

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 11 月 3 日 (03.11.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/103995 A1

(51) 国際特許分類⁷: **G06F 19/00**, 17/50 // G01M 9/06

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/007778

(22) 国際出願日: 2005 年 4 月 25 日 (25.04.2005)

(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2004-128952 2004 年 4 月 23 日 (23.04.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中山 雄行 (NAKAYAMA, Katsuyuki) [JP/JP]; 〒6528585 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三菱重

工業株式会社神戸造船所内 Hyogo (JP). 梅田 賢治 (UMEDA, Kenji) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH, Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目 2 4 番 1 0 号カドヤビル 6 階 Tokyo (JP).

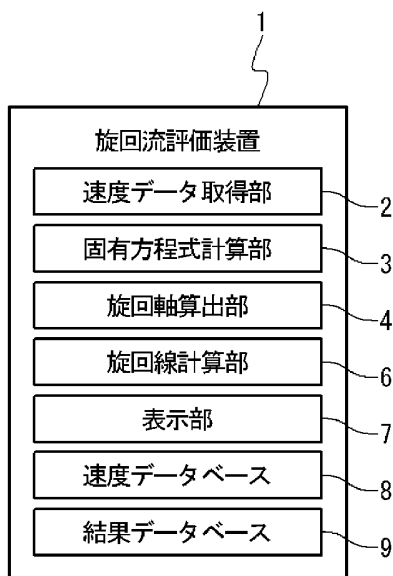
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA,

[続葉有]

(54) Title: SWIRL FLOW EVALUATING DEVICE AND SWIRL FLOW EVALUATING METHOD

(54) 発明の名称: 旋回流評価装置及び旋回流の評価方法



1... SWIRL FLOW EVALUATING DEVICE
2... VELOCITY DATA ACQUIRING SECTION
3... CHARACTERISTIC EQUATION COMPUTING SECTION
4... SWIRL AXIS COMPUTING SECTION
6... SWIRL LINE COMPUTING SECTION
7... DISPLAY SECTION
8... VELOCITY DATABASE
9... RESULT DATABASE

(57) Abstract: A swirl flow evaluating device comprising a characteristic equation computing section (3) and a swirl axis computing section (4). The characteristic equation computing section (3) computes the eigenvalue from a characteristic equation about a coordinate point and velocity data according to the velocity data on a fluid at the coordinate point. If the eigenvalue is a complex number, the swirl axis computing section (4) computes a coordinate point giving a maximum value of a swirl function which is the imaginary part of the complex number and uses the coordinate point giving the maximum value as the position of the swirl axis of the swirl flow of the fluid. With this, even if another flow or a plurality of swirl flows exist, the swirl flows can be identified using the velocity vectors at the nodes (coordinate points).

[続葉有]



SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 固有方程式計算部3と、旋回軸算出部4とを具備する旋回流評価装置を用いる。固有方程式計算部3は、座標点における流体の速度データに基づいて、座標点と速度データとに関する固有方程式から固有値を計算する。旋回軸算出部4は、固有値が複素数である場合、複素数の虚数部を旋回関数として、旋回関数における極大値を与える座標点を算出し、極大値を与える座標点をその流体における旋回流の旋回軸の位置とする。これにより、他の流れや複数の旋回流が存在する場合でも、各節点（座標点）における速度ベクトルを用いて、旋回流を的確に同定できる旋回流評価装置を提供する。

明 細 書

旋回流評価装置及び旋回流の評価方法

技術分野

[0001] 本発明は、旋回流評価装置及び旋回流の評価方法に関し、特に、流体の流れにおける旋回流を評価する旋回流評価装置及び旋回流の評価方法に関する。

背景技術

背景技術

[0002] 流体の流れとして、旋回流が知られている。図1は、旋回流のみの状態にある流体の流れの一例を示している。図1は、旋回流の旋回平面（当該旋回流の旋回軸に垂直な平面）の一つにおける、複数の節点（座標点）の各々での速度ベクトルを示している。速度ベクトルの向きは矢印の向きで、速度ベクトルの大きさは矢印の長さでそれぞれ表されている。図1に示されるように、旋回流では、旋回軸POを中心として、流体がその周囲を回転している。

[0003] 図2は、旋回流と一様流れとが合わさった状態にある流体の流れの一例を示している。図2は、図1の旋回流に、図において左から右への横方向の一様流れが加わっている場合における、複数の節点（座標点）の各々での速度ベクトルを示している。このように、旋回流の他に一様流れがあると旋回流の存在が視覚的にわからなくなる。

[0004] 各節点（座標点）における速度ベクトルを用いて、旋回流を的確に同定可能な技術が望まれている。他の流れが存在する場合でも、旋回流を的確に同定可能な技術が望まれている。他の流れや複数の旋回流が存在する場合でも、それらの旋回流を的確に同定可能な技術が求められる。

[0005] 関連する技術として、D. Sujudi, R. Haimesによる “Identification of swirling flow in 3-D vector fields” (12th AIAA Comput Fluid Dyn Conf 1995 Part2, (1995), p. 792-799) に旋回流の評価方法が開示されている。この方法では、まず、速度勾配テンソルの固有値が計算される。次に、その固有値が複素数であれば、旋回平面上におけるその点の周りで速度が0の座標点を探される。その速度が0の座標点が、旋回軸の位置とされる。ただし、この方法では

、一様流れが存在する場合には、旋回軸を求めることは困難である。

[0006] また、R. C. Strawn, D. N. Kenwright, J. Ahmadによる“Computer Visualization of Vortex Wake System”, (AIAA (1999), vol. 7(No. 4), p. 511–512)に他の旋回流の評価方法が開示されている。この方法では、渦度 ω が算出される。そして、渦度 ω の極大を表す座標点が旋回軸の位置とされる。ただし、渦度 ω は、旋回流に限らず任意の流れのパターンにおける角速度(の2倍)を表す。そのため、渦度 ω を有する流れが旋回流を示すとは限らない。すなわち、渦度 ω を有することは、旋回流としての十分条件ではない。

[0007] また、S. Kida, H. Miuraによる“Identification and analysis of vortical structure”, (E. J. Mech. B/Fluids, (1998), vol. 17(No. 4), p471–488)に更に他の旋回流の評価方法が開示されている。この方法では、圧力ヘシアン及び過度・速度勾配テンソルの流れから旋回軸が求められる。ただし、速度データだけでなく圧力データが必要であり、かつ計算が複雑である。実験データから解析を行う場合、解析に必要かつ十分な座標点数の圧力データを取得することは困難である。

発明の開示

[0008] 従って、本発明の目的は、各節点(座標点)における速度ベクトルを用いて、旋回流を的確に同定可能な旋回流評価装置及び旋回流の評価方法を提供することにある。

