

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4883705号  
(P4883705)

(45) 発行日 平成24年2月22日(2012.2.22)

(24) 登録日 平成23年12月16日(2011.12.16)

(51) Int. Cl. F I  
**FO3D 9/00 (2006.01)** FO3D 9/00 J  
**FO3D 9/02 (2006.01)** FO3D 9/02 B

請求項の数 4 (全 9 頁)

|           |                              |           |  |
|-----------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2007-208337 (P2007-208337) | (73) 特許権者 | 501204525<br>独立行政法人海上技術安全研究所<br>東京都三鷹市新川6丁目38番1号         |
| (22) 出願日  | 平成19年8月9日(2007.8.9)          | (74) 代理人  | 100071401<br>弁理士 飯沼 義彦                                   |
| (65) 公開番号 | 特開2009-41477 (P2009-41477A)  | (74) 代理人  | 100089130<br>弁理士 森下 靖侑                                   |
| (43) 公開日  | 平成21年2月26日(2009.2.26)        | (74) 代理人  | 100137752<br>弁理士 亀井 岳行                                   |
| 審査請求日     | 平成22年1月13日(2010.1.13)        | (72) 発明者  | 辻本 勝<br>東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立<br>行政法人 海上技術安全研究所内           |
|           |                              | (72) 発明者  | 南 佳成<br>東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立<br>行政法人 海上技術安全研究所内<br>最終頁に続く |

(54) 【発明の名称】 移動式洋上風力発電設備

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

洋上に沿い細長く浮かべられた浮体において、同浮体の長手方向に沿い列をなすように立設され同浮体の横方向に向けられた多数の発電機付き風車と、同風車により得られた電気エネルギーを蓄えるためのエネルギー貯留設備とを備えるとともに、上記浮体の自航のための推進手段および操舵手段を備え、上記浮体を風力の得られる海域へ導いて上記風車が風力に対向できるように上記浮体を操縦すべく、上記の推進手段および操舵手段を気象海象予測情報に基づいて制御するための制御系が設けられており、同制御系が、上記浮体の針路について風向に対し90度または-90度となる針路を選択し、上記浮体の経路については、気象海象予測情報に基づき、予め計画した複数の変針判断時間帯について風向に対し90度または-90度となる浮体針路の全ての組み合わせを計算し、その組み合わせの中から上記発電機付き風車を備えた上記浮体の取得エネルギーが最大となる算出経路を選択して、次の気象海象予測情報の入手まで上記算出経路に沿う針路をとるように制御を行うものであることを特徴とする、移動式洋上風力発電設備。

【請求項2】

上記浮体が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部の水面下にそれぞれプロペラ付き推進システムを鉛直軸線のまわりに回転制御可能に備えていることを特徴とする、請求項1に記載の移動式洋上風力発電設備。

【請求項3】

上記浮体が、上記推進手段として、同浮体の両端部に同浮体の長手方向へ水流を噴出し

うるスラスタを備えるとともに、上記操舵手段として、同浮体の両端部に同浮体の幅方向へ水流を噴出するサイドスラスタを備えていることを特徴とする、請求項1に記載の移動式洋上風力発電設備。

【請求項4】

上記浮体が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部にそれぞれ帆を鉛直軸線のまわりに回転制御可能に立設されていることを特徴とする、請求項1～3のいずれか1つに記載の移動式洋上風力発電設備。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、洋上において、移動可能な浮体に設けた風車により、気象、海象に対応して効率よく発電を行えるようにした、移動式洋上風力発電設備に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、海底に立設された支柱などに浮体を拘束して、同浮体上に装備される風力発電設備により発電を行えるようにしたものが開発されている。

また、船舶を係留手段により海底に係留して、同船舶上に装備された風力発電設備により発電を行えるようにしたのも従来から知られている。

【特許文献1】特開2004-036517号公報

【特許文献2】特開2002-303454号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、海上では気象、海象によって風力や風向が絶えず変化しており、定位置での風力発電では必ずしも十分な発電効果が得られるものではない。また、水深の深い海域では、浮体の拘束を行えない場合もある。

そこで、本発明は、発電機付き風車を備えた洋上の浮体を係留せずに自由に動き回ることができるようにして、気象海象予測情報に基づき十分に風力を利用できる海域へ移動しながら、効率よく風力発電を行えるようにするとともに、上記浮体の針路についても発電機付き風車による取得エネルギーが最大となるように選択して、十分な風力発電効果が得られるようにした移動式洋上風力発電設備を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0004】

