

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6529113号  
(P6529113)

(45) 発行日 令和1年6月12日(2019.6.12)

(24) 登録日 令和1年5月24日(2019.5.24)

(51) Int. Cl.

F 0 3 B 13/24 (2006.01)

F I

F 0 3 B 13/24

請求項の数 12 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-266261 (P2014-266261)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成26年12月26日(2014.12.26)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術 研究所
(65) 公開番号	特開2016-125412 (P2016-125412A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成28年7月11日(2016.7.11)	(74) 代理人	110001210
審査請求日	平成29年12月12日(2017.12.12)		特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
		(72) 発明者	園分 健太郎
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
		(72) 発明者	井上 俊司
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
		(72) 発明者	下里 耕平
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動水柱型波力発電装置及びそれに用いられる空気室容積導出用の制御則を定める方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流  
れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置であって、

前記水柱の動揺固有周期を調整する動揺固有周期調整手段と、

前記波の波周期を検出する波状態検出手段と、

前記波状態検出手段で検出された前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こす  
ときの空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求め、前記等価  
減衰に基づいて前記共振を起こすように前記動揺固有周期調整手段を制御する動揺固有周  
期制御手段を備えたことを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

【請求項2】

請求項1に記載の振動水柱型波力発電装置であって、

前記動揺固有周期調整手段は、前記空気室の容積を変更する容積変更手段を備えたこと  
を特徴とする振動水柱型波力発電装置。

【請求項3】

請求項2に記載の振動水柱型波力発電装置であって、

前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記波周期に前  
記水柱の動揺固有周期を合わせるための空気室容積導出用の制御則に適用し、前記空気室  
の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制  
御することを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

10

20

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記波状態検出手段は、さらに前記波の高さを検出し、  
 前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記高さを、前記水柱の動揺固有周期を合わせるための前記空気室容積導出用の前記制御則にさらに適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

## 【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記波状態検出手段は、前記波周期を常時又は一定時間間隔で自動検出し、  
 前記動揺固有周期制御手段は、前記自動検出された前記波周期を前記制御則に適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

10

## 【請求項 6】

請求項 2 から 5 のいずれか 1 項に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記動揺固有周期制御手段は、前記発電機の発電機負荷を制御することを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

## 【請求項 7】

請求項 2 から 6 のいずれか 1 項に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室の容積を変更するピストンを備えることを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

20

## 【請求項 8】

請求項 2 から 6 のいずれか 1 項に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室への連通路を開閉する開閉バルブを備えることを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

## 【請求項 9】

請求項 2 から 6 のいずれか 1 項に記載の振動水柱型波力発電装置であって、  
 前記容積変更手段は、前記空気室の一部を間仕切りする可動式の隔壁と、前記隔壁を移動させる隔壁移動手段を備えることを特徴とする振動水柱型波力発電装置。

## 【請求項 10】

入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置において、前記波の状況に応じて前記水柱の動揺固有周期を調整する際に前記空気室の容積を算出するための制御則を求め方法であって、

30

前記波の波周期を設定するステップ 1 と、

前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速を求めるステップ 2 と、

前記発電機の負荷を設定するステップ 3 と、

前記空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求めるステップ 4 と、

40

前記等価減衰に基づいて前記共振を起こす前記空気室の容積を求めるステップ 5 を備えたことを特徴とする空気室容積導出用の制御則を求め方法。

## 【請求項 11】

請求項 10 に記載の空気室容積導出用の制御則を求め方法であって、

前記ステップ 5 で求められた前記共振に必要な前記空気室の容積を前記振動水柱型波力発電装置の全体系に適用して全体系の挙動を推定し、前記ステップ 2 にフィードバックすることによって、前記挙動の推定から得られる前記共振を起こすときの前記空気流速を求めことを特徴とする空気室容積導出用の制御則を求め方法。

## 【請求項 12】

請求項 11 に記載の空気室容積導出用の制御則を求め方法であって、

50

前記ステップ2では、前記波の上下動による前記空気室内の空気の応答倍率を平均的な前記等価減衰に対応する値として定めて前記空気流速の初期値を求めることを特徴とする空気室容積導出用の制御則を求める方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動水柱型波力発電装置及びそれに用いられる空気室容積導出用の制御則を求める方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、海洋等での波のエネルギーを利用して発電を行う波力発電装置が注目されている。波力発電装置としては、没水部の一部が開放された空気室を設置し、ここから入射した波によって空気室内の水面を上下させ、空気室の空気容積の変化に伴う空気の流動によって空気口に設置した空気タービンを回転させることによって発電を行う振動水柱型波力発電装置が挙げられる。空気タービンには、往復空気流中で同一方向に回転するウェルズタービンが使用されることもある。