[0009] また、本発明の他の目的は、他の流れや複数の旋回流が存在する場合でも、旋回流を的確に同定可能な旋回流評価装置及び旋回流の評価方法を提供することにある。

[0010] 本発明の更に他の目的は、旋回流の存在の有無を的確に判定可能な旋回流評価装置及び旋回流の評価方法を提供することにある。

[0011] 本発明の別の目的は、旋回軸(渦軸)を有している旋回流とそうでない旋回流とを区別することが可能な旋回流評価装置及び旋回流の評価方法を提供することにある。

[0012] 本発明の観点では、本発明の旋回流評価装置は、固有方程式計算部と、旋回軸

算出部とを具備する。固有方程式計算部は、座標点Xにおける流体の速度データVに基づいて、座標点Xと速度データVとに関する固有方程式から固有値 λ を計算する。旋回軸算出部は、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i\phi$ である場合、複素数 $\lambda R \pm i\phi$ の虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ として、旋回関数 ϕ における極大値を与える座標点 X_0 を算出し、極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 をその流体における旋回流の旋回軸Pの位置とする。

ここでは、座標点Xにおける速度データVに基づいて、評価対象座標点Xの速度にて移動する移動座標系において速度のテイラー展開を行い、2次以降の高次項を無視することにより得られる速度勾配テンソルを求め、その固有方程式を用いている

[0013] 上記の旋回流評価装置は、旋回軸算出部4が、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を算出し、極大値 ϕ_0 を旋回軸Pでの角速度とする。

[0014] 上記の旋回流評価装置は、その固有方程式から計算される固有ベクトル ξ と旋回関数 ϕ とに基づいて、その旋回流を示す旋回線Sを計算する旋回線計算部と、旋回線Sを表示する表示部とを更に具備する。

[0015] 上記の旋回流評価装置は、旋回軸算出部が、更に、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i\phi$ で無い場合、その流体には旋回流が無いと判定する。

[0016] 上記の旋回流評価装置は、旋回軸算出部は、更に、所定の条件を満たす極大値 ϕ_0 が無い場合、明確な旋回軸Pが無いと判定する。

明確な旋回軸が無いとは、旋回流の中心が軸ではなく、有限な領域の周りを旋回しているものである。

[0017] また、他の観点では、本発明の流体シミュレーション装置は、流体に関するデータの入力に基づいて、流体内の位置を示す複数の座標点の各々における速度データを算出する解析装置と、上記に記載の旋回流評価装置のいずれかとを具備する。

[0018] また、他の観点では、本発明の旋回流の評価方法は、固有方程式計算部と旋回軸算出部とを備える旋回流評価装置で実行される。(a)固有方程式計算部が、通信回線又は記憶装置から出力された座標点Xにおける流体の速度データVに基づいて、座標点Xと速度データVとに関する固有方程式から固有値 λ を計算するステップと、(b)旋回軸算出部が、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i\phi$ である場合、複素数 $\lambda R \pm i\phi$ の

虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ として、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 を計算し、極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 をその流体における旋回流の旋回軸 S の位置とするステップとを具備する。

[0019] 上記の旋回流の評価方法において、(c) 旋回軸算出部が、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を計算し、極大値 ϕ_0 を旋回軸 P での角速度とするステップを更に具備する。

[0020] 上記の旋回流の評価方法において、(d) その固有方程式から計算される固有ベクトル ξ と旋回関数 ϕ とに基づいて、その旋回流を示す旋回線 S を計算するステップと、(e) 旋回線 S を表示するステップとを更に具備する。

[0021] また、他の観点では、本発明のコンピュータプログラムは、固有方程式計算部と旋回軸算出部とを備える旋回流評価装置により実行される。(a) 固有方程式計算部が、通信回線又は記憶装置から出力された座標点 X における流体の速度データ V に基づいて、座標点 X と速度データ V とに関する固有方程式から固有値 λ を計算するステップと、(b) 旋回軸算出部が、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i \phi$ である場合、複素数 $\lambda R \pm i \phi$ の虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ として、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 を計算し、極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 をその流体における旋回流の旋回軸 P の位置とするステップとを具備する。

[0022] 上記のコンピュータプログラムにおいて、座標点 X は複数の座標点 X である。(a) ステップは、(a1) 複数の座標点 X の各々について、固有方程式計算部が、座標点 X と速度データ V に基づいて、座標点 X と速度データ V とに関する固有方程式から固有値 λ を計算するステップを備える。(b) ステップは、(b1) 複数の座標点 X の各々について、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i \phi$ である場合、旋回軸算出部が、複素数 $\lambda R \pm i \phi$ の虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ として、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 を計算するステップと、b2) 極大値 ϕ_0 を与える座標点 X_0 が複数ある場合、極大値 ϕ_0 を与える複数の座標点 X_0 の各々をその流体における旋回流の旋回軸 P の位置とするステップとを備える。

[0023] 上記のコンピュータプログラムにおいて、(c) 旋回軸算出部4が、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を計算し、極大値 ϕ_0 を旋回軸 (p) での角速度とするステップを更に具備する。

- [0024] 上記のコンピュータプログラムにおいて、(d)その固有方程式から計算される固有ベクトル ξ と旋回関数 ϕ とに基づいて、その旋回流を示す旋回線Sを計算するステップと、(e)旋回線Sを表示するステップとを更に具備する。
- [0025] 上記のコンピュータプログラムにおいて、(b)ステップは、(b3)旋回軸算出部が、固有値 λ が複素数 $\lambda R \pm i\phi$ で無い場合、その流体には旋回流が無いと判定するステップを備える。
- [0026] 上記のコンピュータプログラムにおいて、(b)ステップは、(b4)旋回軸算出部4が、所定の条件を満たす極大値 ϕ_0 が無い場合、その流体には明確な旋回軸Pが無いと判定するステップを備える。
- [0027] 上記課題を解決するために、本発明のコンピュータプログラムは、解析装置と旋回流評価装置とを備えるシミュレーション装置に実行させるコンピュータプログラムである。(f)解析装置が、流体に関するデータの入力に基づいて、流体内の位置を示す座標点Xにおける速度データVを算出するステップと、(g)旋回流評価装置1が、上記段落のいずれか一項に記載のコンピュータプログラムを実行するステップとを具備する流体シミュレーション方法をシミュレーション装置に実行させる。
- [0028] 本発明により、他の流れや複数の旋回流が存在する場合でも、各節点(座標点)における速度ベクトルを用いて、旋回流を的確に同定できる。旋回流の存在の有無や、旋回軸(渦軸)を有している旋回流の有無を的確に判定できる。

