

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6448153号  
(P6448153)

(45) 発行日 平成31年1月9日 (2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日 (2018.12.14)

(51) Int. Cl.	F I
<b>FO3B 13/22 (2006.01)</b>	FO3B 13/22
<b>FO3B 3/04 (2006.01)</b>	FO3B 3/04

請求項の数 12 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-501431 (P2017-501431)	(73) 特許権者	512155478
(86) (22) 出願日	平成27年7月15日 (2015.7.15)		学校法人沖縄科学技術大学院大学学園
(65) 公表番号	特表2017-521599 (P2017-521599A)		沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919番地1
(43) 公表日	平成29年8月3日 (2017.8.3)	(74) 代理人	100087480
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/003576		弁理士 片山 修平
(87) 国際公開番号	W02016/009647	(72) 発明者	新竹 積
(87) 国際公開日	平成28年1月21日 (2016.1.21)		沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919-1
審査請求日	平成29年7月6日 (2017.7.6)		学校法人沖縄科学技術大学院大学学園内
(31) 優先権主張番号	62/024,790	審査官	岩田 健一
(32) 優先日	平成26年7月15日 (2014.7.15)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波エネルギー変換システム及び波エネルギー変換ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

砕け波によって引き起こされる水流を受け止めるために海岸線に又は海岸線の近くに設置され、前記砕け波の水平方向の水流を利用する複数の波エネルギー変換ユニットと、

陸上に設置され、前記複数の波エネルギー変換ユニットのそれぞれによって発生させられた電力を受け取り、統合された電力を外部の送電網に供給する電力調整器と、を備え、

前記複数の波エネルギー変換ユニットのそれぞれは、

水平軸回りに回転するロータシャフトを備え、前記ロータシャフトの回転に応じて電力を発生させる発電機と、

前記ロータシャフトに取り付けられ、翼に衝突する前記水平方向の水流に応じて前記発電機の前記ロータシャフトを回転させ、ランダムな電力パルスを発生させる複数の翼と、を備え、

前記電力調整器は、前記複数の波エネルギー変換ユニットのそれぞれによって生成された前記ランダムな電力パルスを含む交流電力を受け取り、受け取った交流電力をそれぞれ直流電力に変換し、変換後の各直流電力を貯蓄し、貯蓄された直流電力を交流電力に変換し、変換後の交流電力の位相及び電圧を前記外部の送電網の位相及び電圧に一致させる、波エネルギー変換システム。

【請求項 2】

前記複数の波エネルギー変換ユニットは、前記海岸線に隣接する海底に設置されている請求項 1 に記載の波エネルギー変換システム。

【請求項 3】

前記複数の波エネルギー変換ユニットは防波堤又は岸壁構造の垂直又は傾斜した壁に設置されている請求項 1 に記載の波エネルギー変換システム。

【請求項 4】

前記複数の翼は、沿岸の砕け波の水の流れからエネルギーを利用するように配置される、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項記載の波エネルギー変換システム。

【請求項 5】

前記複数の翼は、波の速く進む水の傾斜からエネルギーを利用するために、海面から突出している、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項記載の波エネルギー変換システム。

【請求項 6】

前記複数の翼の半分以上が、海面から突出している、請求項 5 記載の波エネルギー変換システム。

【請求項 7】

前記複数の波エネルギー変換ユニットは、消波構造物の近傍に設置される、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【請求項 8】

前記複数の翼は、海水の平均水位が主に前記複数の翼にぶつかり、到来波の頂点が前記複数の翼を回転するように、沖合に対向する、請求項 1 ～ 7 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【請求項 9】

前記複数の翼は、一方向の流れのみが前記複数の波エネルギー変換ユニットにおいて利用されるように配置される、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【請求項 10】

前記複数の翼は、波の高さが臨界点に達して砕ける直前に位置する、請求項 1 ～ 9 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【請求項 11】

前記複数の波エネルギー変換ユニットは、海岸の近くで、支持軸を介して水深が約 1 ～ 5 m の場所に設置される、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【請求項 12】

前記複数の波エネルギー変換ユニットは、到来波が進行する方向にタービン軸が配向するように設置される、請求項 1 ～ 11 のいずれか一項記載の波エネルギー変換ユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波エネルギー変換システムに関し、より具体的には、外浜 / 沿岸の波エネルギーを電力に変換する波エネルギー変換システムに関する。本願は、全体として 2014 年 7 月 15 日に出版された米国仮出願番号 62 / 024,790 を参照することにより援用する。

【背景技術】

【0002】

近年、地球上の再生可能エネルギーを既存のエネルギー源の補完又は代替として利用するために、幾多の試みがなされている。特に、沖合の海洋波エネルギー、外浜の波エネルギー、及び沿岸の波エネルギー等の海洋エネルギーは、徹底的に研究及び開発されている。波エネルギー技術の検証は、例えば、以下に非特許文献 1 として挙げられている Lopez, et al. による総説に見ることができる。

【0003】

10

20

30

40

50

非特許文献 1 に示されるように、例えば、最近まで、各種の波エネルギー変換器が提案され試験されてきた。その中には、水面上の浮体を用い、沖合の海洋波の振動の上下運動の海洋エネルギーを利用するものがある。また、縦型容器を用いて波動を気流に変換し、空気タービンによって電気を生成するものがある。しかしながら、これらの研究開発のほとんどは、(1) 低いエネルギー変換効率、(2) 荒天状況での機械的な故障、(3) 高価な架設費用、すなわち、経済的要件を満たしていないこと、及び/又は(4) 長期間にわたる運転に対する信頼性を欠く構造が原因で失敗に終わった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

10

【非特許文献 1】I.Lopez, et al., Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment, Renewable and Sustainable Energy Reviews 27 (2013) 413-434

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

このように、沖合、外浜、沿岸の波又は表面と底部との間の圧力差等、波エネルギーの異なる形態を利用する様々なシステムが提案され試験されてきた。それぞれのシステムは、異なる長所と短所とを持っている。しかし、経済的かつ効率的な発電システムは、未だ作られても確立されてもいない。この分野の研究者及び技術者は、絶えず、波エネルギーを発電に利用するための新しい経済的かつ効率的な構造を追及している。

