

【事業名】小型で高効率な波力発電システムに関わる技術開発・実証事業（副題：大洗港における技術実証）

【代表者】三井造船㈱ 技術総括部 再生可能エネルギープロジェクトグループ 中野訓雄

【実施予定年度】平成25～27年度

(1) 技術開発概要

①技術開発の概要・目的

離島、港湾およびその周辺など、電力消費が見込まれる地域で活用可能な小型で高効率の波力発電システムの技術開発を行う。当該システムは波高の比較的低い沿岸域への設置が見込まれ、電力負荷近隣での発電を可能とする。（例、防波堤の近傍への固定設置、既存の洋上風力発電設備との併設。）しかし、実用化には不規則な海象条件への適用性検証が必要である。このことから、従来弊社で設計・試作してきたシステムをベースとしたプロトタイプモデルを製作し、実海域での高い発電性能を検証すると共に、蓄電池による出力平滑化を行い港湾内に存在する実負荷（海水汲み上げポンプ）への電力供給の可能性を実証することを目的としている。

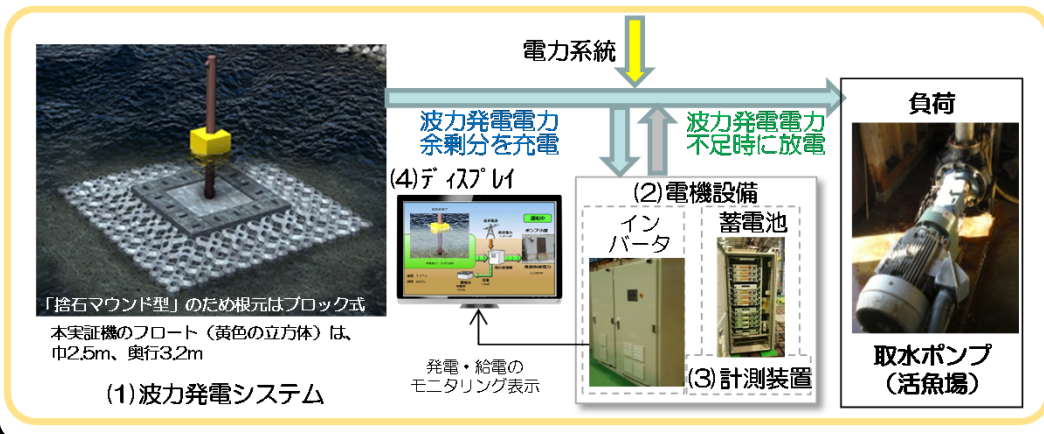
②技術開発の詳細

波力発電設備実証システムの基本設計	実証機に反映させた波力発電装置（単体）や電力モニタリングシステムだけでなく、蓄電池制御システムや系統連系までの電気設備を含めた一体系の確立を目指す。
フロート部・可動部の最適化と詳細設計・製作	実証機のフロート部に集約して設置した発電機構や可動部と共に、発電効率（40%程度※）の検証と改良を行なう。最終的にはメンテナンス性が高く、高い発電効率（50%程度※）を保持した構造仕様を確立する。※発生頻度の高い波（1m程度、周期6～7秒付近）に対して目指す数値
発電機構に関わる詳細設計・製作	実証機に反映させた発電機及び関連部品の耐久性の検証と改良を行なう。海上での使用に耐え、かつ交換やメンテナンス性が高い発電機及び関連部品の開発を目指す
波力発電設備に関わる安全対策・台風対策に関する検討・設計及び製作	実証機に反映させた台風等の荒天時における回避及びブレーキシステムの検証と改良を行なう。50年に1回の確率で発生する台風（大洗港に到達する最大有義波高5m）においても安全性が保持できるものを目指す。
波力発電による港湾設備への電力供給実証	大洗港以外の地域、汲み上げ用ポンプ以外の用途でも適用できる波力発電電力および系統電力の供給制御技術システムを開発する。（蓄電池制御を含む）
現地施工の詳細検討・施工	将来の実用機（商用機）においてもコンパクトかつ経済的な現地設置工法の開発を目指す。
CO2削減効果・海洋環境への影響評価・分析	当該波力発電システムの設置、稼働に伴うCO2排出削減量の算定方法を確立し、実データに基づく評価を実施する。また施工、運用に伴う海洋環境への影響評価・分析手法を確立し、当該技術の海洋環境に対する影響を評価する。
経済性・普及に関する検討・分析	当該波力発電システムの経済性・普及を目指した前提条件を整理し、検討を行う。このため、発電コスト40～50円/kWhを目標とした量産化及びメンテナンス技術の確立を行う。

