

(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
2025年1月16日(16.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/013604 A1

(51) 国際特許分類:
F15D 1/12 (2006.01) *B64C 23/06* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/022835

(22) 国際出願日: 2024年6月24日(24.06.2024)

(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 2023-113035 2023年7月10日(10.07.2023) JP

(71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).

(72) 発明者: 焼野 藍子 (YAKENO Aiko); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

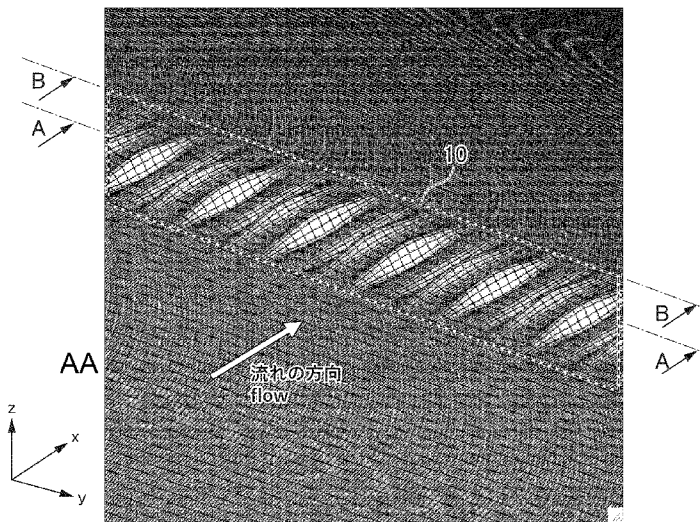
(74) 代理人: 田 ▲ 崎 ▼ 聡, 外 (TAZAKI Akira et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: SEPARATION SUPPRESSION DEVICE AND MOVING BODY

(54) 発明の名称: 剥離抑制装置及び移動体



(57) Abstract: The present invention provides a separation suppression device that is provided at a position where a fluid flows and that suppresses separation of a flow by strengthening a turbulent flow, wherein a shape in a cross section orthogonal to a flow of the fluid has a rising portion and a falling portion, and the shape of a region surrounded by the rising portion, the falling portion, an upper base portion connecting one end of the rising portion and one end of the falling portion, and a lower base portion connecting the other end of the rising portion and the other end of the falling portion is substantially trapezoidal such that the length of the lower base portion is shorter than that of the upper base portion.

MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：剥離抑制装置は、流体が流れる位置に備えられ、乱流を強めることにより流れの剥離を抑制する剥離抑制装置であって、前記流体の流れに直交する断面における形状は、立上り部と立下り部とを有し、前記立上り部と、前記立下り部と、前記立上り部の一端と前記立下り部の一端とをつなぐ上底部と、前記立上り部の他端と前記立下り部の他端とをつなぐ下底部と、により囲まれる領域の形状は、前記上底部より前記下底部の長さが短い略台形である。

明 細 書

発明の名称：剥離抑制装置及び移動体

技術分野

[0001] 本発明は、剥離抑制装置及び移動体に関する。

背景技術

[0002] 従来、ボルテックスジェネレータが知られている（例えば、特許文献1を参照）。ボルテックスジェネレータは、流体が流れる面に固定され、乱流を発生させることにより、流体の剥離を抑制する。

本願は、2023年7月10日に日本に出願された特願2023-113035について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開昭51-31498号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら従来技術に係るボルテックスジェネレータは、形状が大きい
ため、それ自体が抵抗になってしまうといった問題があった。また、従来技術に係るボルテックスジェネレータは、形状が大きい
ため、固定される物体（例えば移動体）の形状に影響を与えてしまう。すなわち、ボルテックスジェネレータを固定したことにより物体の美的外観が損なわれてしまうといった課題があった。

[0005] そこで本発明は、流体の乱流遷移を支配方程式であるナビエ・ストークス方程式の不安定解の一つである、流れ方向に回転軸を持ち回転方向が逆の渦対を生成することで、効果的に促進することが可能であり、かつその方法によりそれ自体の形状が抵抗となりづらい剥離抑制装置及び移動体の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] [1] 上記の課題を解決するため、本発明の一態様は、流体が流れる位置に備えられ、乱流を強めることにより流れの剥離を抑制する剥離抑制装置であって、前記流体の流れに直交する断面における形状は、立上り部と立下り部とを有し、前記立上り部と、前記立下り部と、前記立上り部の一端と前記立下り部の一端とをつなぐ上底部と、前記立上り部の他端と前記立下り部の他端とをつなぐ下底部と、により囲まれる領域の形状は、前記上底部より前記下底部の長さが短い略台形である剥離抑制装置である。

[0007] [2] また、本発明の一態様は、上記 [1] に記載の剥離抑制装置において、前記立上り部において発生する渦の回転方向と、前記立下り部において発生する渦の回転方向とは互いに異なり、前記下底部は、前記立上り部において発生する渦と、前記立下り部において発生する渦とを互いに分離する凸部を有するものである。

[0008] [3] また、本発明の一態様は、上記 [2] に記載の剥離抑制装置において、前記流体の流れに直交する断面における前記凸部の形状は、前記下底部の側を下底とし、前記上底部の側を上底とし、下底より上底が短い略台形であり、当該略台形の高さは、前記立上り部及び前記立下り部を辺とする略台形の高さより低いものである。

[0009] [4] また、本発明の一態様は、上記 [1] から [3] のいずれかに記載の剥離抑制装置において、前記立上り部及び前記立下り部を辺とする略台形の形状は、前記流体の流れに直交する方向に連続して備えられるものである。

[0010] [5] また、本発明の一態様は、上記 [4] に記載の剥離抑制装置において、連続する複数の略台形の形状のうち、前記立上り部と、前記立下り部との間には、前記上底部と略平行な平坦部を有するものである。

[0011] [6] また、本発明の一態様は、上記 [5] に記載の剥離抑制装置において、前記平坦部は、前記流体の流れに直交する断面において、前記下底部の側を下底とし、前記上底部の側を上底とし、下底より上底が長い略台形の凹部を有するものである。

[0012] [7] また、本発明の一態様は、上記 [1] から [6] のいずれかに記載の剥離抑制装置において、前記上底部及び前記下底部の長さは、剥離抑制装置が使用される環境に応じて設定されるものである。

[0013] [8] また、本発明の一態様は、上記 [7] に記載の剥離抑制装置において、連続する複数の略台形の形状が、前記流体の流れに直交する断面において配置される周期 y^+ は、スパン方向における位置を y 、前記流体の速度を u_τ 、動粘性係数を ν としたとき、次の (1) 式を満たすものである。

[0014] [数1]

$$y^+ = y u_\tau / \nu \sim 100 \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

[0015] [9] また、本発明の一態様は、上記 [1] から [8] のいずれかに記載の剥離抑制装置を備える移動体であって、前記剥離抑制装置は、前記流体の剥離位置の近傍で前記流体による表面圧力の順圧力勾配が低下する箇所に取り付けられる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、流体の乱流遷移を支配方程式であるナビエ・ストークス方程式の不安定解の一つである、流れ方向に回転軸を持ち回転方向が逆の渦対を生成することで、効果的に促進することができ、かつ剥離抑制装置自体の形状が抵抗となりづらい剥離抑制装置及び移動体を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の形状の一例を示す図である。

[図2]本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面について、流体が流れる方向に沿った断面図の一例である。

[図3]本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の近傍における圧力係数について、流体の流れる方向における変化を示す図である。

[図4]本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の近傍における流体の流

れる方向の圧力勾配について、流体の流れる方向における変化を示す図である。

[図5]本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示す平面図である。

[図6]本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示す斜視図である。

[図7]本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示すスパン方向の断面図である。

[図8]本実施形態に係る剥離抑制装置についてスパン方向における断面の特徴を説明するための模式図である。

[図9]本実施形態に係る剥離抑制装置が発生させる渦の向きについて説明するための模式図である。

[図10]本実施形態に係る剥離抑制装置の第1の変形例について説明するための模式図である。

[図11]本実施形態に係る剥離抑制装置の第2の変形例について説明するための模式図である。

[図12]本実施形態に係る数値実験の条件について示す図である。

[図13]本実施形態に係る剥離抑制装置の効果について説明するための第1の図である。

[図14]本実施形態に係る剥離抑制装置の効果について説明するための第2の図である。

[図15]本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価方法について説明するための図である。

[図16]本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価に用いられる形状について説明するための図である。

[図17]本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価結果について説明するための図である。

[図18]従来技術に係るリブレットの一例を示す斜視図である。

[図19]従来技術に係るリブレットの一例についてのスパン方向の断面図である。

発明を実施するための形態

[0018] [実施形態]

以下、本発明の態様に係る剥離抑制装置及び移動体について、好適な実施の形態を掲げ、添付の図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明の態様は、これらの実施の形態に限定されるものではなく、多様な変更または改良を加えたものも含まれる。つまり、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれ、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換または変更を行うことができる。また、以下の図面においては、各構成をわかりやすくするために、各構造における縮尺および数等を、実際の構造における縮尺および数等と異ならせる場合がある。

[0019] まず、本実施形態の前提となる事項について説明する。本実施形態に係る剥離抑制装置は、流体が流れる面の表面に設置される。流体が流れる面とは、例えば移動体の表面であってもよい。本実施形態に係る剥離抑制装置は、より具体的には、従来技術に係るボルテックスジェネレータに代わるものとして用いられてもよい。

[0020] 本実施形態に係る剥離抑制装置が設置される移動体とは、例えば航空機やドローンのように空中を移動するものであってもよいし、船舶や潜水艇のように水中を移動するものであってもよいし、車両やAGV (Automatic Guided Vehicle) のように陸路を移動するものであってもよい。また、本実施形態に係る移動体とは、電力発電用タービンの羽根のように、プロペラ部分等に配置されてもよい。

[0021] また、本実施形態に係る剥離抑制装置は、流体が流れる位置に備えられる。剥離抑制装置は、流体が流れる位置に備えられることにより、乱流を強め、流体の流れの剥離を抑制し、圧力抵抗を低減する。なお、本実施形態において流体とは、空気、水、蒸気、ガス等、気体及び液体を広く含む。

[0022] 図1は、本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の形状の一例を示

す図である。同図を参照しながら、本実施形態に係る剥離抑制装置 10 が適用される面 20 の形状の一例について説明する。剥離抑制装置 10 は、図示するように面 20 の表面に設置される。剥離抑制装置 10 は、面 20 と一体的に成形されるものであってもよいし、面 20 を加工することにより成形されるものであってもよいし、面 20 に対して事後的に取り付けられるものであってもよい。なお、以降の説明において、 x 軸、 y 軸及び z 軸の三次元直交座標系によって各部の位置関係等について説明する場合がある。

