

論文の内容の要旨

氏名：木原 一 禎

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：高性能振動水柱型波力発電装置のシステム設計法に関する研究

1. 研究背景

2015年現在、日本のエネルギー政策は、徹底した省エネルギー社会の実現、再生可能エネルギー導入の加速化などが主要項目となっている。波力発電は、数百kW/基規模であるが、沿岸域などの比較的陸域に近いところで設置ができるため、洋上施設に比して建設コスト、メンテナンス費用の低減が出来る。そのため、発電コストの廉価化が進めば今後の普及が期待される。

これまで、本研究の対象である振動水柱（OWC）型波力発電装置は、1970年代より我が国が世界に先駆けて開発を進めてきた。代表例として、旧運輸省が行った酒田港のOWC型発電装置やJAMSTECが三重県五ヶ所湾で行った浮体式OWC型発電装置（通称：マイティールホエール）などがある。これらは、大型の波力発電設備であり、50kW以上の発電出力を有する設備であった。これらの実証実験により、OWC型発電装置の実用化の目処がついたが、発電単価が両者とも100～130円/kWhと非常に高く、当時の発電単価としては、一番高価であるとされる離島の発電単価よりも高価なものであった。そのため、これ以降の波力発電装置の開発は停滞した。

現代社会において、波力発電装置の実用化を推進していくためには、他の自然再生可能エネルギーと遜色ない発電単価の目標値を設定する必要がある。そこで、発電単価の目標値は、現状の風力、太陽光を参考にして、既存の波力発電の1/3以下の費用である40円/kWh以下とするのが妥当である。

一方、新たに波力発電所を建造する場合、発電技術の設計標準（設計ガイドライン）は、いまだ十分に整備されていない状況にある。この原因として、波力発電装置の技術開発がいまだ研究開発の段階に位置づけられており、実用化（商用）ベースで稼働させるための技術評価法が存在しないことと、実験海域におけるデータや知見が限定的であることが挙げられる。

2. 研究目的・課題

本研究の目的は、波力発電装置の実用化を図るために、①技術の成熟度を評価する開発ガイドラインにより、波力発電装置の一連の性能を評価するシステム設計法を提案することと②そのシステム設計法を用いて発電単価40円/kWhの目標達成のために克服すべき技術課題の解決を図ることである。

なお、波力発電装置のシステム設計における装置の性能評価手法には、様々な海域で波力発電装置の発電出力の推定を可能とする一次、二次変換過程の連成シミュレーション手法を構築し評価を行う。

3. 研究概要

3.1 課題解決策

上述の①の目的を達成するため、NASAのTRL(Technology Readiness Level)やEUのStage Gate技術成熟度評価手法を参考に開発ステップをStage1からStage5まで設定する開発ガイドラインを提案し（図1）、このシステム設計法に沿ってOWC型発電装置の研究開発を行った。

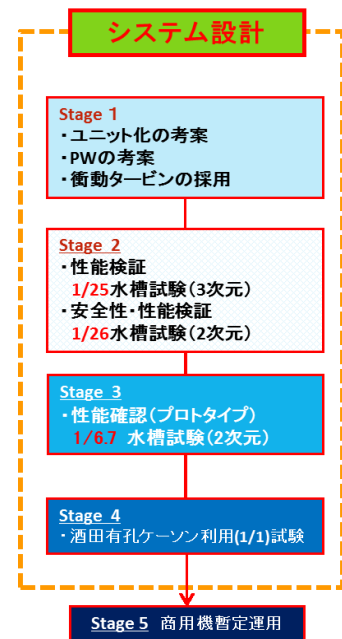


図1 システム設計法

3.2 システム設計法による課題の克服

(1) Stage 1

技術課題の解決策として、図 2 に示す後付けユニット装置を新たに考案した。これらのコンセプトは、装置の廉価策、効率向上策として有効であると考えられる。

また、将来の実用化を考え、波エネルギーの一次変換、二次変換連成計算ツールを構築した。

- ・廉価策 1：装置の後付けユニット化。
- ・効率向上策 1：PW（Projecting Wall）の考案（波エネルギー取得周期帯の拡大）
従来の単一 OWC に比して 1.5 倍の一次エネルギー変換効率を期待している。
- ・効率向上策 2：衝動タービンを初めて採用した（失速域の低減およびエネルギー取得帯の拡大）。従来のウエルズタービンに比して 1.2 倍のエネルギー変換効率を期待している。
- ・計算ツール構築 1：三次元特異点分布法による PW 付加型 OWC 発電装置 (PW-OWC) の一次変換エネルギー評価ツールを構築した。
- ・計算ツール構築 2：衝動タービンの特性を把握。径の変更で特性が計算できるツールを構築した。