図面の簡単な説明

- [0029] [図1]図1は、旋回流のみの状態にある流体の流れの一例を示す図である。
- [図2]図2は、旋回流と一様流れとが合わさった状態にある流体の流れの一例を示す図である。
- [図3]図3は、本発明の旋回流評価装置の実施例の構成を示すブロック図である。
- [図4]図4は、本発明の旋回流評価装置の実施例のハードウェア構成を示すブロック図である。
- [図5]図5は、本発明の旋回流評価装置の実施例の動作を示すフロー図である。
- [図6]図6は、バーガーズ渦の速度データを本発明の旋回流評価装置で評価した結果を示すグラフである。

[図7]図7は、図6を旋回軸Pの方向から見た図である。

[図8]図8は、バーガーズ渦の速度データを本発明の旋回流評価装置で評価した他の結果を示すグラフである。

[図9]図9は、図2で示した旋回流と一様流れとが合わさった流体の流れの一例を、本発明の旋回流評価装置で評価した結果を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0030] 以下に、本発明の旋回流評価装置及び旋回流の評価方法の実施例について、添付図面を参照して詳細に説明する。

[0031] 図3は、本発明の実施例による旋回流評価装置の機能構成を示すブロック図である。旋回流評価装置1は、ワークステーションやパーソナルコンピュータに例示される情報処理装置である。旋回流評価装置1は、プログラムとしての速度データ取得部2、固有方程式計算部3、旋回軸算出部4、旋回線計算部6及び表示部7を具備する。更に、データ及びプログラムとしての速度データベース8及び結果データベース9を具備する。速度データベース8及び結果データベース9は、統合されていても良い。

[0032] 速度データ取得部2は、流体に関するデータの入力に基づいて、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)による数値解析を行う。そして、流体内における位置を示す複数の3次元座標点 $X(X_1, X_2, X_3)$ の各々において、当該流体の3次元速度ベクトルデータ $V(V_1, V_2, V_3)$ を算出する。算出されたデータは、速度データベース8に格納される。固有方程式計算部3へ直接出力されても良い。

[0033] 複数の座標点 $X(X_1, X_2, X_3)$ の各々における当該流体の速度データ $V(V_1, V_2, V_3)$ は、旋回流評価装置1に通信回線(図示されず)で接続された他の記憶装置(図示されず)やネットワーク上の他の装置(図示されず)から取得されても良い。その場合に、他の装置(図示されず)は、この速度データ取得部2の機能を有していても良いし、流体の流れに関わる他のシミュレーション装置(例示:船舶、風力発電機、タービン、流体機械、航空機、化学/原子力プラント用シミュレーション装置)であつても良い。

[0034] 速度データベース8は、速度データ取得部2で算出された速度データ V を座標点 X に対応付けて格納している。他の記憶装置(図示されず)やネットワーク上の装置(図

示されず)から取得されたデータについて、速度データVを座標点Xに対応付けて格納していても良い。

- [0035] 固有方程式計算部3は、速度データ取得部2又は速度データベース8から座標点Xに対応付けられた速度データVを取得する。その座標点Xにおける流体の速度データVに基づいて、座標点Xと速度データVとに関する固有方程式から固有値 λ 及び固有ベクトル ξ (ξ_1, ξ_2, ξ_3)を計算する。座標点X及び速度データVは、3次元のデータであるので、固有値 λ も3個($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)計算される。計算結果は旋回軸算出部4へ出力される。
- [0036] 旋回軸算出部4は、固有値 λ が $\lambda_R \pm i\phi$ (i は虚数)で表される複素数である場合、複素数 $\lambda_R \pm i\phi$ の虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ と定義する。その旋回関数 $\phi(X_1, X_2, X_3)$ が極大値 ϕ_0 を取るときの座標点 X_0 を算出する。その座標点 X_0 が、その流体における旋回流の旋回軸Pの位置として定義される。
- [0037] 旋回軸算出部4は、更に、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を算出する。その極大値 ϕ_0 を旋回軸Pでの角速度と定義する。これらの固有値 λ 、固有ベクトル ξ 、旋回関数 ϕ 、極大値 ϕ_0 =角速度、旋回軸Pの位置 X_0 は、結果データベース9に格納される。
- [0038] 結果データベース9は、固有方程式計算部3で計算された固有値 λ 及び固有ベクトル ξ 、旋回軸算出部4で算出された旋回関数 ϕ 及び旋回軸Pの位置 X_0 、角速度算出部5で算出された極大値 ϕ_0 =角速度について、座標点X及び速度データに関連付けて格納している。
- [0039] 旋回線計算部6は、固有ベクトル ξ と旋回関数 ϕ とに基づいて、その旋回流を示す旋回線Sを計算する。計算結果は表示部7へ出力される。表示部7は、計算結果に基づいて、旋回線Sをディスプレイ上に表示する。
- [0040] 図4は、本発明の実施例による旋回流評価装置のハードウェア構成を示すブロック図である。旋回流評価装置1は、互いにバス16で接続されたCPU(central processing unit)11、第1メモリ12、第2メモリ13、入出力部14及びディスプレイ15を具備する。
- [0041] 上述の速度データ取得部2、固有方程式計算部3、旋回軸算出部4、旋回線計算

部6、表示部7、速度データベース8及び結果データベース9は、ハードディスク(HDD)に例示される第2メモリ13に格納されている。そのうち、速度データ取得部2、固有方程式計算部3、旋回軸算出部4、旋回線計算部6及び表示部7は、旋回流評価装置1の動作の際、ランダムアクセスメモリ(RAM)に例示される第1メモリ12に展開され、CPU11により実行される。速度データベース8及び結果データベース9から、CPU11により適宜データが読み出され、それらに書き込まれる。必要に応じて、通信ポートやキーボードに例示される入出力部14からの入力(通信回線を介した外部装置からの入力を含む)が行われる。

[0042] この旋回流評価装置は、流体の流れに関わる他のシミュレーション装置の一部に含まれていても良い。旋回流の位置や角速度をよりの確に把握することが出来、その流体の流れに関わるシミュレーションの精度を向上させることができる。そのようなシミュレーション装置としては、船舶、風力発電機、タービン、航空機、化学／原子力プラントが例示される。

[0043] 次に、本発明の実施例による旋回流評価装置の動作について説明する。図5は、本発明の実施例による旋回流評価装置の動作を示すフロー図である。

[0044] (1)ステップS01:

速度データ取得部2は、所定の流体について、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)による数値解析を行う。数値解析により、流体内における位置を示す複数の3次元座標点 $X(X_1, X_2, X_3)$ の各々において、当該流体の3次元速度ベクトルデータ $V(V_1, V_2, V_3)$ を算出する。算出されたデータは固有方程式計算部3へ出力される。既に実行された数値解析の結果を他の記憶装置(図示されず)から受信して、固有方程式計算部3へ出力しても良い。

