

論文の内容の要旨

論文題目 浮体式洋上風力発電の安全性および環境影響に関する研究

氏名 塩莉 恵

現在、商業的に実用化されている洋上風力発電施設は、国内外を問わず、全て着床式の施設である。これら施設の設置位置を決定するに当たって考慮されて来たのは、主に採算性に関係する気海象、水深、離岸距離等であり、また、漁業関係者等との利害関係も重視されてきた。

浮体式の施設は我が国において、実用化を目指して実海域における実証実験の段階にある。浮体式施設の設置位置の検討においても着床式と同様、採算性や利害関係者との調整が重視されると考えられるが、浮体式施設には着床式にはない「漂流」のリスクが内包される。施設の漂流リスクを考慮する場合、周辺航路や沿岸施設等との位置関係による安全性の評価も必要となる。また、環境影響の評価結果も施設の設置位置に影響する可能性があり、これらの適切な評価が必要であるが、明確な評価手法がないのが現状である。

既存の安全基準等は風力発電施設単基について、施設そのものの安全性に関する内容が主であった。また、ファーム化を念頭に置いた先行研究についても、ファーム内の施設被害は考慮しているものの、周辺被害までを考慮したものではない。環境影響についても、国内外で基準が策定されているものの、全ての項目について影響が明確に証明されている訳ではなく、また、その影響評価手法も確立している訳ではない。特に海外では海産哺乳類への影響が重視されており、魚類への影響に関する調査例が少ない上に、生物の慢性影響を調査した例はほとんどない。

そこで、本研究では、浮体式洋上風力発電施設の設置位置の選定方法に関わる、次の2つの評価手法の検討を行うこととした。1つ目は、周辺航路や沿岸施設との位置関係を考慮した、浮体式洋上風力発電施設の安全性に関するリスクの空間分布の評価手法である。2つ目は、施設運用時の水中放射音を想定した、魚類の水中音に対する慢性影響の評価方法である。2つ目の評価には、施設周辺での水中音観測結果を参考にする。なお、本研究では単基の施設を想定してこれらの評価方法を検討するが、ここで得られた知見は、ファーム化された場合の評価にも発展可能なものとする。

安全性については、まず、浮体式洋上風力発電施設の安全性に関するリスクのうち、浮体式施設に特有のリスクを重大リスクとして抽出し、FTA (Fault Tree Analysis) および ETA (Event Tree Analysis) の手法を用いて各リスクの原因と結果を推定した。また、これらの推定結果を利用して、各リスクの原因から結果の一連の流れを示すリスクシナリオを作成し、これらの中から、航

路や沿岸施設との位置関係に着目して重要なシナリオを絞り込んだ。次に、これらのシナリオを構成するリスクについて、施設の設置位置によるリスクの変化を定量的に評価する方法を検討し、太平洋側の日本沿岸部を想定した仮想海域における計算例を通して、この評価方法によって施設設置位置を検討する上で重要な項目を整理した。

その結果、風力発電施設の漂流原因別では、船舶の漂流や、風車設計時の想定を超える環境条件の発生に起因するリスクの影響と比べて、船舶の操船ミスに起因するリスクの影響が最も大きく、また、航路に関連するリスクと沿岸施設への衝突リスクを比較すると前者の影響が圧倒的に大きいことを明らかにした。これらのことから、周辺海域への影響の観点から浮体式洋上風力発電施設の設置に適した位置を決めるに当たり、最も影響の大きいリスクは「操船ミスによる船舶の衝突」であることが分かった。

しかし、船舶通航分布がガンマ分布で近似される海域では、航路中心からある一定の距離で急激に船舶の通航量が減少し、航路関連のリスクが総合リスクにほとんど影響しなくなるため、沿岸施設への衝突リスクの空間分布が明確に現れる。日本沿岸域では、このようにガンマ分布で近似できる船舶通航分布を持つ海域が多いため、航路に関連するリスクが急激に減少する位置より陸側の海域の中から、沿岸施設への衝突確率の小さい位置を選ぶ方法が適切であると考えられる。以上により、本研究では、以下の方針を浮体式洋上風力発電施設の設置位置選定手法として提案した。

「まずは航路中心から離れた、航路関連のリスクの影響が十分に小さくなる海域に絞り、次にその海域内で沿岸施設への衝突リスクの小さい位置を選ぶ。ただし、沿岸施設への衝突リスクの空間分布は環境条件に大きく依存するため、当該海域の環境条件を考慮して定量的に評価することが望ましい。」

この方針は、洋上風力発電事業の有力海域として考えられている、太平洋側の日本沿岸部の多くの海域において共通して利用可能なものであることから、日本沿岸部で浮体式洋上風力発電事業を行う場合の、一般的な適地選定の指針を示すことができたと考える。

