マグナスタービンを用いた波力発電装置の制御に関する研究

Closed-Loop Control Systems of a Wave Energy Converter with Magnus Turbine

1. はじめに

波浪エネルギーはエネルギー密度が高く、波の変動が予測しやすいという利点を有しており、欧州を中心に世界中で研究・開発が進められている[1]。日本は海洋国家であり、波浪エネルギーの利用は我が国の持続可能な社会の構築に役立つものと考えられる。しかしながら、日本近海では台風等による異常波浪が多発するため、より堅牢な変換装置（Wave Energy Converter: WEC）が必要となる。

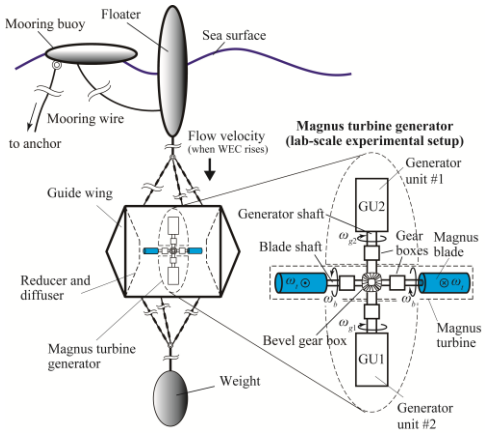
本研究室では日本近海において利用できる WEC として、マグナス効果を利用した波力発電装置を提案している。同装置は、波の上下運動により海中を移動するマグナスタービンを用いて発電するシステムであり、ポイント・アブソーバー型の WEC に属する装置である。本研究では同装置の実用化に向け、システムの制御系についてシミュレーションによる検討を行う。

2. マグナス波力発電装置の構成

図 1 に提案するマグナス波力発電装置の構成を示す[2]。図より、マグナス波力発電装置は、浮体、マグナスタービン発電機、重り等によって構成されている。また、マグナスタービン発電機は 2 つの発電ユニット（GU1、GU2）、自転可能な複数の円柱形状のブレード(マグナスブレード)、これらを接続するベベルギアによって構成されている。前述したように、波の上下運動によってタービンが上下に移動すると、マグナスブレードには、往復流体が作用する。マグナスブレードは流体中で自転することにより、マグナス効果（流体中の回転体に揚力が発生する現象）による揚力を得ることができるので、往復流体の向きに合わせて自転方向を切り替えることができれば発生する揚力を常に同一方向とすることができる。

3. マグナスブレードの制御

ブレードの自転速度と方向は GU1、GU2 の各発電機の角速度の差によって制御することができる。ここでは、同ブレードの制御系について検討を行う。図 2 に構築した閉ループ制御系を示す。同制御系は、発電機の角速度 ω_{g1}, ω_{g2} を制御量とし、発電機のトルク τ_{g1}, τ_{g2} を操作量とする制御系で、角速度指令値 $\omega_{g1_r}, \omega_{g2_r}$ は出力係数が最大となる最適な周速比 $\lambda_{top}, \lambda_{bop}$ を用いて計算している。構築した制御系の有用性を確認する為にシミュレーションモデル[2]を用いて、波の上下運動に対するシステムの動作をシミュレートした。



Notes – v_w: relative fluid flow velocity caused by WEC movement, ω_t, ω_b, ω_{g1}, ω_{g2}: angular velocities of the turbine, the blades, and the generator shafts.

図 1　マグナス波力発電装置

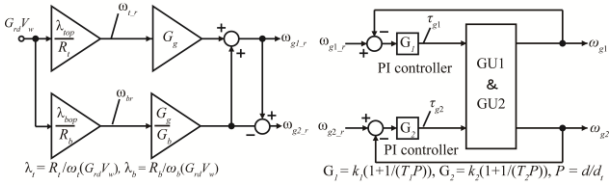


図 2　マグナスブレードの制御系

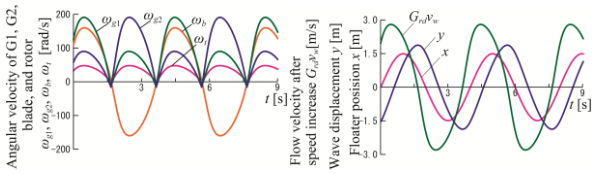


図 3　シミュレーション結果

図 3 は結果の一例で、波の振幅に対するフロートの振幅や各角速度の過渡応答計算値を示したものである。図より、マグナスブレードは波の上下運動に合わせて適切に回転方向が制御されており、マグナスタービンは常に一定方向に回転していることがわかる（ω_t は常に正の値を取る）。

4. おわりに

本研究では、マグナス波力発電装置の実用化に向け、同装置の制御系について検討を行った。マグナスブレードの自転方向や速度を 2 台の発電機のトルクで制御する方法を提案し、シミュレーションにより、その有用性を明らかにした。

文　献

[1] 木下健, 「海洋再生可能エネルギーの市場展望と開発動向」, サイエンス&テクノロジー

[2] K. Yamashita, T. Tsuchikawa, S. Takekoshi, ”Development of a Point Abserber Wave Energy Converter with Magunus Effect-based Turbine Generator”, ICEMS2022