前述の課題を解決するため、本発明の移動式洋上風力発電設備は、洋上に沿い細長く浮かべられた浮体において、同浮体の長手方向に沿い列をなすように立設され同浮体の横方向に向けられた多数の発電機付き風車と、同風車により得られた電気エネルギーを蓄えるためのエネルギー貯留設備とを備えるとともに、上記浮体の自航のための推進手段および操舵手段を備え、上記浮体を風力の得られる海域へ導いて上記風車が風力に対向できるように上記浮体を操縦すべく、上記の推進手段および操舵手段を気象海象予測情報に基づいて制御するための制御系が設けられており、同制御系が、上記浮体の針路について風向に対し90度または-90度となる針路を選択し、上記浮体の経路については、気象海象予測情報に基づき、予め計画した複数の変針判断時間帯について風向に対し90度または-90度となる浮体針路の全ての組み合わせを計算し、その組み合わせの中から上記発電機付き風車を備えた上記浮体の取得エネルギーが最大となる算出経路を選択して、次の気象海象予測情報の入手まで上記算出経路に沿う針路をとるように制御を行うものであることを特徴としている。

【0005】

また、本発明の移動式洋上風力発電設備は、上記浮体が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部の水面下にそれぞれプロペラ付き推進システムを鉛直軸線のまわりに回転制御可能に備えていることを特徴としている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 6 】

さらに、本発明の移動式洋上風力発電設備は、上記浮体が、上記推進手段として、同浮体の両端部に同浮体の長手方向へ水流を噴出するスラスタを備えるとともに、上記操舵手段として、同浮体の両端部に同浮体の幅方向へ水流を噴出するサイドスラスタを備えていることを特徴としている。

## 【 0 0 0 7 】

また、本発明の移動式洋上風力発電設備は、上記浮体が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部にそれぞれ帆を鉛直軸線のまわりに回動制御可能に立設されていることを特徴としている。

## 【 発明の効果 】

10

## 【 0 0 0 8 】

上述の本発明の移動式洋上風力発電設備では、その制御系が気象海象予測情報に基づき、多数の発電機付き風車をそれぞれ横方向に向けて列設された浮体の針路について、風向に対し90度または-90度となるように選択するので、上記風車はその軸方向に沿う風向により絶えず効率よく発電作用を行うことが可能となり、また、上記浮体の経路に関しては、上記制御系が、気象海象予測情報に基づき、予め計画した複数の変針判断時間帯について風向に対し90度または-90度となる浮体針路の全ての組み合わせを計算し、その組み合わせの中から上記発電機付き風車による取得エネルギーが最大となる算出経路を選択して、次の気象海象予測情報の入手まで上記算出経路に沿う針路をとるように制御を行うので、全体として著しく効率のよい発電作用が行われるようになり、その電気エネルギーの貯留が、そのまま蓄電設備としてのエネルギー貯留設備に貯留されたり、海水の電気分解による有機ハイドライドとして水素の貯留という形態でエネルギー貯留設備に貯留されたりするようになる。

20

## 【 0 0 0 9 】

また、上記浮体が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部の水面下にそれぞれポッドプロペラのごときプロペラ付き推進手段を備え、同推進手段が鉛直軸線のまわりに回動制御可能に装備されていると、細長い上記浮体について、その直進性能を確保したり、同浮体両端部のプロペラ付き推進手段の相互の逆向き舵角による舵取り性能の向上を図ったりすることが可能になる。

## 【 0 0 1 0 】

30

そして、上記プロペラ付き推進手段の動力源としては、ディーゼルエンジン駆動の発電機からの電力が用いられるが、上記発電機付き風車からの電力を利用することも可能である。

## 【 0 0 1 1 】

さらに、上記浮体が、上記推進手段として、同浮体の両端部に、それぞれ同浮体の長手方向へ向けて水流を噴出するスラスタを備えるとともに、上記操舵手段として、同浮体の両端部に、同浮体の幅方向へ、すなわち同浮体の一側方または他側方へ水流を噴出するサイドスラスタを備えている場合も、上記発電機付き風車で得られた電力などを利用して、上記浮体の推進や舵取りが効率よく行われるようになる。

