

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 29 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630460

研究課題名(和文)振り子式発電へのフラフープ型発電装置の適用

研究課題名(英文)Application of the hoop type generator to the VIM swing pillar

研究代表者

寺尾 裕 (Terao, Yutaka)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：10138638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：流体中円柱のVIMを用いた発電装置で、低速流中の基礎研究を行った。これは流体中左右に振動する振子で、円柱上部にフープ式発電装置を組み込んだ。本システム性能把握のため、小型模型を製作、またその計測に新制作のData Loggerで、発電量とフープ運動を計測した。これより円柱の発電効率の良い配置を見出すことができた。またフープ式発電装置と、振動円柱は2重振子を構成し、その振子運動は強非線形復元力下での大振幅運動となる。その解析のため新たな振子運動方程式を構築、数値解析を行い、この運動系にはカオスが発生する発生領域が分かった。またカオス発生を制御すれば高性能の発電性能を発揮できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Newly developed the hoop type VIM generator system is tested in the circular tank. This is a pendulum type pillar connected in the bottom. VIM swinging motion of the pillar in the low speed current makes circular motion of the hoop pendulum and motion generate electricity. Small sized model is prepared for circular channel test and also developed a data logger system. Microchip PIC18F2553 core data logger system acquired 8 channel 20Hz 12bit A/D sampling data. From the circular water channel test, maximum efficiency layout of the pillar is shown and electricity performance. Analytical solution of the hoop motion is studied numerically. Newly developed the equation of the pendulum motion, this is composed dual-pendulum system, is large amplitude under the nonlinear strong restoring gravitational force. From numerical analysis, chaos phenomena and region is shown. Controlling this chaos motion of the pendulum, there might be higher efficiency performance of this system.

研究分野：船体運津学

キーワード：潮流発電 円柱のVIM フープ式発電 カオス制御

1. 研究開始当初の背景

低速な流場のエネルギーハーベストには、流体エネルギーからどのようなデバイスを採用しエネルギーを抽出するかにより研究の方向性が決まり、コスト性能が決まる。それは全体システムが、デバイスコストにより大方定まるからである。

ここでは通常の翼車式回転運動発電という方式でない、デバイスと機能を採用した。そちらが、コスト的に将来性が高いと考えたからである。運動発生デバイスは円柱とし、その流れの中での運動 Vortex Induced Motion (VIM) からエネルギーを抽出することに着目した。

先行研究はアメリカの VIVACE であり、これは円柱の流体中の VIV 平行運動からエネルギー変換するもので、実機レベルでの検証実験がなされている。さらに日本では VIV 振子式のシステムが提案され、こちらが水槽実験解析でも VIVACE より発電性能が高い事がわかっていた。

そのため、この方法での新たな発電方法を考案し水槽実験および運動解析を行う。

2. 研究の目的

VIM による振動円柱の新たな発電方法を提案した。その性能を水槽実験から把握することを目的とした。フープ式発電装置を、円柱上部に配置し、発電システムを組み上げ、発電性能を水槽実験から評価する。

またそのシステムの性能解析を行う事として、フープの運動解析を試みる。

3. 研究の方法

小型振動円柱模型を作成し(Fig.5)、その上に装着する回転式フープ型発電装置を設計製作(Fig.3,4,5)し回流水槽での実験(Fig.6,7)による発電実験を行う。

水槽の制約から小型模型実験となり、計測には小型データロガー装置を新たに製作し(Fig.1,2)実験計測を行った。

また理論解析として、フープ発電装置の運動解析による性能評価を行う。フープ発電部分の振子運動解析には、振動浮体およびその上に取り付けられた発電部分の運動から新たな運動方程式を作る必要がある。そのため新たな運動方程式を作りあげた(Fig.12,13,14,15)。フープ発電部揺子は、大振幅強非線形の二重振子運動となる。そのため数値解析を行い、発電性能を把握することとした(Fig.16,17,18)。

4. 研究成果

新たな振動円柱装置を複数列配置し実験を行う事から、最高効率となる円柱配置がわかった(Fig.10,11)。

また揺子運動解析から、様々な運動をする事がわかり(Fig.20~26)、その中にカオスを発生することが明らかとなった(Fig.19,23)。このカオス現象を制御することでより高性能の発電性能を確保できる可能性が示され

た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 寺尾 裕:No.106 海洋工学懇談会; 振動円柱による流れのエネルギー吸収について - フープを用いた VIV 振動発電 -, 2014.12.08

2. Yutaka TERAO:ISFA2016; PENDULUM WITH HOOP-TYPE FLOW ENERGY CONVERTER SYSTEM,2016.05.16

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

寺尾 裕 (TERAO, Yutaka)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号: 1023456

4本LANコネクタとUSB接続で計測



Fig.1新たに制作したData Logger System

PCと接続し計測
信号解析ソフトは自作



Fig.2 PCに接続してデータ計測、表示および解析プログラムは自作とした。

DCモータの発電性能確認
オペアンプで電圧を上げて計測



Fig.3 最適な発電装置を選択する。

不平衡錘振動部と計測部
出力電圧と傾斜角計測(電源投入状態)