[0023] 面 20 は、例えば移動体の表面であってもよい。図示する一例において、面 20 は、ハンプ形状を有する。また、図示するハンプ形状の高さは、30 [mm (ミリメートル)] としている。図示する一例において流体は、 x 軸方向に流れる。剥離抑制装置 10 は、剥離抑制装置 10 の近傍で流体の圧力が低下する箇所に取り付けられる。流体の表面圧力の順圧力勾配が低下する箇所とは、例えば後流に正の圧力勾配（逆圧力勾配）が存在しているような箇所であってもよい。剥離抑制装置 10 は、流体の順圧力勾配が低下する箇所に備えられることにより、乱流遷移を促進し、面近傍への運動量投入により、流体の流れの剥離を抑制し、圧力抵抗を低減する。なお、本実施形態に係る剥離抑制装置 10 が取り付けられる箇所は、図示するような一例に限定されず、例えば圧力勾配が存在していない箇所に取り付けられてもよく、乱流混合を促進する。

[0024] 図 2 は、本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面について、流体が流れる方向に沿った断面図の一例である。換言すれば、同図は、図 1 の $x-z$ 平面における断面図である。図 2 に示すように、面 20 は、高さを 30 [mm] とするハンプ形状を有する。当該ハンプ形状は、 x 軸方向に -60 [mm] の位置から、 $+60$ [mm] の位置にかけて存在する。また、剥離抑制装置 10 は、 x 軸方向に -15 [mm] から 5 [mm] 程度の位置に存在する。 x 軸方向に -15 [mm] から 5 [mm] 程度の位置とは、具体的には、流体の順圧力勾配が低下する箇所である。

[0025] 図 3 は、本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の近傍における圧

力係数について、流体の流れる方向における変化を示す図である。同図の横軸は、 x 軸方向の位置を示す。また、同図の縦軸は、圧力係数の値を示す。図示するように、面20は、 $x = 0.0$ の位置を中心として存在する。同図は、圧力係数 C_p について、 x 軸方向の変化を示すものである。圧力係数 C_p は、面20の表面における静圧（static pressure）を p バーとすると、次の（2）式により表すことができる。

[0026] [数2]

$$C_p = (\bar{p} - p_\infty) / (1/2 \rho_\infty u_\infty^2) \quad \dots (2)$$

[0027] 図示するように、圧力係数 C_p は、面20から x 軸マイナス方向に離れた点においては0.4程度であるが、面20に近づくにつれて一旦0.6から0.7程度まで上昇する。また、圧力係数 C_p は、面20の中腹において一気に低下する。剥離抑制装置10は、このように x 軸方向において圧力係数 C_p が一気に低下する箇所に備えられることが好適である。なお、一気に低下した圧力係数 C_p は、流体が x 軸プラス方向に流れるにつれて上昇する。

[0028] 図4は、本実施形態に係る剥離抑制装置が適用される面の近傍における流体の流れる方向の圧力勾配について、流体の流れる方向における変化を示す図である。同図の横軸は、 x 軸方向の位置を示す。また、同図の縦軸は、圧力勾配の x 軸方向の変化量を示す。図示するように、面20は、 $x = 0.0$ を頂点として存在する。同図には、面20の形状のうち、上流部分のみが示されている。同図は、流体の流れる方向の圧力勾配について、 x 軸方向の変化を示すものである。圧力勾配は、図示するように負となる。圧力勾配の大きさは、 $x = -0.6$ から -0.25 の範囲（図中、符号21として示した破線部分）において、次の（3）式により表すことができる。

[0029] [数3]

$$\partial^2 \bar{p} / \partial x^2 > 0 \quad \dots (3)$$

[0030] 剥離抑制装置10は、図中、符号21として示した破線部分に設置される

ことが好適である。

[0031] 図5は、本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示す平面図である。同図は、図1の $x-y$ 平面を平面視した平面図である。また、図6は、本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示す斜視図である。同図は、図1の剥離抑制装置10近傍の斜視図である。剥離抑制装置10は、図5及び図6に図示するように、凹部又は凸部が x 方向に延在し、 y 方向に30[m m]程度の間隔で当該形状が繰り返される。 x 方向に延在する凹部及び凸部の形状は、図示するA-A断面において最大となり、A-A断面からプラス x 方向又はマイナス x 方向に離れるにしたがい、小さくなる。すなわち、剥離抑制装置10が有する凹部及び凸部は、流れに沿って徐々に大きくなり、A-A断面を最大として、流れに沿って徐々に小さくなる。凹部及び凸部の形状が最大となるA-A断面から、流体が流れる方向（プラス x 方向又はマイナス x 方向）に所定距離離れた地点（例えばA-A断面からプラス x 方向に所定距離離れたB-B断面）において、凹部及び凸部は消滅する。

[0032] 図7は、本実施形態に係る剥離抑制装置の一例を示すスパン方向の断面図である。スパン方向とは、流体が流れる方向（すなわち x 方向）に直行する方向であり、すなわち、 y 方向である。同図には、図1の $y-z$ 平面を示している。また、同図は、図6に示したA-A断面の断面図を示しているものといえることができる。なお、同図に示された剥離抑制装置10の形状は、関数により模式的に表されたものである。したがって、剥離抑制装置10が成形される場合には、成形に必要な形状の変更が加えられる場合がある。剥離抑制装置10は、地点 y_1 から地点 y_2 までの形状を1周期として、 y 方向に複数周期分繰り返した形状を有する。

[0033] なお、剥離抑制装置10が設置される面20の形状がスパン方向（ y 方向）に湾曲等、変形しているような場合、剥離抑制装置10の形状は面20の形状に沿って変形してもよい。

[0034] 図8は、本実施形態に係る剥離抑制装置についてスパン方向における断面の特徴を説明するための模式図である。同図を参照しながら、剥離抑制装置

10の形状の詳細について説明する。なお、同図は、図7と同様、図6に示したA-A断面（すなわち流体の流れに直交する断面）の断面図を示したものである。

[0035] 図示するように、剥離抑制装置10は、立下り部31と立上り部32とを有する。立下り部31は、 $y-z$ 平面において、負の傾きを有する。また、立上り部32は、 $y-z$ 平面において、正の傾きを有する。すなわち立下り部31と立上り部32とは、互いに異なる極性の傾きを有する。

[0036] 立下り部31の一端を符号31a、他端を符号31bとして示す。また、立上り部32の一端を符号32a、他端を符号32bとして示す。図示するように、符号31a、符号32a、符号31b、及び符号32bとを頂点とする領域の形状は、略台形である。符号31aと符号32aとをつなぐ線分は、当該台形の上底であるため、上底部と呼ぶことがある。また、符号31bと符号32bとをつなぐ線分は、当該台形の下底であるため、下底部と呼ぶことがある。略台形の範囲としては、立下り部31と立上り部32とを有していればよく、正弦波のような滑らかな曲線により各辺が接続されるような形状をも広く含む。また、略台形を形成する各辺は直線である必要はなく、曲線である場合を含む。図示するように、当該台形は、上底部より下底部の長さが短い。なお、上底部及び下底部の長さは、剥離抑制装置10が使用される環境に応じて設定されればよい。剥離抑制装置10が使用される環境とは、剥離抑制装置10が設置される移動体の移動速度や、流体の粘性等に応じた環境であってもよい。以降の説明において、符号31a、符号32a、符号31b、及び符号32bとを頂点とする領域を凹部30と記載する場合がある。

[0037] 凹部30の中には、凸部40が備えられる。凸部40は、立下り部31と立上り部32との間に存在するということもできる。図示する一例において、凸部40の形状は、凹部30の下底部の側を下底とし、凹部30の上底部の側を上底とする略台形である。また、当該台形の上底は、下底より短い。しかしながら本実施形態はこの一例に限定されず、凸部40の形状は台形で

なくてもよい。例えば、凸部40の辺41及び辺42は、例えば互いに平行であってもよい。また、凹部30の中には、凸部40が存在していなくてもよい。

[0038] また、凸部40が抵抗となってしまうよう、凸部40の高さ h_2 は、凹部30の高さ h_1 より低いことが好適である。すなわち、凸部40の上底は、凹部30の上底より低い位置に存在することが好適である。なお、図示する一例では、凸部40の高さ h_2 は、凹部30の高さ h_1 の約半分程度である。

[0039] また、符号45及び符号46は、凹部30の下底部のうち、凸部40を構成しない部分である。図示する一例において符号45及び符号46を y 軸に平行な線としているが、符号45及び符号46は、 y 軸に平行な線でもよい。また、当該部分は存在してもよいし、存在しなくてもよい。すなわち、立下り部31と凸部40の辺41、及び辺42と立上り部32は、互いに直接的に接続されていてもよいし、符号45又は符号46を介して接続されていてもよい。

[0040] なお、図示する一例では、剥離抑制装置10の形状について詳細に説明するため、1周期分の形状のみを示している。しかしながら、図5及び図6に示したように、立下り部31及び立上り部32を辺とする略台形の形状（すなわち凹部30の形状）は、流体の流れに直交する方向（すなわち y 方向）に連続して備えられることが好適である。剥離抑制装置10は、複数周期分の凹部30の形状を有することにより、より乱流を強め、流体の流れの剥離を抑制し、圧力抵抗を低減するといった効果を得ることができる。

[0041] y 方向に連続する複数の凹部30は、平坦部50を介して互いに接続される。平坦部50とは、すなわち符号32aで表される点と、符号31aで表される点とを結んだ線で示される部分である。平坦部50は、凹部30の上底部と略平行であるということもできる。なお、図示する一例において、平坦部50には、凹部51が存在する。凹部51は、凹部30の下底部の側を下底とし、凹部30の上底部の側を上底とし、下底より上底が長い略台形の

形状を有する。なお、凹部 51 は、剥離抑制装置 10 の形状を一例として関数により表したことにより生じた形状であり、実際に剥離抑制装置 10 を成形するうえで、剥離抑制装置 10 は凹部 51 を有していなくてもよい。

[0042] なお、剥離抑制装置 10 が有する形状であって、図示するように連続する形状が、流体の流れに直交する断面において配置される周期 y^+ は、流体の速度や動粘性係数等に基づいて算出されることが好適である。周期 y^+ は、具体的には、スパン方向における位置を y 、流体の速度を u_τ 、動粘性係数を ν としたとき、次の (4) 式を満たすものであることが好適である。