20

【0006】

本発明は、波エネルギー変換ユニット/システムを対象とし、より具体的には、外浜/沿岸の波エネルギーを電力に変換する波エネルギー変換ユニット/システムを対象とする。

【0007】

本発明の目的は、既存技術が有する問題のうち 1 以上の問題を除去するように、新しく、かつ、改良された波エネルギー変換ユニット及び当該波エネルギー変換ユニットを含む発電システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

30

【0008】

本発明の目的に従ってこれらの及び他の優位性を達成するために、具体化され、広く説明されるように、1つの側面において、本発明は、海岸線に接近する海洋波によって引き起こされる水流を受け止めるために海岸線に又は海岸線の近くに設置された複数の波エネルギー変換ユニットを備え、前記複数の波エネルギー変換ユニットのそれぞれは、ロータシャフトを備え、前記ロータシャフトの回転に応じて電力を発生させる発電機と、前記ロータシャフトに取り付けられ、翼に衝突する前記水流に応じて前記発電機の前記ロータシャフトを回転させ、電力を発生させる複数の翼と、陸上に設置され、前記複数の波エネルギー変換ユニットのそれぞれによって発生させられた前記電力を受け取り、統合された電力を外部の送電網に供給する電力調整器と、を備える、波エネルギー変換システムを提供する。

40

【0009】

別の側面において、本発明は、海洋波エネルギーを電力に変換するための適応ピッチ翼を備える波エネルギー変換ユニットであって、ロータシャフトを備え、前記ロータシャフトの回転に応じて電力を発生させる発電機と、前記ロータシャフトに取り付けられ、翼に衝突する海洋波の水流に応じて前記発電機の前記ロータシャフトを回転させ、電力を発生させる複数の適応ピッチ翼と、を備え、各適応ピッチ翼は、前記翼の前縁にスパーシャフトを備え、前記スパーシャフトは前記ロータシャフトに固定され、前記ロータシャフトから半径方向に延伸し、前記翼の少なくともいくつかの部分は、前記翼の少なくともいくつかの部分が前記翼に衝突する前記海洋波の水流に応じて前記スパーシャフトに対するピッ

50

チ角を変更できるように、所定のニュートラル静止位置に対して前記スパーシャフトの周りを弾性的に回転可能である、波エネルギー変換ユニットを提供する。複数のこのような波エネルギー変換ユニットを、上述した波エネルギー変換システムに用いてもよい。

【発明の効果】

【0010】

本発明の1以上の側面によれば、効率的かつ経済的な波エネルギー変換器及び当該波エネルギー変換器を含むシステムを提供することが可能となる。ここで開示される本発明の実施例のうち少なくとも幾つかの実施例において、その構造は簡素かつ合理的である。海岸（海岸のとても近く）に設置されるため、メンテナンスが容易である。テトラポッドのような既存の消波構造物と組み合わせることで、設置費用は劇的に低減される。さらに、環境に有害とはならず、むしろ、砕波構造物を支援する。さらに、可変ピッチ翼を備える波エネルギー変換ユニットについての本発明の側面のうち少なくともいくつかの側面によれば、厳しい気象状況に起因する極めて高い水流等の幅広い環境の変化に効果的に対処することができ、低いメンテナンスコストで対処することができる。

10

【0011】

発明の追加の又は別の特徴及び長所は、明細書に記載され、一部分において、明細書から明らかであるか、又は、発明の実践により学ばれる。発明の目的及びその他の長所は、添付の図面だけでなく明細書および請求の範囲において特に指摘されている構造によって実現され達成される。

【0012】

20

当然のことながら、前述の概要及び後述の詳細な説明のいずれも、典型的かつ説明的なものであり、請求の範囲に記載された発明のさらなる説明を提供することを目的とするものである。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る、海岸に隣接して設置された波エネルギー変換ユニットを概略的に示す図である。

【図2】図2は、本発明の実施形態に係る、海岸に隣接して設置された波エネルギー変換システムを示す概略図である。

【図3】図3は、図1の波エネルギー変換ユニットの一例をより詳細に示す図である。

30

【図4A】図4Aは、図1の波エネルギー変換ユニットの別例の正面図である。

【図4B】図4Bは、図4Aの波エネルギー変換ユニットの側面図を示す。

【図5】図5は、本発明の実施形態に係る、波エネルギー変換システムの電気構成の一例を示す概略図である。

【図6】図6は、固定ピッチ翼を備えるタービン及び可変ピッチ翼を備えるタービンに対する流体速度と出力電力との関係を示すグラフである。

【図7】図7は、本発明の実施形態に係る波エネルギー変換器で使用される翼の動作原理を示す図である。

【図8】図8は、水の流量が極度に高い場合の図7に示された翼の動作原理を示す図である。

40

【図9】図9は本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼のらせん状のプライコードの巻き方の一例を示す図である。

【図10】図10は、図9を参照して説明した方法によりらせん状のプライコードを巻いた適応ピッチ回転翼を示す図である。

【図11】図11は、本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼を示す図である。

【図12】図12は、本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼を示す図である。

【図13】図13は、本発明の実施形態に係る、実際に建設されたWECユニットを示す図である。

【図14】図14は、本発明の実施形態に係る、海岸線でのWECユニットの設置の別例を示す図である。

50

【図 1 5】図 1 5 は、本発明の実施形態に係る、海岸線での W E C ユニットの設置の別例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

本開示は、1つの側面では、波エネルギー変換器（W E C : W a v e E n e r g y C o n v e r t e r ）が海洋エネルギーを利用して、沿岸の砕け波の水の流れを電力に変換するために適切に設計された回転可能な翼を備えるタービンを提供する。幾つかの実施形態においては、海岸線近くの沿岸波浪の前後の流れが翼を回転させるように、複数のこのようなタービンが海岸の近くに設置され、これにより、電力を発生させる波エネルギー変換システムを構成する。海洋波は、通常、渦流れ及び気泡と混ぜられる。したがって、極めて不均一で多相の流れの中でタービンは動作しなければならない。海洋波が海岸に近づくと、波高点の前進運動が支配的になる。海底はけん引力として働くので、波高点は波の谷よりも速く進み、崩れ始める。ここに開示される実施形態のうち少なくともいくつかの実施形態では、この速く進む水の傾斜がサーフィンに使用されており、本開示は、それをエネルギー生成に用いる。

