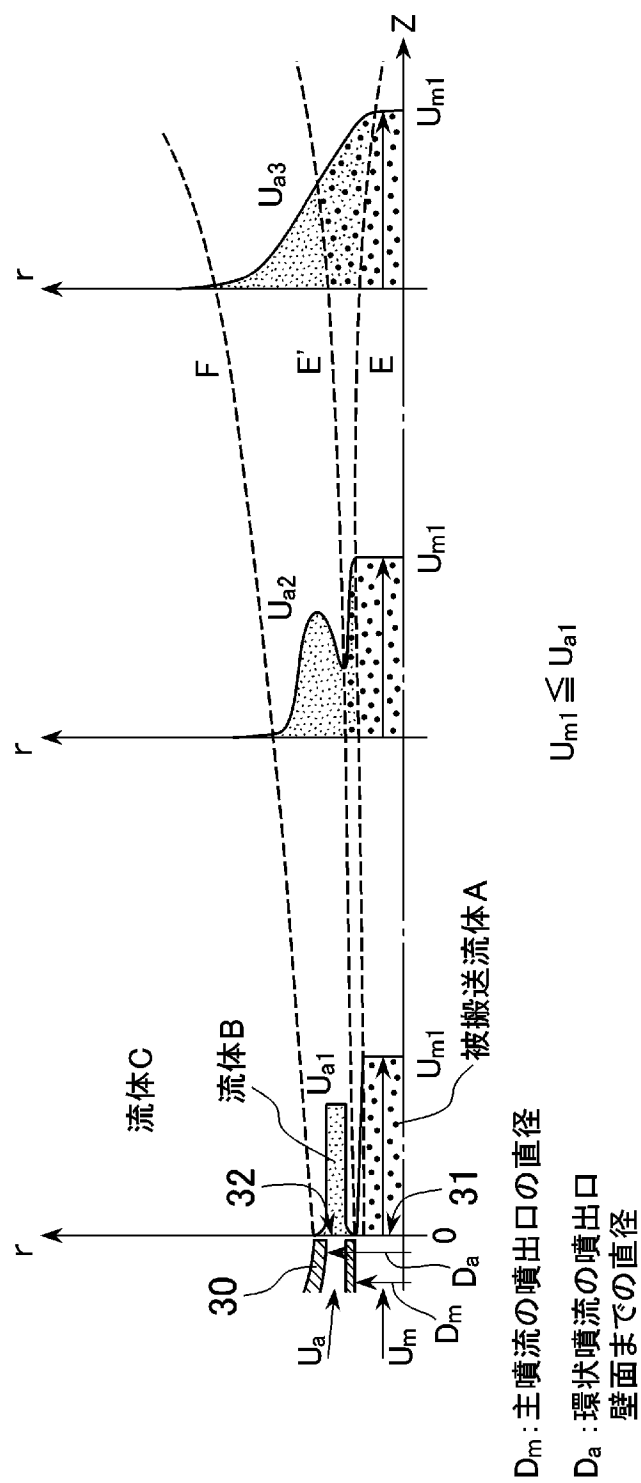


Figure 1 consists of three parts: (a) a cross-section in the r - z plane showing magnetic field lines (dashed) and equipotential surfaces (solid). The regions of electron flow (E) and ion flow (E') are indicated. (b) a longitudinal section in the r - z plane showing the velocity profiles U_{a1} , U_{m1} , and U_{a2} . (c) a cross-section in the r - z plane showing the velocity profiles U_{a3} and U_{m3} . The diagram includes labels for magnetic field (B), electric field (E), and various velocity components (U_a , U_m).

$$U_{m1} < U_{a1} \leq 2U_{a2}$$

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/066321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F24F13/06(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F24F13/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 55193/1987 (Laid-open No. 163000/1988) (Hiroshi AKITA), 25 October 1988 (25.10.1988), specification, page 5, line 16 to page 19, line 8; fig. 1 to 15 (Family: none)	1-4
Y	JP 2005-16412 A (JFE Engineering Corp.), 20 January 2005 (20.01.2005), paragraphs [0010] to [0015]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 September, 2013 (17.09.13)