【0003】

このような波力発電装置において、空気タービンに出入りする空気の流路内に非常用の絞り弁を設けて、空気タービンの速度又は波高が設定値以上となったときに絞り弁を動作させて空気タービンに流入する空気の流量を制御する構成が開示されている（特許文献1）。また、シリンダと、シリンダ内に嵌合された浮力を有するピストンを備え、ピストンの上下動によって空気の流れを生み出すエネルギー変換装置において、シリンダの上部に逆止め弁と電磁弁を備えた送気管を設け、ピストンがシリンダの空気室の上限位置に接近したことを検出する第1センサの出力により電磁弁を閉じる構成が開示されている（特許文献2）。

【0004】

また、空気室内の空気容積の増大にともなって空気室内への空気の流入を許容する吸気弁と、空気容積の減少にともなって空気室外への空気の流出を許容する排気弁と、空気を貯蔵して所定圧力以上となったときに発電機へ空気を供給する圧力調整弁を備える波力発電装置が開示されている（特許文献3）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開昭54-55251号公報

【特許文献2】特開2011-21559号公報

【特許文献3】特開2003-3943号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、振動水柱型波力発電装置では、入射する波面の上下動の周期（波周期）や波の高さ（波高）によって発電機における発電効率が変化する。したがって、波周期や波高に応じて、発電効率を最大化することが望まれる。

【0007】

従来、空気室の容積（空気ばね）が振動水柱型波力発電装置の全体挙動に有意な影響を持つとの認識が無く、水による復原力のみでの調整で発電の効率化を図っていた。しかしながら、振動水柱型波力発電装置の製造後に、水の復原力を調整するために水面下の形状を変更することは難しく、運転中の波の状態に応じて水の復原力を制御するという事は困難である。

【0008】

本発明は、空気室の容積（空気ばね）を調整することによって波条件に応じて水柱の動

10

20

30

40

50

揺固有周期を変更して発電を高効率化する振動水柱型波力発電装置及びそれに用いられる空気室容積導出用の制御則を求める方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の請求項1に係る振動水柱型波力発電装置は、入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置であって、前記水柱の動揺固有周期を調整する動揺固有周期調整手段と、前記波の波周期を検出する波状態検出手段と、前記波状態検出手段で検出された前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求め、前記等価減衰に基づいて前記共振を起こすように前記動揺固有周期調整手段を制御する動揺固有周期制御手段を備えたことを特徴とする振動水柱型波力発電装置である。

【0010】

また、前記動揺固有周期調整手段は、前記空気室の容積を変更する容積変更手段を備えたことが好適である。前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記波周期に前記水柱の動揺固有周期を合わせるための空気室容積導出用の制御則に適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することが好適である。また、前記波状態検出手段は、さらに前記波の高さを検出し、前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記高さを前記水柱の動揺固有周期を合わせるための前記空気室容積導出用の前記制御則にさらに適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することが好適である。

【0011】

このとき、前記波状態検出手段は、前記波周期を常時又は一定時間間隔で自動検出し、前記動揺固有周期制御手段は、前記自動検出された前記波周期を前記制御則に適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することが好適である。

【0012】

具体的には、例えば、前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室の容積を変更するピストンを備えることが好適である。また、例えば、前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室への連通路を開閉する開閉バルブを備えることが好適である。なお、前記補助空気室と前記開閉バルブは複数組設けてもよい。また、例えば、前記容積変更手段は、前記空気室の一部を間仕切りする可動式の隔壁と、前記隔壁を移動させる隔壁移動手段を備えることが好適である。なお、前記隔壁と前記隔壁移動手段は複数組設けてもよい。

【0013】

また、前記動揺固有周期制御手段は、前記発電機の発電機負荷を制御することが好適である。

【0014】

本発明の請求項10に係る空気室容積導出用の制御則を求める方法は、入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置において、前記波の状況に応じて前記水柱の動揺固有周期を調整する際に前記空気室の容積を算出するための制御則を求める方法であって、前記波の波周期を設定するステップ1と、前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速を求めるステップ2と、前記発電機の負荷を設定するステップ3と、前記空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求めるステップ4と、前記等価減衰に基づいて前記共振を起こす前記空気室の容積を求めるステップ5を備えたことを特徴とする方法である。

【0015】

ここで、前記ステップ5で求められた前記共振に必要な前記空気室の容積を前記振動水

柱型波力発電装置の全体系に適用して全体系の挙動を推定し、前記ステップ2にフィードバックすることによって、前記挙動の推定から得られる前記共振を起こすときの前記空気流速を求めることが好適である。

【0016】

また、前記ステップ2では、前記波の上下動による前記空気室内の空気の応答倍率を平均的な前記等価減衰に対応する値として定めて前記空気流速の初期値を求めることが好適である。

【発明の効果】

【0017】

本発明の請求項1に係る振動水柱型波力発電装置によれば、入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置であって、前記水柱の動揺固有周期を調整する動揺固有周期調整手段と、前記波の波周期を検出する波状態検出手段と、前記波状態検出手段で検出された前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求め、前記等価減衰に基づいて前記共振を起こすように前記動揺固有周期調整手段を制御する動揺固有周期制御手段を備えたことによって、前記空気室内の空気を調整して前記空気室内の水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけることができ、空気の流れによる発電効率を向上させることができる。