【 0 0 1 5 】

海岸近くの波動力学と対照的に、深水では、水の粒子は、円を描くように移動する。このような上下運動は、上記に挙げた非特許文献 1 に記載されるように、一部の W E C として利用されている。

【 0 0 1 6 】

< 波エネルギー変換ユニット >

図 1 は、本発明の実施形態に係る、海岸に隣接して設置された波エネルギー変換ユニットを示す図である。海岸線の近く（この例では、バンク 1 0 6 ）で、W E C ユニット 1 0 2 が海底 1 0 5 に設置されている。W E C ユニット 1 0 2 は、発電機 1 0 1 に接続された軸に沿って回転する複数の回転可能翼 1 0 3 を備える。1つの構造において、例えば、到来波の頂点が効率的に翼を回転させるよう海水 1 0 4 の平均水位が主に回転可能翼 1 0 3 にぶつかるように、W E C ユニットは、沖合に対向するようテトラポッド 1 0 7 の近くに設置される。したがって、本実施形態の W E C ユニットは、波中の水平方向の水流を利用する。1つの実施形態において、一方向の流れのみを W E C ユニットにおいて利用して発電することができるが、以下に記載するように、他の実施形態において二方向の流れを利用することもできる。砕け波は翼 1 0 3 を回転させ、回転により発電機 1 0 1 を介して電力が生成される。

【 0 0 1 7 】

翼は、極端に高流量の水流が、翼の完全性を容易に損傷させないように、可撓性材料製であることが好ましい。また、以下に記載するように、いくつかの実施形態では、翼 1 0 3 は、電力変換効率を最大化し、翼に大きなストレスがかかるのを避けるために、波に起因する水の流入速度に応じて、迎え角（すなわち、ピッチ又はねじり角）を変更してもよい。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、本発明の実施形態に係る、海岸に隣接して設置された波エネルギー変換（W E C ）システムを示す概略図である。図は、海岸から海洋水平線 2 0 4 の方を見たときの W E C システムを示している。図に示されるように、大量の電力を発生できるように、そして、時間平均総発電電力をほぼ一定とし、容易に管理できるように、複数の W E C ユニット 2 0 1、例えば、図 1 に示した W E C ユニット、を海岸線に沿って設置してもよい。海洋波理論によれば、海洋波 2 0 2 が海岸に近づいているとき、波エネルギーは、水面と海底の傾斜との間の境界が狭まっていくために、表面近くに集中する。その結果、波の高さはどんどん高くなり、最後には、臨界点に達して砕ける。波 2 0 2 が砕ける直前、典型的な波浪状態（高さ数メートル）では、海岸に対向する方向において水流の速度は約 5 ~ 1 0 m / 秒に達する。この水流中に回転するタービンを置くことにより、電力を発生させることができる。この処理は、直接的で、かつ、中間処理がないため、エネルギー変換効率

がかなり高い。このタイプの発電機を複数配列すれば、大量の波エネルギーを利用することができる。発生した電力を一時的にコンデンサバンクに蓄積することにより、安定化したAC電力を適切な電力調整器を介して送電網に送ることができる。砕け波からの拍動又は他の形態の振動を平均することができる。発電機のサイズを小さくすることができる。例えば、翼の直径を約2mとしてもよい。ため、取り扱い及び設置が重大な問題を引き起こさない。電気自動車（発電機、バッテリー、及び、電力変換装置）の今日の先進技術を利用すれば、このタイプの信頼性の高いWECを低コストで製造できる。このタイプのWECユニットと既存の波消しテトラポッド203との組み合わせは、好ましい構成である。エネルギーを波から取り出すことができ、かつ、海岸を土砂流出及び海水から保護することができる。

10

#### 【0019】

図3は、本発明の実施形態に係る、図1の波エネルギー変換（WEC）ユニットの一例をより詳細に示す図である。図に示されるように、本実施形態のWECユニットは、ノーズコーン301、方向304の方向に回転する翼302、及び発電機306を収容するためのハウジング305を備える。これらの部品は、全体でタービン303を構成する。タービン303は、支持ベース309に固定された支持軸308によって支持されている。ケーブル307は、発電機306に取り付けられ、発生した電力を海岸に送電する。

#### 【0020】

図3のWECユニットは、例えば、海岸の近くで、平均水深が約1～5mの場所に設置される。海岸線の波は、繰り返し陸に向かう方向及び逆方向に向かう速い水平方向の水流を生み出す。WECユニットは、到来波に応じて（そして、以下に説明するように、外向き/後進波にも応じて）翼が効率的に回転するように、そのタービン軸をほぼ海岸線に垂直に向けて、又は、到来波が移動する方向に向けて設置される。

20

#### 【0021】

図4Aは、波エネルギー変換（WEC）ユニットの他の実施形態を示す正面図である。図4Bは、図4Aの波エネルギー変換ユニットの側面図である。図4Bに示すように、本実施形態では、6枚の動翼409が設けられている。翼409（図4Aでは、翼402として示されている）は、クロスプライにより補強されたゴム材料でできている。翼409は、メンテナンスを容易にするために、着脱可能に装着される。金属棒408が、各翼のスパアとして設けられ、ロータシャフト407に取り付けられている。また、WECユニットは、ロータシャフト407に取り付けられた繊維強化ポリマー（FRP）又はガラス繊維強化ポリマー（GFRP）により作られたプロペラノーズコーン406、例えば、発電機411を収容するための、FRP又はアルミニウムによって作られたハウジング412、設置用の吊りフック410、ハウジング412を支持する棧橋軸405、及び、電力変換ステーションに接続するための出力電力ケーブル413を備える。棧橋軸405は、海底上に形成された砂又は碎石の土台403の上に設置された、例えば重さ10トンのベーススラブ鋼404によって支持される。図4A及び図4Bにおける小さな数字は、ミリメートル単位でユニットにおけるそれぞれのサイズのおよその好ましい寸法を示している。推定回転速度は、約1～3Hz、すなわち、60～180rpmである。翼402（409）の形状および寸法は、水深及び速度等の地況に依存し、例えば、空気力学シミュレーションを使用して、適切に設計することができる。