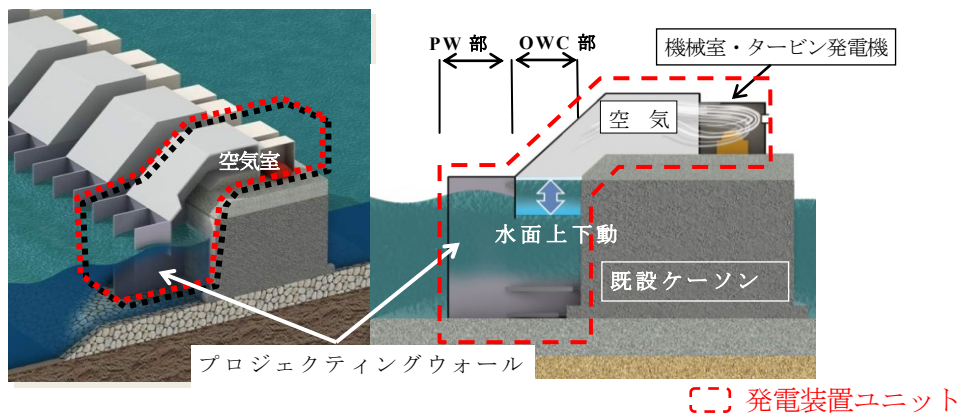


図 2 PW-OWC 発電装置の概要

(2) Stage2,3

技術の成熟度を検証するため、1/25 水槽模型実験により、既設ケーソンの安全性およびエネルギー変換効率の検証を実施した。

さらに、1/6.7 と大型スケールの模型を使用し、模型のスケール影響の確認と発電特性の確認を行った。

この Stage では、装置の安全性、性能、設計に用いる波圧強度の評価法についての検証を行い、いずれも問題が無いことを確認した。

(3) Stage 4

システム設計における技術成熟度の最終テスト Stage である。装置の設計、製作、設置技術の検証、および実海域における発電性能の検証を行った。

1) 設計・施工

酒田港の護岸ケーソン上に発電装置を設置し、施工技術の検証、発電データの取得、発電性能の検



写真 1 PW-OWC 型波力発電装置 (実証実験機)

証を行った。(写真1)

- ① 施工技術の検証 1: 陸上クレーンの規模, 輸送時のトレーラーなどを考慮した設計を実施した.
- ② 施工技術の検証 2: 地元住民との合意形成をはかり, 空気の吹き出し口の位置を変更した.

2) 発電性能

① Stage 1 の特異点分布法シミュレーションの適用性の検証を行い, 問題無く適用できる.

② タービンの特性

図3に示すようにタービン出力の計算と実海域の実測データは, 極めて整合がとれており, タービンの性能は, 実海域において想定通り機能することが分かった.

衝動タービンは, 失速域が少ないため, 実海域のような不規則な波による空気変動領域でも, 回転ロスが少ない優秀なタービンであることを立証した.

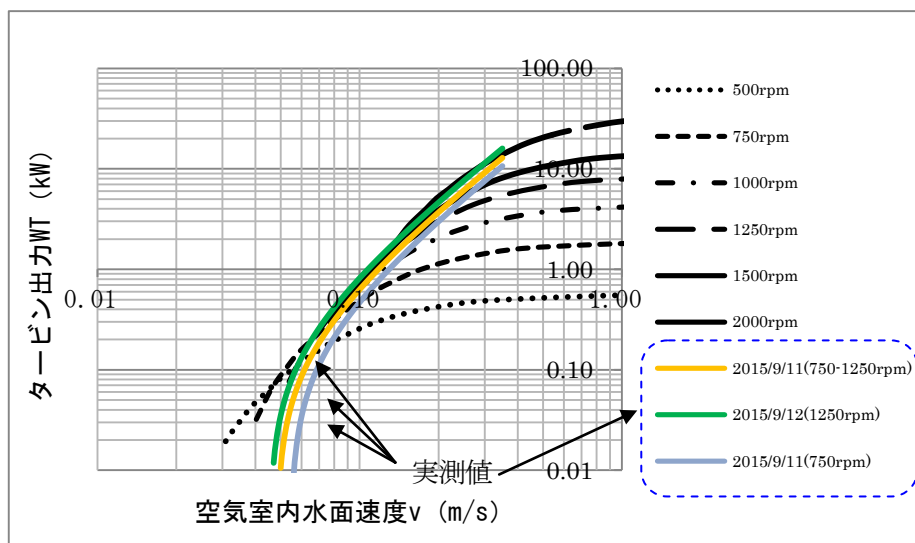


図3 実海域実験比較 (タービン出力-水面速度)