【0018】

また、前記動揺固有周期調整手段は、前記空気室の容積を変更する容積変更手段を備えたことによって、前記空気室内の容積（空気ばね）をより容易に調整して前記空気室内の水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけることができる。したがって、空気の流れによる発電効率を容易に向上させることができる。

【0019】

また、前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記波周期に前記水柱の動揺固有周期を合わせるための空気室容積導出用の制御則に適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することによって、前記波の波周期に応じて前記水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけることができ、前記波の波周期に応じて発電効率を向上させることができる。

【0020】

また、前記波状態検出手段は、さらに前記波の高さを検出し、前記動揺固有周期制御手段は、前記波状態検出手段において検出された前記高さを、前記水柱の動揺固有周期を合わせるための前記空気室容積導出用の前記制御則にさらに適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することによって、前記波の波高に応じて前記水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけることができ、前記波の波高に応じて発電効率を向上させることができる。

【0021】

このとき、前記波状態検出手段は、前記波周期を常時又は一定時間間隔で自動検出し、前記動揺固有周期制御手段は、前記自動検出された前記波周期を前記制御則に適用し、前記空気室の容積を前記制御則によって導出された容積とするように前記動揺固有周期調整手段を制御することによって、時間的に変化する前記波の波周期に応じて発電効率を容易に向上させることができる。

【0022】

また、前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室の容積を変更するピストンを備えることによって、前記波の条件に応じて前記ピストンを移動させることで水柱の動揺周期を容易に変更することが可能となる。また、前記容積変更手段は、前記空気室に連通した補助空気室と、前記補助空気室への連通路を開閉する開閉バルブを備えることによって、前記波の条件に応じて前記開閉バルブを開閉させることで

水柱の動揺周期を容易に変更することが可能となる。また、前記容積変更手段は、前記空気室の一部を間仕切りする可動式の隔壁と、前記隔壁を移動させる隔壁移動手段を備えることによって、前記波の条件に応じて前記隔壁を移動させることで水柱の動揺周期を容易に変更することが可能となる。

【0023】

また、前記動揺固有周期制御手段は、前記発電機の発電機負荷を制御することによって、前記発電機のタービンの等価減衰を調整して前記空気室内の水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけることができ、空気の流れによる発電効率を向上させることができる。

【0024】

本発明の請求項10に係る空気室容積導出用の制御則を求める方法によれば、入射する波の上下動により空気室内の水柱を振動させて空気の流れを起こし、空気の流れを利用して発電機で発電を行う振動水柱型波力発電装置において、前記波の状況に応じて前記水柱の動揺固有周期を調整する際に前記空気室の容積を算出するための制御則を求める方法であって、前記波の波周期を設定するステップ1と、前記波周期と前記水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速を求めるステップ2と、前記発電機の負荷を設定するステップ3と、前記空気流速に基づいて前記発電機を回転させるタービンの等価減衰を求めるステップ4と、前記等価減衰に基づいて前記共振を起こす前記空気室の容積を求めるステップ5を備えたことによって、前記空気室内の水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけるための制御則を求めることができ、その制御則に則って空気の流れによる発電効率を向上させることができる。

【0025】

ここで、前記ステップ5で求められた前記共振に必要な前記空気室の容積を前記振動水柱型波力発電装置の全体系に適用して全体系の挙動を推定し、前記ステップ2にフィードバックすることで、前記挙動の推定から得られる前記共振を起こすときの前記空気流速を求めることによって、空気の流れによる発電効率をより向上させるための制御則を求めることができる。

【0026】

また、前記ステップ2では、前記波の上下動による前記空気室内の空気の応答倍率を平均的な前記等価減衰に対応する値として定めて前記空気流速の初期値を求めることによって、適切な初期値に基づいて前記空気室内の水柱の動揺固有周期を前記波の波周期にできるだけ近づけるための制御則を求めることができ、その制御則に則って空気の流れによる発電効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の実施の形態における振動水柱型波力発電装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態における振動水柱型波力発電装置による発電を説明する図である。

【図3】振動水柱型波力発電装置の力学モデルを示す図である。

【図4】本発明の実施の形態における気室容積導出用の制御則を求める方法のフローチャートである。

【図5】空気部の容積及び空気タービンの等価減衰と水柱振動の動揺固有周期との関係を示す図である。

【図6】空気タービンの等価減衰と回収エネルギー量との関係を示す図である。

【図7】本発明の実施の形態における振動水柱型波力発電装置の制御方法のフローチャートである。

【図8】変形例1における振動水柱型波力発電装置の構成を示す図である。

【図9】変形例1における振動水柱型波力発電装置の具体的な構成を示す図である。

【図10】変形例2における振動水柱型波力発電装置の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 8 】