Date of mailing of the international search report
24 September, 2013 (24.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/066321

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-176339 A (Mitsubishi Electric Corp.), 27 June 2000 (27.06.2000), paragraphs [0045] to [0049]; fig. 3 (Family: none)	1-4
Y	JP 2009-186127 A (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.), 20 August 2009 (20.08.2009), paragraph [0045]; fig. 1 (Family: none)	3
Y	JP 2012-97733 A (Calsonic Kansei Corp.), 24 May 2012 (24.05.2012), paragraphs [0022] to [0033]; fig. 1 to 4 & US 2012/0085124 A1 & EP 2439469 A2 & CN 102444626 A	5-10
Y	JP 63-150500 A (Research Development Corp. of Japan), 23 June 1988 (23.06.1988), page 2, upper right column, line 10 to page 3, lower left column, line 18; fig. 1 to 3 (Family: none)	5-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/066321

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/066321

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The technical feature common to the invention in claim 1 and the invention in claim 5 is "a fluid carrying device for carrying a fluid to be carried".

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Accordingly, the following two inventions (invention groups) are involved in claims.

(Invention 1) the inventions of claims 1-4

"A fluid carrying device comprising: a jet part which forms a vortex ring by jetting a carrier fluid from a jet port into a space; and a fluid-to-be-carried supply means which supplies a fluid to be carried to the outside of the carrier fluid at a speed lower than the speed of the center of the carrier fluid."

(Invention 2) the inventions of claims 5-10

"A fluid carrying device comprising: a first jet port from which a fluid to be carried is jetted on condition that the fluid to be carried becomes a laminar jet; and a second jet port which is formed in an annular shape with a width less than or equal to one half of the diameter of the inscribed circle of the first jet port so as to surround the outer periphery of the first jet port and from which a second fluid is jetted as an annular jet."

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F24F13/06 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F24F13/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	日本国実用新案登録出願 62-55193 号 (日本国実用新案登録出願公開 63-163000 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (秋田 宏) 1988. 10. 25, 明細書第 5 頁第 16 行~第 19 頁第 8 行, 第 1-15 図 (ファミリーなし)	1-4
Y	JP 2005-16412 A (J F E エンジニアリング株式会社) 2005. 01. 20, 【0010】 - 【0015】 段落, 図 1-3 (ファミリーなし)	1-4

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 7 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 正浩

3 M

9 3 3 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 7 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2000-176339 A (三菱電機株式会社) 2000. 06. 27, 【0045】 - 【0049】 段落, 図 3 (ファミリーなし)	1-4
Y	JP 2009-186127 A (高砂熱学工業株式会社) 2009. 08. 20, 【0045】 段落, 図 1 (ファミリーなし)	3
Y	JP 2012-97733 A (カルソニックカンセイ株式会社) 2012. 05. 24, 【0022】 - 【0033】 段落, 図 1-4 & US 2012/0085124 A1 & EP 2439469 A2 & CN 102444626 A	5-10
Y	JP 63-150500 A (新技術開発事業団) 1988. 06. 23, 第 2 頁右上欄第 10 行-第 3 頁左下欄第 18 行, 第 1-3 図 (ファミリーなし)	5-10

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

請求項 1 に係る発明と請求項 5 に係る発明は、「被搬送流体を搬送する流体搬送装置」という共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的特徴は、文献 1 の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。そして、請求の範囲には以下に示す 2 の発明（群）が含まれる。

（発明 1）請求項 1－4 に係る発明

「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被搬送流体供給手段とを有する流体搬送装置。」

（発明 2）請求項 5－10 に係る発明

「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 の噴出口とを有する流体搬送装置。」