③システム構成

小型・高効率な発電設備  
 （本実証実験では、事業想定する装置よりも小規模のサイズで実施）

- (1) 波力発電システム：①フロート部、②発電機、③杭
- (2) 電機設備：①蓄電池、②インバータ、③ケーブル
- (3) 計測装置：①電流・電圧、②波高・周期、③電力需要
- (4) モニタリング装置



- (1) 波力発電システム  
 防波堤より90メートル程度の位置に波力発電装置（当該技術実証対象）を設置。防波堤までは海底ケーブルにより送電し、既設のポンプ小屋に波力発電により生じた電力を導く。  
 （①フロート部、②発電機構部、③係留杭から構成）
- (2) 電機設備  
 ポンプ小屋には海水汲み上げ用のポンプと共に、系統との電源切換え装置を新たに格納する。ポンプ小屋は既存施設を利用し、電気設備を新規に格納するため必要な増設、防水対策を講じる。
- (3) 計測装置  
 実証事業期間にわたり、波高・周期など波のエネルギーに関わるデータをはじめ、電流・電圧など波力発電出力に関わるデータを計測する。
- (4) モニタリング装置  
 当該波力発電の電気出力や波高などのデータを表示すると共に、海面上における波力発電の稼働状況をモニタリングする装置を設置した。なお、遠隔監視機能だけでなく、多くの人に見て貰える広報・啓蒙としての目的もある。  
 （※システム配置図は参考資料2参照）



## (2) 技術開発計画

### ①実施体制

#### 三井造船（株）

●システム開発、総括  
 (当該波力発電技術の開発を過去10年間実施。造船事業、造波装置をはじめ多くの海洋構造物、浮体構造物に係る事業実績を有する)

#### 評価検討委員会（座長 東京大学大学院 荒川忠一教授）

※当該事業の実施期間において、関係機関（茨城県、大洗町、大洗町漁業協同組合など）を含めた評価委員会「沿岸型波力発電システム技術開発実証 評価検討委員会（仮称）」（座長：東京大学大学院 荒川忠一教授）を組成し、客観的な事業評価を実施する。

#### 主な外注事業者

#### (株)ユニバーサル エネルギー研究所

●事業者の全体計画等を支援  
 地元関係者との調整・データ分析。  
 新エネルギー導入に関わるF Sに多くの実績あり、本事業において知見を活かす。

#### シンフォニア テクノロジー(株)

●発電関連設備の電気計装システムの  
 詳細設計および製造を担当  
 船用電気設備、小型風力装置のノウハウ・知見を本事業において活用する。

#### (株)三井造船 昭島研究所

●発電装置設計・改良のための  
 実験・解析等を担当  
 過去水槽で実施した波力実験のノウハウ・知見を本事業において活用する。

### ②実施スケジュール

	H25年度	H26年度	H27年度
(1)波力発電設備実証システムの基本設計	14,589千円		
(2)フロート部・可動部の最適化 及び詳細設計・製作	2,905千円	14,560千円	
(3)発電機構に関わる詳細設計・製作	4,240千円	18,748千円	
(4)波力発電設備に関わる安全対策・台風 対策に関する検討・設計及び製作	17,233千円	13,973千円	18,861千円
(5)波力発電による港湾設備への 電力供給実証	7,907千円	37,959千円	26,106千円
(6)現地施工の詳細検討・施工	6,892千円	119,839千円	106,897千円
(7)CO2削減効果・海洋環境への 影響評価・分析	14,368千円	7,929千円	11,616千円
(8)経済性・普及に関わる検討・分析	6,227千円	7,063千円	9,881千円
合計	74,361千円	220,072千円	173,361千円

### ③目標設定

#### ●最終的な目標

実証機（実用機の2.5分の1モデル：平均出力8kW程度を目標）を製作し、設置工事ならびに実証機から陸上電機設備への送電試験を完了（2014年12月31日 大洗港にて）  
 実証期間中、蓄電池を経由し平滑化した発電電力を実負荷に電力供給するとともに、波力発電装置のメンテナンス時などは、負荷に対して系統電力からの給電に切換え制御を行う。