30

40

#### 【0022】

##### < 波エネルギー変換システム >

図5は、本発明の実施形態に係る波エネルギー変換システムの電気構成の一例を示す概略図である。複数のWECユニットWEC1～WEC40が海岸近くの海に（又は海岸に）設置されており、いわば、比較的小さな規模でWECファームを構成している。本実施形態において、各WECユニットは、最大出力電力が100kWで、公称波高2mに対する平均出力電力が25kWの直径2mのタービンを備える。これらのWECユニットは、5m間隔で、海岸に沿って合計200mにわたって配置される。発生した出力電力は、それぞれ、数百メートル（例えば、300m）の長さで敷設されることができる三相電力ケ

50

ケーブル504により600V、100Aで送電される。WECユニットWEC1～WEC40はそれぞれ、不規則に到着する波501を受け止め、通常数秒継続する電流パルスが発生させる。

#### 【0023】

各WECユニットWEC1～WEC40から生成された電力を処理する電力調整器503は、陸上に設置されている。図5に示すように、対応するWECユニットからの各ケーブル504は、発生した交流電力が直流電力として一時的にコンデンサバンク508に貯蓄されるように、接続スイッチ506および整流器507を介してコンデンサバンク508に接続されている。DC-AC変換器509は、コンデンサバンク508に貯蓄された直流電力を交流電力に変換し昇圧器510に送る。昇圧器510は、交流電力の位相及び電圧を外部の送電網の位相及び電圧に一致させ、調整した交流電力を外部の送電網に送る。波は不規則に海岸に到着するため、各WECユニットから発生する電力は、やがて、継続時間が数秒のランダムなパルスとなる。WECからのパルスエネルギーは、直流に変換され、コンデンサバンク508に貯蓄される。したがって、複数のWECからの結合電流505がコンデンサバンク508に貯蓄される。重要なことは、整流器507により、この貯蓄されたエネルギーがWECに漏れ出さないことである。したがって、整流器507は、AC-DC変換と、WECユニットが、波がなかったり及び/又は機械が故障したりすることによって発電を停止した場合にコンデンサバンク508からWECユニットを絶縁するという2つの役割を果たす。メンテナンスのために、各WECユニットを接続スイッチ506によって絶縁できる。

#### 【0024】

コンデンサバンク508に貯蓄されたエネルギーは、DC-AC変換器509および昇圧器510を介して送電網に送られる。上述したように、送電網に円滑かつ効率的に電力を伝送するために、電圧及び位相はDC-AC変換器509によって調整されて、送電網の電力状況の電圧及び位相に一致する。上述したように、本実施形態のWECシステムによれば、比較的大量の電力を碎け波及び/又は海岸に到来する波から発生させることができる。適切な状況では、本構成、すなわち、複数の動翼の配列を、沖合の波、潮力発電、及び河川の流れにおける水力発電にも適用することができる。

#### 【0025】

発明者は、以下の実験によって上述したWECユニット及びWECシステムの運用性を確認した。図13は、本発明の実施形態に係る、実際に建設されたWECユニット1300を示す図である。図13の左側の図は正面図であり、図13の右側の図は側面図である。WECユニット1300は、5枚の翼1301を備え、5枚の翼1301はそれぞれ、4個のボルトを備えるロータハブ1303に固定され、ロータハブ1303に挿入されたカーボンシャフトによって支持され、到来波によって生じるけん引力に耐える。各翼1301は、NACA0020～0018を混合した仕様に従い成形され、3Dプリンタを用いて、ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 樹脂で作製した。翼の回転スパンは、直径600mmとした。ノーズコーン1302がロータハブ1303に取り付けられている。三相交流発電機1304がロータハブ1303に取り付けられ、翼1301の回転エネルギーを電力に変換する。図中の数字は、各部の寸法をミリメートル単位で示している。Winpower tech社製造のモデルWPT100-20WEの発電機を発電機1304に使用した。発電機の公称出力電力は、126.6Wの入力電力に対し100.1Wであり、効率79.03%であった。

#### 【0026】

WECユニット1300は、日本の沖縄県真栄田浜において海水中に設置された。実験では、タービン(WECユニット1300)のおおよそ下半分が平均海水面に沈められた。実験場所での波高は、およそ数十センチメートルから数メートルであった。発電機1304から出力された三相交流を整流する三相整流器の出力端子に接続された233オームの抵抗を有する負荷抵抗器によって、生成された電力を評価した。観測された最大電力は、負荷抵抗器において101.7Wであった。算出された水速は1.4m/sであり、こ

10

20

30

40

50

れは、回転速度約 200rpm に相当する。本実験結果は、電力変換における目覚ましい効率を示し、ここに記載された WEC システムだけでなく WEC ユニットの実用性及び実現可能性が見事に確かめられた。

#### 【0027】

< WEC ユニット用適応ピッチ回転可能翼 >

本発明のいくつかの実施形態において、WEC ユニット（すなわち、タービン）用の翼は、入射水流 / 波動に応じて適応できる可変ピッチを有する。図 6 は、本実施形態に係る固定ピッチ翼を備えるタービン、及び本実施形態に係る可変ピッチ翼を備えるタービンに対する流体速度と電気出力との関係を示すグラフである。固定ピッチ翼は、翼が取り付けられるロッド（図 4 B における金属棒 408 等）に対する角度が固定されている。図 6 において固定ピッチ翼の曲線に示されるように、入射流体（海水）の速度が増加すると、固定ピッチ翼によって発生させられる電気出力が増加する。しかしながら、流速が極めて高い場合、海水によって翼に加えられる機械的な応力により固定ピッチ翼が壊れてしまう場合がある。したがって、固定ピッチ翼を使用する場合、対応する WEC ユニットは、図 6 の翼破壊点に到達しないことを補償するように、設置場所における通常の及び最悪の波浪状態を考慮して注意深く設計されなければならない。上述したように、極めて高い流量によって加えられる圧力を吸収するために、ゴム等の比較的柔らかい材料を翼 302（又は 402 / 409）の材料に使用することができる。しかしながら、このような固定ピッチ構造の代替として、材料の弾力性又は弾性構造をより直接的に利用して、より効果的に翼の破損という問題に対処することができる。本開示は、以下に記載するように、このような構造に対するいくつかの革新的な実施形態を提供する。