本発明の実施の形態における振動水柱型波力発電装置 1 0 0 は、図 1 に示すように、空気室 1 0、空気連通室 1 2、空気タービン 1 4、発電機 1 6、弁 1 8 ( 1 8 a , 1 8 b , 1 8 c , 1 8 d )、補助空気室 2 0、ピストン 2 2、アクチュエータ 2 4、制御部 2 6、波周期センサ 2 8、波高センサ 3 0 及び負荷調整部 3 2 を含んで構成される。

## 【 0 0 2 9 】

空気室 1 0 は、図 2 に示すように、海洋等の水中に開口しており、入射する波により水 ( 水柱 ) を振動させて、その水柱の上下動により内部の空気の容積の相対的な変化による空気の流れを生み出す。空気連通室 1 2 は、弁 1 8 ( 1 8 a , 1 8 b ) を介して空気室 1 0 に連通すると共に、弁 1 8 ( 1 8 c , 1 8 d ) を介して外気に連通している。空気室 1 0 内の水柱が上昇して、内部の空気の容積が減少したときは、図 2 ( a ) に示すように、空気室 1 0 内の空気が弁 1 8 b を介して空気連通室 1 2 に流入し、弁 1 8 c を介して空気連通室 1 2 から外部へ排出される。一方、空気室 1 0 内の水柱が低下して、内部の空気の容積が増加したときは、図 2 ( b ) に示すように、弁 1 8 d を介して空気連通室 1 2 へ外部から空気が吸引され、弁 1 8 a を介して空気連通室 1 2 から空気室 1 0 へ流入する。

## 【 0 0 3 0 】

空気連通室 1 2 内には、空気タービン 1 4 及び発電機 1 6 が配置され、弁 1 8 を介して空気連通室 1 2 内に流通する空気によって空気タービン 1 4 が回転させられ、空気タービン 1 4 によって発電機 1 6 が駆動される。このとき、図 2 に示したように、弁 1 8 によって空気タービン 1 4 に対して常に同一方向に空気の流れが生じて、発電が安定的に行われる。

## 【 0 0 3 1 】

振動水柱型波力発電装置 1 0 0 は、図 3 に示す力学モデルで表わすことができる。従来、空気室 1 0 の空気ばねが振動水柱型波力発電装置 1 0 0 の全体挙動に有意な影響を持つとの認識が無く、水による復原力のみでの調整で回収するエネルギーの最大化を行っていた。しかしながら、上記課題において示したように、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 の水面下の形状を運転中に変更することは困難であり、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 の設計時に調整された状態に固定されていた。そこで、本実施の形態では、発電運転中に空気室 1 0 の空気容積を変えて力学モデルにおける空気ばねの強さを調整することによって空気室 1 0 における水柱に対する動揺固有周期を調整して回収できるエネルギーの最大化を波条件に応じて行う。

## 【 0 0 3 2 】

そこで、本実施の形態における振動水柱型波力発電装置 1 0 0 は、波の状態を検出する波状態検出手段、空気室 1 0 内の水柱の動揺固有周期を調整する動揺固有周期調整手段及び波状態検出手段で検出された波の状態に応じて動揺固有周期調整手段を制御する動揺固有周期制御手段を備える。

## 【 0 0 3 3 】

本実施の形態では、波状態検出手段は、波周期センサ 2 8 及び波高センサ 3 0 を含んで構成される。波周期センサ 2 8 は、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 が設置された場所における波の周期を測定するセンサである。波周期センサ 2 8 において測定された波周期は制御部 2 6 に入力される。波高センサ 3 0 は、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 が設置された場所における波の高さを測定するセンサである。波高センサ 3 0 において測定された波高は制御部 2 6 に入力される。波周期センサ 2 8 及び波高センサ 3 0 は、例えば、水に対して感度を有する近接センサによって水面までの距離及び水面までの距離の時間的な変化を測定することによって実現することができる。

## 【 0 0 3 4 】

なお、本実施の形態では、波周期センサ 2 8 及び波高センサ 3 0 をそれぞれ別に設けた構成としたが、波周期センサ 2 8 及び波高センサ 3 0 を 1 つのセンサで実現することもできる。また、波周期センサ 2 8 及び波高センサ 3 0 は、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 に内蔵する構成としたが、振動水柱型波力発電装置 1 0 0 とは別に設置してもよい。この場