[0045] (2)ステップS02

固有方程式計算部3は、流体中の複数の座標点 X の各々に関する流体の速度データ V を取得する。その複数の座標点 X の各々において、以下のような固有方程式(1)を立て、その計算を実行する。ただし、計算の実行に際し、式(2)の流体の連続条件を加えている。

[0046] [数1]

$$\det \left| \frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \lambda \delta_{ij} \right| = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

ただし、

V_i :速度データVの速度成分($i=1, 2, 3$)

X_j :座標点Xの座標成分($j=1, 2, 3$)

λ :固有値

σ_{ij} :クロネッカーデルタ(Kronecker Delta、 $i=j$ のとき1、その他のとき0

である。

[0047] 計算の結果、以下のような解を得ることができる。

[数2]

$$x = \sum_{j=1}^3 c_j e^{\lambda_j t} \xi^{(j)} \quad (3)$$

ただし、

$X = (X_1, X_2, X_3)$

$c_j \in \mathbb{R}$:定数($j=1, 2, 3$)

λ_j :算出された固有値 λ ($j=1, 2, 3$)

$\xi^{(j)} = (\xi_1^{(j)}, \xi_2^{(j)}, \xi_3^{(j)})$:算出された固有ベクトル ξ ($j=1, 2, 3$)

である。

[0048] (3)ステップS03

式(3)において、3つの固有値 λ (λ_j ($j=1, 2, 3$)))には、(i)全て実数、及び、(ii)一つが実数で他の二つが複素数、の二つの場合がありうる。

流体中の複数の座標点Xの各々について、(i)の場合、その座標点近傍の流体の関わる旋回流が存在しないと判定される。(ii)の場合、旋回流が存在すると判定される。

そして、複数の座標点Xの全てが(i)の場合(ステップS03:No)、処理はステップS

08へ進む。その他の場合(ステップS03:Yes)、(ii)となった座標点Xについて、処理はステップ04へ進む。

[0049] (4)ステップS04

(ii)の場合、以下の固有値 λ は、以下のように表現される。

[数3]

$$\lambda_1, \lambda_2 = \lambda_R \pm i\phi \quad (4)$$

$$\lambda_3 = \lambda_{axis} \quad (5)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \phi &= \phi(X_1, X_2, X_3) \\ &= \phi(r, \theta, z) \text{ (円筒座標系)} > 0 \end{aligned}$$

i:虚数

である。

[0050] 旋回軸算出部4は、複素数 $\lambda_R \pm i\phi$ の虚数部 ϕ を旋回関数 ϕ と定義する。その旋回関数 $\phi(X_1, X_2, X_3) = \phi(r, \theta, z)$ (円筒座標系)が極大値 ϕ_0 を取るときの座標点 $X_0(X_{10}, X_{20}, X_{30}) = \phi(r_0, \theta_0, z_0)$ を算出する。座標点X0の算出する方法としては、旋回関数 ϕ を微分した関数の変化から求める方法や、旋回関数 ϕ の最大値を求める方法が例示される。その座標点 X_0 を、その流体における旋回流の旋回軸Pの位置と定義する。

[0051] ここで、極大値を与える座標点が複数ある場合、複数の旋回流が存在すると判断する。そして、極大値を与える複数の座標点の各々を、複数の旋回流に対応する複数の旋回軸P1, P2, ... の位置と定義する。

[0052] (5)ステップS05

明確な極大値が無い場合、明確な旋回軸(渦軸)を有していない旋回流(強制的に旋回させている流れ)と判断する。ここで、明確な極大値とは、所定の基準を満たす極大値である。所定の基準としては、例えば、極大値と平均値のとの差が所定の大きさ以上であることに例示される。明確な極大値が無い場合(ステップS05:No)、ステップS08へ進む。その他の場合(ステップS05:Yes)、以下のステップ06へ進む。

[0053] (6)ステップS06

旋回軸算出部4は、更に、旋回関数 ϕ における極大値 ϕ_0 を算出する。例えば、座標点 X_0 を旋回関数 ϕ を微分した関数の変化から求めた場合、座標点 X_0 の値を旋回関数 ϕ に代入すれば極大値 ϕ_0 を算出できる。座標点 X_0 を旋回関数 ϕ の最大値から求めた場合、その最大値が極大値 ϕ_0 である。その極大値 ϕ_0 を旋回軸Pでの角速度と定義する。複数の旋回軸P1, P2, ... がある場合には、それらについても同様に極大値を求め角速度を定義する。

これらの固有値 λ 、固有ベクトル ξ 、旋回関数 ϕ 、極大値 ϕ_0 =角速度、旋回軸Pの位置 X_0 は、結果データベース9に格納される。

[0054] (7)ステップS07

旋回線計算部6は、固有ベクトル ξ と旋回関数 ϕ とに基づいて、その旋回流を示す旋回線Sを計算する。

固有値 λ_1 及び λ_2 が複素数(式(4))の場合、固有値 λ_1 及び λ_2 に対応する固有ベクトル $\xi^{(1)}$ 及び $\xi^{(2)}$ もまた複素数となる。固有ベクトル ξ は、以下のように表現される。

[0055] [数4]

$$\xi^{(1)}, \xi^{(2)} = \xi_{plane} \pm i \eta_{plane} \quad (6)$$

$$\xi^{(3)} = \xi_{axis} \quad (7)$$

ただし、

i:虚数

である。

[0056] 式(4)と式(5)の固有値 λ 、及び、式(6)と式(7)の固有ベクトル ξ の各々を式(3)に代入すると、旋回線S(座標点Xの軌跡)は以下のように計算される。複数の旋回軸P1, P2, ... がある場合には、それらの旋回線S1, S2...についても同様に計算される。

[0057] [数5]

$$x = 2e^{\lambda_{\text{rot}} t} (\xi_{\text{plane}} \cos \phi t - \eta_{\text{plane}} \sin \phi t) + e^{\lambda_{\text{axis}} t} \xi_{\text{axis}} \quad (8)$$

ただし、 $c_j = 1$ ($j = 1, 2, 3$)

[0058] (8)ステップS08

表示部7は、ステップS07の計算結果に基づいて、旋回線S(S1, S2, ...)をディスプレイ15上に表示する。又は、ステップS03で複数の座標点Xの全てが(i)の場合、旋回流が無い旨を表示する。あるいは、ステップS05で明確な旋回軸(渦軸)を有していない旋回流場合、旋回軸が無い旨を表示する。

[0059] 上記のように本発明の旋回流評価装置の実施例の動作が実行される。

[0060] 図6は、バーガーズ(Burgers)渦の速度データを本発明の旋回流評価装置で評価した結果を示すグラフである。縦軸は旋回関数 $\phi(r, \theta, z)$ の値、横軸は r の値を示す。グラフは、所定の旋回平面(z は固定)における所定方向(θ は固定)の場合の、旋回関数 ϕ の変化を示している。