#### <実証機での目標>

- 仕様：フロートサイズ（巾2.5m×奥行3.2m）※<sub>1</sub>、定格出力20kW※<sub>2</sub>  
 ※<sub>1</sub>：実用機の場合、幅6m×奥行6m程度  
 ※<sub>2</sub>：実用機の場合、50kW程度
- 性能：発電効率40%以上※<sub>3</sub>、稼働率30～40%程度※<sub>4</sub>  
 ※<sub>3</sub>：フロート幅分に入射する波エネルギーに対する発電効率を示す。  
 ※<sub>4</sub>：設備利用率のことを示す。
- 耐用年数：実証機のメイン部品は5～10年以上、消耗品は1年以上

### ④事業化・普及の見込み

- 事業化計画：2017年度以降に発電コスト40円/kWhを目標として販売開始し、2022年時点で30円台/kWhを実現することにより、1.08GWの設備導入を目指す。
  - 事業展開における普及の見込み：2020年を目途として、港湾への設置、着床式洋上風力発電へのハイブリッド設置などにより地産地消型エネルギー供給システムとしての性能・コストの検証を行う。あわせて系統連系によるFIT（固定価格買い取り）への適用を視野に普及を促進する。設置方式の多様化（護岸および防波堤設置／洋上風力併設）により、それぞれ以下の想定で普及台数を試算した。
    - ・護岸および防波堤設置型：2020年時点で全国の防波堤総延長(583km)の10%に設置されると想定 \*防波堤100m長に設置可能な台数：7ユニット  
 （1基7m幅のユニットを7m間隔で、並列設置した場合）  
 上記想定より、2020年時点の護岸および防波堤設置型導入普及台数：4,081台  
 同様に2030年時点では、防波堤総延長の20%と想定し普及台数：8,162台
    - ・洋上風力併設型：日本風力発電協会「自然エネルギー白書」より、2020年時の着床式洋上風力発電設備容量(400MW)に対し、1MW当り6基(480kW)の併設を想定  
 上記想定より、2020年時点の洋上風力併設型導入普及台数：2,400台  
 同様に2030年時点の洋上風力発電設備容量(3300MW)より普及台数：19,800台
- 各年度時点の導入想定台数（市場規模）を下表に示す（2017年度時点は、護岸および防波堤設置型のみを想定）。

表. 各年度時点の想定普及台数と目標価格

年度	2017	2020	2025	2030
想定普及台数(台)	1,200	6,481	13,921	27,962
目標価格(円/台)	6.5千万	5千万	5千万	5千万

#### ●普及に向けた障害、課題

- ・FIT制度の買取対象となる必要がある。
- ・耐用年数経過後の撤去コストが高く、漁礁などへの転用を可能とする仕組みが必要。

### (3) 技術開発成果

#### ①これまでの成果

- 40%を超える高い発電効率の証明  
有義周期1.0秒以下、波高0.5m程度の波に対して、同調制御を行った結果100%<sup>注</sup>を超える発電効率が観測された。注) 単位長さあたりに入射する波パワーを100とすると、同調制御による共振現象により100%を超える発電効率を実現する。
- 実負荷への電力供給  
蓄電池による出力平滑化を行い港湾内に存在する実負荷（海水汲み上げポンプ）への電力供給を実施し、問題がないことを確認した。
- 荒天時沈降システムの有効性の証明

#### ②CO2削減効果

- 実証地付近（常陸那珂）の年間平均波パワーをもとに、商用機の想定発電電力量を推計1ユニット当たりの平均発電出力：26.6kW、年間発電電力量：205.4MWh（稼働率：40%と想定した場合。）

表. 常陸那珂の波況・波パワーと商用機1台の想定出力、CO2排出削減量

波況		出力		発電電力量 (MWh/年)	CO2排出削減量 (t-CO2/年)
波高 (m)	波周期 (s)	平均波パワー (kW/m)	想定出力 (kW)		
1.29	7.8	9.5	26.6	205.4	108.8