## 【 0 0 1 2 】

40

また、上記浮体が、同浮体の推進手段および操舵手段として、同浮体の両端部の上にそれぞれ帆を立設されていると、各帆を風向に応じ操作することで、推進力を得たり、細長い上記浮体についての舵取りの効果を得たりすることが可能になる。

## 【 実施例 】

## 【 0 0 1 3 】

図1は本発明の一実施例としての移動式洋上風力発電設備を示す側面図、図2は図1の移動式洋上風力発電設備の平面図であり、図3(a)は上記移動式洋上風力発電設備の両端部についての変形例を示す側面図、図3(b)は上記移動式洋上風力発電設備の両端部についての他の変形例を示す側面図であり、図4は上記移動式洋上風力発電設備の移動経路の組み合わせのイメージを示す平面図である。

50

## 【 0 0 1 4 】

図 1 および図 2 に示すように、洋上に沿い細長く浮かべられた浮体 1 において、同浮体 1 の長手方向に沿い列をなすように多数の発電機 2 a 付き風車 2 が支柱 3 を介して立設され、各風車 2 は、すべて同じ向きで、浮体 1 の長手方向に対し直角をなす横方向に向けられている。

## 【 0 0 1 5 】

そして、各発電機 2 a 付き風車 2 により得られた電気エネルギーを蓄えるためのエネルギー貯蔵設備 4 が浮体 1 内に設けられており、同設備 4 としては、蓄電池のほか、海水の電気分解による有機ハイドライトとしての水素の貯蔵設備などが採用可能である。

## 【 0 0 1 6 】

浮体 1 としては、長さが 2 0 0 0 m , 幅が 7 0 m 程度の細長い形状で且つ前後対称のものが好ましく、同浮体 1 上において、同浮体 1 の長手方向に 1 列に装備された多数の発電機 2 a 付き風車 2 が、浮体 1 の横方向からの風力を一斉に受けることにより、効率よく発電作用を行うようになる。

## 【 0 0 1 7 】

本実施例では、浮体 1 の移動（推進）および移動方向の転換（舵取り）のための操縦は、浮体 1 の両端部および中間部において水面下に設けられた推進手段および操舵手段を兼ねるポッドプロペラ 5 について行われるが、図 1 , 2 に示すように、浮体 1 の両端部に推進手段および操舵手段として鉛直軸線のまわりに回動制御可能に立設された帆 6 も用いることができる。

## 【 0 0 1 8 】

そして、上記の操舵は搭乗者により行われるか、または陸上基地からの無線操縦として行われる。

なお、ポッドプロペラ 5 は、そのポッド 5 a 内の図示しないモーターで同ポッド 5 a の端部のプロペラ 5 b を回転駆動する構成と、ポッド 5 a を鉛直軸線のまわりに他のモーターで回動制御しうる構成とを具備しており、上記の各モーターのための電力としては発電機 2 a で得られる電力の利用が可能とされるが、各モーター専用の発電装置を浮体 1 に設けるようにしてもよい。

## 【 0 0 1 9 】

また、図 3 ( a ) に示すように、浮体 1 の推進手段として、同浮体 1 の両端部に、前述のポッドプロペラ 5 の代わりに、同浮体 1 の長手方向へ、すなわち浮体 1 の前方または後方へ選択的に水流を噴出するスラスター 7 , 7 を設けるようにしてもよく、この場合、浮体 1 の長手方向（前後方向）に沿う両端開口のダクト 7 a 内のインペラ 7 b が、浮体 1 の内部のモーターまたはエンジンとしての駆動装置 7 M により正逆転可能に回転駆動される構成とされる。

## 【 0 0 2 0 】

そして、浮体 1 の操舵手段としては、同浮体 1 の両端部で同浮体 1 の横方向へ、すなわち、浮体 1 の左方または右方へ選択的に水流を噴出するサイドスラスター 8 が設けられる。この場合、水面下で浮体 1 の横方向へ水流を噴出するように、浮体 1 に設けられた両端開口のダクト 8 a 内で、インペラ 8 b が、図示しない駆動装置により正逆転可能に回