この場合、 $r=r_0$ の位置で ϕ が極大値 ϕ_0 となっている。すなわち、すなわち、 $r=r_0$ の位置が旋回軸Pの位置であり、 $\phi = \phi_0$ が旋回軸Pにおける角速度となる。すなわち、本発明では、旋回流Pの位置を r_0 、その角速度を ϕ_0 と定義する。この位置及び角速度は、数学的な厳密解で得られたバーガーズ(Burgers)渦の値と一致することを確認した。

[0061] この結果は、旋回関数 ϕ が存在する複数の座標点Xの全てにおいて、一致することも確認された。

[0062] 図7は、図6を旋回軸Pの方向から見た図である。ここでは、色が濃い方が旋回関数 ϕ の大きさが大きいことを示す。中心部に極大値があり、そこが図6における $r=r_0$ の旋回軸Pの位置である。すなわち、旋回関数 ϕ の値の分布を求めることで、視覚的に容易に旋回軸の位置を見出すことができる。

[0063] 図8は、バーガーズ(Burgers)渦の速度データを本発明の旋回流評価装置で評価した他の結果を示すグラフである。三つの軸は、それぞれ固有ベクトル $\xi^{(1)}$ 、 $\xi^{(2)}$ 及び $\xi^{(3)}$ である。グラフは、旋回線S(座標点Xの軌跡)を示している。この軌跡は、従来知られた他の方法で得られたバーガーズ(Burgers)渦の値と一致している。

[0064] 本発明では、渦のモデルとして流体力学上よく知られているバーガーズ渦において、上記のように本発明の有用性を証明できた。すなわち、固有値が旋回軸のみで複素数となるのではなく、旋回軸の周辺で複素数となっていることを理論的に証明し、固有値の複素数の虚数部が旋回軸で極大値となることを示した。この虚数部を旋回関数と定義し、角速度の物理量であることを示した。

[0065] 本発明は、他のバーガーズ渦だけでなく他の一般的な流れに対しても適用できる。その一例を示したのが図9である。

図9は、図2で示した所定の旋回平面における旋回流と一様流れとが合わさった状態にある流体の流れの一例を、本発明の旋回流評価装置で評価した結果を示す図である。この図は、図1の旋回流に、図における左から右への横方向の一様流れが加わっている場合における、複数の節点(座標点)の各々での速度ベクトルを示している。そして、それらに加えて、図1に示す旋回流における旋回軸 P_0 の位置及び旋回線Sが示されている。この旋回軸 P_0 の位置及び旋回線Sは、従来知られた他の方法で得られた場合と一致している。

[0066] このように、本発明の旋回流評価装置は、旋回関数 ϕ の極大値から旋回軸Pを定める方法により、旋回流の他に一様流れが存在する(旋回軸Pでも速度が0でない)場合でも、正しく旋回軸 P_0 の位置を同定し、その旋回線Sを算出することができる。そして、その存在を視覚的に明示することができる。

[0067] 本発明により、明確な旋回軸(渦軸)を有している旋回流とそうでない旋回流(強制的に旋回させている流れ)との区別を図ることが出来る。明確な旋回軸を有している場合、旋回関数は旋回軸を中心に山なりの凸分布となるが、強制的な旋回流れでは旋回軸で旋回関数が極大とならない。

[0068] 本発明により、各節点(座標点)における速度ベクトルを用いて、他の流れや複数の旋回流が存在する場合でも、比較的簡単な計算方法で旋回流を的確に算出可能となる。

[0069] 本発明の旋回流評価装置及び旋回流の評価方法を、船舶、風力発電機、タービン、流体機械、航空機、プラント等における流体の流れに関わるシミュレーションに組み込んで利用することも可能である。その場合、旋回流の位置や角速度をよりの確に把

握することが出来、シミュレーションの精度を向上させることができる。

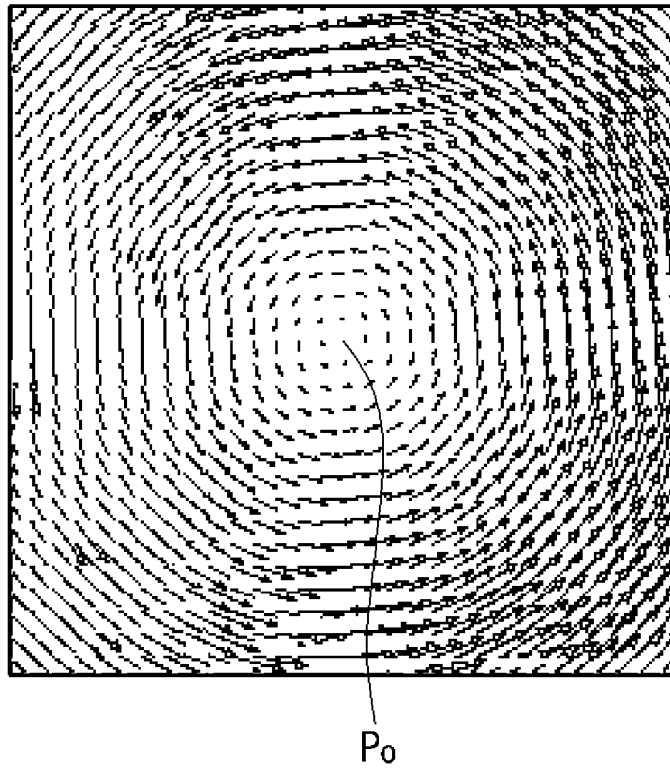
請求の範囲

- [1] 座標点における流体の速度データに基づいて、前記座標点と前記速度データとに関する固有方程式から固有値を計算する固有方程式計算部と、
前記固有値が複素数である場合、前記複素数の虚数部を旋回関数として、前記旋回関数における極大値を与える座標点を算出し、前記極大値を与える座標点を前記流体における旋回流の旋回軸の位置とする旋回軸算出部と
を具備する
旋回流評価装置。
- [2] 請求項1に記載の旋回流評価装置において、
前記旋回軸算出部は、更に、前記旋回関数における前記極大値を算出し、前記極大値を前記旋回軸での角速度とする
旋回流評価装置。
- [3] 請求項2に記載の旋回流評価装置において、
前記固有方程式から計算される固有ベクトルと前記旋回関数とに基づいて、前記旋回流を示す旋回線を計算する旋回線計算部と
前記旋回線を表示する表示部と
を更に具備する
旋回流評価装置。
- [4] 請求項1に記載の旋回流評価装置において、
前記旋回軸算出部は、更に、前記固有値が複素数で無い場合、前記流体には旋回流が存在しないと判定する
旋回流評価装置。
- [5] 請求項1に記載の旋回流評価装置において、
前記旋回軸算出部は、更に、所定の条件を満たす前記極大値が無い場合、前記流体には旋回軸が存在しないと判定する
旋回流評価装置。
- [6] 流体に関するデータの入力に基づいて、流体内の位置を示す複数の座標点の各々における速度データを算出する解析装置と、

