

# 日本近海における浮体式洋上風力発電の社会受容性評価に関する研究

環境システムコース・地球環境工学分野

36648 武久 昌徳

## 1 緒言

CO<sub>2</sub> 排出量削減のための対応策の 1 つとして、風力発電は欧米を中心にこの 10 年間で飛躍的に進展してきた。我が国においても 2010 年までに風力発電の導入量 300 万 kW 達成を目指して様々な研究開発が進められている。その一方で陸上における適地の制約などを補うために、沿岸域において海底に基礎を築く着底式洋上風力発電に関する検討も行われている。陸上の立地確保の限界は欧州でも認識され始めており、デンマークなどでは大規模な着底式洋上ウインドファームの開発が始まっている。しかし我が国では遠浅の海域が少ないことや海洋地質条件、周辺への環境問題等から、水深の深い海域でも設置可能な浮体構造物を用いた浮体式洋上風力発電の検討が始まっている。洋上風力発電のメリットは、陸上に比べ風力発電に適した風況であることや運搬・敷設時の障害物が少なく大型化が可能であること、騒音・景観問題などをクリアしやすいこと等がある。一方デメリットとしては発電コストが陸上風力発電に比べ高騰すること、運用保守が困難になること、漁業補償・航路妨害が発生すること等が挙げられる<sup>(1)</sup>。

## 2 目的及び概要

浮体式洋上風力発電の実現可能性については浮体構造物の静的・動的挙動解析といった技術的検討、設置コストや発電コストの概算見積について検討が行われており、事業化可能なレベルの発電コスト試算結果もある一方、現時点では陸上風力発電の発電コストには及ばず、今後さらなるコスト改善が必要との試算結果もある。本研究では、浮体式洋上風力発電システムについて LCA 手法を用いた環境負荷評価を行う。さらにその評価結果を基に、消費者を対象とした新エネルギーから得られる電力の選択に関するアンケートを実施し、浮体式洋上風力発電システムから得られる電力に対する環境負荷を考慮した消費者の選好、社会受容性の評価を行うことを目的とする。本研究では、1 基の浮体構造物上

に 1 基の風力発電機を搭載するシステム(FST: Float with Single Turbine)と 1 基の浮体構造物上に複数基の風力発電機を搭載するシステム(FMT: Float with Multi Turbine)を評価対象とした。システムモデルの詳細を Fig.1、Table1 に示す。

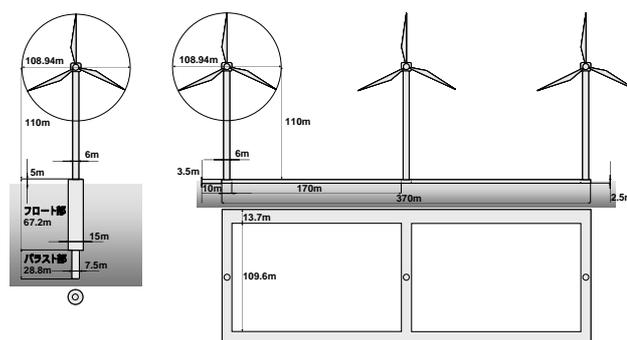


Fig.1 FST モデル(左)と FMT モデル(右)

Table1 システムモデルの概要

	FST モデル	FMT モデル
システム総出力	120MW	120MW
耐用年数	30 年	30 年
風力発電機数	24 基	24 基
風力発電機出力	5MW	5MW
浮体種類	スパー型	パージ型
ユニット数	24 ユニット	8 ユニット

## 3 環境負荷評価

浮体式洋上風力発電システム(Fig.1)から得られる電力について、ライフサイクルを考慮した環境負荷量を評価した。

### 3-1 構成素材重量の推算

浮体式洋上風力発電システムはこれまでに導入実績がないため、文献<sup>(2)(3)</sup>や聞き取り調査を基にシステムを構成する設備毎に構成素材の重量を推算した。