[0043] [数4]

$$y^+ = y u_\tau / \nu \sim 100 \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

[0044] 図 9 は、本実施形態に係る剥離抑制装置が発生させる渦の向きについて説明するための模式図である。同図を参照しながら剥離抑制装置 10 により発生する渦について説明する。同図には、渦の回転方向が示されている。図示するような渦は、流体が剥離抑制装置 10 を流れた後、例えば図 6 に示した B-B 断面のような箇所において発生する。剥離抑制装置 10 は、凹部の立下り部 31 及び立上り部 32 が互いに異なる傾斜（互いに異なる極性の傾斜）を有することにより、互いに異なる方向の渦が発生する。すなわち、立上り部 32 において発生する渦の回転方向と、立下り部 31 において発生する渦の回転方向とは互いに異なるということもできる。

[0045] また、図示するように凹部 30 の中には、凸部 40 が存在する。剥離抑制装置 10 は、凸部 40 を備えることにより、渦を分離することができるようになる。すなわち、凸部 40 は、立上り部 32 において発生する渦と、立下り部 31 において発生する渦とを互いに分離する機能を有する。凹部 30 は、凸部 40 を有することにより、分離したそれぞれの渦を明確にすることができるということもできる。

[0046] なお、凹部 30 は、流れに垂直な y 方向に連続して備えられるため、本実施形態によれば、異なる回転方向の渦が、 y 方向に連続して発生することに

なる。

[0047] 図10は、本実施形態に係る剥離抑制装置の第1の変形例について説明するための模式図である。同図は、平坦部50に凹部51が存在しない場合の変形例である。図示するように、凹部51が存在しなくても、互いに回転方向が異なる渦を発生させることができる。したがって、剥離抑制装置10の形状において凹部51は必須ではない。

[0048] 図11は、本実施形態に係る剥離抑制装置の第2の変形例について説明するための模式図である。同図は、図8における符号45及び符号46で示される形状が存在しない場合の変形例である。図示するように、符号45及び符号46で示される形状が存在しなくても、互いに回転方向が異なる渦を発生させることができる。したがって、剥離抑制装置10の形状において、符号45及び符号46で示される形状は必須ではない。

[0049] なお、図示するように、第2の変形例において、剥離抑制装置10は、凹部30に代えて凹部30aを有する。凹部30aは、凸部40に代えて凸部40aを有する。凸部40aは略台形ではなく、三角形である点において凸部40とは異なる。図示するように、凸部40の機能としては凹部30により発生する回転方向が異なる渦を互いに分離することができればよく、略台形であることを要しない。

[0050] 次に、図12から図14を参照しながら、本実施形態に係る剥離抑制装置10を用いた場合における効果の評価結果の一例について説明する。発明者らは、剥離抑制装置10の効果を評価するため、剥離抑制装置10を円柱表面に適用した場合における数値実験を行った。数値実験には、面20として、直径10[m m]の円柱を用いた。また、流体の動粘性係数を、 1.512×10^{-5} (室温20[°C]) [m²/s]とした。また、音速を343.6 (室温20[°C]) [m/s]とした。

[0051] 流体の流速が100[k m/h]、120[k m/h]、及び140[k m/h]である場合の流速[m/s]、レイノルズ数、マッハ数を図12に示す。数値実験の条件として、レイノルズ数を25000、マッハ数を0.

1として実施した。スパン長は、スパン方向に周期境界条件を与えた。

[0052] 図13は、本実施形態に係る剥離抑制装置の効果について説明するための第1の図である。同図は、円柱の底面を側面視した場合における円柱の近傍における瞬時流れ場を可視化したものである。図13(A)は、剥離抑制装置10を用いない場合の比較例であり、図13(B)は、円柱の表面に剥離抑制装置10を用いた場合の実施例である。図から明らかなように、剥離抑制装置10を用いた場合には、流れの剥離が抑制される傾向にあることがわかる。

[0053] 図14は、本実施形態に係る剥離抑制装置の効果について説明するための第2の図である。同図は、円柱を斜視した場合における円柱の近傍における瞬時流れ場を可視化したものである。図14(A)は、剥離抑制装置10を用いない場合の比較例であり、図14(B)は、円柱の表面に剥離抑制装置10を用いた場合の実施例である。図から明らかなように、剥離抑制装置10を用いた場合には、乱流化が早まる傾向があることがわかる。

[0054] 次に、図15から図17を参照しながら、本実施形態に係る剥離抑制装置10の乱流運動エネルギー(Turbulence Kinetic Energy; TKE)による評価方法と評価結果について説明する。以下の説明においては、面20として、円柱を用いた場合の一例について説明する。

[0055] 図15本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価方法について説明するための図である。乱流運動エネルギーによる評価では、図示するように円柱の側面2箇所、円柱の高さ方向(y方向)に沿って剥離抑制装置10を設置した。また、流体の流れる方向は、x方向とした。

[0056] 図16は、本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価に用いられる形状について説明するための図である。本実施形態に係る剥離抑制装置10の形状を図16(A)に示す。図16(B)及び図16(C)は、比較例として用いた形状を示す図である。図16(B)に示す形状は、剥離抑制装置10のように、立ち上がり部及び立下り部を有しない。した

がって、図 1 6 (B) に示す形状を用いた場合、本実施形態に係る剥離抑制装置 1 0 のように位相が交互に異なる渦が発生せず、向きが揃った渦が発生することとなる。なお、図 1 6 (C) は、剥離抑制装置 1 0 の高さを 3 倍、幅を 2 倍にした場合における比較例である。

[0057] 図 1 7 は、本実施形態に係る剥離抑制装置の乱流運動エネルギーによる評価結果について説明するための図である。図 1 7 (A) は図 1 6 (A) に対応し、図 1 7 (B) は図 1 6 (B) に対応し、図 1 7 (C) は図 1 6 (C) に対応する。図 1 7 (D) は、剥離抑制装置 1 0 を設置しない場合（すなわち円柱のみの場合）の比較例である。図示するように、図 1 7 (A) では、位相が交互に異なる渦が発生した結果、乱流増加が促進され、剥離制御効果が最も高くなった。

[0058] [本実施形態のまとめ]

以上説明した実施形態によれば、剥離抑制装置 1 0 は、流体が流れる位置に備えられ、乱流を強めることにより流れの剥離を抑制する。剥離抑制装置 1 0 が備えられる位置とは、例えば移動体の表面であってもよい。より具体的には、剥離抑制装置 1 0 が備えられる位置とは、流体の圧力が低下する位置、すなわち図 4 に符号 2 1 として示した破線部分であってもよい。また、剥離抑制装置 1 0 の、流体の流れに直交する断面における形状は、立上り部 3 2 と立下り部 3 1 とを有する。立上り部 3 2 と、立下り部 3 1 と、上底部と、下底部と、により囲まれる領域である凹部 3 0 の形状は、上底部より下底部の長さが短い略台形である。このような形状を有することにより、剥離抑制装置 1 0 は、図 9 に示したような、回転方向が互いに異なる渦を発生させることができる。このような回転方向が互いに異なる渦を発生させることにより、剥離抑制装置 1 0 は、流体の乱流遷移を効果的に促進することが可能となる。また、本実施形態によれば、支配方程式であるナビエ・ストークス方程式の不安定解の一つである、流れ方向に回転軸を持ち回転方向が逆の渦対を生成することで、流体の乱流遷移を効果的に促進することが可能である。

[0059] また、図5等に示したように、剥離抑制装置10は、非常に小さいものである。剥離抑制装置10は、例えば、ミリサイズや、マイクロサイズであってもよい。剥離抑制装置10は、従来技術に係るボルテックスジェネレータと比較して、非常に小さいものであるため、剥離抑制装置10自体の形状が抵抗となりづらい。また、剥離抑制装置10は従来技術に係るボルテックスジェネレータと比較して非常に小さいため、従来技術に係るボルテックスジェネレータのように、剥離抑制装置10が設置される物体（例えば移動体）の美的外観を損なうことがない。

[0060] ここで、従来技術の一例として、流体の抵抗を低減する目的で用いられるリブレットが存在する。従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、抵抗 C_d を低減するという用途において共通する（なお、抵抗 C_d とは、圧力抵抗 C_p と、摩擦抵抗 C_f の和により決定されるものである）。しかしながら、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、形状、設置場所、機構、及び効果の面で互いに異なるものである。以下、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置との相違点について説明する。まず、図18及び図19を参照しながら形状の相違点について説明する。

[0061] 図18は、従来技術に係るリブレットの一例を示す斜視図である。図18（A）は、リブがV字形状を有する場合の一例を示し、図18（B）は、リブが矩形形状を有する場合の一例を示すものである。図示するように、従来技術に係るリブレットは、流れ方向に沿って延在するものである。換言すれば、従来技術に係るリブレットは、 $y-z$ 平面の断面が、流体が流れる方向に沿って変化しない（ x 方向における位置が変化しても同様である）。一方、本実施形態に係る剥離抑制装置10は、図6に示したように、 $A-A$ 断面において凹部30の大きさが最大となり、 $A-A$ 断面からプラス x 方向又はマイナス x 方向に離れるに従い、凹部30の大きさが小さくなるものである。このように、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、互いに異なる形状を有するものである。

[0062] 図19は、従来技術に係るリブレットの一例についてのスパン方向の断面図である。図19(A)は、リブがV字形状を有する場合の一例を示し、図18(A)に対応するものである。また、図19(B)は、リブが矩形形状を有する場合の一例を示し、図18(B)に対応するものである。図示するように、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、スパン方向における断面の形状も互いに異なるものである。特に、剥離抑制装置10は、図8に示したように、凸部40を備えている。一方、図19に示すように、従来技術に係るリブレットは、剥離抑制装置10が有する凸部40を備えていない。このように、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、互いに異なる形状を有するものである。

[0063] 次に、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10との設置場所の相違点について説明する。従来技術に係るリブレットは、表面で流れが乱流になっている箇所に設置されるものである。一方、剥離抑制装置10は、後流等で流れが剥離している箇所に設置されるものである。流れが剥離している箇所とは、すなわち図4に符号21として示した破線部分であってもよい。したがって、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、設置される場所の面において互いに異なるものであるということが出来る。