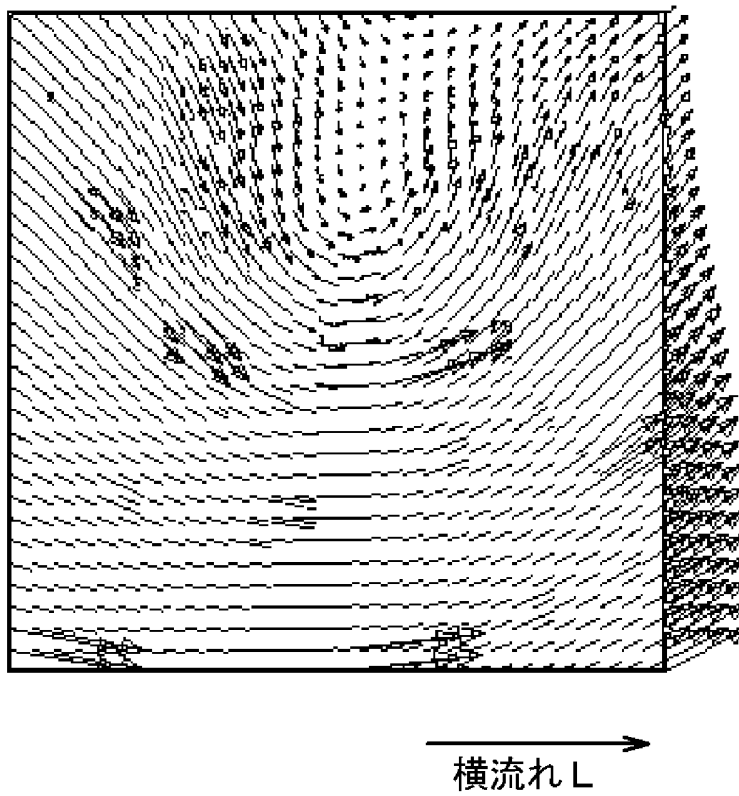
請求項1乃至5のいずれか一項に記載の旋回流評価装置と
を具備する
流体シミュレーション装置。

- [7] 固有方程式計算部と旋回軸算出部とを備える旋回流評価装置で実行する旋回流の評価方法であって、
- (a) 前記固有方程式計算部が、座標点における流体の速度データに基づいて、前記座標点と前記速度データとに関する固有方程式から固有値を計算することと、
 - (b) 前記旋回軸算出部が、前記固有値が複素数である場合、前記複素数の虚数部を旋回関数として、前記旋回関数における極大値を与える座標点を計算し、前記極大値を与える座標点を前記流体における旋回流の旋回軸の位置とすることと
- を具備する
旋回流の評価方法。
- [8] 請求項7に記載の旋回流の評価方法において、
- (c) 前記旋回軸算出部が、前記旋回関数における前記極大値を計算し、前記極大値を前記旋回軸での角速度とすることを更に具備する
- 旋回流の評価方法。
- [9] 請求項7又は8に記載の旋回流の評価方法において、
- (d) 前記固有方程式から計算される固有ベクトルと前記旋回関数とに基づいて、前記旋回流を示す旋回線を計算することと、
 - (e) 前記旋回線を表示することと
- を更に具備する
旋回流の評価方法。

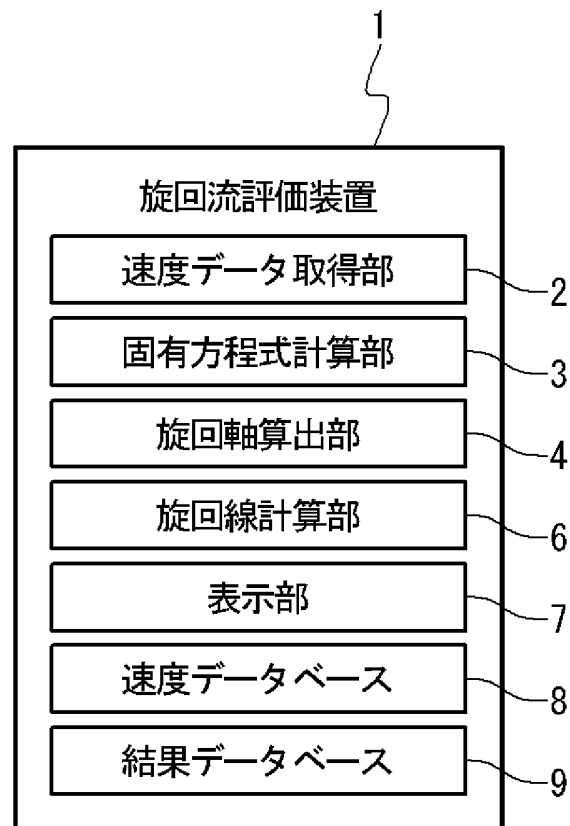
[図1]



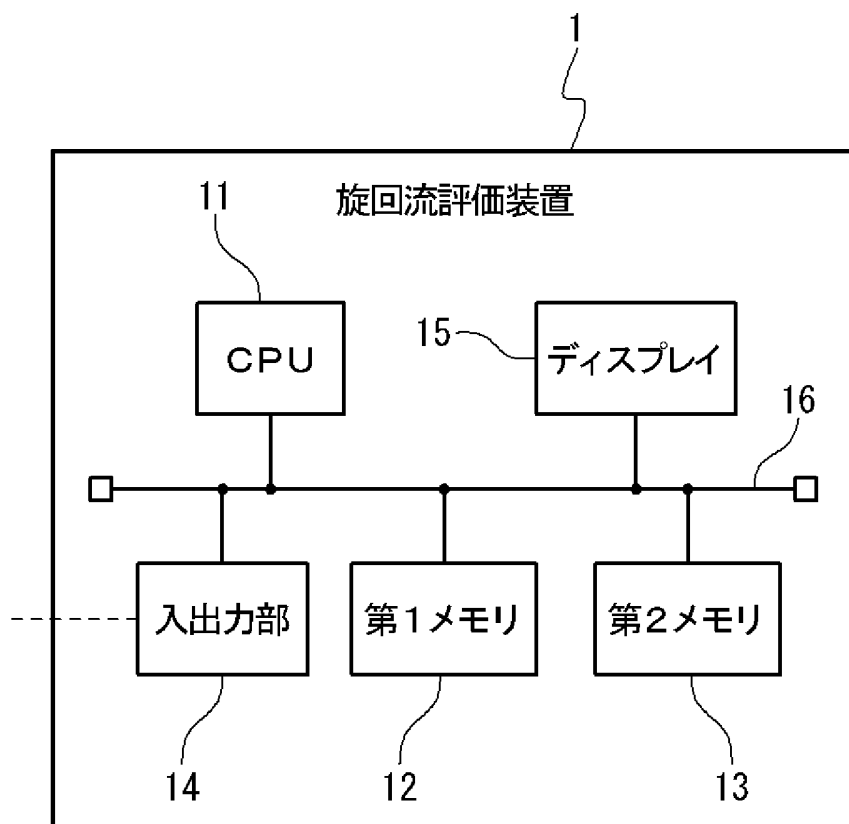
[図2]