合、波周期センサ 28 及び波高センサ 30 で測定される波周期及び波高は外部信号として振動水柱型波力発電装置 100 に入力される。

【0035】

また、本実施の形態では、動揺固有周期調整手段は、補助空気室 20、ピストン 22 及びアクチュエータ 24 を含んで構成される。ここでは、補助空気室 20、ピストン 22 及びアクチュエータ 24 は容積変更手段として使用される。補助空気室 20 は、空気室 10 に連通した筒状の筐体であり、その内部に空気で占められた空間を有する。補助空気室 20 は、空気室 10 内と組み合わされて空気部分の容積を変更するために用いられる。ピストン 22 は、補助空気室 20 内に嵌め込まれ、補助空気室 20 内を移動することにより補助空気室 20 内の空間を空気室 10 に連通する部分と連通しない部分の容積を調整するために設けられる。アクチュエータ 24 は、補助空気室 20 内においてピストン 22 を移動させるための駆動手段である。アクチュエータ 24 は、制御部 26 からのピストン制御信号を受けて、ピストン制御信号で定められるピストン位置にピストン 22 を移動させる。アクチュエータ 24 は、例えば、ピストン 22 の軸に連結されたボールネジ等を回転させるモータ等で実現することができる。

【0036】

さらに、本実施の形態では、動揺固有周期調整手段は、発電機 16 の負荷調整部 32 を含んで構成される。負荷調整部 32 は、制御部 26 からの負荷制御信号を受けて、負荷制御信号で定められる発電機 16 の負荷に設定する。発電機 16 の負荷を調整することにより、図 3 における空気タービン 14 の等価減衰が変化する。

【0037】

動揺固有周期制御手段は、制御部 26 を含んで構成される。制御部 26 は、波周期センサ 28 及び波高センサ 30 からそれぞれ波周期及び波高の測定結果を受けて、波周期及び波高を制御則に当て嵌めて動揺固有周期調整手段を制御して水柱に対する動揺固有周期を設定する。

【0038】

上記のように、動揺固有周期は、空気室 10 に連通する補助空気室 20 の容積及び発電機 16 の負荷を調整することによって設定される。すなわち、制御則は、数式 (1) 及び数式 (2) のように波周期  $T$  及び波高  $H$  を引数とする補助空気室 20 の容積  $V$  及び発電機 16 の負荷  $L$  の関数として表わされる。

[数 1]

補助空気室 20 の容積  $V = V(T, H) \cdots (1)$

[数 2]

発電機 16 の負荷  $L = L(T, H) \cdots (2)$

【0039】

制御則は、図 4 のフローチャートに沿って求められる。まず、ステップ S1 として、波周期  $T$  及び波高  $H$  を設定する。そして、ステップ S2 として、波周期  $T$  と空気室 10 内に形成されたる水柱の動揺固有周期が共振を起こすときの空気流速を求める。このとき、波の上下動による空気室 10 内の空気の応答倍率を発電機 16 の負荷による平均的な等価減衰に対応する値として定めて空気流速の初期値を求めることが好適である。ステップ S3 として、ステップ S2 で求められた空気流速に応じて発電機 16 の負荷  $L$  を設定する。ステップ S4 として、空気流速に基づいて発電機 16 を回転させる空気タービン 14 の等価減衰を求める。ステップ S5 として、ステップ S4 で求められた等価減衰に基づいて空気室 10 の水柱と共振を起こす空気室 10 と補助空気室 20 の空気部の容積  $V$  を求める。

【0040】

このようにして、波周期  $T$  及び波高  $H$  に応じて、空気室 10 内に形成されたる水柱の動揺固有周期が共振を起こすように補助空気室 20 の容積  $V$  及び発電機 16 の負荷  $L$  を調整するための制御則を求めることができる。

【0041】

このとき、図 5 に示すように、空気室 10 及び補助空気室 20 によって形成される空気

部の容積 $V$ と発電機16の負荷 $L$ によって定まる空気タービン14の等価減衰との両方に  
 応じて水柱振動の固有周期は変化する。すなわち、同じ動揺固有周期とするための空気部  
 の容積 $V$ と空気タービン14の等価減衰の組み合わせは等周期線上の様々な組み合わせと  
 して表わされる。そこで、ステップS4で求められた空気タービン14の等価減衰（発電  
 機16の負荷 $L$ ）、又は、ステップS5で求められた空気部の容積 $V$ の少なくとも1つを  
 ステップS2にフィードバックして制御則を求めてもよい。すなわち、ステップS5で求  
 められた共振に必要な空気部の容積 $V$ を振動水柱型波力発電装置100の全体系に適用し  
 て全体系の挙動を推定し、ステップS2にフィードバックすることによって挙動の推定か  
 ら得られる共振を起こすときの空気流速を求めることが好適である。その際に、図6に示  
 すように、空気タービン14の等価減衰に応じて発電機16によって回収できるエネルギー  
 量が変化するので、できるだけ高い回収エネルギー量となる空気タービン14の等価減衰  
 とすることが好適である。

