

(1) 課題概要

①【課題の概要・目的】

沿岸域での利用を想定した次世代型高効率波力発電システムの技術開発を行う。当該システムは試験機による基本性能試験を実施し、高い発電効率を実証した。本事業では、世界的に類を見ない波との同調制御の効率化を実現し、設備利用率^{注1)}40%程度、発電効率^{注2)}50%以上を目指しながら、耐久性、安全性、施工性などの飛躍的改善を実証する。また海洋基本計画の目標である40円/kWhを目指し、大きなCO₂削減を達成し得るシステムの開発を目的とする。

注1) 定格出力に対する平均的な発電出力の割合を設備利用率と定義。

注2) 発電装置への入射波パワーに対する発電出力の割合を発電効率と定義

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1.【同調制御の高度化および出力の安定化】

前回試験機ではモーターによる電氣的制御を行っていたが、今回はフライホイールを用いた機械的同調制御を活用することで、同調可能な周波数帯を広げることが出来た。(実用化レベルに2020年到達見込み)

A2.【耐久性向上に関わる開発】

重要部品の可動ローラーは、室内での軸受耐久試験を経て約1年の実海域試験に耐える事を確認済み。海底ケーブルも1年以上の実海域試験に耐える事を確認し、保護・固定方法策を確立した。(実用化レベルに2020年到達見込み)

A3.【メンテナンス性向上に関わる開発】

耐久性に加え、メンテナンス性向上も重要である。可動ローラー等の部品交換に必要な日数を半減することを目標とし、実海域試験の現場作業の中でアクアリフター活用等で目標を実現できる見通しを得た。(実用化レベルに2020年到達見込み)

その他の開発要素：A4.【現地施工性向上に関わる検討】など

B.開発要素のシステム統合

- ・製品(パッケージ)として波力発電システムの確立の見通しを得た。今後の普及に向けてさらに進化させる。

C.その実証

- ・現地大洗港の外側(外洋)での実際の波浪に対して、長期間実証(2017年12月下旬～2019年4月末まで)を実施し、性能や機能を検証することでシステム確立の見通しを得た。今後の普及に向けてさらに進化させる。

③【システム構成】

発生電力を大洗港内の海水取水ポンプ(最大消費電力15kW)に供給するシステムである。波力発電からの供給電力としては、15～20kW(定格50kW×設備利用率30～40%)を想定している。システムの目標としては、供給電力が不足する場合には系統からの電力供給(系統連系)を行うだけでなく、需給調整のための出力変動に合わせて、蓄電・放電システムと、系統に逆潮流するシステムを確立することである。また、非常用の発電装置として独立した運転も可能とする。(参照：参考資料(1))

①波力発電システム：防波堤より9.5m程度の位置に設置。防波堤まで海底ケーブルにより送電し、ポンプに給電。波力発電システムはフロート部、発電機、係留杭(支柱)からなる。波との同調(共振)を利用した高効率発電を行う。同調制御の高度化のため、フライホイールを採用。なお、フロート部等の構造体は10年耐用を想定。

