

水中浮遊式海流発電システムの開発と 実海域実証試験

実証試験機かいりゅう

長 屋 茂 樹

持続可能なエネルギー供給や温室効果ガスの排出削減のために、黒潮に代表される海流を、海洋再生可能エネルギーとして有効に利用することを目指して開発している水中浮遊式海流発電システムの特長と、2017年に実施した実海域での実証試験について紹介する。

キーワード：海洋再生可能エネルギー、黒潮、海洋構造物

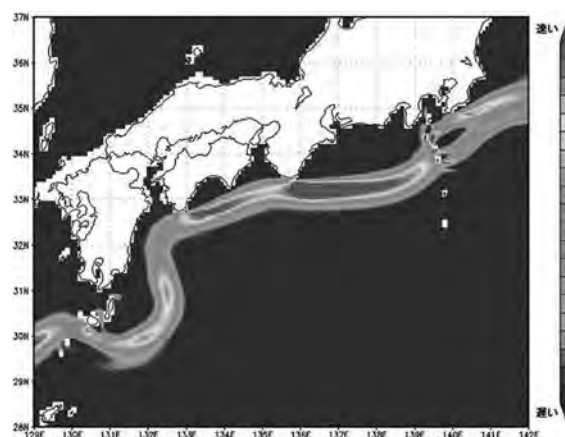
1. はじめに

我が国が有する領海・排他的経済水域（EEZ）は世界第6位の広さを誇り、このEEZにおける海洋再生可能エネルギーの利用は、温室効果ガスの排出抑制や、エネルギー安全保障の面からも積極的な推進が求められている¹⁾。海洋再生可能エネルギーを利用した主な発電方法としては、①風力発電を沿岸や沖合で行う洋上風力発電、②波の上下に伴う運動エネルギーや位置エネルギーを電力に変換する波力発電、③潮の満ち引きによる潮汐流が海峡などで速い流れとなるのを利用する潮流発電、④大洋を一定方向に流れる暖流や寒流の流れを利用する海流発電、⑤低緯度海域表層の温水を利用して沸点の低い媒体を気化させた蒸気でタービンを回して発電し、深層の冷水で蒸気を液化して再利用する海洋温度差発電等があり、日本におけるそれらのポテンシャルは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による調査が行われた結果、非常に大きなエネルギーが賦存しており、そこから大きな電力の抽出が見込まれることが報告されている²⁾。

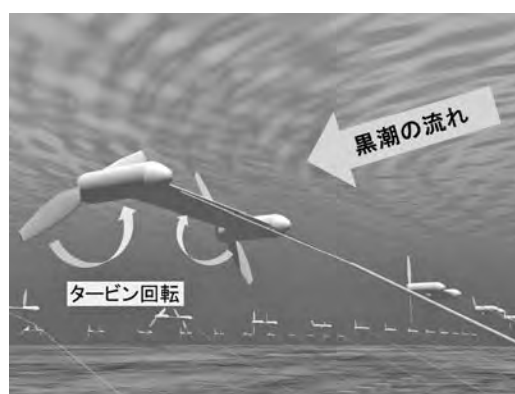
この中で、日本近海を流れる黒潮は世界的にも有数の強い海流であり、約205 GWと膨大なエネルギーが賦存すると試算されていることから、この黒潮からの発電を可能にすることによって、我が国にとって非常に有用な再生可能エネルギー源となることが期待される。

海流発電を実現するうえでの海流の特徴は、昼夜や季節による流れの速さ・向きの変動が少なく、図—1に示すような東シナ海や太平洋の沖合の幅約100 kmにおよぶ大きな流れが、海底水深数百 mの海域の海面に近いところを流れていることが挙げられる。

このような海流に対して、低発電コストで効率良く発電する装置として、筆者らは水中浮遊式海流発電システム（図—2）の研究開発をNEDO事業として2011年度から開始して以来、本システムの実現に必要な様々な要素技術の研究を経て、2017年夏に黒潮海域での発電実証試験を完了した。本稿では、その概要について紹介する。



図—1 数値解析による黒潮流分布予測例

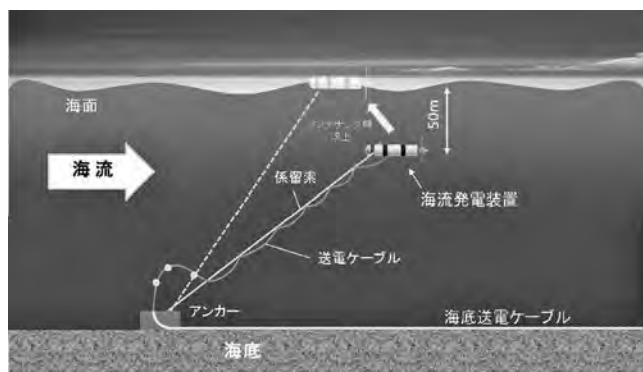


図—2 海流発電ファーム 概念図

2. 水中浮遊式海流発電システムの特徴

水中浮遊式海流発電システムは以下の特徴を有する。

- ①安定した海流エネルギーを、長期かつ連続的に利用することで、高い設備利用率での発電が可能で、ベース電源として大きな発電電力量も期待できる。
- ②発電装置を係留索で海底から係留し、海流によってあたかも風のように海中に浮遊させる（図—3）。係留索を伸ばすことで大水深域での設置にも簡便に対応できるため、設置可能海域を広く設定することができ、多数の発電装置を設置する大規模発電ファームの展開が可能である。この発電規模の大型化は、陸域への送電に伴うコストを相対的に低下させることに有効である。