#### 【0042】

このようにして設定された制御則に則って振動水柱型波力発電装置100の制御が行わ  
 れる。具体的には、図7に示すフローチャートに沿って制御が行われる。ステップS10  
 では、波周期センサ28及び波高センサ30によって波周期 $T$ 及び波高 $H$ が測定される。  
 測定された波周期 $T$ 及び波高 $H$ は制御部26へ入力される。ステップS11では、波周期  
 $T$ 及び波高 $H$ を制御則に導入して空気室10の水柱の動揺固有周期が入力された波周期 $T$   
 となるように空気部の容積 $V$ 及び発電機16の負荷 $L$ を導出する。制御則は、上記制御則  
 を求める方法に基づいて、振動水柱型波力発電装置100の系毎に予め求めておけばよい  
 。なお、制御則自体を波周期 $T$ 及び波高 $H$ を引数とする関数として記憶させておいてもよ  
 いし、波周期 $T$ 及び波高 $H$ の組み合わせ毎に制御則で求められた値をテーブルとして記憶  
 させておいてもよい。ステップS12では、ステップS11において求められた空気部の  
 容積 $V$ 及び発電機16の負荷 $L$ となるよう、またはステップS11において求められた空  
 気部の容積 $V$ 及び発電機16の負荷 $L$ に最も近づくように指令信号（ピストン制御信号及  
 び負荷制御信号）を生成する。ステップS13では、ステップS12で生成された指令信  
 号に基づいてアクチュエータ24及び負荷調整部32を実際に制御する。具体的には、制  
 御部26は、アクチュエータ24へピストン制御信号を出力し、アクチュエータ24を駆  
 動させて空気室10とそれに連通する補助空気室20の空気部の容積をステップS11に  
 おいて求められた空気部の容積 $V$ となる、又はそれに最も近づくように変化させる。また  
 、制御部26は、負荷調整部32へ負荷制御信号を出力し、発電機16の負荷をステップ  
 S11において求められた発電機16の負荷 $L$ となる、またはそれに最も近づくように変  
 化させる。

#### 【0043】

以上のように、本実施の形態における振動水柱型波力発電装置100では、空気室10  
 に連通する補助空気室20を設けることによって、補助空気室20を利用して空気室10  
 の空気部の容積を調整することで波条件に応じて水柱の動揺固有周期を変更して発電を  
 高効率化することができる。さらに、発電機16に負荷調整部32を設けることによっ  
 て、発電機16の負荷を調整することで波条件に応じて水柱の動揺固有周期を変更して  
 発電を高効率化することができる。すなわち、振動水柱型波力発電装置100の設置後  
 に運転中の波の状態に応じて発電機16による発電効率が最適化された状態で運転を行  
 うことが可能となる。

#### 【0044】

なお、振動水柱型波力発電装置100を海洋に設置した場合、波の条件は数時間から数  
 日の時間で変化するので、それに合わせて数時間に一回から数日に一回の程度で水柱の  
 動揺固有周期を調整する制御を行えばよい。すなわち、波周期 $T$ 及び波高 $H$ は、波の状  
 況に応じて時間的に変化するので、常時又は一定時間間隔で測定されることが好適  
 である。

#### 【0045】

##### <変形例1>

上記実施の形態における振動水柱型波力発電装置100では、空気室10に連通する補

助空気室 20、ピストン 22 及びアクチュエータ 24 を設けることによって空気室 10 及び補助空気室 20 によって形成される空気部の容積を調整する構成とした。ただし、これに限定されるものではない。

【0046】

本変形例の振動水柱型波力発電装置 102 では、図 8 に示すように、空気室 10 に対して弁 42 (42a ~ 42d) を介して連通する補助空気室 40 (40a ~ 40d) を設けている。本変形例では、各弁 42 を開閉することによって、空気室 10 に連通する補助空気室 40 の数を変更することによって空気部の容積を調整する。より具体的には、制御部 26 は、波条件に応じて制御則に則って求められた空気部の容積  $V$  となるよう、またはその値に最も近づくように指令信号 (弁制御信号) を生成する。そして、生成された指令信号 (弁制御信号) によって開状態とする弁 42 (42a ~ 42d) の数を調整することによって、空気室 10 とそれに実際に連通する補助空気室 20 の空気部の容積を最適な空気部の容積  $V$  となる、又はそれに最も近づくようにする。

【0047】

図 9 は、振動水柱型波力発電装置 102 における補助空気室 40 の具体的な配置例を示す図である。図 9 (a) は上面図であり、図 9 (b) は側面図である。本例では、円筒状の空気室 10 の周囲に 90° の等間隔で 4 つの補助空気室 40 (40a ~ 40d) を配置している。

【0048】

<変形例 2>

本変形例の振動水柱型波力発電装置 104 では、図 10 に示すように、空気室 10 の内部空間を仕切る可動式の仕切り板 (隔壁) 44 を設けている。仕切り板 44 を空気室 10 内において移動させることによって空気連通室 12 に連通する空気室 10 内の空気部の容積を変更することができる。仕切り板 44 には、アクチュエータ (図示しない) を設けて移動させるようにすればよい。より具体的には、制御部 26 は、波条件に応じて制御則に則って求められた空気部の容積  $V$  となるよう、またはその値に最も近づくように指令信号 (弁制御信号) を生成する。そして、生成された指令信号 (弁制御信号) に応じて仕切り板 44 の位置を変更することによって、空気室 10 内の空気部の容積を最適な空気部の容積  $V$  となる、又はそれに最も近づくようにする。

