

## 潮流発電システムにおける山登り法を用いた速度制御

### —異なる最大流速に対する発電機のトルク特性—

#### Speed Control using Hill-Climbing Searching for Tidal Current Power Generation System

#### —Generator Torque Characteristics for Different Maximum Current Speeds—

○秋葉一樹<sup>1</sup>, 辻健太郎<sup>2</sup>, 直井和久<sup>2</sup>, 塩野光弘<sup>2</sup>

\*Kazuki Akiba<sup>1</sup>, Kentaro Tsuji<sup>2</sup>, Kazuhisa Naoi<sup>2</sup>, Mitsuhiro Shiono<sup>2</sup>

Abstract: We proposed a speed control model using hill-climbing searching as one of tidal current power generation system of variable speed operation type. In this paper, we investigated the inclination of the torque characteristic of the generator that maximizes, tidal current power generation generated energy from the response when inputting sinusoidal variation of different maximum current speed. As a result, it was clarified that the value of the inclination of the torque characteristic of the generator at which tidal current power generation generated energy becomes the maximum differs depending on the maximum current speed.

### 1. はじめに

近年, 再生可能エネルギーによる発電方式が, これまで主流となっていた化石燃料による発電方式の代替として注目されている. 再生可能エネルギーの中でも潮流は流速および流向が一日の中で周期的に変化するため, 発電電力の予測が可能である. これまでに我々はダリウス形水車と二重給電誘導発電機(DFIG)が増速機を介して接続された可変速運転方式の潮流発電システムを提案した<sup>[1]</sup>. 可変速制御方式の一つとして, 流速計により流速を検出し, 既知の水車特性から最大水車出力を得るための発電機回転速度を決定し, 最大出力点で運転する最大出力点追従(MPPT)制御方式を提案した. しかし, 流速計の測定値と実際の流速に差がある場合, 最大出力点に追従できなくなる可能性がある. そこで流速計を必要とせず, 水車トルクと水車回転速度の測定により MPPT 制御可能な山登り法を用いた速度制御モデルを提案した<sup>[2]</sup>.

これまでに, 最大流速 3.9m/s, 1 周期 12 時間とする正弦波の半周期分を入力とし, 山登り法を用いた速度制御モデルを適応した際の応答から, 発電電力量を最大とする発電機のトルク特性についてシミュレーションにより検討した<sup>[3]</sup>. しかし, 2003 年の年間最大流速 3.9m/s が観測できるのは 2 日間のみであり発生頻度が少ないため<sup>[4]</sup>, 年間最大流速に満たない半周期分の最大流速に対して, 発電電力量を最大とする発電機のトルク特性について検討する必要がある.

本稿では異なる最大流速の正弦波を入力した際の応答から, 発電電力量を最大とする発電機のトルク特性の傾きを示す  $\alpha$  について, シミュレーションにより検討を行ったので報告する.

### 2. 潮流発電システム

図 1 に山登り法を用いて MPPT 制御を行う潮流発電システムの構成図を示す.

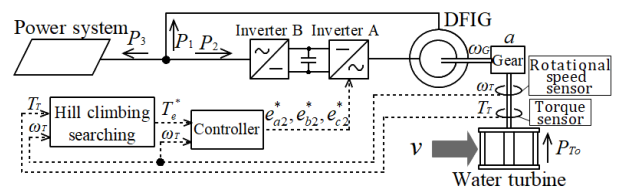


Figure 1. Tidal current power generation system

ただし,  $P_{T0}$ :水車出力,  $\omega_T$ :水車回転角速度,  $a$ :増速比,  $\omega_G$ :発電機回転角速度,  $P_1$ :一次有効電力,  $P_2$ :二次有効電力,  $P_3$ :システムの発電電力( $=-(P_1+P_2)$ ),  $T_T$ :水車トルク,  $T_e^*$ :発電機トルクの目標値,  $e_{a2}^*, e_{b2}^*, e_{c2}^*$ :二次供給電圧のインバータ指令値,  $v$ :流速である.