### 3-2 段階別環境負荷量の推算

ライフサイクルの評価対象範囲は素材製造段階・設備製造段階・建設段階・運用段階とし、段階毎の環境負荷量を以下のように推算した。

#### (1) 素材製造段階

構成素材重量に素材別の環境負荷原単位を掛け、環境負荷量を推算した。

## (2) 設備製造段階

聞き取り調査を基に、素材製造段階でのエネルギー消費量の10%と想定して環境負荷量を推算した。

## (3) 建設段階

風力発電機の設置に伴う環境負荷量と各設備のシステム建設地までの輸送に伴う環境負荷量を推算した。

## (4) 運用段階

風力発電機の修繕保守と浮体構造物の再塗装を考慮し必要となる素材量を求め、素材製造とシステム建設地までの輸送に伴う環境負荷量を推算した。

### 3 - 3 CO<sub>2</sub> 排出原単位の評価

推算したCO<sub>2</sub>排出原単位と既往の評価事例<sup>(2)</sup>との比較を Fig.2 に示す。FMT モデルは陸上風力発電程度、FST モデルは陸上風力発電をさらに下回る結果となり、浮体式洋上風力発電システムの環境負荷面での優位性が確認できる。

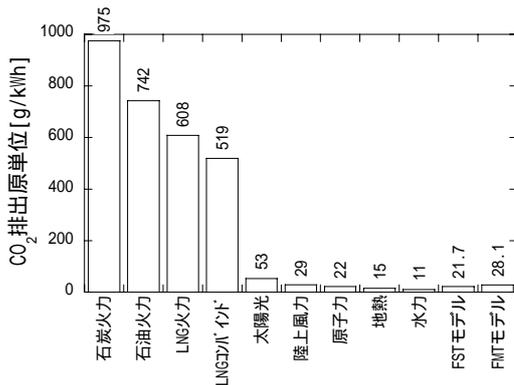


Fig.2 CO<sub>2</sub> 排出原単位の比較

## 4 社会受容性評価

環境負荷評価の推算結果を基に、消費者を対象に家庭用電力を自由に選択可能な状況を想定した、新エネルギーから得られる電力の選択に関するアンケートを実施し、他の新エネルギーと比較した場合に浮体式洋上風力発電システムから得られる電力に対して消費者がどのような選好を示すかを評価した。この社会受容性評価にはコンジョイント分析を適用した。

### 4 - 1 コンジョイント分析<sup>(4)</sup>

コンジョイント分析は評価対象に対する選好を回答者に複数回尋ねることで、評価対象を構成する属性毎に価値を評価する。コンジョイント分析の質問形式は様々なものが開発されているが、

本研究では選択型を用いた。選択型の質問は複数のプロフィールを提示し、回答者は最も好ましいプロフィールを選択する。提示されたプロフィールの内容と回答データとの関係を統計的に分析することでプロフィールの属性毎の部分価値を推定する。

選択型では条件付ロジットモデルにより部分価値の推定を行う。プロフィール $j$ を選択したときの全体効用  $U_j$  は(1)式のようなランダム効用モデルを想定する。

$$U_j = V_j + \varepsilon_j = x_j \beta + \varepsilon_j \quad \dots(1)$$

$j=1,2,\dots,J$

$V_j$ : 効用のうち観察可能な部分

$\varepsilon_j$ : 観察不可能な部分

$x_j$ : プロフィール $j$ の属性ベクトル

$\beta$ : 推定されるパラメータ

誤差項がガンベル分布に従うと仮定すると、プロフィール $j$ の選択確率  $P_j$  は(2)式となる。

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)} \quad \dots(2)$$

このとき対数尤度関数は(3)式となる。

$$\log L = \sum_i d_{ij} \ln \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)} \quad \dots(3)$$

$d_{ij}$ : 回答者 $i$ がプロフィール $j$ を選択したときに1となるダミー変数

部分価値  $\beta$  のパラメータは(3)式から最尤法により推定される。

### 4 - 2 アンケートの概要

アンケートで回答者に提示する電力の属性と水準を以下の(1)~(4)のように設定した。

#### (1) 電気料金

標準的世帯のモデルケースを基に、1世帯の月平均電力使用量290kWhの電気料金として提示した。水準は5,500円、6,000円、6,500円、7,000円、7,500円の5水準を設定した。

#### (2) 新エネルギーの種類

電力がどの新エネルギーにより発電されたかを示す、新エネルギーの種類という属性を設定した。水準は代表的な新エネルギーに洋上風力発

電を加えた、太陽光発電、陸上風力発電、廃棄物発電、洋上風力発電の4水準を設定した。

### (3) 地球温暖化負荷

1世帯の月平均電力使用量290kWhから発生する温室効果ガスについて、CO<sub>2</sub>に換算した排出量を重量単位[kg]で提示した。水準は3.5kg、7kg、14kg、21kgの4水準を設定した。

