

## 論文審査の結果の要旨

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

審査委員：（主査） 教授 増田 光 一

（副査） 教授 居 駒 知 樹 客員教授 前 田 久 明

東京海洋大学特任准教授 大 澤 弘 敬

一般財団法人みなと総合研究財団顧問 細 川 恭 史

波力発電は、海洋の波浪エネルギーを利用して発電するシステムである。我国における波力に関する研究は、1940年代に波力を利用した航路標識ブイの研究開発が最初であり、波力発電装置の種類としては、振動水柱型、可動物体型、越波型の3つの型式に区分される。

本論文で対象としているのは、振動水柱型波力発電システムであり、OWC (Oscillating Water Column) システムとも呼ばれている。この発電システムは、1970年代より我国が世界に先駆けて独自に開発を進めてきたシステムであり、研究の代表事例としては、旧運輸省が酒田港で行った沿岸固定型のOWC型発電装置や現在の海洋研究開発機構が三重県の五ヶ所湾で実施した浮体式OWC型発電装置がある。これらは、大型の発電装置であり、50kW以上の発電出力を有していたが、この2つの実証実験によりOWC型発電装置の実用化の目途が見つかったが、研究当時の発電単価が最も高価とされていた離島のディーゼル発電の単価よりも高価な100円/kWh～130円/kWhであり、結果としてそれ以後の波力発電に関する国内での研究は停滞したと申請者は考察した。

そこで、申請者は、現代社会で波力発電装置の実用化を推進する場合に、他の自然再生可能エネルギーによる発電と遜色ない、既存の波力発電単価の1/3である40円/kWh以下にすることが妥当であると考えた。さらに、新たに波力発電を設計、建設する場合の、発電システムの設計のスタンダードとしてのシステム設計法が十分に整備されてない状況にあり、これらの課題を解決することが極めて重要であると申請者は考えた。これらの課題を解決するための手段として発電単価に関しては発電システムの高性能化が必要であり、設計の標準化に関しては技術成熟度評価法に基づいたシステム設計法の構築が重要であると申請者は主張している。

以上のことを踏まえて、申請者は、振動水柱型波力発電装置の実用化を図るために発電単価40円/kWhの目標達成のために克服すべき技術課題を解決し、同時に技術成熟度評価手法を基にしたシステム設計法を構築することを本論文の目的とした。

申請者は、システム設計法の構築のためにTRL (Technology Readiness Level) の考え方やEUのStage Gate 技術成熟度評価手法の考え方を導入し、本システム設計法にStage 1からStage 5まで5つのStage Gateを設定した。

本論文は、全体で11章から構成されている。各Stage Gateの概要は以下のとおりである。

Stage 1は本論文の目的を達成するための解決策の検討を行っている。波力発電装置の廉価策として申請者は、装置のユニット化を考案した。さらに、高性能化への対応としては、プロジェクトニング・ウォール：Projecting Wall (PW) を考案し一般的な装置に対して1.5倍の1次変換効率を期待できると記述している。高性能化の2つ目の方策として衝動タービンを導入し、従来のウェールズタービンに比べて1.2倍の2次変換効率を期待できると申請者は主張している。同時に、本Stageでこれらの性能を評価するための1次変換と2次変換の連成シミュレーションツールの開発も実施している。

Stage 2および3において申請者は、Stage 1で提案した解決策の効果を検証するために1/25水槽模型実験を実施した。その結果の考察から、既設ケーソンの安全性およびパワー変換効率の向上を検証し、Stage 1で提案した解決策の効果が検証されたと結論付けている。さらに、1/6.7となる大型のスケール模型を用いて、実験におけるスケール影響の確認と発電特性の確認を行っている。申請者は、本Stageの考察から、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と結論付けている。

Stage 4については、システム設計における技術成熟度の最終テストのStageであると申請者は記述

している。本 Stage では、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が成されている。具体的な検証は設計、施工と装置の発電性能であった。申請者は山形県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、発電性能の検証を実施している。

施工技術に関する本論文での検証事例は以下のとおりである。

- 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。
- 施工技術の検証 2：地元住民との合意形成をはかり、防音設計に加え、空気の吹き出し口の位置を変更した。

発電性能に関して申請者は、最大 14kW 以上の発電を確認出来たと結論付けた。Stage 1 で開発した数値シミュレーション手法の適用性の検証を同時に行い、問題無くそれを適用できると結論付けている。タービンの性能に関して申請者は、実海域において想定どおり機能することが明確になったと結論付けている。即ち、衝動タービンは、風速に対する失速域が少ないため、実海域のような不規則な波浪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できたと申請者は主張している。また、装置の効率評価シミュレーション構築と実海域試験による検証に関して、申請者は、実証試験のデータ解析より、従来の性能評価では別々に行われていた波パワー変換過程の 1 次変換と 2 次変換の性能を連成させる方法 (図式解法) について検証した。申請者によるとこの方法は、1 次変換側の計算により、空気の吐き出し口の絞り (ノズル) による OWC の水面の上下変動速度と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り、極めて実用的な連成解析法であると考えられる。検証の結果として、構築した連成解析法は、実海域データと整合が取れており十分実用に供し得る解析法であると申請者は主張している。

本論文の主要な結論を整理し、独創的な結論のみを示すと下記のようになる。

- 1) 実用化に向けた設計システムガイドラインを策定して、課題の解決を図り、実際に実物大の実証用装置を建造した。
- 2) 本研究における PW と衝動タービンの実証機への適用は世界でも例がない初めての試みであったが、想定していたとおり、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確認された。
- 3) 新規に提案した PW-OWC 型の躯体と衝動タービンのマッチングによって、発電単価 40 円/kWh が達成可能であるという目処をつけた。
- 4) OWC 型波力発電装置の性能評価における 1 次変換と 2 次変換過程の連成が可能な設計支援ツールを開発し、実海域データとの検証を行った。その結果、設計支援ツールの有用性が確認された。

以上、本論文は、振動水柱型波力発電装置の実用化のための性能向上および技術成熟度評価法を基にしたシステム設計法に関する研究であり、本論文の結論は、振動水柱型波力発電の実用化に寄与すること大である。このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士 (工学) の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 28 年 2 月 18 日