### 3. 山登り法による速度制御

図 2 に潮流発電システムの動作点を示す. 発電機回転角速度に対する水車出力は, 図 2 に示すように山なりの特性となるので, 山登り法を用いることが出来る. 発電機回転角速度  $\omega_G$  は, 水車トルクの発電機側換算値  $T_T'$  と直線近似した発電機トルクの目標値  $T_e^*$  が交わる点(運転点)で決定される. また,  $T_e^*$  は任意の正の定数  $\alpha$  と任意の定数  $\beta$  を用いて次式のように定義する.

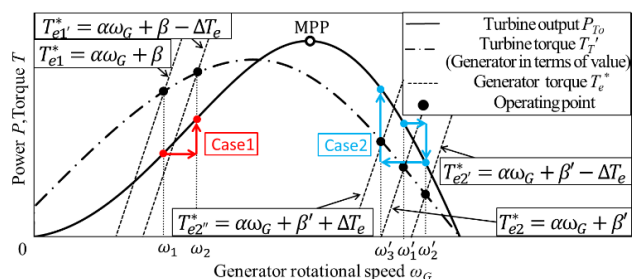


Figure 2. Operating point of tidal current power generation system

1 : 日大理工・院(前)・電気 2 : 日大理工・教員・電気

$$T_e^* = \alpha \omega_G + \beta \quad (1)$$

山登り法とは、運転点をわずかに変化させその応答から最大出力点での運転を可能にする方法である。図 2 の Case1 のように  $T_e^*$  に  $\Delta T_e$  (正值) を減算し、回転速度を  $\omega_1$  から  $\omega_2$  にわずかに増加させ、出力が増加した場合は  $\omega_2$  を維持する。また、Case2 のように回転速度を  $\omega_1'$  から  $\omega_2'$  にわずかに増加させ、出力が減少した場合は  $T_e^*$  に  $\Delta T_e$  を加算し回転速度を  $\omega_1'$  よりわずかに減少させ  $\omega_3$  にする。これらの動作を繰り返すことにより最大出力点(MPP)を探索する。

また、運転点における各々のトルクの傾きが次式の安定条件を満たす場合のみ安定である。

$$\frac{\partial T_T'}{\partial \omega_G} < \frac{\partial T_e^*}{\partial \omega_G} \quad (2)$$

このため本制御では、(2)式を満たすよう発電機トルク目標値  $T_e^*$  に(1)式の傾き  $\alpha$  を与える。

#### 4. シミュレーション結果

シミュレーションは MATLAB/Simulink で行った。使用した潮流発電システムの諸量を表 1 に示す。

Table 1. Specifications of tidal current power generation system

DFIG		Water turbine	
Rated capacity of generator $S_B$	10kVA	Number of blades	3
Rated voltage $V_B$	200V	Height	1.6m
Number of pole pairs $p$	3	Diameter	1.6m
Frequency $f$	50Hz	Chord length	0.3m
Stator resistance $r_1$	0.2164Ω	Solidity	0.179
Rotor resistance $r_2$	0.3112Ω	Speed control model	
Stator leakage inductance $L_{l1}$	0.0012H	Change amount of generator torque $\Delta T_e$	1N·m
Rotor leakage inductance $L_{l2}$	0.0012H	Control interval $T_c$	1000s
Exciting inductance $M$	0.0224H	Threshold of MPP $\epsilon$	1W·s/rad
Gear ratio $a$	25		

流速は 1 周期 12 時間の正弦波の半周期分(6h)とし、最大流速  $v_{max}$  を 3.9m/s, 3.5m/s, 3.0m/s, 2.5m/s の 4 種類についてシミュレーションを行った。

図 3 に 4 種類の  $v_{max}$  における発電機トルク目標値の傾き  $\alpha$  に対するシステムの発電電力量  $W$  を示す。  $W$  が最大となる  $\alpha$  の値は 0.45~0.55 の範囲に存在し、  $v_{max}$  毎にその値は異なる。また全ての  $v_{max}$  において  $W$  が最大となる  $\alpha$  より大きい範囲では、  $\alpha$  の増加に伴い  $W$  は減少する傾向が確認できた。