②電気設備：電気設備(配電盤、蓄電池、インバーター等)は防波堤近傍に設置。取水ポンプに給電。波況・装置の状況を24時間監視。

③計測装置：波高・波周期などのデータ、発電出力(kW)などを計測し、モニター画面と制御システムにデータを送信する。

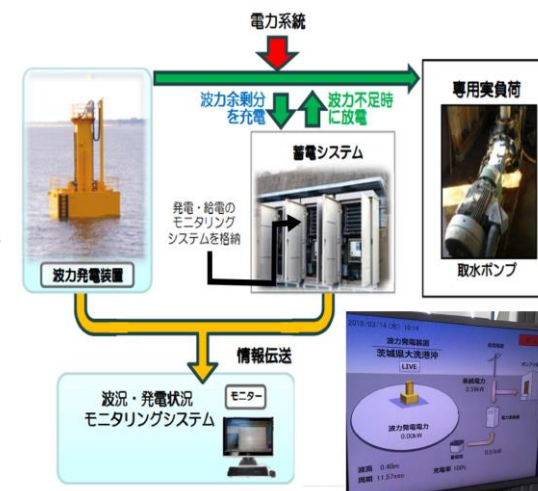


図 沿岸型波力発電システム構成図

④【技術開発の目標・リスク】

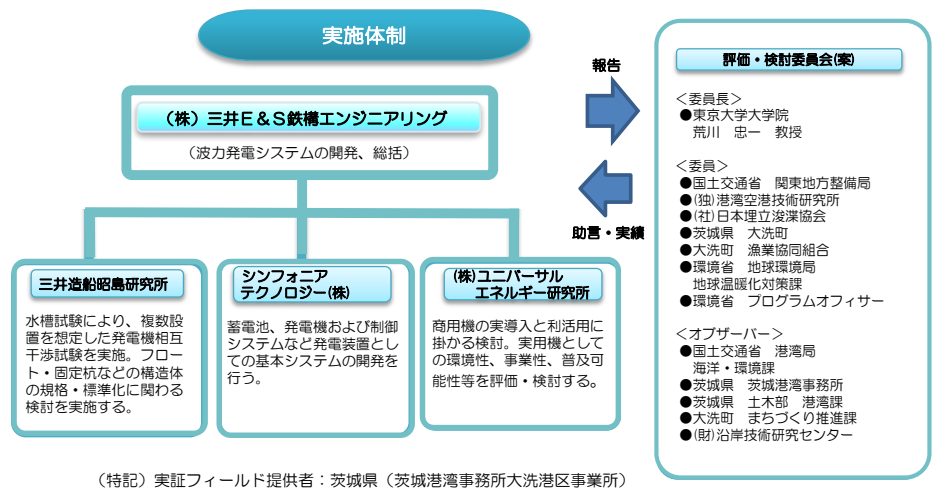
○想定ユーザー・利用価値：漁業など地元産業との協調型(漁業者(組合)、水産会社)、防災利用(防災施設運用者、自治体、港湾管理者など)、島嶼部での利用(電気・通信事業者、港湾管理者、病院・避難施設など)

○目標となる仕様及び性能：＜②技術開発の内容、③システム構成を参照＞

○開発工程のリスク・対応策：外洋での海上工事が必要である。特に海上起重機船は静穏でないと作業できないため、天候待機日数が多くなり、待機費用も増大する。そのため、台風時期や冬場を外して海上工事を実施した。

(2) 実施計画等

①【実施体制】



②【実施スケジュール】

	H28年度	H29年度	H30年度
(1)波力発電システム設備の全体計画	9,866千円	7,741千円	6,705千円
(2)同調制御の高度化及び出力の安定化の検討	37,250千円	27,134千円	23,798千円
(3)耐久性向上に関わる検討	19,305千円	13,740千円	13,279千円
(4)メンテナンス性向上に関わる検討	13,101千円	29,836千円	60,654千円
(5)現地施工性向上に関わる検討	18,299千円	143,226千円	119,764千円
(6)安全対策・台風対策・防災対策向上に関わる検討	15,614千円	15,676千円	11,190千円
(7)構造体・可動部の高度化	12,674千円	43,581千円	13,991千円
(8)発電機・発電機構の高度化	21,506千円	22,623千円	14,469千円
(9)港湾設備への電力供給の検討および実証	30,722千円	73,033千円	50,969千円
(10)CO2削減効果・海洋環境への影響評価・分析	18,709千円	17,959千円	18,074千円
(11)経済性・普及に関わる検討・分析	14,969千円	14,919千円	15,033千円

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者 株式会社E & S三井鉄構エンジニアリング

- 2020年頃までに製品の販売開始（国内1、2か所に試験導入）
- 2025年頃までに大幅な低コスト化を実現し量産化を開始
- 2030年頃までに洋上風力発電との併設を含め港湾などを中心に設置拡大