- 上記の通り、1基当たりの定格出力：50kW、年間発電電力量：205.4MWhより、各年度時点で期待されるCO2排出削減量について、以下に示す。  
（参考：東京電力のCO2実排出係数（2013年）：0.000530t-CO2/kWh）

- ①2020年時点のCO2削減効果（試算方法パターンC, II-ii）
  - 従来の類似システムは存在しないが、設置方式の多様化（護岸および防波堤設置への設置／洋上風力併設）ならびに工場での量産移行により、2020年度時点までの普及台数ならびに設備容量・発電電力量を、次の通り推計する。（参照：「事業化・普及の見込み」）  
普及台数：6,481台、設備容量：324.1MW、発電電力量：13.3億kWh/年
  - 2020年時点の年間CO2排出削減量推計：70.5万t-CO2  
（商用機1基当たりの排出削減量：108.8t-CO2/年および上記の想定普及台数より推計）
- ②2025年時点のCO2削減効果（試算方法パターンC, II-ii）
  - 同様に、2025年度時点までの普及台数ならびに設備容量・発電電力量推計は以下の通り。  
普及台数：13,921台、設備容量：696.1MW、発電電力量：28.6億kWh
  - 2025年時点の年間CO2排出削減量推計：151.5万t-CO2
- ③2030年時点のCO2削減効果（試算方法パターンC, II-ii）
  - 同様に、2030年度時点までの普及台数ならびに設備容量・発電電力量推計は以下の通り。  
普及台数：27,962台、設備容量：1398.1MW、発電電力量：57.4億kWh
  - 2030年時点の年間CO2排出削減量推計：304.2万t-CO2

#### ③成果発表状況

- TV放映（平成27年9月12日）「EARTH Lab一次の100年を考える」TBS系列
- 三井造船技報（平成27年8月215号）「沿岸型波力発電装置の開発」社外HPでも公表
- 第25回海洋工学シンポジウム（平成27年8月6～7日）「沿岸着底式波力発電装置の開発」
- エネルギーデバイス2015年10月号「日本海域に適した発電」日本における波力発電の可能性