3.3 装置の効率評価連成シミュレーション構築と実海域試験による検証

実証試験の結果解析より, 従来の性能評価では別々に行われていた一次変換と二次変換の性能を連成させる方法(図式解法)について, 検証を行った.

この方法は, 一次変換側の計算を, 空気の吹き出し口の絞り(ノズル)による OWC の水面の上下変動速度, 変動により生じる空気の圧力差の特性を把握し, タービンの出力カーブとマッチングさせる方法である. 検証の結果, 構築した解法は, 実海域データと整合が取れている.

4. 結論

- ① 波力発電装置の一連の性能を評価するシステム設計法を構築した.
- ② 本研究における PW と衝動タービンは, 世界でも例がない初めての試みであった. 構築したシステム設計法に準拠して開発研究を進めた結果, 想定どおり変換効率が向上し, OWC 型発電装置に有用なコンセプトであることが示された.
- ③ 発電装置の廉価策, エネルギー変換効率向上策の検証を行い, 発電単価 40 円/kWh の目処がついた.
- ④ 様々な海域で波力発電装置の出力を推定可能とする一次, 二次変換過程のシミュレーション手法を構築した.

本論分は全 11 章からなり、以下にその概要を記す。

第 1 章：世界における海洋再生可能エネルギー利用の起源から現在までの傾向とその必要性について述べている。そして、研究の目的、研究概要を述べている。

第 2 章：Stage1：目標発電単価達成のために、高性能振動水柱型波力発電装置のコンセプトの構築と克服すべき課題について述べている。

第 3 章：Stage1：一次変換の推定法として完成させた、三次元特異点分布法推定プログラムの構築方法について説明している。二次変換に関しては、タービン特性をタービン径に応じて外挿できるプログラムについて説明している。これら 2 つの解法のマッチングを図るため、図式解法によるマッチング方法について述べている。

また、目標単価である 40 円/kWh を達成するための建設投資について検討している。

第 4 章：Stage1：振動水柱型波力発電方式の後付け構造方式の構造設計の説明をしている。装置に作用する設計外力の算定法、装置への荷重載荷方法について説明している。

また、構造設計の手順の整理、設計法の構築方法に関して述べている。

第 5 章：Stage2,Stage3：1/25 小型模型、1/6.7 大型模型の 2 段階の規模の水槽実験をとおして、技術課題を検証した内容について述べている。

第 6 章：Stage4：実海域実験概要として、山形県酒田市酒田港の護岸ケーソン上に OWC 装置の設置にあたり、その発電特性について検証を行っている。この護岸ケーソンは、前後に遊水室をもつ消波ケーソン（有孔ケーソン）であり、消波孔におけるエネルギーロスや 2 章で構築したシミュレーションの適用可否についても検討を行っている。

第 7 章：Stage4：設置する波力発電装置の設計法および施工法（製作、据付）について述べている。検討に当たっては、発電装置の小ブロック化、陸上架設、輸送などのコスト低減策について説明している。

第 8 章：Stage4：発電装置の製作、施工状況について、説明している。また、7 章で検討したコスト低減策の効果について検証を行った結果、想定通り廉価化が図れたことを述べている。

第 9 章：Stage4：装置を設置完了から発電終了までに得られた発電データについての解析結果について報告である。考察は、入射波高の傾向について、空気室内の波振幅と発電量の関係性、シミュレーションプログラムにより算出した一次変換係数の整合性、空気室内の面積による発電特性への影響、今回採用した衝動タービンのマッチングについてである。

第 10 章：Stage4：Stage 1～Stage 4 の検証結果に基づき、システム設計の要であるシミュレーションの妥当性の検討を行っている。構築したプログラムツールが実証試験の結果と整合性がとれているか否か検証を行っている。新規性として、従来の性能評価では別々に行われていた一次変換と二次変換の検討をマッチングするための方法について述べている。

第 11 章：本研究の結論を述べている。