[0064] 次に、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置との機構の相違点について説明する。従来技術に係るリブレットは、流れの乱れを抑制するものである。一方、本実施形態に係る剥離抑制装置10は、流れの乱れを増幅するものである。したがって、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置10とは、機構の面において互いに異なるものであるということが出来る。

[0065] 次に、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置との効果の相違点について説明する。従来技術に係るリブレットは、乱れを抑制することにより乱流摩擦抵抗 C_f を下げるものである。一方、本実施形態に

係る剥離抑制装置 10 は、乱れを増幅することにより流れを付着し圧力抵抗 C_p を下げるものである。したがって、従来技術に係るリブレットと、本実施形態に係る剥離抑制装置とは、効果の面において互いに異なるものであることができる。

[0066] 以上、本発明を実施するための形態について実施形態を用いて説明したが、本発明はこうした実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内において種々の変形及び置換を加えることができる。

産業上の利用可能性

[0067] 本発明によれば、流体の乱流遷移を支配方程式であるナビエ・ストークス方程式不安定解の一つである、流れ方向に回転軸を持ち回転方向が逆の渦対を生成することで、効果的に促進し、かつ剥離抑制装置自体の形状が抵抗となることを低減することができる。

符号の説明

[0068] 10…剥離抑制装置、20…面、30…凹部、31…立下り部、32…立上り部、40…凸部、50…平坦部

請求の範囲

- [請求項1] 流体が流れる位置に備えられ、乱流を強めることにより流れの剥離を抑制する剥離抑制装置であって、
- 前記流体の流れに直交する断面における形状は、立上り部と立下り部とを有し、
- 前記立上り部と、前記立下り部と、前記立上り部の一端と前記立下り部の一端とをつなぐ上底部と、前記立上り部の他端と前記立下り部の他端とをつなぐ下底部と、により囲まれる領域の形状は、前記上底部より前記下底部の長さが短い略台形である
- 剥離抑制装置。
- [請求項2] 前記立上り部において発生する渦の回転方向と、前記立下り部において発生する渦の回転方向とは互いに異なり、
- 前記下底部は、前記立上り部において発生する渦と、前記立下り部において発生する渦とを互いに分離する凸部を有する
- 請求項 1 に記載の剥離抑制装置。
- [請求項3] 前記流体の流れに直交する断面における前記凸部の形状は、前記下底部の側を下底とし、前記上底部の側を上底とし、下底より上底が短い略台形であり、
- 当該略台形の高さは、前記立上り部及び前記立下り部を辺とする略台形の高さより低い
- 請求項 2 に記載の剥離抑制装置。
- [請求項4] 前記立上り部及び前記立下り部を辺とする略台形の形状は、前記流体の流れに直交する方向に連続して備えられる
- 請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の剥離抑制装置。
- [請求項5] 連続する複数の略台形の形状のうち、前記立上り部と、前記立下り部との間には、前記上底部と略平行な平坦部を有する
- 請求項 4 に記載の剥離抑制装置。
- [請求項6] 前記平坦部は、前記流体の流れに直交する断面において、前記下底

部の側を下底とし、前記上底部の側を上底とし、下底より上底が長い略台形の凹部を有する

請求項 5 に記載の剥離抑制装置。

[請求項7] 前記上底部及び前記下底部の長さは、剥離抑制装置が使用される環境に応じて設定される

請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の剥離抑制装置。

[請求項8] 連続する複数の略台形の形状が、前記流体の流れに直交する断面において配置される周期 y^+ は、スパン方向における位置を y 、前記流体の速度を u_τ 、動粘性係数を ν としたとき、次の (1) 式を満たす

請求項 4 に記載の剥離抑制装置。

[数1]

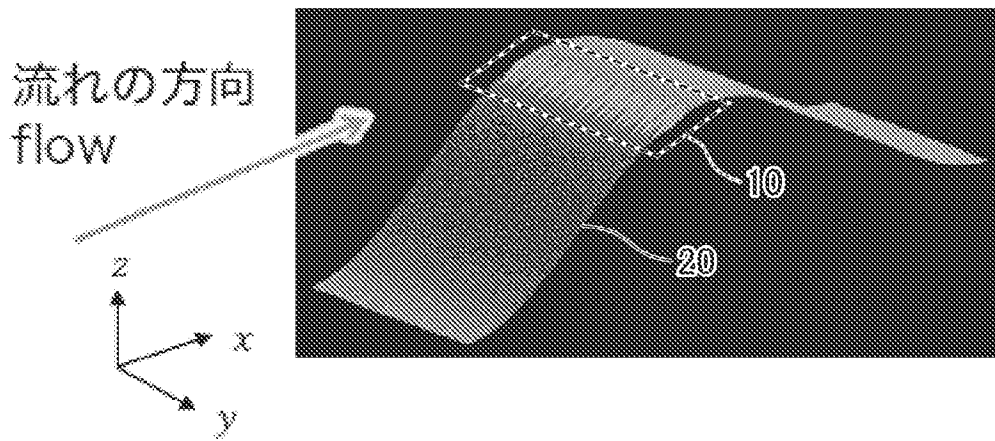
$$y^+ = yu_\tau / \nu \sim 100 \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

[請求項9] 請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の剥離抑制装置を備える移動体であって、

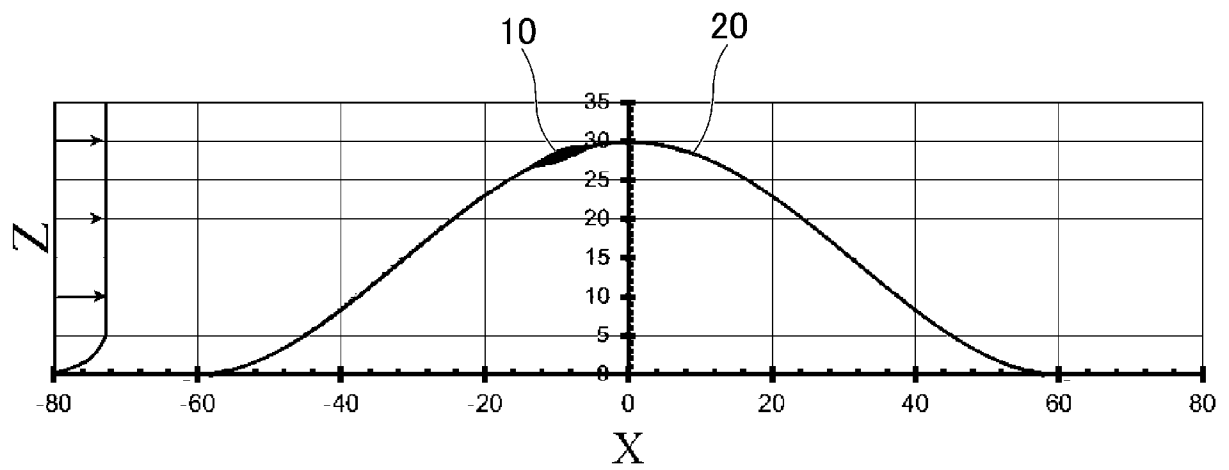
前記剥離抑制装置は、前記流体の剥離位置の近傍で前記流体による表面圧力の順圧力勾配が低下する箇所に取り付けられる

移動体。

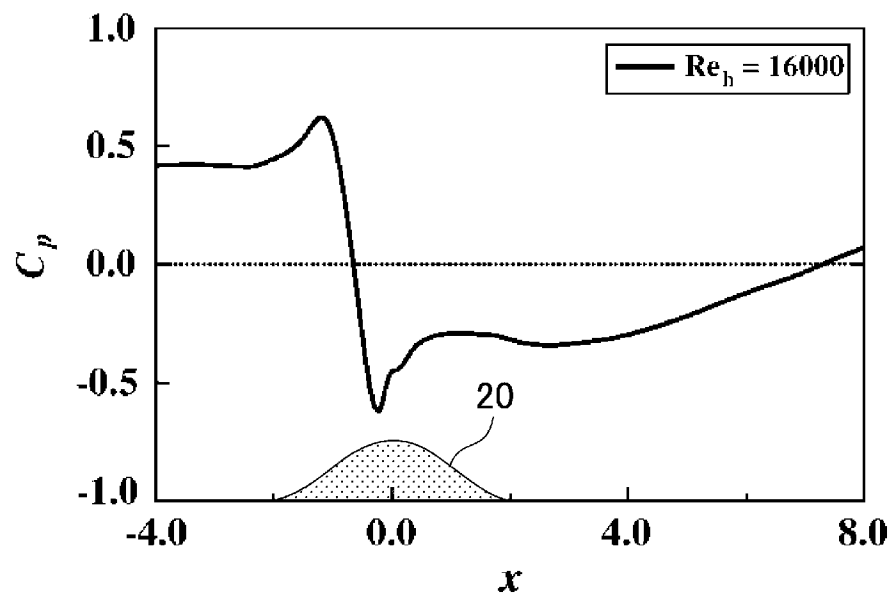
[図1]



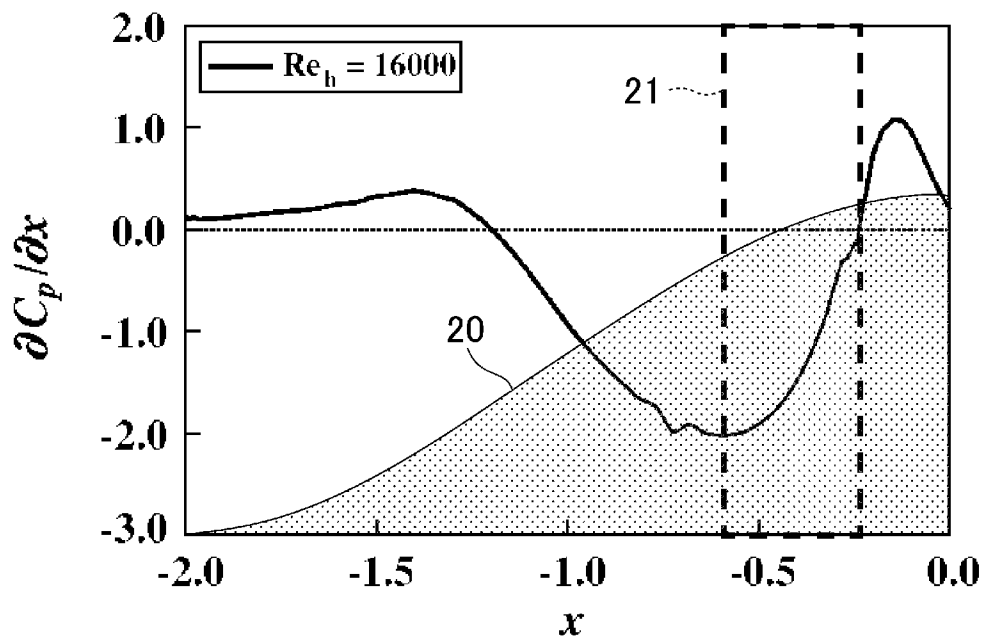
[図2]