【0049】

なお、本変形例における振動水柱型波力発電装置 104 には 1 つの仕切り板 44 を設けたが、これに限定されるものではなく、複数の仕切り板 44 を設けてもよい。また、複数の仕切り板 44 によって仕切られる方向も適宜変更してもよい。この場合、例えば、複数の仕切り板 44 を開ける数により、空気室 10 内の空気部の容積を最適な空気部の容積  $V$  となるよう、又はそれに最も近づくようにすることができる。

【0050】

なお、上記実施の形態、変形例 1 及び 2 においては、空気室 10 の容積 (空気ばね) を変更して空気室 10 内の水柱の動揺固有周期を波の波周期に近づける例を示したが、空気の流れによる減衰効果 (空気ダンパー) を利用しても同様な調整が可能であり、またこれらを組み合わせて使用することもできる。

【産業上の利用可能性】

【0051】

本発明は、液体の動きによって生ずる気体の流れを利用するシステムであれば適用することができる。例えば、振動水柱型波力発電装置のみならず、可動物体型波力発電装置等の他の型の発電装置に適用することができる。また、海洋の波を利用した発電のみならず、水位の変化が発生する湖沼等における波を利用した発電に利用することができる。

【符号の説明】

【0052】

10 空気室、12 空気連通室、14 空気タービン、16 発電機、18 (18a ~ 18d) 弁、20 補助空気室、22 ピストン、24 アクチュエータ、26 制

10

20

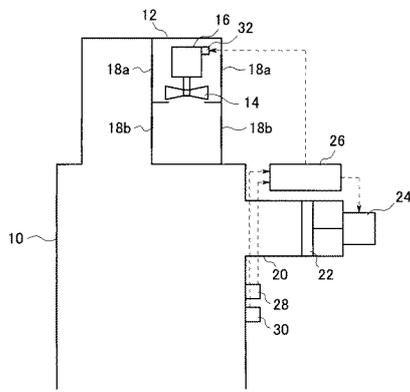
30

40

50

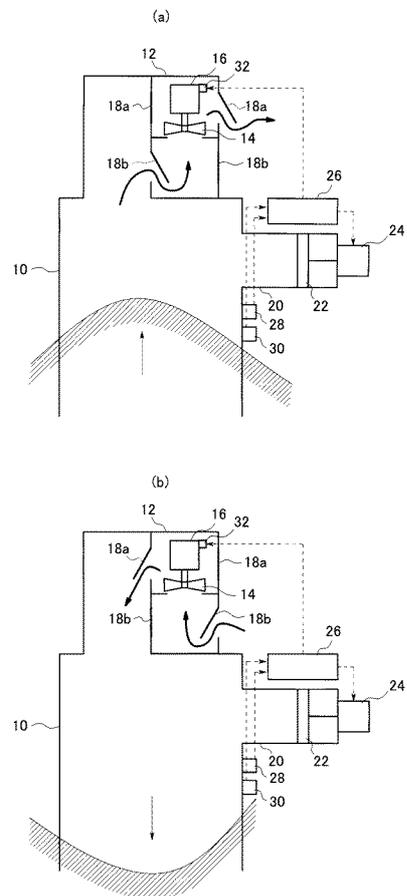
御部、28 波周期センサ、30 波高センサ、32 負荷調整部、40 (40a ~ 40d) 補助空気室、42 (42a ~ 42d) 弁、44 仕切り板、100, 102, 104 振動水柱型波力発電装置。