図—3 水中浮遊式海流発電システム 概念図

また、すべて海中にあるため波浪の影響を受けずに安定した水深での運用が可能となり、船舶の航行にも支障を及ぼさない。さらに簡便な係留が可能となることから設置が容易であることも、コスト低減に寄与する。

- ③互いに逆回転する2基のタービン水車を連結することで、タービンの回転に伴う回転トルクを相殺でき、海中で安定した姿勢を保持して、効率的な発電が可能である。

定格流速は約3ノット（約1.5 m/s）と比較的ゆっくりとした流速から発電可能で、この流速が存在する発電に適した海域は日本の沿岸に広範囲に存在するため、前述の大水深域へ設置が可能であることと合わせて、黒潮に対して数千基規模の本システムの導入が可能である。

- ④保守整備時には、タービンの向きと浮力を調整することで、必要に応じて海上に浮上させることができるため、メンテナンスや修理が容易である。

これらの特徴を生かして、水中浮遊式海流発電シス

テムの実機は、1機あたりの発電出力を2 MW（1,000 kW × 2基）とし、安定した海流を利用することで、60%以上の高い設備利用率を実現することを目標としており、大規模海流発電ファームでは、NEDO事業の設定目標である発電単価¥20/kWh以下を達成し、他の発電方式とも発電コストで比肩し得る発電システムの実現を目指している。

3. 水中浮遊式海流発電システムの要素技術開発

水中浮遊式海流発電システムの運用時には、海面→水中に潜行→浮遊・発電→停止→浮上という状態変化が発生し、それぞれの状態に必要な安定性を確保する必要がある。そのためには、浮体安定性への影響を考慮した搭載機器の最適配置・形状の選定や、タービン翼が発生するスラスト力や浮体に働く浮力、係留索の張力も含めたバランスの制御が非常に重要となる。

これらの要素が浮体運動へ及ぼす影響を評価するための浮体運動シミュレーションや模型試験によって、浮体の深度および姿勢安定性の確保のための制御性を検討し、非常時の安全性確保や、これらを浮体自身で自律的に制御するシステムの開発を行っている。

写真—1は水中浮遊式浮体の海中での挙動の検証を目的として、実機と同様にタービン回転数調整機構、タービン翼角変節機構、浮力調整機構、流速や浮体姿勢センサー等と、自律制御機能を備えた1/25スケール浮体模型試験機による実験の様子である。本試験機を曳航台船で曳航して海流を模擬する海中浮遊試験によって、実際の変動流中においても浮体が安定して浮遊することを確認している。

3ノットの流速から大きな電力を生み出すには、発電効率の高い大型の水中タービンの開発が必要である。実機では1タービンあたり定格出力1 MWにな



写真—1 1/25スケール実験機による水中浮遊式浮体の海中試験

る本システムでは、大型風車と同様の水平軸揚力型タービンを採用している。

そのタービン直径は約 40 m に達することから、タービン翼に作用する流体力や水圧といった荷重を精度よく推定し、それに耐える構造・材料の選定が重要となる。さらに、変動荷重の設定と疲労強度評価、海水腐食環境下での耐久性を確保した高信頼性・低コストの GFRP 製大型翼構造・製造プロセス技術の開発と設計基準の作成を行っている。それらの設計・製造技術の検証のために、長さ約 5 m のタービン翼を試作し、静的強度試験や疲労試験等を実施して、設計通りの強度・剛性が得られることを確認している。

また、水深の変化やタービン水車からの荷重に対応可能な水密・耐圧浮体構造の検討や、大きな張力に耐える高強度係留索についても、本システムに適したものの選定が重要である。

海流発電の事業性は、エネルギー源となる海流の特性に大きく左右されるため、海流の流れ特性の把握も非常に重要となる。流れの特性は、図一 1 に示したような海流の数値予測や、音響式流速分布計測計 (ADCP) 等を用いた海流実測によって実施している。これらの海流に関する情報から発電量や浮体安定性の推定を行い、それに基づいて発電装置の設計仕様やコスト試算を行うことで事業性の評価を行っている。