#### 【0028】

したがって、本発明のいくつかの実施形態では、翼のねじり角を波の流れ方向及び局所速度に応じて自動的にかつ受動的に変更できる適応機構をタービンに導入する。これらの実施形態に係る翼は、例えば、ゴムといった可撓性材料からなる。ある実施形態では、ロッドスパーが翼の前縁近くに実装され、水流 / 波がないときに可撓性の翼を真っすぐな形に保つ一方、反対側の翼の他端はロッドスパーの周りを回転することができる。機械的なバネ又はゴムのばね作用を利用して、翼トルクをエネルギー変換効率を最大化するのに最適な値に維持してもよい。いくつかの実施形態においては、周期的に入れ替わる波の流れ方向と共に、翼は流れの方向の変化に応じて自動的にねじり角の方向を変えることができる。したがって、タービンは、同一方向に回転し続ける。言い換えると、到来波だけでなく、外向き波も同一の所定方向の翼の回転に貢献することができ、これにより、発電に寄与する。

#### 【0029】

さらに、砕け波には大きな速度勾配が存在する。すなわち、表面では速度が高く、底では速度が低い。固定ねじり角翼が使用される場合、翼は、表面近くでは速度を得るが、底ではエネルギーを失うため、エネルギー変換効率が犠牲になる場合がある。適応ピッチ構造を使用することにより、翼は底において小さな角度をとり、けん引力を最小化する。その結果、タービンは底でエネルギーを失わない。さらに、荒天状況において、本構造は、トルク制限機能を提供する。極めて高速度の流れでは、翼は反転し流れ方向に一致する。すなわち、ニュートラルポジション（迎え角  $0^\circ$ 、すなわち、揚力係数が 0 に近づく）になり、高い電力潮流から揚力を低減する。その結果、サージ電流に起因する破壊的な影響から守られることができる。この動作原理を、具体的な実施形態の説明に照らして、さらに以下に説明する。

#### 【0030】

本発明の 1 つの側面では、各翼又は翼の部分は、スパーシャフト（図 4 B の金属棒 408 に相当）の周りを弾性的に回転可能なようにスパーシャフトに取り付けられている。図 7 は、本発明の本実施形態に係るこのような翼の動作原理を概略的に示す図である。図 7 は、半径方向から回転軸 / 中心の方を見た場合の翼 701 の断面を示す。到来 / 前進水流は図中左から右に入ってくる。図 7 を参照し、上記の動作原理についてより詳細に説明す



る。水流がない場合、翼 701 はニュートラルポジションにある。すなわち、ねじり（ピッチ）角はゼロである（上側の図）。言い換えると、翼 701 は、水流／波動運動の方向と垂直な回転面において平らになっている。前進波が来ると、水の前流が翼 701 を捻じり、これにより、翼 701 が回転子軸まわりに回転する（中央の図）。外向き（後進）波が来ると、水の逆流が翼 701 を逆方向に捻じり、その結果、翼 701 が同一方向にタービンを回転させる（下側の図）。

#### 【0031】

図 8 は、水流速度が極めて高い場合の本発明の実施形態に係る翼 701 の動作原理を示す図である。台風等の極限の状態では、波はとて高くなり、水は極めて高速で流れる。結果として生じる大きな圧力に起因して、翼 701 は更に捻じられ、翼表面に対する流れの衝突角度は小さくなる。すなわち、翼（又は翼の部分）は、初期の静止位置に対してほぼ 90 度で捻じられる。その結果、翼 701 の揚力が制限され、回転速度が制限される。同様の制限された（又は自動調整された）回転は、極めて高い逆流がタービンに後ろからぶつかる場合にも起こる。このメカニズムによって、タービンに作用する非常に高流量の波／海水は、翼 701 又はタービンに対する許されないほど高い応力を生じさせず、これにより、自己調節／適応性のある方法で、WEC ユニットの完全性を保つ。言い換えると、上述した構造は、自己トルク制限である。この効果が上述した図 6 でまとめられている。図 6 の可変ピッチ翼についての曲線が示すように、入射流速が非常に大きくなったとしても、電気出力は飽和する。これは、非常に大きな流量により回転が制限されることを示している。したがって、WEC ユニット／システムは、厳しい気象状況から守られる。したがって、本発明の本側面に係る適応ピッチ回転翼の特徴は、幅広い波／海洋状況に対処するための経済的かつ効率的な方法を提供する。言い換えると、本発明の本特徴は、設置場所が時々極めて大きな水流にさらされる場合でさえ、翼が好ましくない大きな応力及び圧力を受けることのないように、自己調節トルク制限効果を提供する。

#### 【0032】

< 適応ピッチ回転翼の例 >

図 7 及び図 8 を参照して上述した適応ピッチ回転翼の断面構造は、例えば、半径方向において翼の全長にわたって提供される、又は、いくつかの実施形態では、縦方向において翼の 1 以上の部分のみで提供される。

#### 【0033】

本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼は、自動車用の空気式タイヤによく利用される材料と同一の材料である、例えば、合成ゴム又は天然ゴムといった軟質材料製であってもよい。補強及び波に起因して繰り返し翼に加わる応力下における寿命の改善のために、カーボンブラックをこれらの材料に加えてもよい。

#### 【0034】

適応ピッチ回転翼の断面は、流線形であるのが好ましい。いくつかの実施形態では、National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) によって開発された NACA 翼の形状データを利用してもよい。状況によっては、波の前進流及び逆行流に対称的に対応することができるので、4 桁シリーズにおける NACA 0020 等の対称の翼形状が、WEC についての本発明の実施形態には好ましい。

#### 【0035】

翼の寸法の例は、例えば、以下のとおりである。タービン直径：2 m、翼長：0.9 m、翼幅：0.3 ~ 0.1 m のテーパ状。

#### 【0036】

いくつかの実施形態において、適応ピッチ回転翼は、前縁付近にスパーを挿入できる長孔を有する。いくつかの実施形態では、翼が自由に捻じれるように、孔の直径は、スパーの直径よりも数ミリメートル大きい。ある実施形態では、孔の中央位置は前縁から計測された弦長の約 5 ~ 15 % の位置である。