【図1】

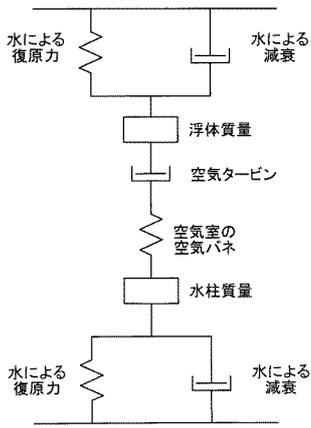


100

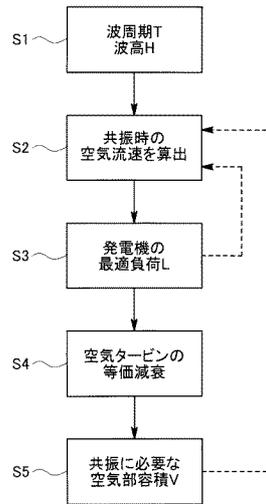
【図2】



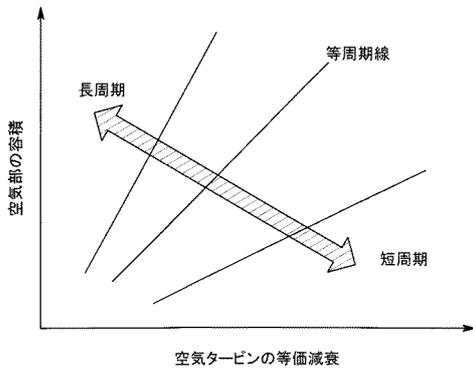
【 図 3 】



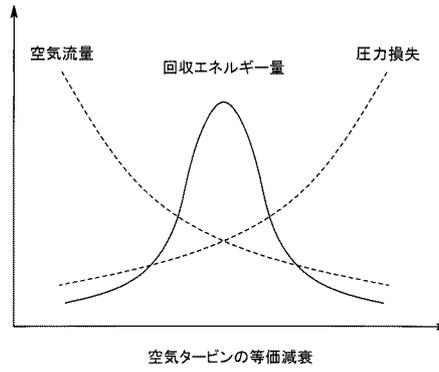
【 図 4 】



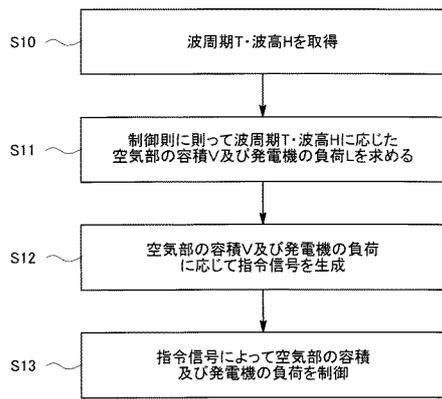
【 図 5 】



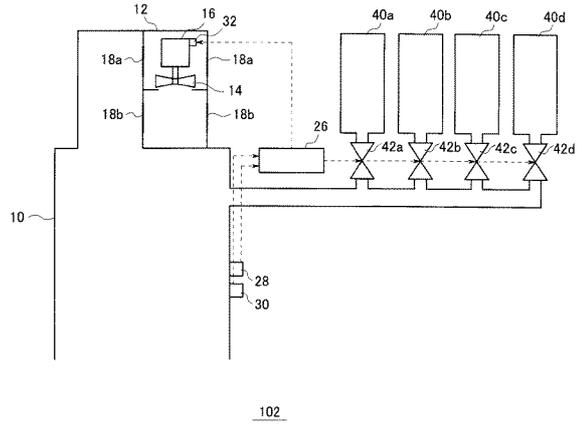
【 図 6 】



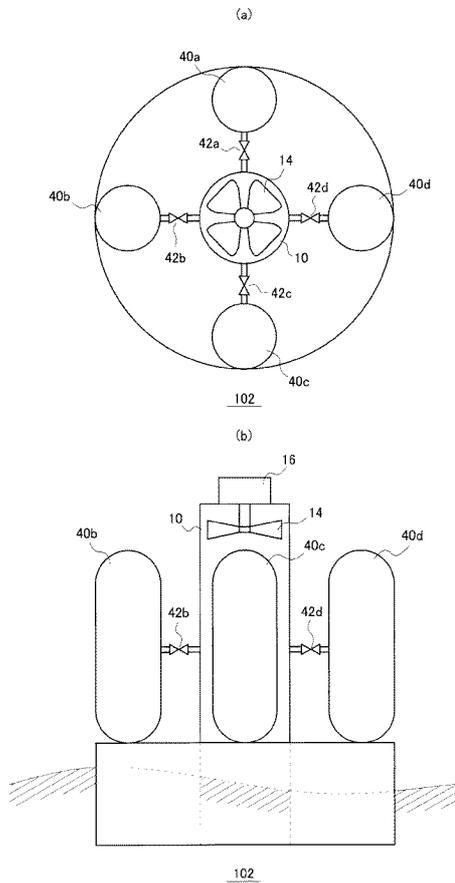
【 図 7 】



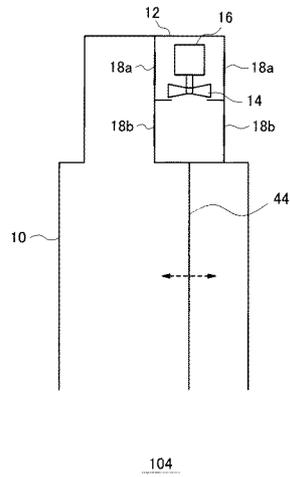
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松井 亨介

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 番 1 号 独立行政法人海上技術安全研究所内

審査官 冨永 達朗

(56)参考文献 特開昭 5 5 - 1 5 1 1 7 6 ( J P , A )

特開昭 5 4 - 0 8 4 1 4 8 ( J P , A )

特開平 1 0 - 1 7 6 6 4 9 ( J P , A )

特開昭 5 6 - 0 3 8 5 7 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

F 0 3 B 1 3 / 2 4