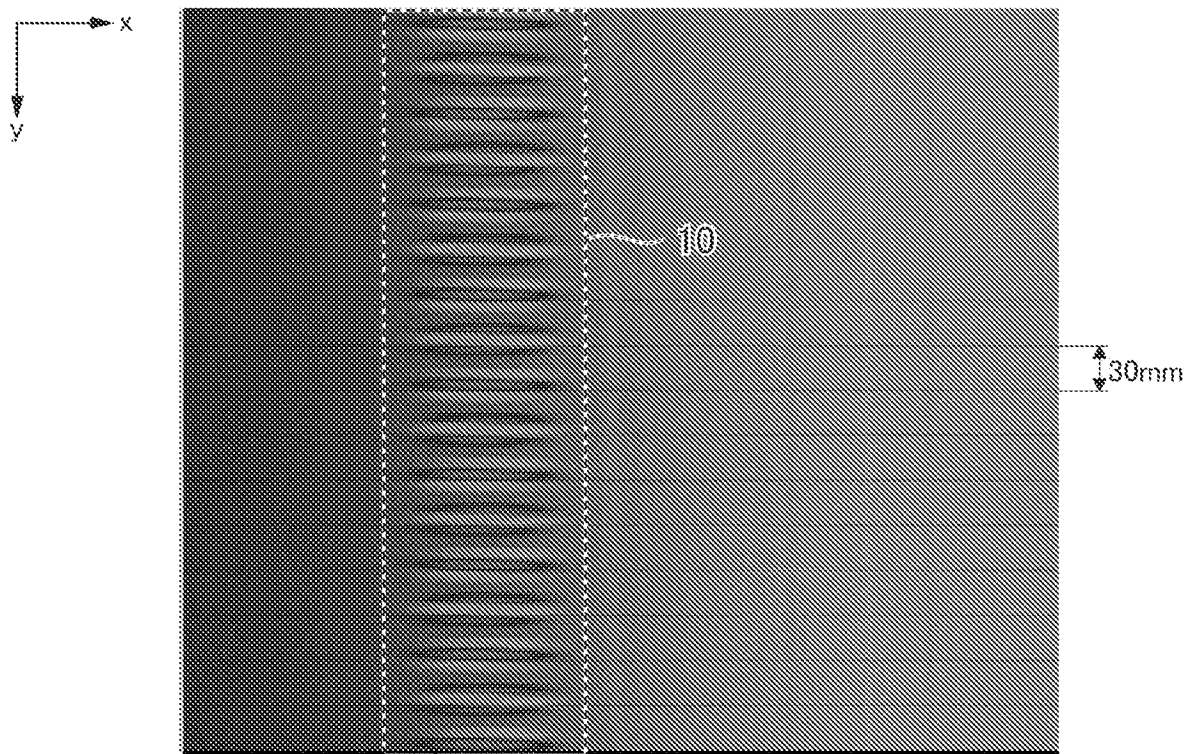
[図3]



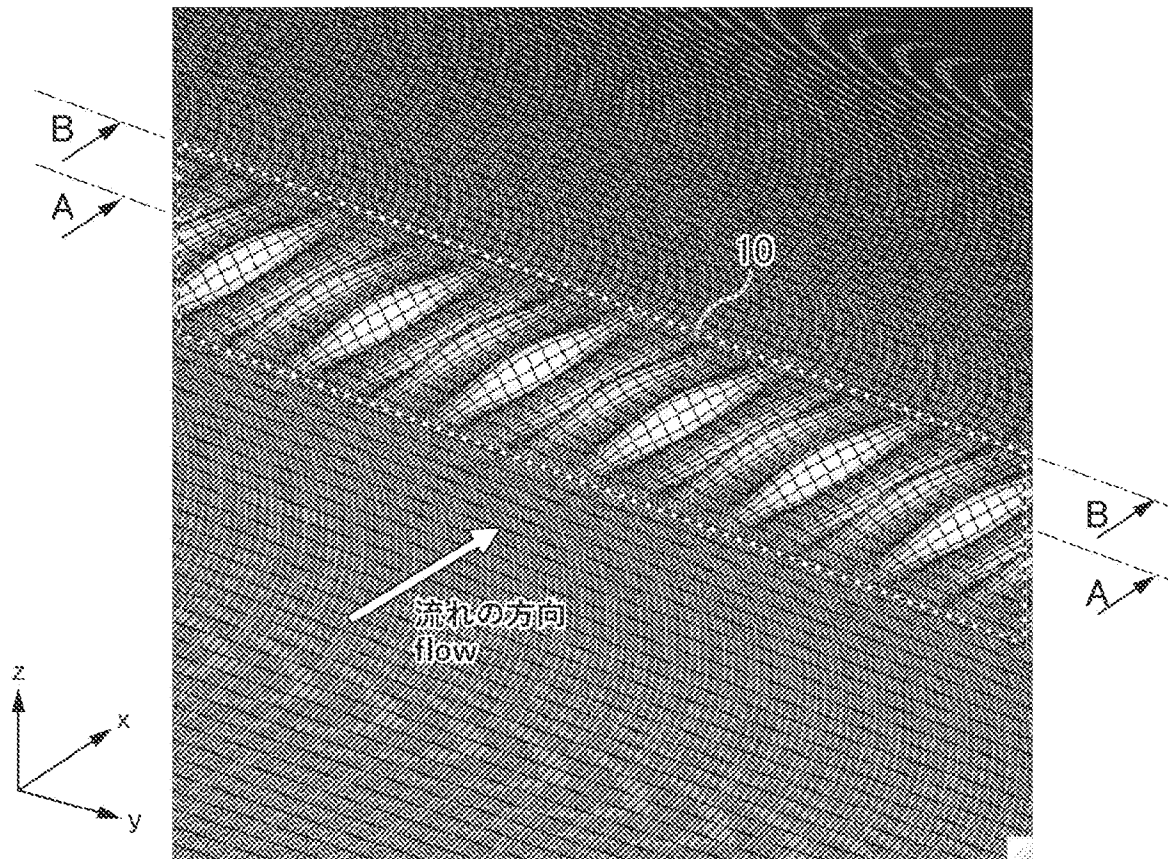
[図4]



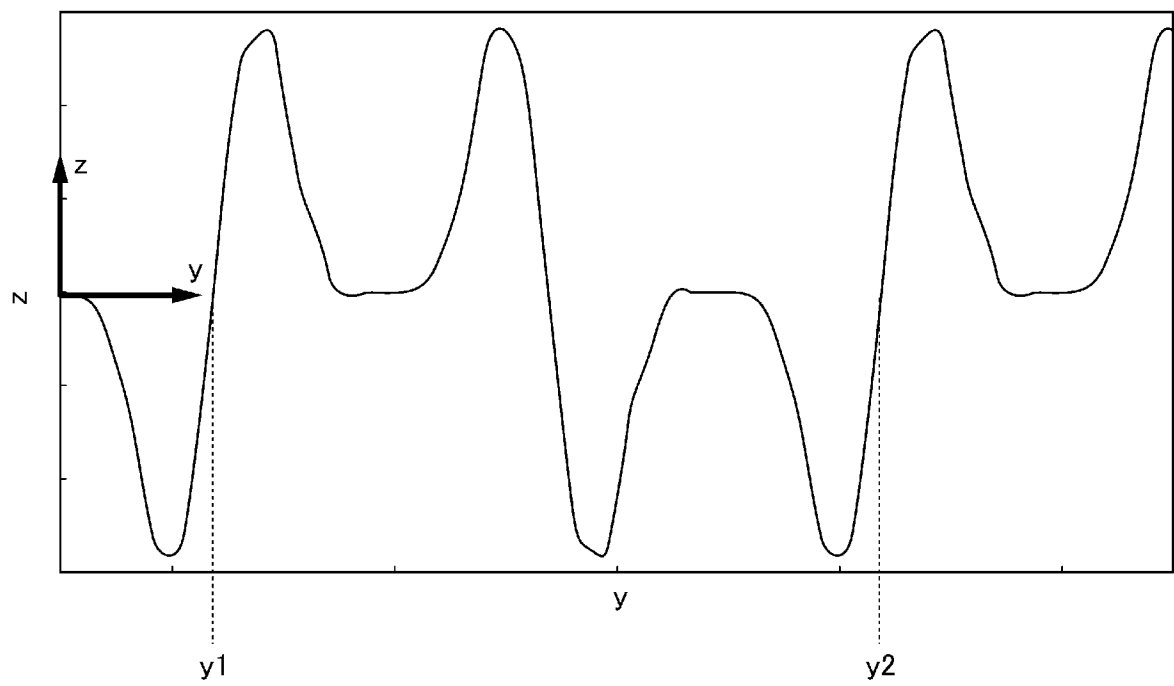
[図5]