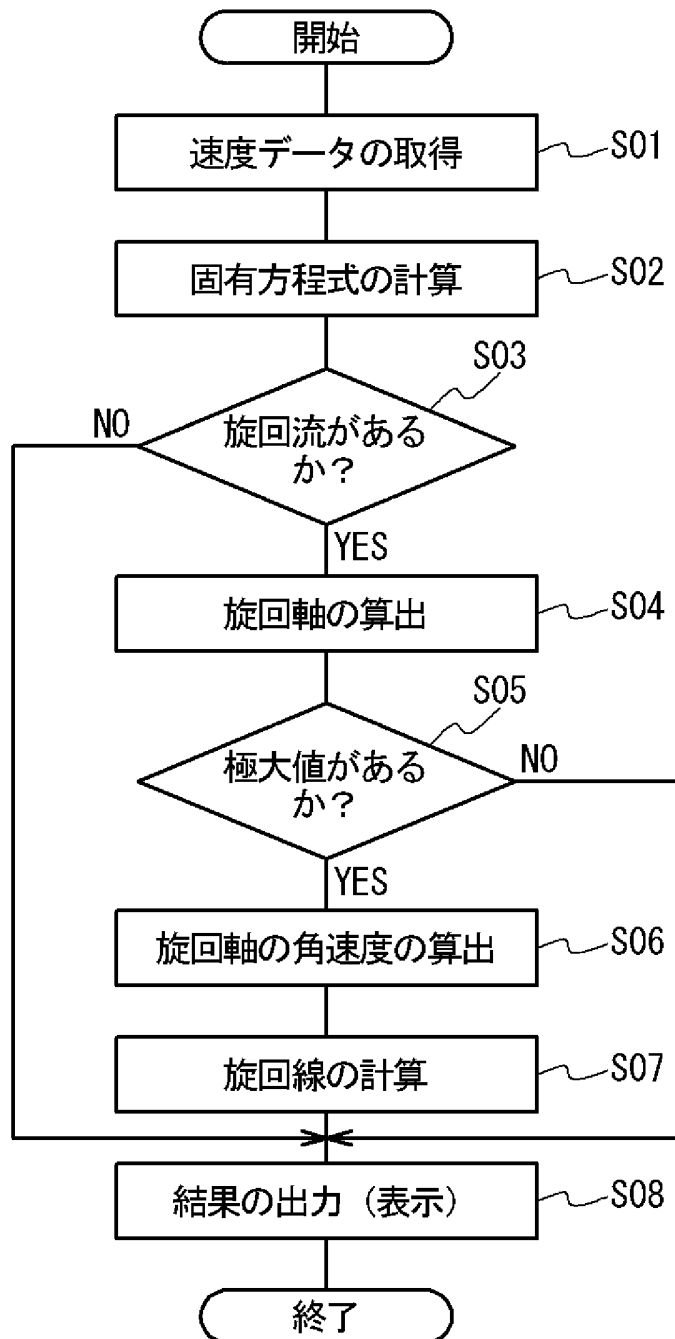
[図3]



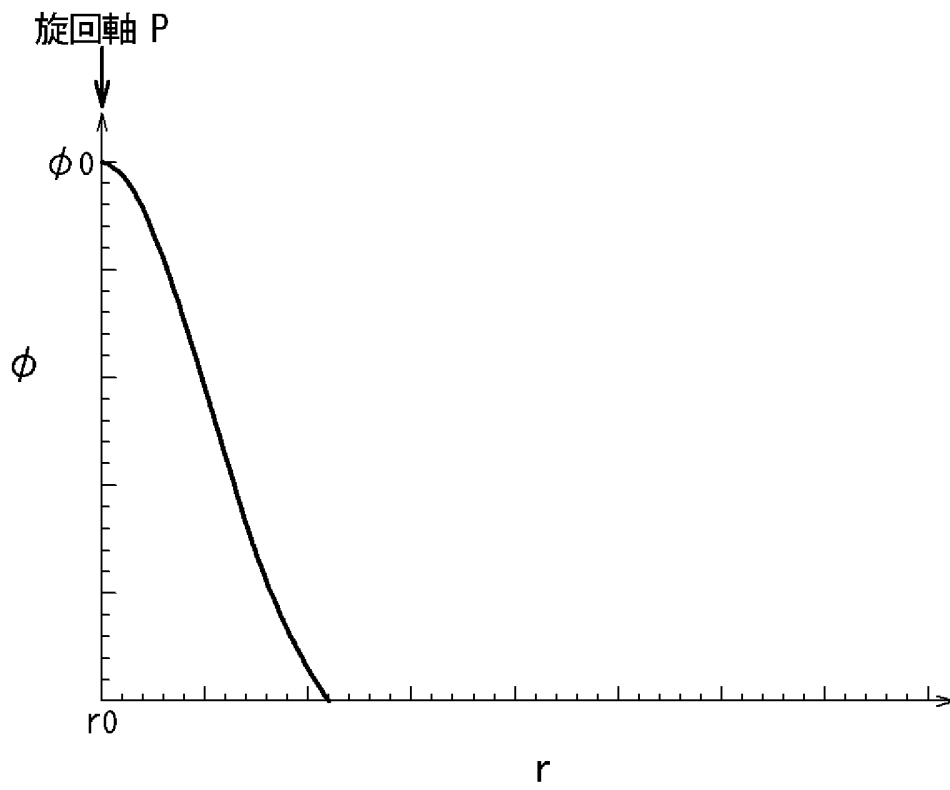
[図4]