## 【 0 0 2 1 】

なお、スラスター 7 としては、図 3 ( b ) に示すように、浮体 1 の底部に開口 7 c を有するダクト 7 を通じ外水を吸い上げて、同浮体 1 の端部における開口 7 d から同浮体 1 の長手方向へジェット水を噴出するものであってもよい。そして、ダクト 7 内のインペラ 7 b の正逆転により推進方向を効率よく変えられるように、底部の開口 7 c には、斜めに突出させたり引込めたりしうるガイド板 7 e が設けられる。

## 【 0 0 2 2 】

さらに、図 4 に示すように、浮体 1 を風力の得られる海域へ導いて、風車 2 が風力に対向できるように、浮体 1 を気象海象予測情報に基づいて操縦するための制御系が次のよう

10

20

30

40

50

に設けられて運用される。

(A) 気象海象予測情報受信設備：浮体上もしくは陸上、またはその両方に気象海象予測情報を受信する設備を有する。

(B) 計算機：取得エネルギーが最大となる最適な経路を探索する計算機を浮体1上もしくは陸上の基地に有する。そして、この計算機を浮体1上に有する場合は、気象海象予測情報を浮体1上で受信し、計算機に取り込む設備を有する。また、この計算機を陸上の基地に有する場合は、最適な経路を受信する設備を浮体1上に有する。

(C) 制御系の運用手順

(1) 針路について：風車は浮体の長さ方向に対して真横からの風（風車に対して正面）の時に風力エネルギー取得量が最大になることから、風向に対して90度または-90度となる針路を選ぶ。なお、浮体形状は前後対称のため、90度、-90度でも風力エネルギー取得量は同じになる。

(2) 経路について：浮体上もしくは陸上で受信した気象海象予測情報を利用し、予め計画した $m \cdot p$ 個の変針判断時間帯に対して、風向に対し90度または-90度となる浮体針路の「全ての組み合わせ」 $2^{mp}$ を計算し、その中から取得エネルギー最大となる経路を選択し、次の気象海象予測情報の入手までその経路に沿って進む。各区間での浮体の位置、変針時間、取得エネルギー等は気象海象状況に応じて推定を行う。

なお、取得エネルギーは、風車により取得した風力エネルギーから電気推進システムで使用したエネルギーを差し引いたものである。

また、前記の「全ての組み合わせ」は、気象海象のN時間先の予測値が離散的に（例えば $p = 6$ 時間間隔）得られたとき、N時間を任意の時間帯としての時間間隔（例えば24時間先予測値までは6時間間隔、以降は12時間間隔）に分割し、その時間間隔で合計 $m \cdot p$ 回針路判断（風向に対し90度とするか-90度とするか）を行う。この時、針路判断の全ての組み合わせは $2^{mp}$ になる。これにより、現在位置付近に留まる場合や荒天避航を表現できる。なお、図4において $t$ は時間を示している。

(3) アルゴリズムを工夫することにより、計算量は約半分に低減することが可能である。すなわち、航路探索は $2^{mp}$ 通りを全て計算するため、実際の計算では少しでも計算負荷を低減したアルゴリズムとする必要があるが、まず、アルゴリズムの見通しを簡単にするため2進数で航路表現を行う。

- ・ 針路判断（直進または反転）を $m \cdot p$ 回行う場合、組み合わせは $2^{mp}$ 通りとなる。
- ・ 針路の組み合わせ番号を $n$ 、向き判定子 $i_a(n, m)$ （0：直進，1：反転）とすると、 $m \cdot p$ 桁の2進数により航路の表現が可能となる。すなわち、 $m$ 回目の変針は、この2進数の $m$ 桁目の向き判定子 $i_a(n, m)$ の値で表され、2進数表現を10進数表現に変換した値が $n = n - 1$ となる。

次に、以下のように工夫することにより、計算量は約半分になる。

- ・ 組み合わせ番号 $n$ を昇順に1つつ増やすと、前回の針路判断と共通箇所があり、 $L(n)$ 回目の針路判断から計算するだけでよい。
- ・ 計算開始位置 $L(n)$ は以下の(J1)から(J5)に示す手順で求められる。これは条件判断を伴わないので計算効率がよく、また、 $L(n)$ は事前に求めることができる。