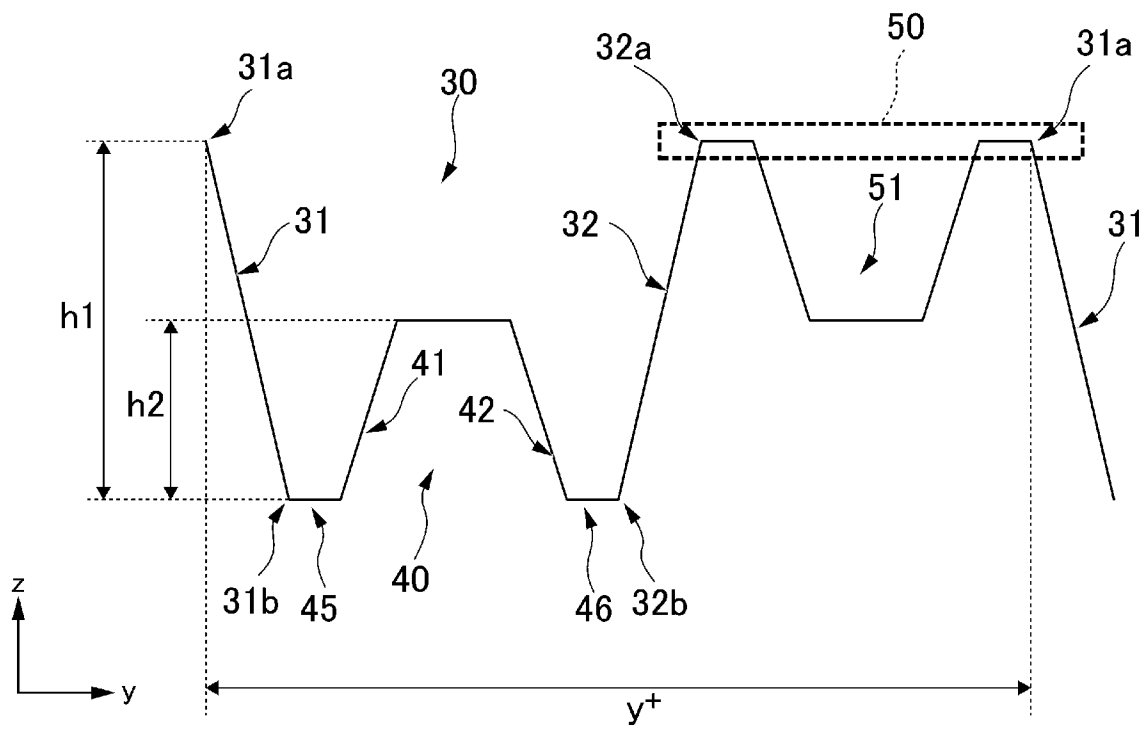
[図6]



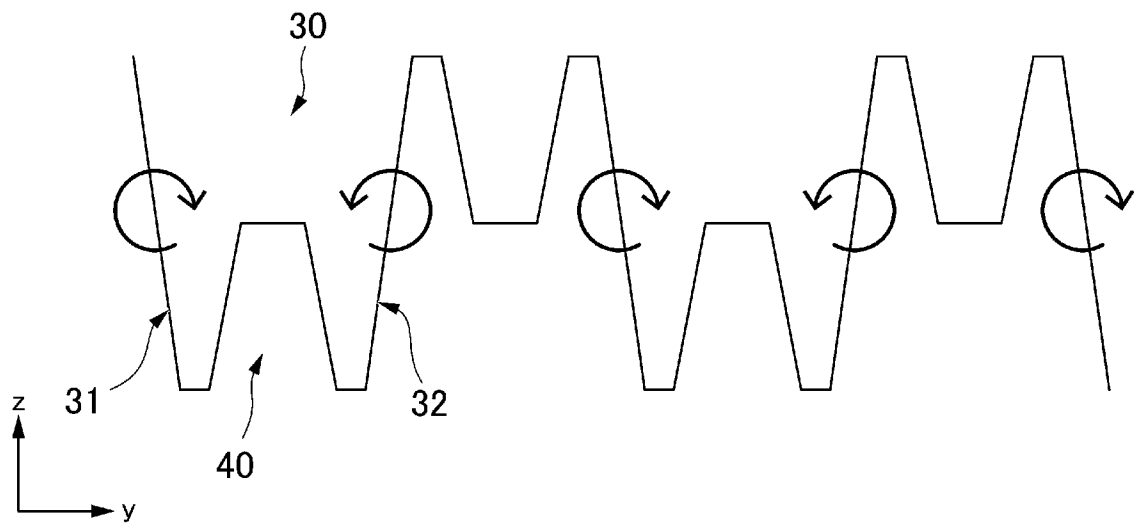
[図7]



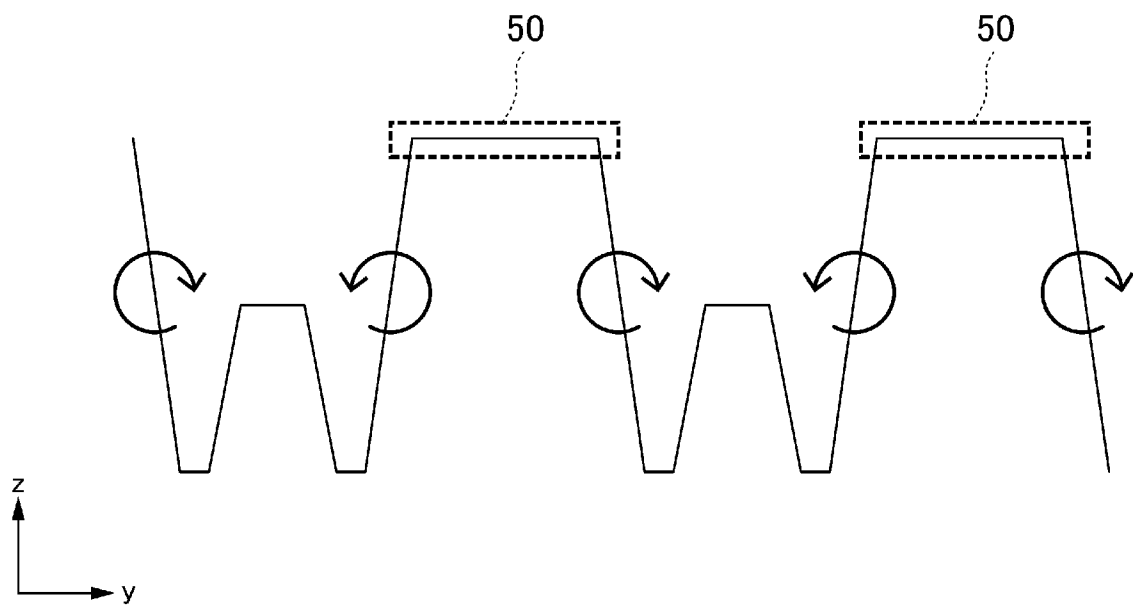
[図8]



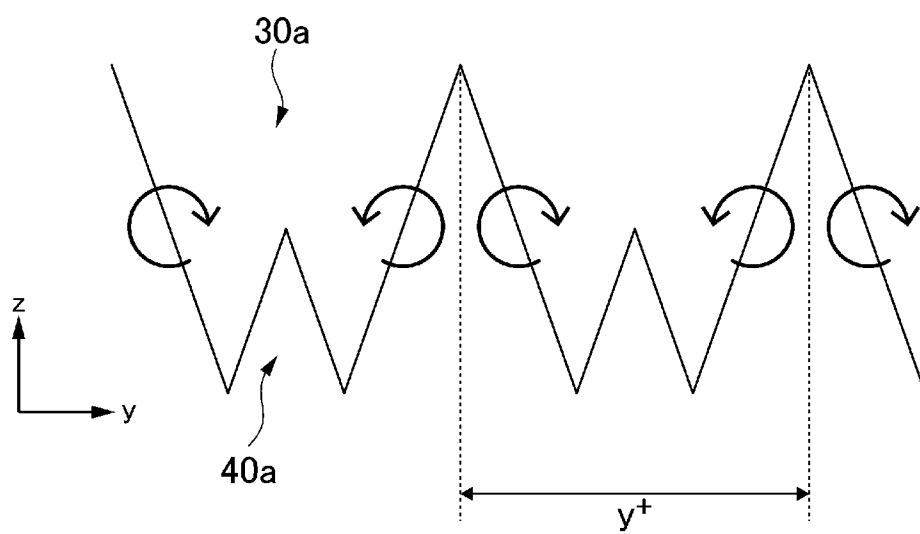
[図9]



[図10]



[図11]

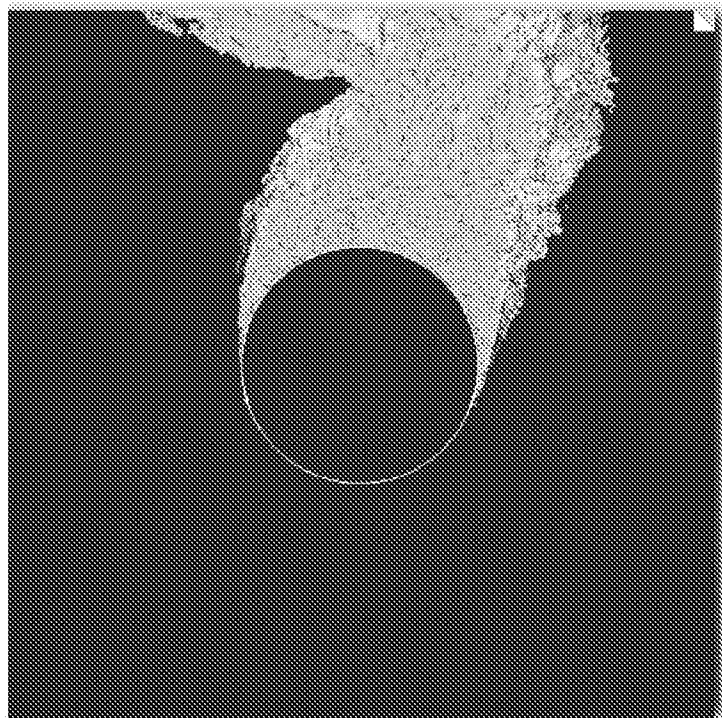


[図12]

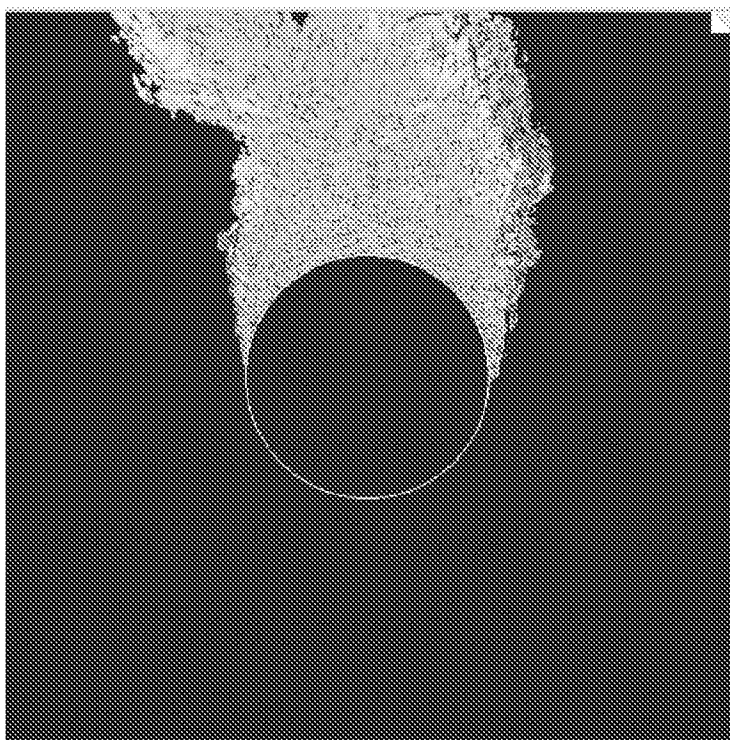
流速 [km/h]	流速 [m/s]	レイノルズ数	マッハ数
100	27.78	18372	0.081
120	33.33	22046	0.097
140	38.89	25720	0.113