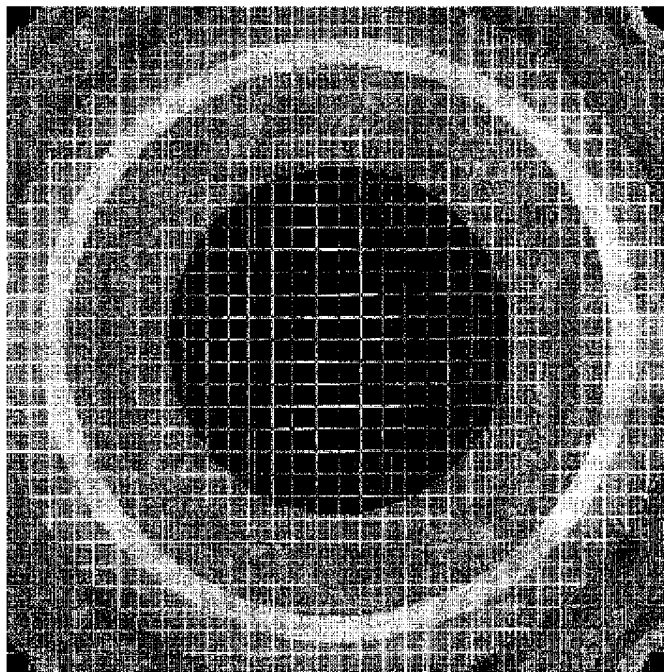
[図5]



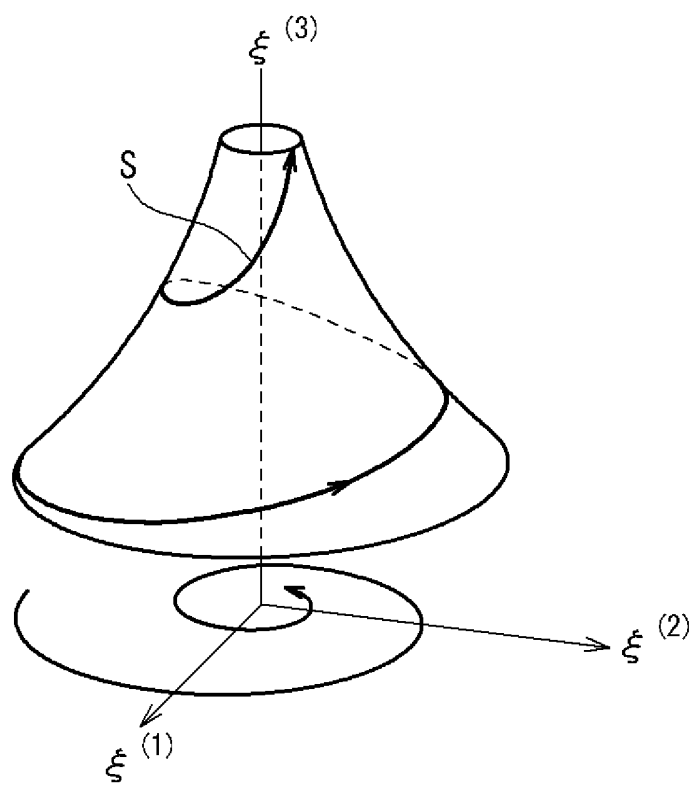
[図6]



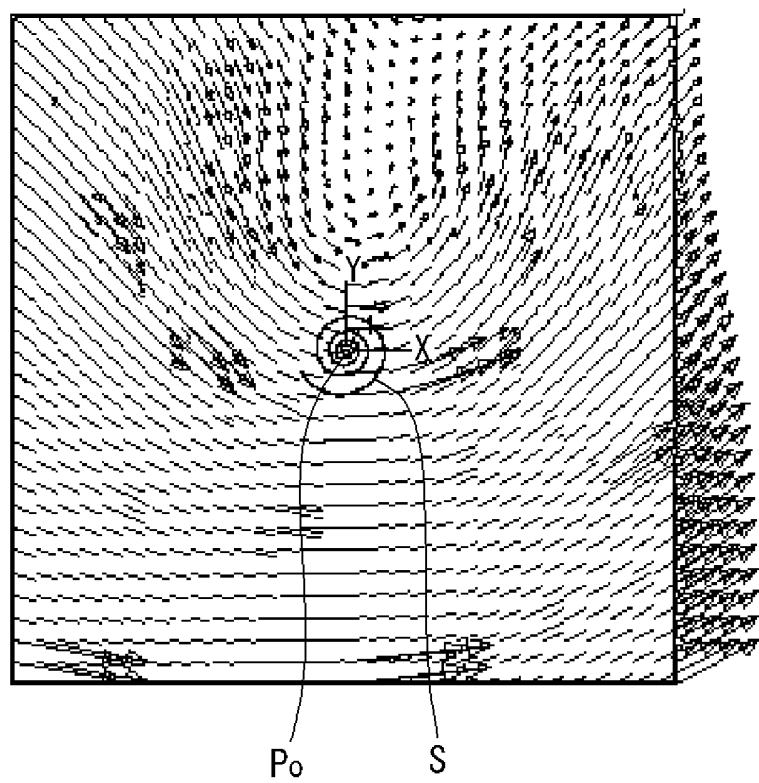
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007778

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G06F19/00, 17/50//G01M9/06

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)

Int.Cl.⁷ G06F19/00, 17/50//G01M9/06

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

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

JSTPlus (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BERDAHL C.H. et al., Education of Swirling structure using the velocity gradient tensor, AIAA 22nd Fluid Dynamics, Plasma dynamics & Lasers Conference, 1991, AIAA 91-1823	1-9
A	CUCITORE R. et al., On the effectiveness and limitations of local criteria for the identification of a vortex, European Journal of Mechanics - B/FLUIDS, 1999, Vol.18, No.2, pages 261 to 282	1-9
A	Akihiko NAKAYAMA et al., "Sokudo Kobai Tensor to 3 Jigen Nagare no Kyokushoteki Keitai no Tokusei", Kobe Daigaku Daigakuin Shizen Kagaku Kenkyuka Kiyo, 2001, 19-B, pages 69 to 75	1-9

☐ 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

"T" 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

25 July, 2005 (25.07.05)

Date of mailing of the international search report

16 August, 2005 (16.08.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. ⁷ G06F19/00, 17/50 // G01M9/06		
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 (IPC)) Int.Cl. ⁷ G06F19/00, 17/50 // G01M9/06		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005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) JSTPlus (JOIS)		
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 請求の範囲の番号
X	BERDAHL C H, et al., Education of swirling structure using the velocity gradient tensor, AIAA 22nd Fluid Dynamics, Plasma Dynamics & Lasers Conference, 1991, AIAA 91-1823	1-9
A	CUCITORE R, et al., On the effectiveness and limitations of local criteria for the identification of a vortex, European Journal of Mechanics - B/FLUIDS, 1999, Vol. 18, No. 2, pp. 261-282	1-9
A	中山昭彦, 外 1 名, 速度勾配テンソルと 3 次元流れの局所的形態の	1-9
☒ 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 25.07.2005	国際調査報告の発送日 16.08.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 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) 岩間 直純 電話番号 03-3581-1101 内線 3562	5 L 9287

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 請求の範囲の番号
	特性, 神戸大学大学院自然科学研究科紀要, 2001, 19-B, pp. 69-75	