(J1)  $m = m + 1$ とする。ただし、 $m$ は整数で、1から $m \cdot p$ までの範囲とする。

(J2)  $k = k + 1$ とする。ただし、 $k$ は整数で、1から $2^{mp-m}$ までの範囲とする。

(J3) 2進数の桁位置 $m$ に対する計算開始位置 $L(n)$ の規則性から、 $k$ をパラメータとして $n$ を(1)式により求める。ただし、 $n = n - 1$ である。

$$n = 2^{m-1} (2^k - 1) \quad \dots (1)$$

(J4) このときの $n, m$ を用いて計算開始位置 $L(n)$ が(2)式から求められ、これを保存する。ただし、 $L(n=1) = m \cdot p$ とする。

$$L(n) = m \quad \dots (2)$$

(J5)  $m < m \cdot p$ かつ $k < 2^{mp-m}$ であれば(J2)に戻る。

$m < m \cdot p$ かつ $k = 2^{mp-m}$ であれば(J1)に戻る。

10

20

30

40

50

$m = m_p$  であれば終了する。

なお、浮体と風車の特性を利用し、全ての組み合わせ数を  $2^{mp}$  とし、さらに組み合わせの規則性を利用して計算量を約半分に減らすことにより、有限な時間で最大値の探索が可能になる。

(4) 繰返し：気象海象予測情報を入力したら、再び全ての組み合わせの中から取得エネルギー最大となる経路を選択し、次の気象海象予測情報の入手までその経路に沿って進むことになるが、このような操作は、繰返して行われる。

(5) 以上の手順により取得エネルギー最大となる浮体の運用経路が求められるようになり、設備利用率が最大となる運用が可能となる。

各回の手順で得られるのはN時間での取得エネルギー最大の経路であり、p時間での取得エネルギー最大の経路とは異なる。すなわち、現在吹いている風に対して取得エネルギー最大となる経路を選ぶとは限らないからであり、現在、浮体が風向に対して90度に進んでいる場合、変針判断時に、変針せずそのまま90度に進むほうが、直近の取得エネルギーは多いが、変針をして-90度に進んだほうが総取得エネルギーは多い場合もある。なお、本設備の利用効率は、次のように表される。

$$\text{設備利用率} = \text{取得電力量} / (\text{運転時間} \times \text{取得電力}) \times 100 (\%)$$

#### 【0023】

なお、本設備の運用の制約条件としては、移動海域が制約されることや、他国の排他的経済水域(EEZ)では風車を運転しない(羽根をフェザリングする)等の制約がある。また、陸上との境界では取得エネルギーにペナルティー値(大きな負値)を与え、そこへは移動しないようにすることが可能である。

一般に、陸上の風力発電による年間の設備利用率は約20~25%とされるが、本設備による洋上風力発電では、年間の設備利用率は40%と推定される。

#### 【0024】

上述の本実施例の移動式洋上風力発電設備では、その制御系が気象海象予測情報に基づき、多数の発電機2a付き風車2をそれぞれ横方向に向けて列設された浮体1の針路について、風向に対し90度または-90度となるように選択するので、風車2はその軸方向に沿う風向により絶えず効率よく発電作用を行うことが可能となり、また、浮体1の経路に関しては、上記制御系が、気象海象予測情報に基づき、予め計画した複数の変針判断時間帯について風向に対し90度または-90度となる浮体針路の全ての組み合わせを計算し、その組み合わせの中から上記発電機2a付き風車2による取得エネルギーが最大となる算出経路を選択して、次の気象海象予測情報の入手まで上記算出経路に沿う針路をとるよう制御を行うので、全体として著しく効率のよい発電作用が行われるようになり、その電気エネルギーの貯留が、そのまま蓄電設備としてのエネルギー貯留設備に貯留されたり、海水の電気分解による有機ハイドライドとして水素の貯留という形態でエネルギー貯留設備に貯留されたりするようになる。

#### 【0025】

また、浮体1が、上記の推進手段および操舵手段として、同浮体1の両端部の水面下にそれぞれポッドプロペラのごときプロペラ付き推進手段5を備え、同推進手段5が鉛直軸線のまわりに回動制御可能に装備されているので、細長い浮体1について、その直進性能を確保したり、同浮体両端部のプロペラ付き推進手段5の相互の逆向き舵角による舵取り性能の向上を図ったりすることが可能になる。

#### 【0026】

そして、プロペラ付き推進手段5の動力源としては、ディーゼルエンジン駆動の発電機からの電力が用いられるが、発電機2a付き風車2からの電力を利用することも可能である。