○事業展開における普及の見込み

- ・対象市場規模、想定事業規模
- ・導入コスト目標：40円程度/kWhならびに120万円程度/kWを目指す
- ・運用コスト目標：30円程度/kWhならびに80万円程度/kWを目指す
- ・製品単純回収年数：25年程度（1000万円÷40万円）

○年度別販売見込み

設置パターン	2020年	2022年	2025年	2030年
目標販売台数 ^{注1)} (台)	9台	9台対応中	4763台	23200台
目標累積販売台数 ^{注1)} (台)	9台	9台	4772台	236772台
目標販売価格 ^{注2)} (円/台)	6000万円	6000万円	5000万円	4000万円

注1) 2025年以降の数値は、潜在ポテンシャル等から試算したものである。

注2) ただし、設置費用を含まない。（2020～2022年時点では補助金等を想定）

○普及におけるリスク

- ・設置・メンテ・撤去：海底地盤・現場海域のデータ取得。最適工法の検討。
- ・漁業者との調整：漁業への影響評価。漁業者の理解が必要。
- ・安全確保：荒天時の自動沈降システムが必要。海底ケーブル保護が必要。
- ・漁船との衝突：杭に標識灯を設置。漁船の通行禁止区域を極力狭くすることなどが必要。漁業者への周知も必要。

④【エネルギー起源CO2削減効果】

開発品1台当たりのCO2削減量 85.15 (t-CO2/台・年)

システム1台当たりのCO2削減ポテンシャル
85.15t-CO2/年
(平均出力20kW × 8,760h × 0.486kg-CO2/kWhで計算)

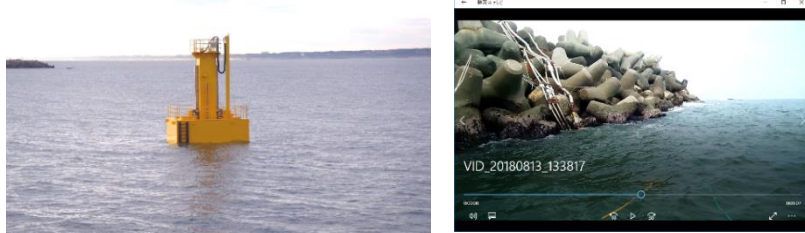
表 沿岸型波力発電の導入に伴うCO2削減量(単位：t-CO2/年)

設置パターン	2020年	2022年	2025年	2030年
CO2削減量 (t)	766	766対応中	40.6万	197.5万
累積CO2削減量 (t)	766	766	40万6766	238万1766
CO2削減コスト (円/t-CO2) ＝環境省から受ける補助総額(円)／当該年度までの累積CO2削減量(t-CO2)			2,383(円/t-CO2) (延べ4772台)	407(円/t-CO2) (延べ236772台)

(3) 技術開発成果

①【これまでの成果】

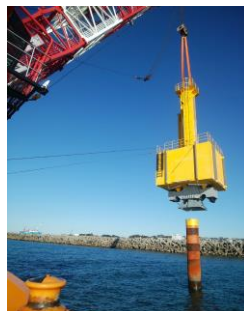
- 50kW定格の波力発電実証機を開発・製作・設置・稼動・撤去等を実施。
(実用機とほぼ同規模であり、前回試験機の約6倍の規模(体積))
- フライホイールを用いた機械的同調制御機構の製作・運転・実証した。
- 上記を使った発電試験実施とデータ取得(最大出力40kW以上を達成)
- 上記同様、長周期でも高い発電効率を確認(50%以上を達成)。
- 海底ケーブルは1年6か月間、異常なし。(導通等も問題なし)
- 可動ローラー等も1年近く、異常無し。(想定内の摩耗範囲等を確認)
- モノパイル工法を用いて設置し、工期や占有面積の1/2以下を達成。
- 構造体等も1年近く、異常無し。(想定内の腐食等を確認)
- 今回の実証規模では、水中騒音を含めた海洋環境への影響は殆どない。
- 400基以上の量産化等が実現できれば、発電単価40円/kWhに接近。
- CO2排出削減効果66.36t-CO2/年/台の能力がある事などを確認。