一方、環境影響については、洋上風力発電に特有の問題として水中音による海棲生物への影響に着目し、洋上風力発電施設の環境影響に関する先行研究・調査について、海外の事例を中心に文献調査を行い、洋上風力発電施設からの水中音およびその生物影響に関する知見を整理した。その結果、施設からの水中放射音の調査や生物の水中音に対する反応を調査した例はあるものの、両者を別々に調査したものが多く、生物実験を行う際に施設放射音の周波数特性や音圧レベルの調査結果を踏まえて実施している例はほとんどないことが分かった。また、特に海外では海産哺乳類への影響が重視されており、魚類への影響に関する調査例が少ないことや、生物の慢性影響に関する実験例はほとんどないことが明らかとなった。

上記の調査結果を踏まえ、国内の着床式洋上風力発電施設の運用時および建設時における施設周辺の水中音観測を行い、そのデータ解析によって国内の施設からの水中放射音の音圧レベルや周波数特性に関する知見を得た。また、既

知音源を用いた当該海域での水中音減衰特性の調査方法と減衰曲線の推定方法および、これを利用した対象音の音源音圧レベルの推定手法を確立した。これらの調査結果は海外の調査結果と比較しても妥当な結果であり、また、浅海域の水中音減衰曲線の推定については先行研究で示されているものより正確な手法を提案した。本研究において、国内外の着床式施設から発生する水中音の音圧レベルや周波数帯の類似性が示されたことにより、洋上風力先進国で策定されている基準や、水中騒音対策として取り入れられているバブルカーテン等の対策に関する知見を、国内の着床式施設に関する環境基準等の検討時に参考にすることが可能であるということが示された。

魚類への影響の調査については、施設運用時を想定した水中音のマダイ稚魚への慢性影響を評価する水槽実験を行った。本実験は、先行研究では考慮されていなかった慢性影響の評価を目的とし、ストレスによる成長への影響に着目して、摂餌量と体重変化の観点から定量的に評価するものである。この実験の結果、人工的に加えた 100 Hz 単一周波数音の音圧レベルの違いによるマダイ稚魚の行動および摂餌行動への影響が確認されたが、体重の変化、すなわち成長率への明確な影響は確認されなかった。しかし、摂餌行動の変化が起こっているということは、成長への影響が起こる可能性も否定できず、水中音の周波数や音圧レベルの設定、実験期間や実験開始時の供試魚の成長段階、供試魚の数等の実験条件を変更することで体重の変化にも有意差が確認される可能性がある。

今回の実験方法は、魚類が施設から逃避してしまう場合の影響については適切に評価できないが、適切な生息環境が施設近傍に限られる場合や、付近に養殖施設等が存在する場合の評価には有効と考えられる。また、上述の通り、魚類が逃避するレベルではない場合や、音に慣れた状態でも自覚のないストレスに晒されていたり、施設への付着生物等による集魚効果の方が大きく、多少のストレスを感じながらも我慢している状態にある場合も考えられ、このような状態での慢性影響評価には有用な手法であると考えられる。

このような実験で魚類の成長に明確な影響が出た場合、実験結果を基に水中放射音に関する環境影響評価の基準値を決めるとすれば、洋上風力発電施設からの発生音の音圧レベルを、影響が現れない音圧レベル以下に抑えるべき、というような基準を定めることができる。洋上風力発電施設の設置位置の選定において上記のような実験結果を参考にする場合、水産有用種や希少種等の重要な魚類の生息に適した海域や、養殖施設等の設置海域から、洋上風力発電施設をどれだけ離して設置すべきか、という観点で施設設置位置の選定に役立てることができる。

ここまで述べてきたように、本研究では周辺航路や沿岸施設等との位置関係による、浮体式洋上風力発電施設の安全性に関するリスクの空間分布の推定手法を検討し、施設の設置位置を選定する際に重要となる項目を整理して、その選定方針を提案した。また、これまで情報が不足していた魚類の水中音に対する慢性影響の実験による評価手法を検討し、実験結果から新たな知見を得ることができた。浮体式洋上風力発電施設の設置位置を選定する際には、従来考慮

していた事項に加え，本研究で示したような，周辺航路や沿岸施設等との位置関係を考慮して安全性に関するリスクの空間分布を定量的に評価した結果や，水中音による魚類への慢性影響を含めた，環境影響評価の結果を踏まえて検討すべきであると考えます。

本研究で示した，浮体式洋上風力発電施設の安全性に関するリスクの空間分布の推定手法や，水中音観測および生物実験による慢性的な環境影響評価の手法は，今後，浮体式洋上風力発電の安全性および環境影響の評価とその評価結果に基づく施設設置位置の検討において，有用な手段になると考えられる。