#### 【0037】

いくつかの実施形態では、ねじれの中立角度はゼロに設定される。すなわち、翼は、静

10

20

30

40

50

止状態では平らになる。波が来ると、水の流れが後縁を下方方向に押し、適応的に適切なねじり角を生み出す。いくつかの実施形態では、翼を、目標電力を発生させる場合に、ねじり角が、例えば、（回転子軸の近くの）基部において30～60度、翼端において0～3度となるように構成できる。

#### 【0038】

本発明の様々な実施形態に係る翼のスパーは、例えば、CFRP（Carbon-fiber-reinforced polymer）、GFRP（Glass fiber reinforced plastics）、又は、金属（ステンレス鋼又はスチール）製であってもよい。スパーは、円形の断面、すなわち、棒形状を有していてもよい。スパーは、テーパ形状、すなわち、発電機軸付近では直径が大きく、翼端に向かって直径が小さくなる形状であってもよい。いくつかの実施形態では、スパーの直径を、（回転子軸付近の）基部では30mm～100mmに設定し、翼端では10mm～30mmに設定してもよい。

#### 【0039】

図11は、本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼を示す。本実施形態では、スパーをGFRP、CFRP又は金属（ステンレス鋼又はアルミニウム）製の、翼端1104に形成されたソケットに挿入することによって、翼の翼端1104をスパー1105に固定している。スパー1105は、他端のロータハブ1101に取り付けられる。スパー1105は翼のこれらの部分（翼端1104以外）が容易にスパー1105の周りを回転できるように摩擦を低減するためにテフロン（登録商標）又は炭素樹脂製のスリップリング1106を備えていてもよい。翼は、例えば、ゴム製の可撓性翼体1107を有する。可撓性翼体1107は、リブ1108によって支持され、リブ1108は、メカニカルシール1102と共にベアリング1103によって回転可能にスパー1105に取り付けられている。本構成によって、翼体1107の上端は翼端1104に装着され、かつ、翼体1107の他の部分は自在に回転可能とされるので、翼体1107の弾性が、到来波に応じて生じる翼体1107のねじり角を制御する。図11に示すように、本実施形態の上述した構造によって、翼の下部は水流に応じた広範囲のねじり角を有し、翼の上部では、ねじり角の範囲は狭くなる。この弾性により、翼（翼部）のねじり角が水流に応じて変更される。

#### 【0040】

図9及び図10を参照し、本発明に係る適応ピッチ回転翼の他の実施形態を説明する。図9は、本発明の実施形態に係る適応ピッチ回転翼のらせん状のプライコードの巻き方の一例を示す図である。本実施形態では、図に示されるように、コード903のプライの層をゴム層904の周りにらせん状に巻いて、その形状を維持し、ねじる動きに対するばね作用をもたらす。図に示されるように、リブ905およびリブ902がそれぞれの端に設けられている。スパーシャフトを受け入れる孔901が翼の前縁に設けられている。コード903の方位及び密度は、機械的性能を決定する。流れる水の動圧に対して翼形状を変化させないために、コードの横方向プライを流線に沿って設けてもよい。このようにして、翼の空力L/D（リフト/ドラッグ）係数を高く保つことができ、電力変換効率も高いままとなる。例えば、L/D係数は20よりも高く、電力変換効率は30%ほどにもなる。横方向プライにより、ゴム体は容易に捻じれることができる。横方向プライがない場合、状況によっては、ゴム翼が揚力によって容易に曲げられ、空気力学的性能を劣化させる場合がある。例えば、L/Dは10未満となり、これにより、電力変換効率を低下させる。スパー孔付近のコード903のらせん状のプライは、翼のねじりに対し適切なばね作用をもたらす。コード903はナイロン、ポリエステル、もしくはアラミド繊維又はケブラーでもよい。コードの直径は、例えば、0.01～0.5mmの範囲としてもよい。プライ及び翼の製造工程は、空気式タイヤの製造工程と同様の工程に従ってもよい。

#### 【0041】

図10は、図9を参照して説明した方法によってらせん状及び横方向プライコードが巻かれた適応ピッチ回転翼を示している。上述したように、本実施形態の翼は、横方向コード1006、らせん状プライコード1005、及び内ゴム層1002に巻かれたらせん状プライコード1001を備える。また、図9を参照して上述した構造は、外ゴム層100

7によって包まれ、これにより、WECユニット用の本実施形態の翼1008を構成している。軸1003を有するスパシャフトを受け入れるために、孔1004が翼の前縁に設けられている。本図に示されるように、本実施形態では、コードのプライは翼の内部に設けられている。このようにして、本実施形態の翼1008を使用して、結果として生じるWECユニットは、衝突波（水流）に応じてピッチ（ねじり角）が弾性的に変化可能な適応ピッチ回転翼を備えることができる。言い換えれば、自己調整トルク制限が起こる。

#### 【0042】

図12は、本発明の別の実施形態に係る適応ピッチ回転翼を示す図である。本実施形態において、翼1201の基部により近い部分（回転子軸に最も近い側）が例えば30～60度の大きな初期ねじり角を有してスパ1204によってロータハブ1203に固定されている。翼1201の断面は非対称の凹形の構造を有する翼形状を有する。翼設計のNACAデータをこのタイプの断面形状を決定するのに利用できる。最大で空気力学的中心の近くに、すなわち、前縁から弦長の25%の位置に、スパ1204用の孔を翼1201に形成する。スパ位置は、外側の部分において前側にシフトされ、翼は末尾側に向かって後方に曲げられることができる。スパ1204は、各翼の孔に挿入され、ロータハブ1203を介して主ロータシャフトに固定される、円形断面を有する真っすぐなスパ（中心シャフト）である。翼1201は軟質材料によって作られ、容易に中心シャフト周りに捻じれる。（水流のない静止した状態での）ニュートラルのねじりは、翼端に近づくほど小さくなる。水の流量が増加すると、翼への揚力により力の中心が中心シャフト（スパ1204）からずれるので、トルクが生じ、翼を押し下げ、翼に作用する力を低下させ、翼が破損するのを防ぐ。図12に挿入された翼の断面図に示されるように、その先端近くでは、翼1201は、到来水流／波に応じてより大きな角度で弾性的に捻じられ、中心においては比較的小さな角度で弾性的に捻じられる。基部では、翼1201はほとんど捻じられない。本実施形態は、このように、適応ピッチを実現する。