[図13]

(B)

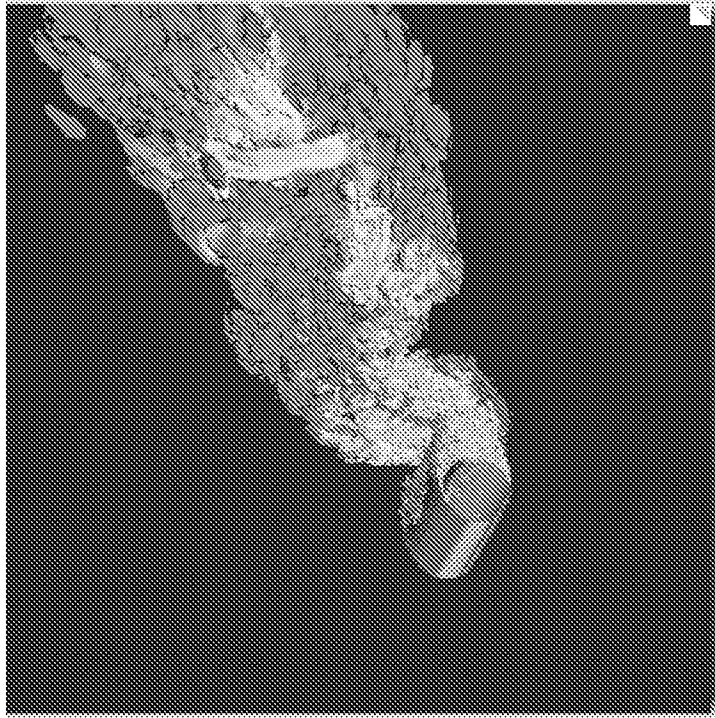


(A)



[図14]

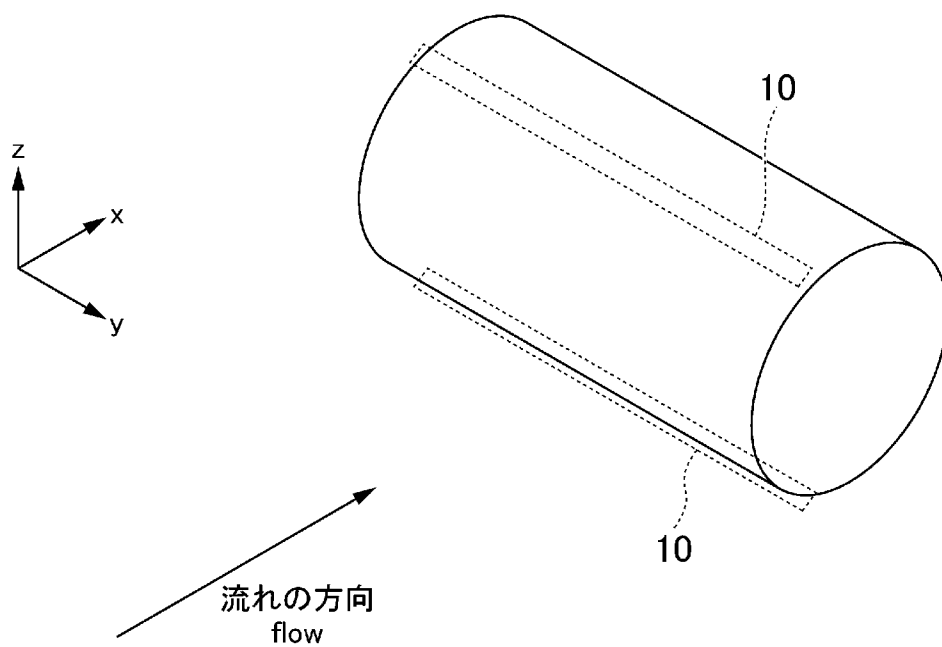
(B)



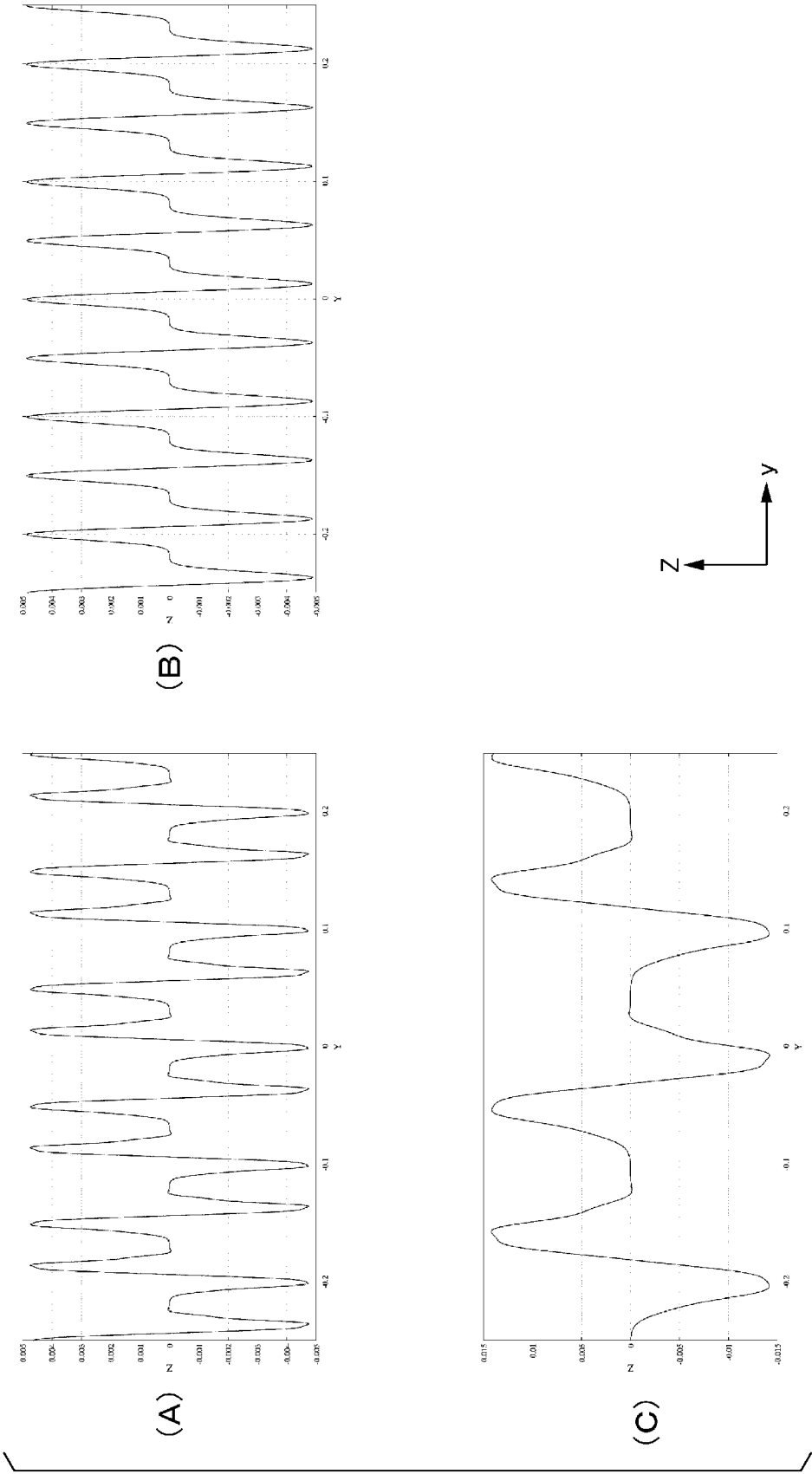
(A)



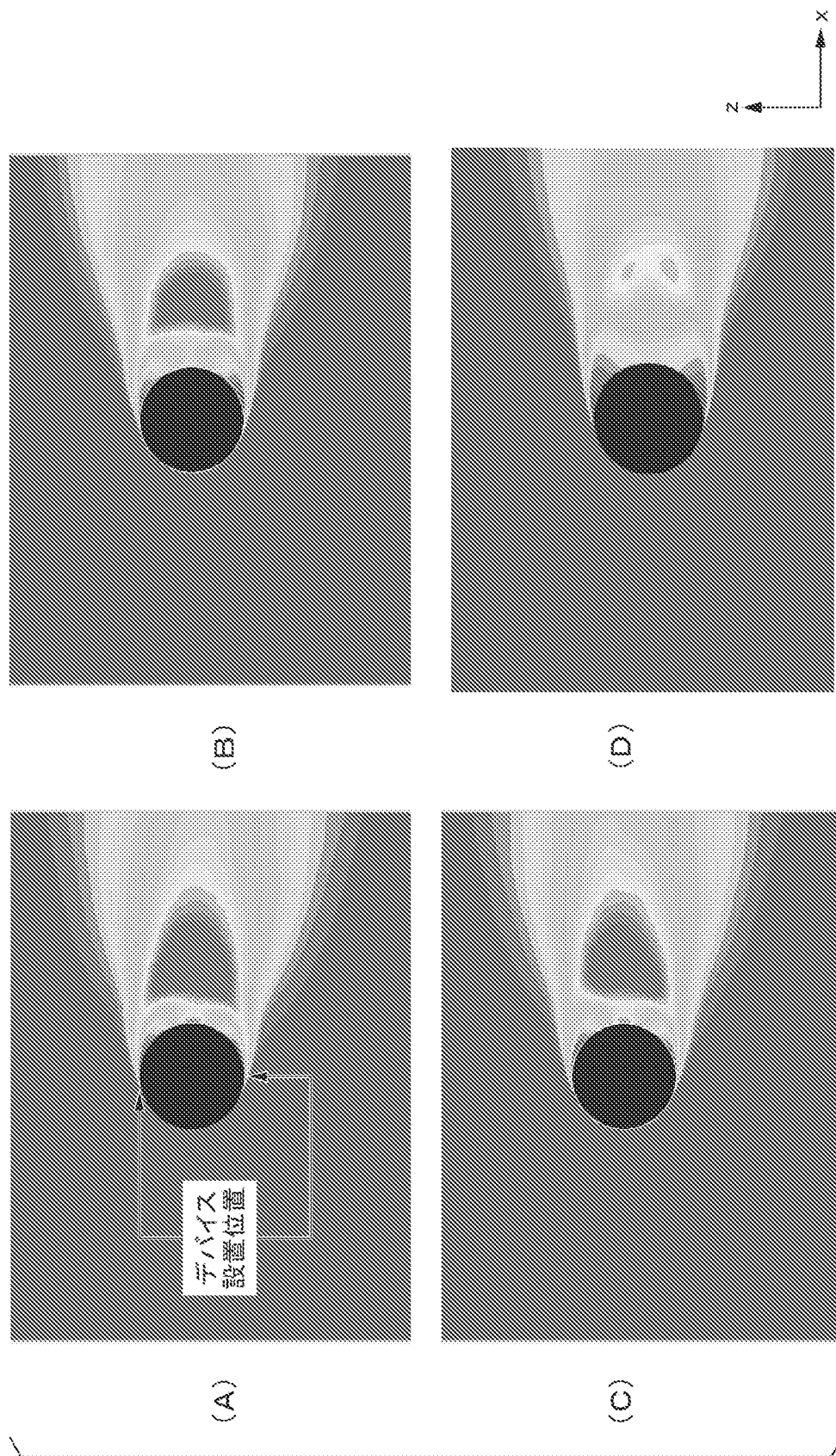
[図15]