②【CO2削減効果】

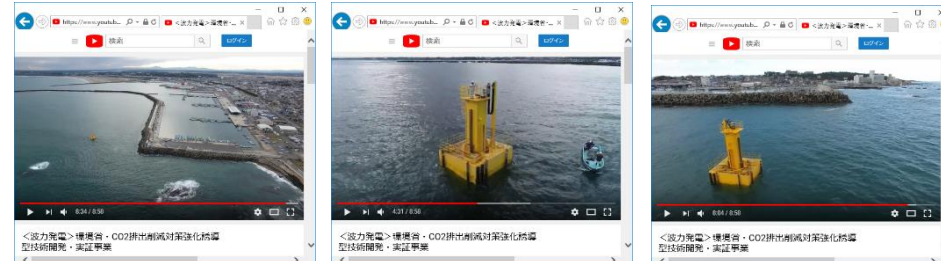
システム1台当たりのCO2削減ポテンシャル 85.15t-CO2/年
(平均出力20kW × 8,760h × 0.486kg-CO2/kWhで計算)

- 2020年時点の削減効果
 - 2020年の目標販売台数(9台)
 - 年間CO2削減量 85.15トン×9台=766トン
- 2022年時点の削減効果
 - 2020年の目標販売台数(9台対応中)
 - 年間CO2削減量 85.15トン×9台=766トン(対応中)
- 2025年時点の削減効果
 - 2025年の目標販売台数(4763台)
 - 年間CO2削減量 85.15トン×4763台=40.6万トン
- 2030年時点の削減効果
 - 2030年の目標販売台数(23200台)
 - 年間CO2削減量 85.15トン×23200台=197.5万トン



③【成果発表状況】

- 雑誌「化学工学」2017年9月号への投稿(筆者:中野訓雄)
特集 我が国の海洋開発の最新動向および今後の展開の中で、2番目に掲載
- 雑誌「配管技術」2017年9月号への投稿(筆者:中野訓雄)
- 2019年5月「波力発電システムおよび波力発電方法」で特許出願
- YOUTUBE投稿 2019年4月13日「沿岸型波力発電動画」(下図参照)
- 2019年7月1日 (株)三井E&S鉄構エンジニアリング公式HPで紹介



④【技術開発終了後の事業展開】

- 量産化・販売計画など
- 2019年末までに国内離島での導入に向けたPRや企画提案活動を推進。
- 2020年末までに低コスト化に向けた技術開発を推進。
- 2021年末までに離島向け波力発電システムの製造や販売等を開始。
- 2022年末までに国内・海外離島や着床式風車併設向け装置の販売開始。

年度	2019	2020	2021	2022
低コスト化技術開発			▼開発完了	
国内離島への展開			▼製造販売等スタート	
海外離島への展開				▼活動完了
国内・海外の本土や 着床式風車への展開				▼ 製造販売等スタート

- シナリオ実現に向けた課題
 - 低コスト化に向けた部品・機器の性能及び品質向上のための技術開発
 - 国内離島での普及に向けた周辺技術等の開発、実証
 - 国内の沿岸域や離島における波力エネルギー等の解析システムの開発
 - 国内メーカー、海外メーカーとの連携や協業の促進
 - 波力発電が有望な海外市場の特定と将来予測
 - 海外の沿岸域や離島における波力エネルギー等の解析システムの開発
 - 着床式風車への併設システムの開発、実証