#### 【0027】

さらに、浮体1が、上記推進手段として、同浮体1の両端部に、それぞれ同浮体1の長手方向へ向けて水流を噴出しうるスラスタ7を備えたとともに、上記操舵手段として、同浮体1の両端部に、同浮体1の幅方向へ、すなわち同浮体1の一側方または他側方へ水

10

20

30

40

50

流を噴出しうるサイドスラスタ 8 を備えている場合も、発電機 2 a 付き風車 2 で得られた電力などを利用して、浮体 1 の推進や舵取りが効率よく行われるようになる。

【 0 0 2 8 】

また、浮体 1 が、同浮体 1 の推進手段および操舵手段として、同浮体 1 の両端部の上にそれぞれ帆 6 を立設されているので、各帆 6 を風向に応じ操作することで、推進力を得たり、細長い浮体 1 についての舵取りの効果を得たりすることが可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 9 】

【 図 1 】 本発明の一実施例としての移動式洋上風力発電設備を示す側面図である。

【 図 2 】 図 1 の移動式洋上風力発電設備の平面図である。

10

【 図 3 】 ( a ) 図は図 1 に対応させて他の例としての移動式洋上風力発電設備の両端部を示す側面図、( b ) 図は図 1 に対応させて更に他の例としての移動式洋上風力発電設備の両端部を示す側面図である。

【 図 4 】 上記設備の洋上における移動経路を示す説明図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 0 】

1 浮体

2 風車

2 a 発電機

3 支柱

20

4 エネルギー貯蔵設備

5 ポッドプロペラ

5 a ポッド

5 b プロペラ

6 帆

7 スラスタ

7 a ダクト

7 b インペラ

7 c , 7 d 開口

7 e ガイド板

30

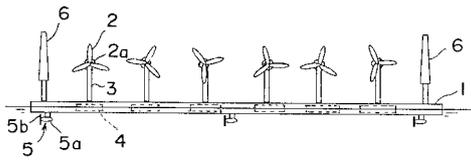
7 M 駆動装置

8 サイドスラスタ

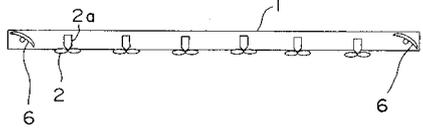
8 a ダクト

8 b インペラ

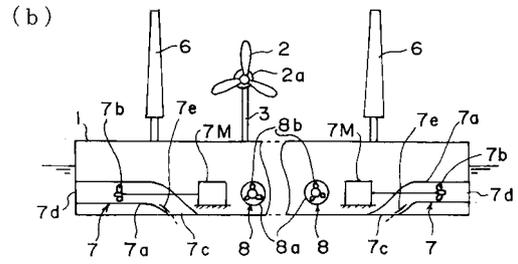
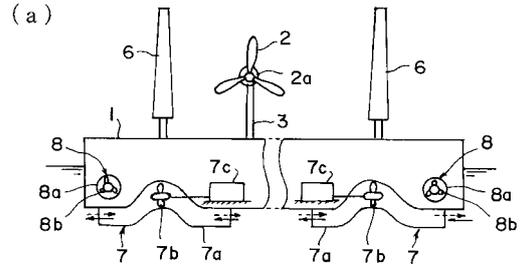
【図1】



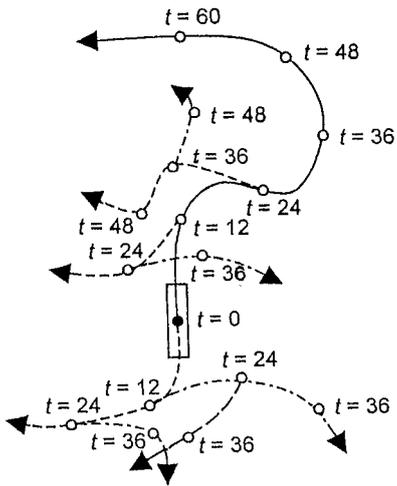
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

審査官 大谷 謙仁

- (56)参考文献 特開2001-059472(JP,A)  
特開2006-070775(JP,A)  
特表2001-509565(JP,A)  
特開2005-264865(JP,A)  
特開2005-313827(JP,A)  
特開平10-045095(JP,A)  
特開2004-036517(JP,A)  
特開2002-303454(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F03D 9/00  
F03D 9/02