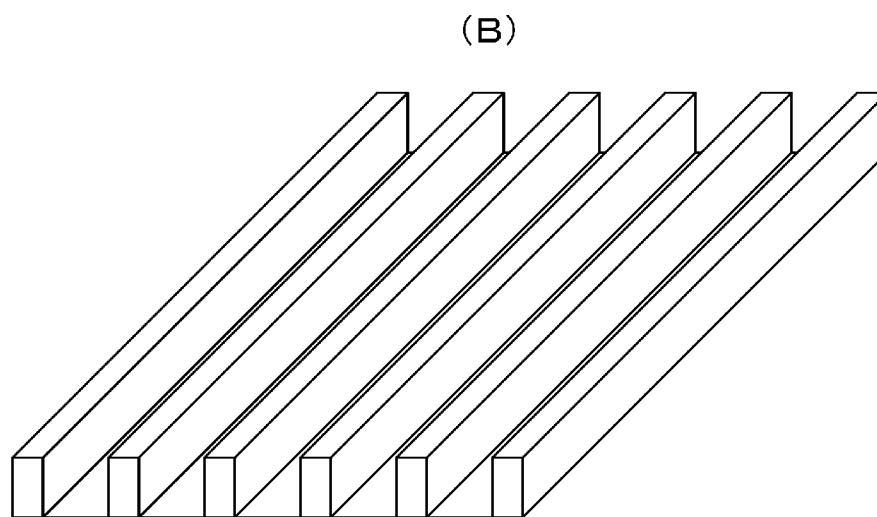
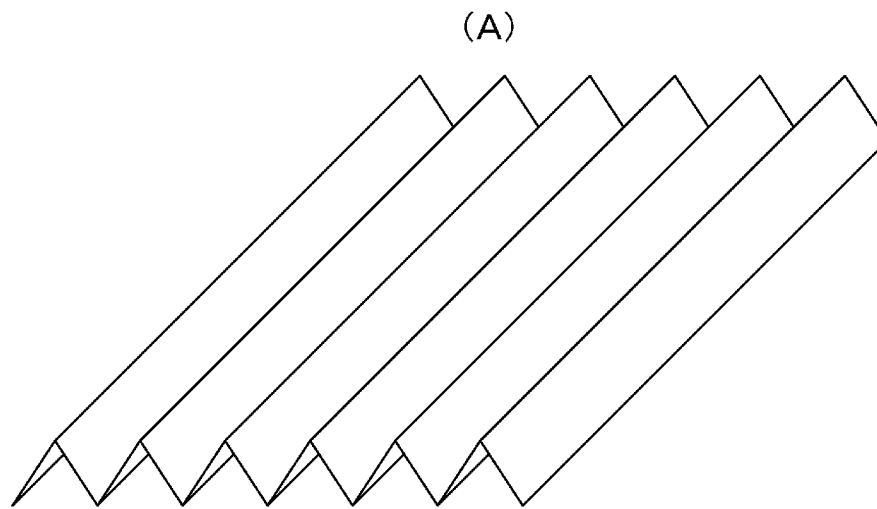
[図16]



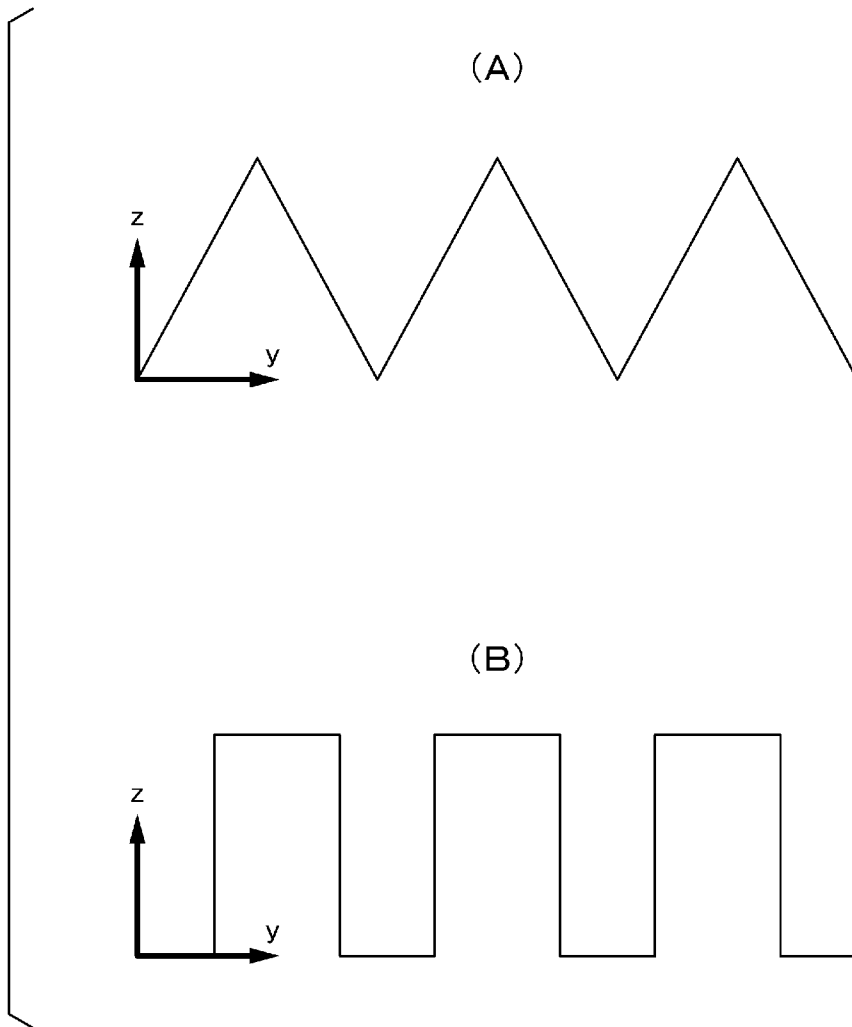
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/022835

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F15D 1/12 (2006.01)i; B64C 23/06 (2006.01)i FI: F15D1/12; B64C23/06 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) F15D1/12; B64C23/06 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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.
X	JP 2019-521913 A (3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY) 08 August 2019 (2019-08-08) paragraphs [0018]-[0063], fig. 1-8	1-9
X	JP 2005-522644 A (RÖHM GMBH & CO. KG) 28 July 2005 (2005-07-28) paragraphs [0012]-[0028], fig. 1a-1c	1-4, 7-9
A	JP 2011-185410 A (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY) 22 September 2011 (2011-09-22) entire text, all drawings	1-9
A	US 2010/0108813 A1 (LANG, Amy W.) 06 May 2010 (2010-05-06) entire text, all drawings	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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 02 September 2024		Date of mailing of the international search report 10 September 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/022835

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2019-521913	A	08 August 2019	US	2019/0202547	A1	paragraphs [0028]-[0073], fig. 1-8
				WO	2017/222826	A1	
				CA	3027372	A1	
				CN	109311532	A	
JP	2005-522644	A	28 July 2005	US	2004/0155150	A1	paragraphs [0018]-[0041], fig. 1a-1c
				WO	2003/087604	A1	
				DE	10217111	A1	
				CN	1507544	A	
				KR	10-2004-0100839	A	
JP	2011-185410	A	22 September 2011	(Family: none)			
US	2010/0108813	A1	06 May 2010	WO	2008/121418	A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

F15D 1/12(2006.01)i; B64C 23/06(2006.01)i

FI: F15D1/12; B64C23/06

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））

F15D1/12; B64C23/06

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 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024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
X	JP 2019-521913 A（スリーエム イノベイティブ プロパティズ カンパニー） 08.08.2019（2019 - 08 - 08） 段落 [0018] - [0063]，図1 - 8	1-9
X	JP 2005-522644 A（レーム ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング ウント コンパニー コマンディートゲゼルシャフト）28.07.2005（2005 - 07 - 28） 段落 [0012] - [0028]，図1a - 1c	1-4, 7-9
A	JP 2011-185410 A（国立大学法人東京農工大学）22.09.2011（2011 - 09 - 22） 全文，全図	1-9
A	US 2010/0108813 A1（LANG, Amy W.）06.05.2010（2010 - 05 - 06） 全文，全図	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、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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抵触するものではなく、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

02.09.2024

国際調査報告の発送日

10.09.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

高吉 続久 30 3932

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/022835

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2019-521913	A	08.08.2019	US 2019/0202547 A1 段落 [0 0 2 8] - [0 0 7 3] , 図 1 - 8 WO 2017/222826 A1 CA 3027372 A1 CN 109311532 A	
JP	2005-522644	A	28.07.2005	US 2004/0155150 A1 段落 [0 0 1 8] - [0 0 4 1] , 図 1 a - 1 c WO 2003/087604 A1 DE 10217111 A1 CN 1507544 A KR 10-2004-0100839 A	
JP	2011-185410	A	22.09.2011	(ファミリーなし)	
US	2010/0108813	A1	06.05.2010	WO 2008/121418 A1	