○ 参考資料（１）

沿岸域・次世代型波力発電システム技術開発実証 配置図



○ 参考資料（２）

高い発電効率と最大出力40KW以上を確認

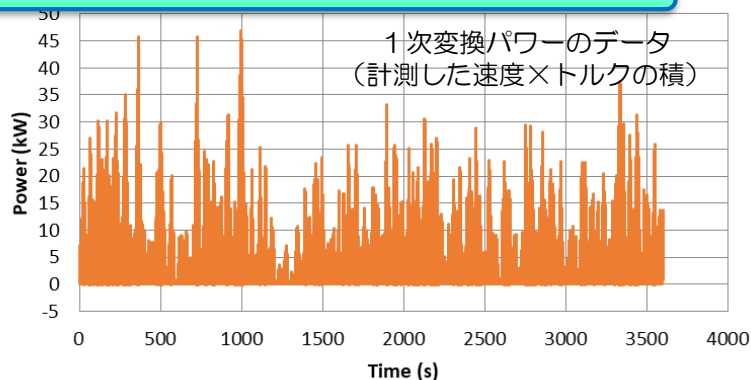
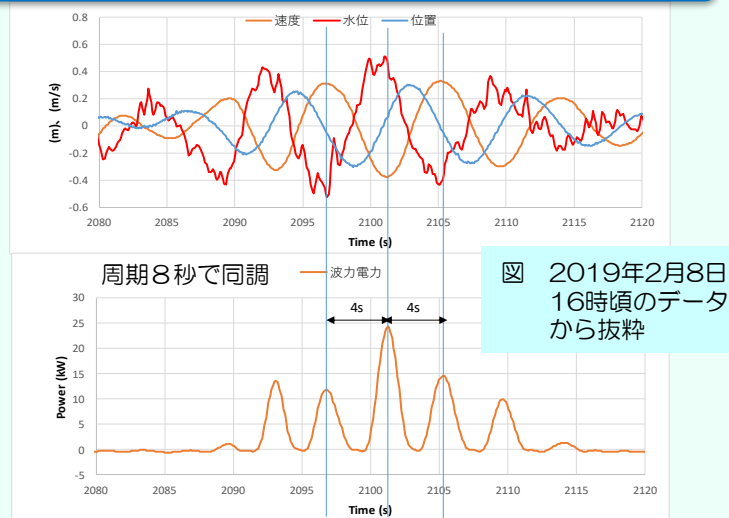


図. 2019年4月16日15時頃のデータ（一次変換パワー）

フライホイール効果（機械的同調制御）を確認



機械的同調制御システム（フライホイールの採用）

フライホイール（円盤）を遠隔操作で脱着することにより、フロートの固有周期を6秒から長周期側に変えることができる。これにより太平洋沿岸で発生頻度のある長周期（8秒程度）の波浪でも同調制御が可能である。



荒天時フロート沈降システム

有義波高2～3m以上の荒天が予測される場合、フロートを沈降させることで、荒天時のフロートが受ける波力を低減し、施設全体を守る機能がついている。荒天回避後はコンプレッサーを稼働させ、フロート浮上ができることで、すみやかな復旧を可能としている。



図. 2019年3月11日荒天時状況
(最大波高6m近くの波浪)

CO₂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 7.4点（10点満点中）

▪ 評価コメント

[評価された点]

- ー 島、港湾およびその周辺など、電力消費が見込まれる沿岸域において、海洋再生エネルギーの利用促進のため、パワーブイ方式と呼ばれる波力発電の手法にフライホイールを組み合わせることにより、波力発電の安定性を確保するというアイデアの有効性を確認し、発電効率の大きい洗練されたシステムを開発し、所期の目標を達成した点は評価できる。
- ー 耐久性とメンテナンス性の両面からトータルコストを最小化するという方針でシステムを開発し、実用性に近い成果をあげている点は評価できる。

[今後の課題]

- ー さらなるコストの削減を進めて経済性を高め、行政との連携など等を通じて社会実装の実現化が望まれる。
- ー 低コスト化に時間を要するのであれば、本システムの付加価値を高めることを検討すること。例えば、エネルギーコストが高いが、自立電源が要求される遠隔離島をターゲットに、本システムが有効に活用できる仕様を検討するなどして普及を段階的に進めることが望まれる。

[その他特記事項]

- ー 本システムの耐久性などの検証を引き続き実施することが望まれる。