### (4) 大気汚染負荷

1世帯の月平均電力使用量290kWhから発生する大気汚染物質について、大気環境基準まで希釈するために必要となる清浄な大気量[m<sup>3</sup>]で提示した。水準は42,500m<sup>3</sup>、85,000m<sup>3</sup>、170,000m<sup>3</sup>、255,000m<sup>3</sup>の4水準を設定した。

直交表に基づきこれらの水準を組み合わせプロファイルを作成し、電力の選択に関する質問を1人の回答者に対して7質問提示した。インターネット調査により全国の消費者から554の有効回答を得た。

### 4-3 推定結果

回収された回答結果から、最尤法によりパラメータを推定した。推定結果をTable2に示す。いずれのパラメータも統計的に高い有意性で推定されている。

Table2 パラメータの推定結果

	パラメータ	t値	p値
電気料金	-8.630	-17.183	0.000
地球温暖化負荷	-0.373	-13.289	0.000
大気汚染負荷	-0.598	-15.927	0.000

新エネルギーの種類毎の部分効用値をFig.3に示す。部分効用値はその水準を採用することによって得られる効用の値である。部分効用値は太陽光発電が最も大きく、次に洋上風力発電、廃棄物発電、陸上風力発電の順となった。この結果から回答者は陸上風力発電よりも洋上風力発電を 선호することが分かる。

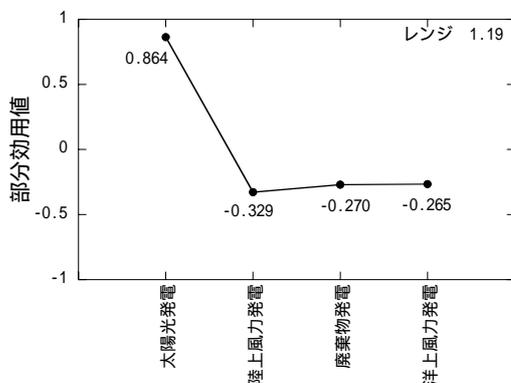


Fig.3 新エネルギーの種類毎の部分効用値

### 4-4 回答結果に基づくシェアシミュレーション

推定されたパラメータ(Table2)を用いて(2)式から選択確率を算出し、シェアシミュレーションを行った。ここでは太陽光発電、陸上風力発電、廃棄物発電、洋上風力発電の4つの仮想的な電力を想定した。地球温暖化負荷と大気汚染負荷について、洋上風力発電はFSTモデルの環境負荷評価の結果から設定し、その他の電力については、既往の評価事例<sup>(2)</sup>におけるそれぞれのCO<sub>2</sub>排出原単位を基に設定した。また太陽光発電、陸上風力発電、廃棄物発電の電気料金については同一金額一定に設定し、洋上風力発電の電気料金が他の新エネルギーの電気料金から増額されることによるシェアの変化を把握した(Fig.4)。

洋上風力発電の電気料金が他の3電力と同額の場合では、洋上風力発電のシェアは36%で最も高くなり、電気料金がすべて同一金額であれば、4電力の中で最も高いシェアを占有する結果となった。洋上風力発電の電気料金増加額が230円の時点で太陽光発電のシェアに抜かれ、440円で陸上風力発電、1,480円で廃棄物発電に抜かれる結果となった。また他の3電力との差額が930円以下であれば洋上風力発電は20%以上のシェアを占有する結果となった。

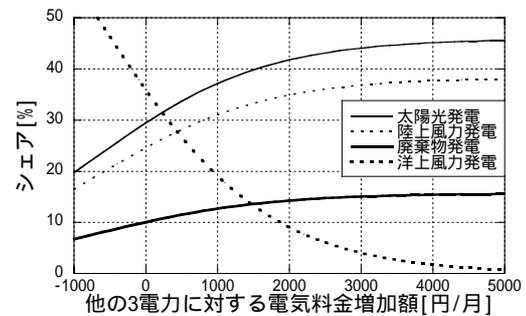


Fig.4 洋上風力発電の電気料金に対するシェアの変化

### 4-5 洋上風力発電の選好が上昇した場合のシェアシミュレーション

本研究におけるアンケートではコンジョイント設問の前に太陽光発電、陸上風力発電、廃棄物発電、洋上風力発電の4つの新エネルギーについて認知度と選好を尋ねた。その結果洋上風力発電の認知度は33.4%であり、太陽光発電(98.9%)や陸上風力発電(78.3%)の認知度とは大きな差が生じる結果となった。一方新エネルギー