Fig.4 作成したフープ部分。ケースの中に発電装置と傾斜計を配置してある。

円柱振動部の取り付け状況

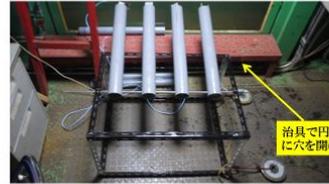


Fig.5 振動円柱模型

回流水槽中での実験状況
手前から流速を与える



Fig.6 円柱列を回流水槽に配置し、計測を行う。流れの向きは図下から上

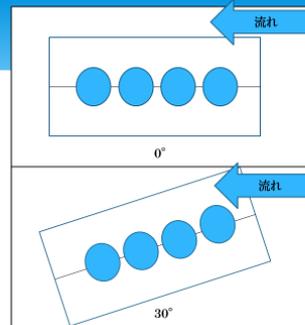


Fig.7円柱列は流れに傾けて計測する

円柱振動数 (St=0.21)

D(m)	0.060		
U(m/s)	0.250	0.300	0.350
f(Hz)	1.084	1.343	1.531
Period(s)	0.914	0.742	0.653

D(m)	0.090		
U(m/s)	0.250	0.300	0.350
f(Hz)	0.875	1.050	1.225
Period(s)	1.143	0.952	0.816

D(m)	0.075		
U(m/s)	0.250	0.300	0.350
f(Hz)	0.891	0.899	0.867
Period(s)	1.122	1.101	1.141

D(m)	0.114		
U(m/s)	0.250	0.300	0.350
f(Hz)	0.461	0.553	0.645
Period(s)	2.171	1.810	1.551

Fig.8 計測されたVIM振動

実験条件

錘位置[mm]	流速[m/s]	流込み角度 [deg]	円柱間隔 [mm]
100	0.25	0°	100
80	0.3	30°	
60	0.35		
40			
錘なし			

Fig.9 実験状態

最大発電量

てし対にれ流0°		てし対にれ流30°	
流速[m/s]	平均値[mw]	流速[m/s]	平均値[mw]
0.25	0.92	0.25	0.93
0.3	1.16	0.3	1.69
0.35	1.76	0.35	2.02

外径76mm 円柱

Fig.10 実験で得られた発電量

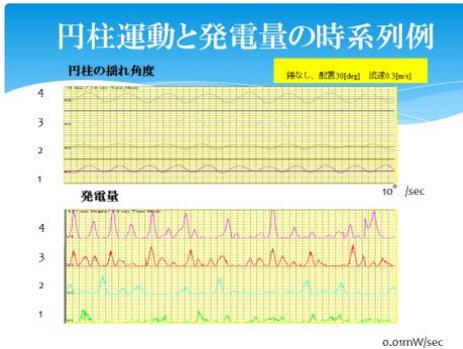


Fig.11 実験で得られた円柱の運動と発電量

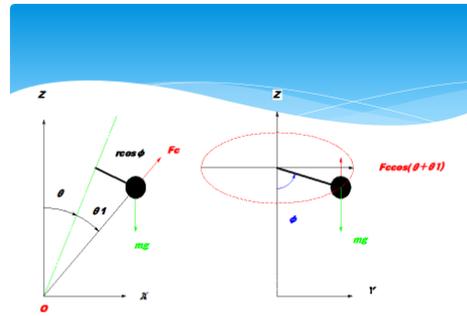


Fig.12 フープ運動を解析するための座標

運動方程式

錘の平面内の運動方程式は

$$mr\ddot{\phi} + cr\dot{\phi} + \sin\phi(mg\sin\theta + F_c\sin\theta_1) = 0$$

見かけの遠心力F_cは

$$F_c = \frac{mv^2}{R_1} = \frac{m(R_1\dot{\phi})^2}{R_1} = mR_1\dot{\phi}^2$$

また幾何学的な条件より

$$\sin\theta_1 = \frac{r_1}{R_1} = \frac{rcos\phi}{R_1}$$

よって方程式は

$$mr\ddot{\phi} + cr\dot{\phi} + m\sin\phi(g\sin\theta + r\dot{\phi}^2\cos\phi) = 0$$

となり遠心力の寄与からR_1の成分が消える。

Fig.13 フープの運動解析のための新たな運動方程式

運動方程式

$$\ddot{\phi} + \frac{c}{m}\dot{\phi} + \sin\phi\left(\frac{g}{r}\sin\theta + \dot{\phi}^2\cos\phi\right) = 0$$

を解けば良い。

強制振幅として明示して

$$\ddot{\phi} + \frac{c}{m}\dot{\phi} + \sin\theta\sin\phi = -\dot{\theta}^2\sin\phi\cos\phi$$

$$\ddot{\phi} + C\dot{\phi} + K\sin\phi = F_0$$

見出しは太角度揺りの運動形式であり、外力として少し面倒な強制力が加わった式にほかならない。

これをNew-Mark 法で解く。

外力は周期的と考えておく。

Fig.1

4 数値解析に使用した方程式。 2重振子の運動を解く

振幅と周期による錘運動の変化

振幅	10度	15度	20度	25度	30度	35度	40度	50度
周期	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.5	3.0
振幅	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0

Fig.15 強制横揺れ振幅と周期がフープの運動に与える変化

安定発散

黄: 式(1)の大きさ
赤: 振幅
緑: 振子振幅角



Fig.16 錘の安定な運動例
運動が拡散していく例
Fig.24 錘の不安定な運動例