

## 論文の内容の要旨

氏名：斐 辰 玟

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：波力発電用永久磁石型小型リニア発電機の特性解析に関する研究

本研究の目的は、波力発電システムに用いる永久磁石型小型リニア発電機の実用化に向けた基礎研究である。永久磁石型リニア発電機は、波の上下運動エネルギーを直接電気エネルギーに変換する波力発電機に多く検討されている。この方式は、他の方式より、内部構造が簡単で耐久性と変換効率が低い。特に、養殖場の沖合化に対する標準化浮消波堤に設置する波力発電システムのリニア発電機に用いることが可能であるとともに、浮消波堤の消波対象波により、リニア発電機を高い波から保護できるメリットもある。しかし、現状では、永久磁石型小型リニア発電機に対する詳細な設計手法などが体系的に整理されていない。また、海での設置が前提条件であるため、塩分対策および強い耐久性が要求されるので複雑な構造は不向きである。波の正弦波運動での特性解析を行うことが重要である。本論文の各章の具体的な説明を以下に記す。

第1章では、研究の背景および従来の先行研究における問題点を記述し、その内容に従い本研究の目的を設定した。先行研究では、リニア発電機の磁気特性を確認するため、有限要素法での数値解析で二次元モデルの静磁場解析が多く実施されているが、リニア発電機は、界磁が往復運動して磁界を発生させるため、界磁が静止している状態の静磁場解析では不十分である。そのため、界磁を往復運動させる動磁場解析を実施することについて述べた。また、この動磁場解析はリニア発電機の運動要素を移動させることができるので、機械的な模擬試験と同じように移動磁界による誘導起電力や磁束分布などが確認できる。特に、波の速度を単振動で近似してリニア発電機の可動部の移動速度に適用したため、実際の海での正弦波動的な波の上下運動を解析できるメリットがある。また、波の速度は磁極のピッチと発電機の寸法算定に関連が深いことを明らかにした。

第2章では、波の上下運動は正弦波運動であるため単振動として近似することができる。これを用いてリニア発電機の可動子の移動速度を算定した。次に、この波の波高値からリニア発電機の可動部が往復運動する移動距離の算定に必要な変位を推定した。これにより、波力発電システムに用いるリニア発電機の寸法と磁極のピッチの算定に必要な波の速度の適用方法を明らかにした。

第3章では、リニア発電機の概要から磁極ピッチと固定子の寸法を計算した。次に、永久磁石の寸法算定および固定子のスロットの詳細な寸法を推定した。推定されたスロットの物理的な構造から漏れインダクタンスを計算し、同期リアクタンスまで推定した。この磁気回路計算からリニア発電機に関する負荷特性式の誘導ができた。特に、本研究でのリニア発電機の固定子の磁路の形状は、水平幅と垂直幅が異なり、従来の磁路長計算方法は適用できないため、本章では磁路の繋ぎ部分を楕円の円弧で近似した計算方法を適用した。

第4章では、有限要素解析のための解析条件設定と解析結果について考察を行った。有限要素法解析ソフトを用いる往復型機器の磁場解析に対する詳細な設定方法および本解析ソフトの制限事項を回避する方法を述べ、特に本解析ソフトの動磁場解析での往復運動設定を速度のみ設定すると、単純な等速直線運動であるため、波の正弦波運動の解析は不可能である。しかし、考案した新しい速度入力関数を動磁場解析に適用することにより、波の正弦波運動解析が可能になった。次に、本解析ソフトでのコイル結線の制限を回避するため、外部インターフェースでコイルをモデル化する方法を説明した。また、要素分割方法でのアダプティブメッシュ法に用いる初期メッシュ設定規則について考察し、この手法による要素分割の結果に対する収束精度の妥当性の確認方法を説明した。最後に、FFT解析について説明した。

第5章では、3章のリニア発電機的设计手法に基づき、设计された永久磁石型リニア発電機の三次元解析モデル (Model 1) を用いて有限要素法解析での初期特性を確認した。また、静磁場解析で Probe Line を用いて永久磁石の磁界と磁束密度の測定が可能になった。静磁場解析でのインダクタンスのマトリックス機能を用いて自己インダクタンスが計算できることを明らかにした。動磁場解析では、Field Calculator を用いて移動位置による鎖交磁束および磁束密度が計算できた。また、単振動に近似した波の速度通りに可動子の往復運動が可能になり、誘導起電力の振幅値が確認できた。FFT 解析を行い高調波次数成分の比率が確認できた。

第6章では、5章のリニア発電機の磁場解析結果に基づき、波力発電機としての実用化に向けた性能改善に対して3種類の解析モデル (Model 2、Model 3、Model 4) を作成して解析を行った。Model 2 は磁束密度分布を平均化させるため、固定子のスロットの面取り加工を実施した。その結果、面取り加工により高調波次数成分を低減することができた。Model 3 は磁束経路の補強のために可動子の永久磁石の端部の下にマグネットバーを挿入した結果、誘導起電力のピーク値が Model 1 と Model 2 より約 1.8 倍増加し、磁束伝達を強化させることが確認できた。Model 4 は、固定子スロットの磁束分布を平均化させるための固定子の面取り加工と磁束経路の補強のために可動子の永久磁石の端部の下にマグネットバーを挿入した結果、誘導起電力のピーク値は Model 1 と Model 2 より約 1.8 倍増加し、Model 3 よりほぼ同じである。そして、基本波に対する第3高調波の比率は、全ての解析モデルの中、最も低い約 6.9%であった。また、固定子スロットの歯先端部の面取り加工により鎖交磁束を増加させることが確認できた。

第7章は結論であり、本研究の成果として、リニア発電機的设计手法、有限要素法解析ソフトによる応用解析、リニア発電機の初期特性の磁場解析、リニア発電機の改善解析をまとめた。

最後に、今後の課題として、スロットの面取り加工の最適値、誘導起電力と鎖交磁束の増加、永久磁石取り付け方法、固定子スロットのコイルの自己インダクタンス値の不均等に対する対策、移動磁界解析の解析時間の短縮についてまとめた。