一の選好は新エネルギー毎のメリットとデメリット、日本におけるエネルギー賦存量の情報提示後、各新エネルギーの選好は変化し、洋上風力発電が好ましいと思う回答者は 4.5%から 10.5%に増加し洋上風力発電に対する選好は上昇する結果となった(Fig.5)。

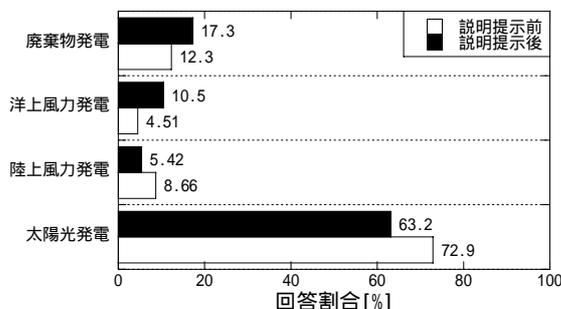


Fig.5 情報提示後における新エネルギーに対する選好の変化

これらの結果から洋上風力発電の認知度が上昇することにより、消費者の洋上風力発電に対する選好が向上することが示唆される。本研究では洋上風力発電に対する選好が上昇することによるシェアシミュレーションの変化を把握した。

新エネルギーに関する情報提示後の新エネルギーの選好を尋ねる質問の回答結果から、回答者を「洋上風力発電を選好する回答者」と「洋上風力発電以外を選好する回答者」の 2 つのセグメントに分類し、セグメント毎のパラメータを推定した(Table3)。

Table3 セグメント毎に推定されたパラメータ

	洋上風力発電を選好する回答者	洋上風力発電以外を選好する回答者
電気料金	-11.870	-8.382
地球温暖化負荷	-0.733	-0.339
大気汚染負荷	-0.936	-0.563

セグメント毎に推定されたパラメータ(Table3)を用いた、洋上風力発電を選好する回答者の割合が約 3 倍の 30%に上昇した場合のシェアシミュレーションの結果を Fig.6 に示す。洋上風力発電のシェアは、洋上風力発電の電気料金が他の 3 電力より 720 円高くなる時点で太陽光発電と陸上風力発電のシェアに抜かれ、1,490 円高くなる時点で廃棄物発電のシェアに抜かれる結果となった。また他の 3 電力との差額が 1,300 円以下であれば洋上風力発電は 20%以上のシェアを占有しうる結果となった。この結果から洋上風力発電の認知度を向上させ、洋上風力発電を選好する消費

者の割合を上昇させることにより、電力が自由に選択可能な状況下において、洋上風力発電の電気料金が他の 3 電力より約 1,000 円増額されても新エネルギーの中で 20%程度の市場シェアを占有する可能性が示唆される。

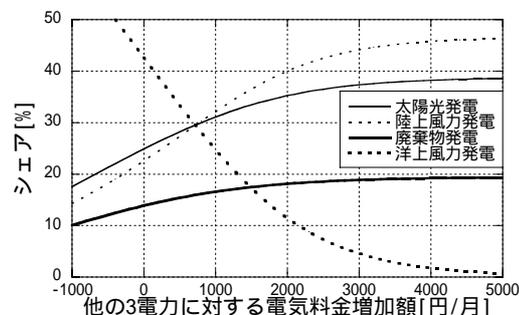


Fig.6 洋上風力発電を選好する回答者割合が 30%に増加した場合の洋上風力発電の電気料金に対するシェアの変化

## 5 結言

アンケート結果から消費者は洋上風力発電を陸上風力発電よりも選好し、洋上風力発電を認知させることによりその選好が高まる可能性が示唆された。電力選択の際に環境負荷面を考慮すれば洋上風力発電に対する消費者の選好は高く、発電コストが導入障壁とされる浮体式洋上風力発電システムは洋上風力発電の認知度を向上させることにより、電力が自由に選択可能な状況下では新エネルギーの中で高い市場シェアを占有し、太陽光発電や陸上風力発電など現在主流の新エネルギーと競合しうる可能性が示唆された。

## 【参考文献】

- (1) 牛山泉他:浮体式洋上風力発電基地の実現性に関する調査成果:第 17 回海洋工学シンポジウム、pp.105-112:2003 年
- (2) 本藤祐樹他:ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量による発電技術の評価:電力中央研究所報告:2000 年
- (3) 畑井洋一郎他:電気防食:日本造船学会誌 866、pp.22-25:2003 年
- (4) 大野栄治他:環境経済評価の実務:勁草書房:2000 年