4. 実海域実証試験

これまで培った要素技術開発の成果を利用して、実際の黒潮流域での水中浮遊式海流発電システムの発電実証実験を 2017 年の 7 月から 8 月に実施した。

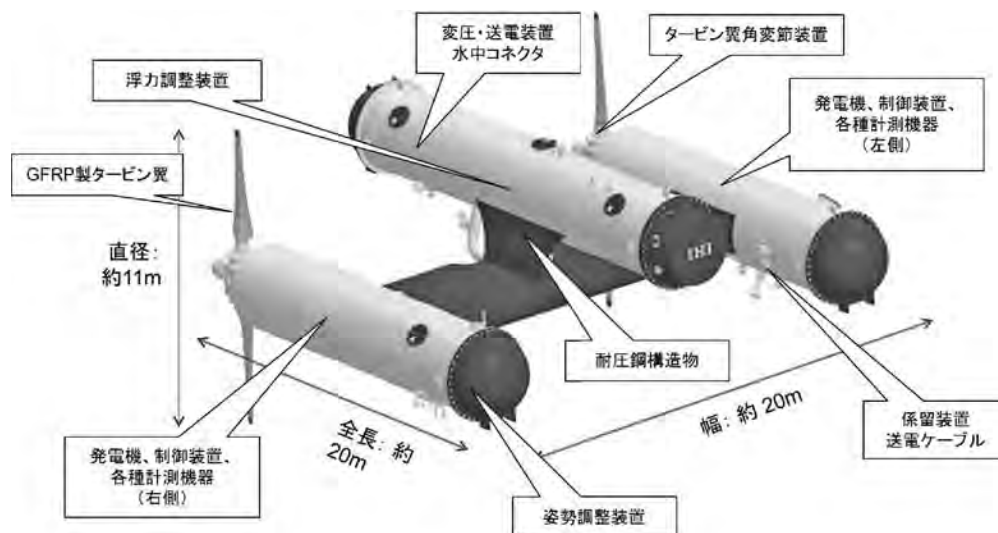
本実証試験のために、将来実機と同様の機構・構造・

材料等を用いた、タービン直径が実機の約 1/3 スケールの実機実証試験機 (図一 4 および写真一 2、地元小中学生からの公募により「かいりゅう」と命名) (以下「本実証試験機」という) を横浜事業所で開発・建造した。この本実証試験機は、本体全長および全幅が約 20 m、重量約 330 トンの水中浮遊式浮体で、各種機器を内蔵する 3 つの水密・耐圧容器 (ポッド) を連結した構成である。左右のポッドにはローター直径 11 m で 3 ノットの流れから左右合計で最大出力 100 kW を発電可能な、翼角可変機構付きの水平軸式タービン水車を備えている。中央のポッドには浮力を調整する機構や送電機器等を搭載している。海中での発電時は、変動する外部環境に応じて本機の深度や姿勢、発電性能や非常時の対応などを、内蔵する制御装置により自律制御する。事前の曳航による試運転で、計画通り最大出力 100 kW を発電できることや自律制御により安定して浮遊することを確認した。

続けて実施した黒潮海域での実証試験は、内閣府総合海洋政策推進事務局が海洋エネルギー実証フィールドに認定した鹿児島県トカラ列島十島村の口之島北方



写真一 2 100 kW 実証試験機



図一 4 100 kW 実証試験機外観図

海域を試験海域とし、口之島の沖合約 5 km、海底水深約 100 m で平均流速約 2 ノットの黒潮が流れる海域に本実証試験機を係留設置して(写真—3 および 4) 発電試験を行った。この実証試験の結果、今回の試験期間中では 2 ノットの流れがあり、そこから約 30 kW の発電を達成するとともに、実際の黒潮の流場特性やその中での浮体の浮遊安定性、実海域での設置・運用作業等の貴重なデータを得ることができた。このような 100 kW 級の海流発電装置を実際の海流域に設置しての発電は世界初である。



写真—3 口之島沖での実証試験に向けた準備作業の様子



写真—4 口之島沖の実証試験海域に設置中の本実証試験機

5. おわりに

水中浮遊式海流発電システムは、①設置海域を選ばない低コストの浮体係留方法、②高い設備利用率をもたらす海流エネルギーと高効率の水中タービン発電装置によって、基幹電源の役割を担うことが可能な新しい発電技術である。

今後は今回の実証試験データを詳細に検証して水中浮遊式海流発電システムの開発にフィードバックするとともに、実海域長期運転試験や再生可能エネルギー源としての黒潮の調査・研究の詳細化などを進めることによって、海流発電を 2020 年代に実用化することを目指している。

謝 辞

本稿は NEDO 事業「海洋エネルギー技術研究開発／海洋エネルギー発電技術実証研究」での成果に基づいてまとめたものである。関係各位に感謝する。

J C M A

《参考文献》

- 1) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：“NEDO 再生可能エネルギー技術白書—新たなエネルギー社会の実現に向けて—”，(2010)
- 2) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：“風力等自然エネルギー技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務” 成果報告書，(2011)

【筆者紹介】

長屋 茂樹 (ながや しげき)

(株) IHI

技術開発本部 総合開発センター 機械技術開発部
海洋技術グループ
部長