### ④技術開発終了後の事業展開

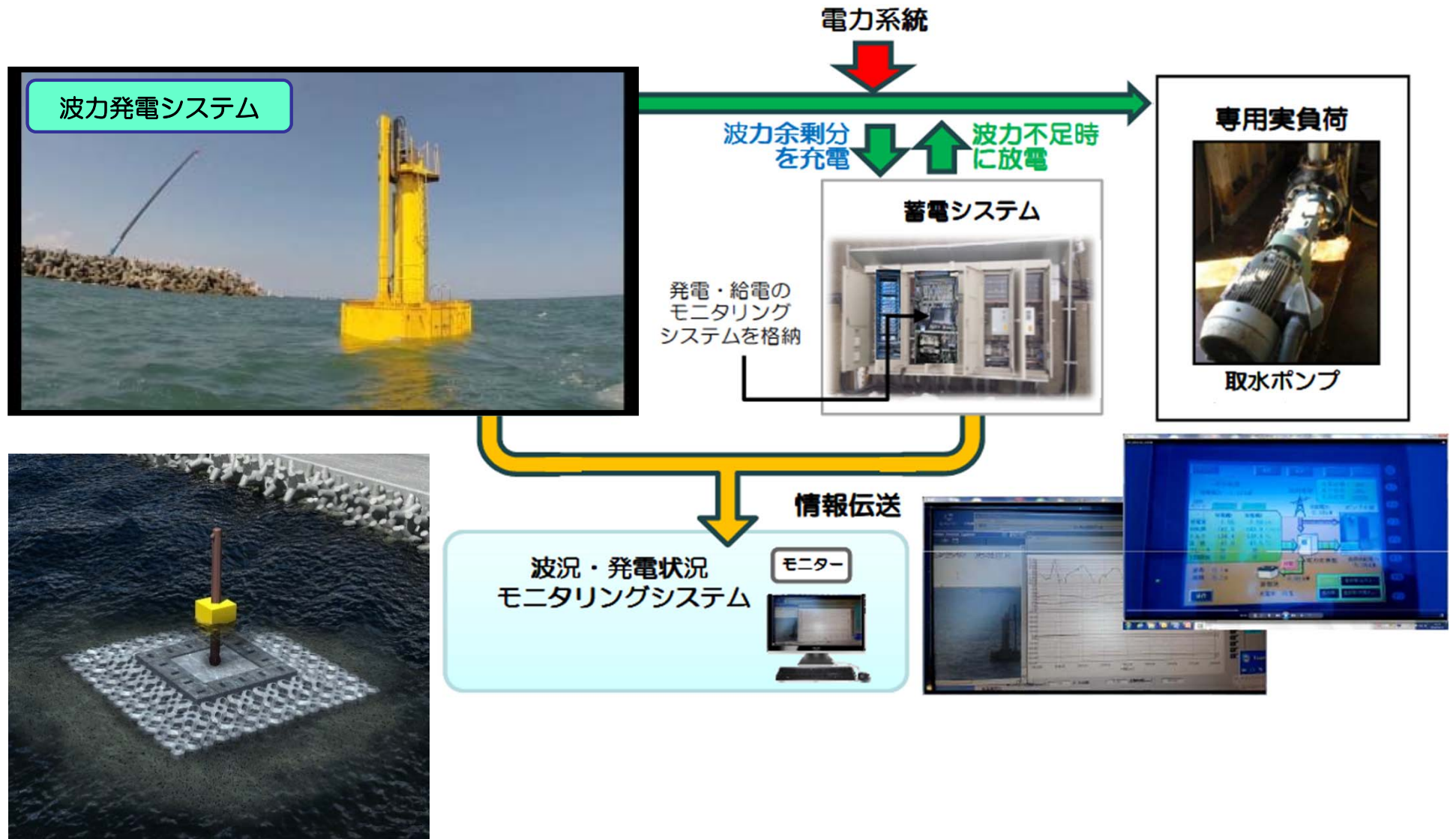
- 事業化の計画  
2019年又は2020年から事業化。当面は沿岸域にある護岸や防波堤等の港湾インフラ等に設置し、その後洋上風力発電設備との併設など、港湾での利用または港湾構造物として事業化を進める。  
勿論、港湾のみならず、漁港・漁業施設にも同様に展開可能。
- 事業拡大シナリオ
  - フェーズ1：追加技術開発
    - 事業化を目指した基本性能の実証・経済性の確保、安全性能の確保、発電性能の実証（発電単価目標として40円/kWhを目指す）
  - フェーズ2：普及初期
    - 港湾等での利用を前提として地産地消型の電力利用モデルの確立、洋上風力発電設備との併設など（発電単価目標として30円/kWhを目指す）
  - フェーズ3：本格普及
    - 港湾等への設置拡大および消波システムとしての活用（漁業連携）、水素の生産/利用など活用モデルの拡大（発電単価目標として20円/kWhを目指す）