#### 【0043】

例えば、上述した適応ピッチ翼の実施形態のいずれかを、図1、3、4(a)～4(b)に示すWECユニットに用いることができる。図3に示すWECユニットがこのような適応ピッチ翼を備える場合、波がタービン303に到達すると、水流が翼に衝突し、翼をプロペラ形状に捻じ曲げるけん引力を生じさせ、続いて、回転を開始させ、水中で翼を揚げる。その結果、流体力学揚力が現れ、タービンの回転を更に加速させる。回転の運動エネルギーは発電機306によって電力に変換され、発生した電力は、送電線307を介して陸上の電力ステーションに送られる。逆流では、ねじり角が反転し、タービンを同一方向に回転させる。

#### 【0044】

図14は本発明の実施形態に係る、WECユニットの海岸線での設置の別例を示す図である。到来海洋波1401は、防波堤（又は岸壁）1407の壁（この例では、垂直壁）において反射され、その結果生じる反射波1403と到来波1401との結合が、周期的に振動する定常波1402を水表面で生じさせ、防波堤壁付近の水を垂直方向に上下動させる。重要なのは、定常波の振幅が、だいたい到来波の2倍であることである。したがって、速い鉛直流が存在する。本実施形態のタービンはこの垂直方向の水流のエネルギーを利用する。具体的には、タービン1408（ここに記述されるWECユニットのいずれか）は、垂直方向の水の流れ（すなわち、振動する水流1409）が発電機1404によって電力に変換されるように、海底1410上の代わりに、防波堤1407の垂直壁に沿って発電機1404と一緒に設置される。タービン1408および発電機1404は、防波堤1407に取り付けられた支持構造1406によって支持される。潮流に起因する平均水位の変化に対処する又は効果的に利用するために、2以上のタービン（翼一式）1408を、図14に示すように、同一のロータシャフト1405上に設けてもよい。また、振

動する水流のエネルギーを利用することによって、本WECは、効果的に砕波構造として機能する。

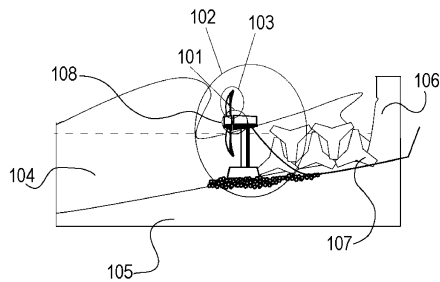
【0045】

図15は、本発明の実施形態に係る、海岸線でのWECユニットの設置の別例を示す図である。防波堤又は岸壁1507が傾斜している場合、水は傾斜に沿って流れる。エネルギーを利用するために、タービン（つまり、ここに記載されるWECユニットのいずれか）を、海底1509上の代わりに、傾斜に平行に設置してもよい。到来波1501は、反射波1503と相まった結果、定常波1502を生じさせ、結果として生じた振動する水流1508はタービン1504を回転させる。これにより、ロータシャフト1505が回転し、発電機1506において電力を発生させる。図14に示す構造と同様に、潮流に起因する海水面の変化を考えると、複数のタービン（翼一式）1504を設けてもよい。さらに、振動する水流のエネルギーを利用することによって、このWECも、効果的な砕波構造として機能する。

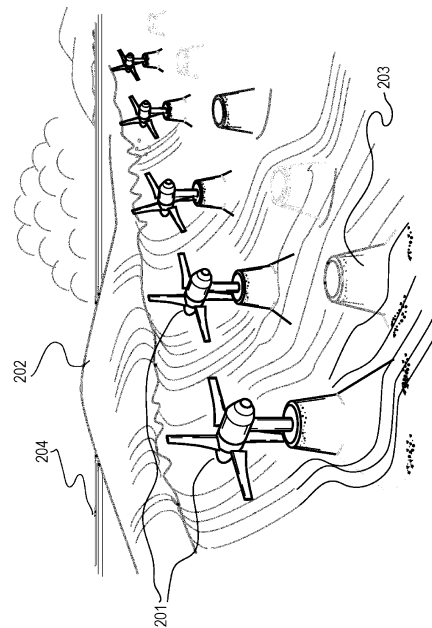
【0046】

本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々改良及び変形が実施可能であることは、当業者にとって明らかである。したがって、本発明は、添付の請求項及びそれと均等な物の範囲内の改良及び変形に及ぶ。具体的には、上述した実施形態及びその改良のうち2以上の一部又はすべてを、本発明の要旨の範囲内で組み合わせたり、考慮したりできることは、明白である。