#### 5. まとめ

本稿では、DFIG を用いた潮流発電システムにおいて山登り法を用いた速度制御モデルを適用し、最大流速の異なる正弦波に対する応答から、発電電力量を最大とする発電機トルク特性についてシミュレーションにより検討した。その結果、  $W$  が最大となる  $\alpha$  の値は最大流速によって異なることを明らかにした。

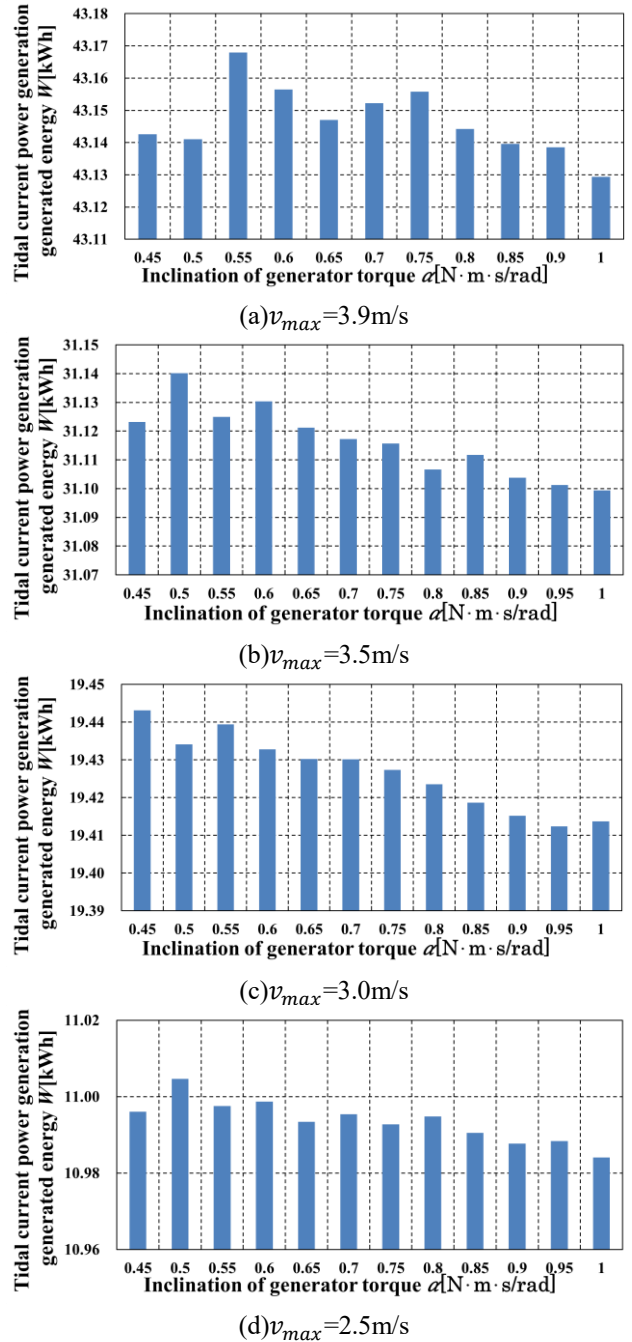


Figure 3. Tidal current power generation generated energy  $W$  versus inclination of generator torque  $\alpha$

#### 6. 参考文献

- [1] 辻ほか:「巻線形誘導発電機を用いた潮流発電装置における速度制御システムと増速比の検討」電学論 B, vol.134, No.3, pp. 256-266, (2014)
- [2] 勝亦ほか:「潮流発電システムにおける最大出力点追従制御方式-山登り法を用いた速度制御モデルの構築-」,第 58 回日本大学理工学部学術講演会予稿集,pp.987-988,(2014)
- [3] 大村ほか:「潮流発電システムにおける山登り法を用いた速度制御-発電電力量を最大とする発電機のトルク特性の検討-」平成 28 年度電気学会全国大会,pp.111-112(2016)
- [4] 大阪湾海上交通センター, <http://www6.kaiho.mlit.go.jp/osakawan/>