（※事業拡大シナリオは参考資料3参照）

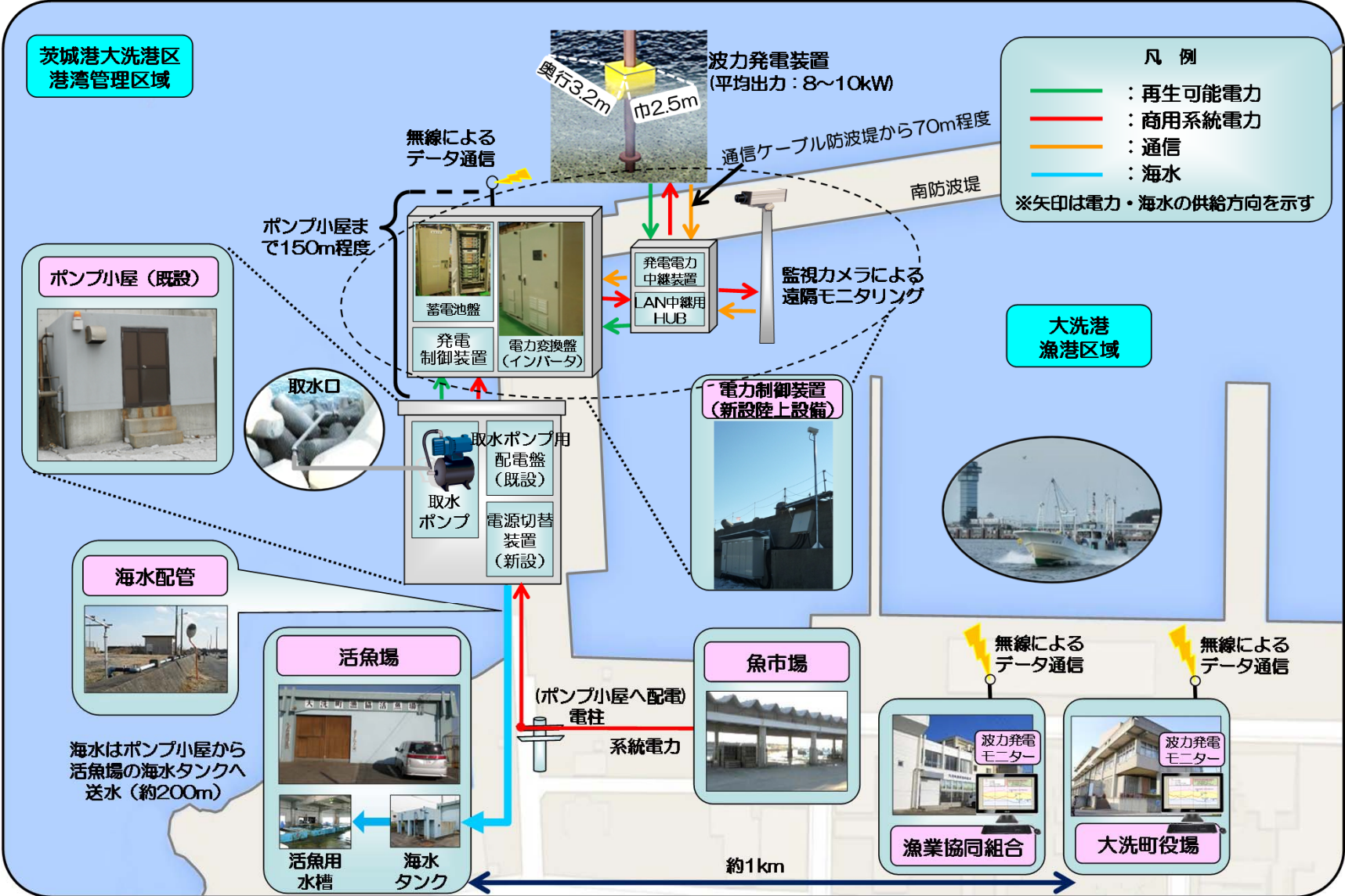
普及計画	2020年	2025年	2030年	2050年
想定普及台数 (台)	9台	4763台	23200台	74400台
目標価格 <sup>注</sup> (円/台)	6000 万円	5000 万円	4000 万円	3500 万円

注) 設備設置工事費を含まない。

- シナリオ実現上の課題
  - 安定した高い発電性能の発揮（機械式同調機構等の開発・実現）
  - 高耐久性・高メンテナンス性の実現（製品化への必須課題）
  - 現地施工性の向上と低コスト化  
（陸上からの工事により海洋工事の縮減を目指す）
  - 規格化・標準化の推進（部品・構造体の規格化による量産効果）
  - F I T制度の買取対象となること。
  - 沿岸域における波力エネルギーを正確に把握すること。



高効率・小型波力発電技術実証配置図



## CO<sub>2</sub>排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

▪ 評価点 6.9点（10点満点中）

▪ 評価コメント

- 固定価格買取制度を前提としているものの、沿岸型の波力発電でポイントアブソーバー型に同調制御を取り入れ、さまざまな要因を考慮した実証実験に基づき、その実現可能性が示されたことは高く評価する。
- 今後は事業化に向けて一層の低コスト化が必要であり、更なる高効率化、安定運転を図るべく、技術水準を高めることを期待する。
- 生物付着による効率低下の懸念が払拭されておらず、引き続き検討することを期待する。
- 論文発表等により、本技術開発の成果の公表に努めていることは評価できる。波力発電の実用化が早期に実現することを期待する。
- 本事業の実施内容について積極的に成果を広く公表し、その際は環境省「CO<sub>2</sub>排出削減強化誘導型技術開発・実証事業」である旨を周知することを求める。
- 環境省補助金要項に従い採択時に告知したように、補助事業により整備された施設、機械、器具、備品その他の財産には、環境省補助事業である旨を必ず明示すること。