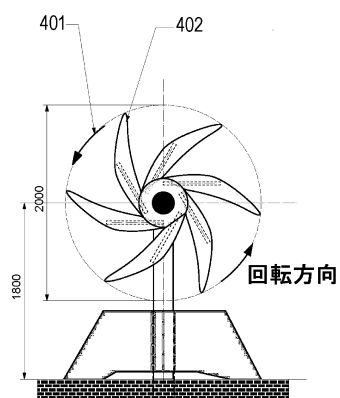
【図1】



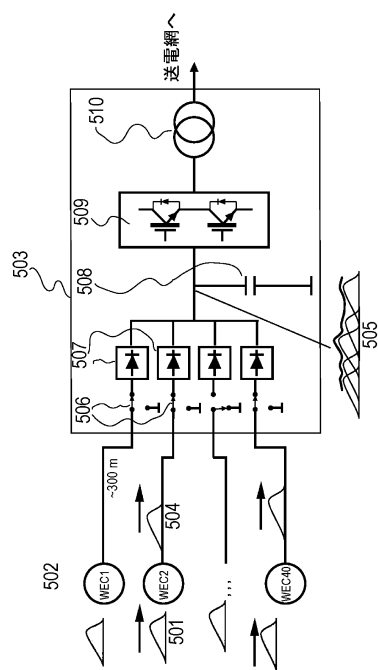
【図2】



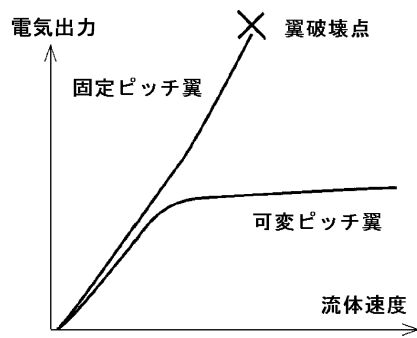
【 図 4 A 】



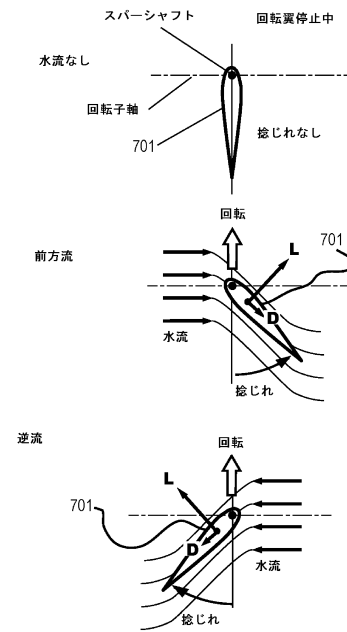
【 図 5 】



【図 6】

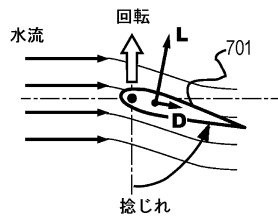


【図 7】

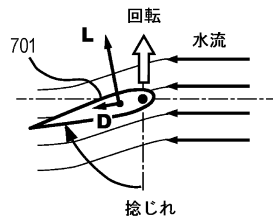


【図 8】

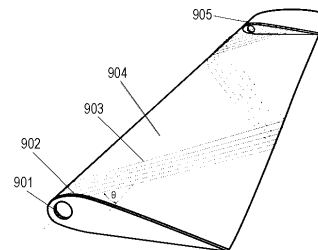
極度の前方流



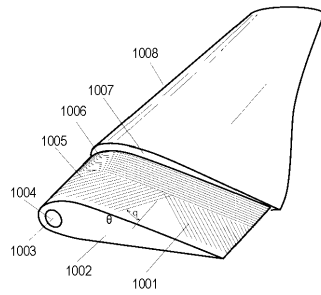
極度の逆流



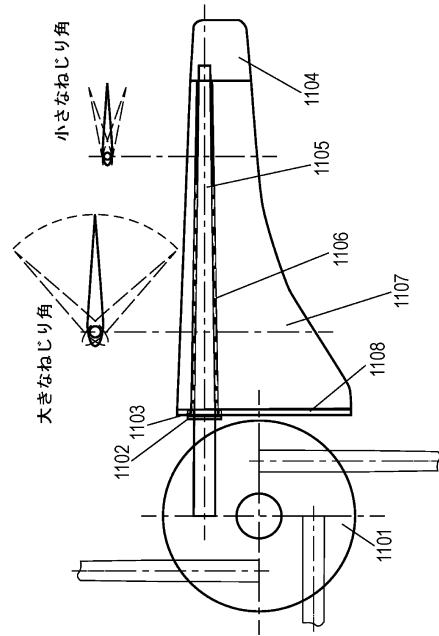
【図 9】



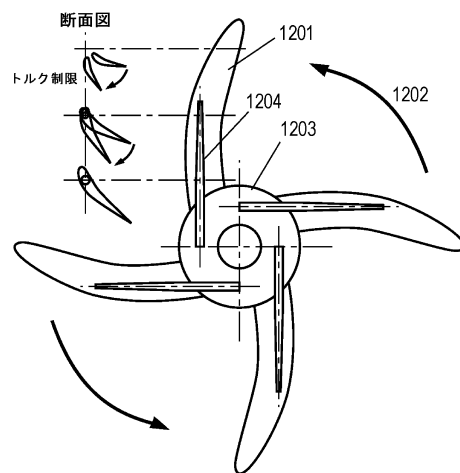
【図 10】



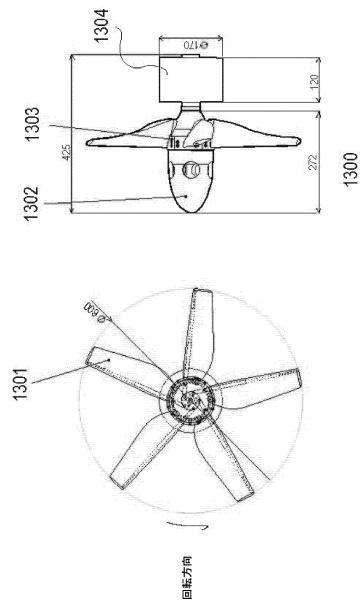
【図 11】



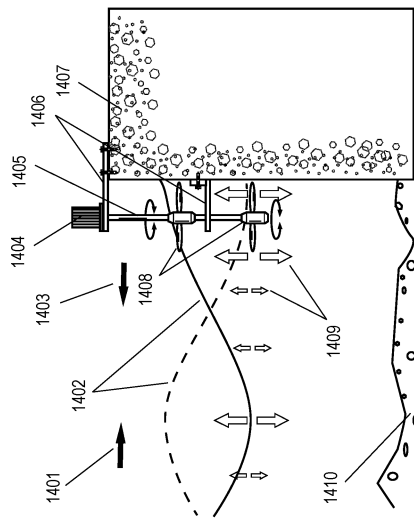
【図 12】



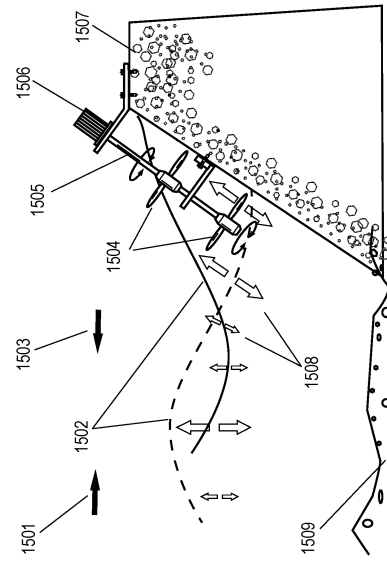
【図 13】



【図 14】



【図 15】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-288139(JP,A)  
米国特許出願公開第2003/0193197(US,A1)  
米国特許出願公開第2009/0146428(US,A1)  
特公昭44-028402(JP,B1)  
米国特許出願公開第2012/0280504(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
F03B 13/22  
F03B 3/04