

離島における自然エネルギーの導入検討

新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 (2012年3月修了予定)

学籍番号: 106683 氏名: 山下 正義

指導教員: 影本浩教授 阿久津好明准教授

キーワード: 離島、自然エネルギーによる発電、導入バランス、最適配置、

1. 緒言

我が国には離島が数多く存在する。離島振興法、沖縄振興特別措置法、奄美群島振興開発特別措置法、小笠原諸島振興開発特別措置法の対象となる有人離島(以降離島)の総数は312島であり、そのうち本土など大規模な電力系統と連携を持つものが69%、連携を持たない独立系統であるものが31%である。独立系統を有する離島の電力供給はディーゼル発電に依るところが大きく、その割合は9割を超える。

つまり離島は化石燃料依存度が高い地域であると言える。故に温室効果ガスである二酸化炭素の排出割合が比較的大きく、また化石燃料枯渇問題やエネルギーセキュリティ問題などの影響もより濃く反映される地域であると言える。これらの問題の対処法として、枯渇する心配の無い自然エネルギーの導入が有効である。我が国は南北に長い国土を持ち、気象状況も様々であるため地域気象特性に合わせた自然エネルギー由来の発電方法の導入が重要となる。

2. 目的及び概要

離島は周囲に遮蔽物が無いことから風況状況が良く、自然エネルギーの賦存量が豊富と言える。また、海洋資源の利用が容易な立地条件にある。本研究ではその有効活用を目指し、すでに商業運転段階にある風力発電、太陽光発電に加えて波力発電の導入可能性について検討する。離島ごとの気象条件から各離島における発電方式別発電コストを算出し、比較検討を行う。

3. 発電量推定

3.1 風力発電

計算には三菱重工業のMWT-1000Aを用いる。対台風、落雷耐性を持ち、傾斜地にお

いても建設可能であるという理由から選出した。MWT-1000Aの主要仕様項目をTable.1に示す。この主要項目から式(1)により作成した出力特性図をFig.1に示す。この出力特性図と風況状況と併せて出力電力を算出する。

Table.1 MWT-1000A仕様

定格出力	[kW]	1000
ロータ径	[m]	61.4
受風面積	[m ²]	2960
ハブ高さ	[m]	60
カットイン風速	[m/s]	2.5
定格風速	[m/s]	12.5
カットアウト風速	[m/s]	25

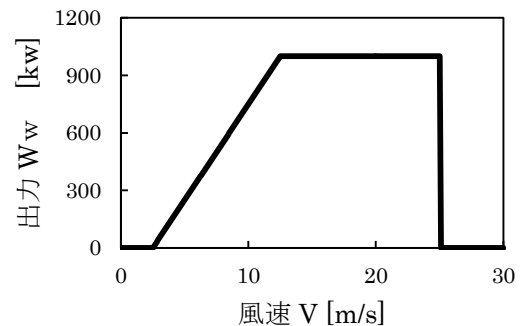


Fig.1 MWT-1000A 出力特性図

$$W_w(V) = \begin{cases} 0 & (V < 2.5) \\ 100v - 250 & (2.5 \leq V < 12.5) \\ 1000 & (12.5 \leq V < 25.0) \\ 0 & (25.0 \leq V) \end{cases} \quad (1)$$

$W_w(V)$: 風車出力(MW)

V : ハブ高さ風速(m/s)

風速分布は、Weibull 分布で表されることが知られており、Weibull 分布は式(2)で表される。

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

$f(V)$: V の出現率 c : 尺度係数

k : 形状係数

ここで $k = 2$ のときの Weibull 分布を特に Rayleigh 分布といい、平均風速 \bar{V} を用いて $f(V)$ を式 (3) の形で表現することができる。

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{\bar{V}^2}\right) \exp\left\{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}}\right)^2\right\} \quad (3)$$

\bar{V} : 平均風速

また、ある地点における鉛直方向の風速の分布を風速の鉛直シアという。鉛直シアに関しては、式 (4) で表すことができる。

$$V(z) = V_R \left(\frac{z}{Z_R}\right)^{1/n} \quad (4)$$

$V(z)$: 高度 z (m) における風速

Z_R : 基準高さ (m)

V_R : 標準高さ Z_R (m) における風速

ここで n の値は地表面の状態により経験則から推定され、森林や高い建物のない市街地では 4 程度の値をとる。式 (4) から風車ハブ高さの風況を推定する。年間平均発電量 \bar{W}_w の推定は風車ハブ高さの風速分布 $f(V_z)$ と風車の出力特性 $W_w(V)$ を用いて算出する。 \bar{W}_w は $W_w(V)$ の期待値として計算できるため、式 (5) のように計算できる。

$$\bar{W}_w = \int_0^{\infty} W_w(V) f(V_z) dV \quad (5)$$

離島を 1km メッシュで表現し、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) の風況マップから各地点ごとの基準高さ平均風速を取得し、各地点ごとの発電量を算出する。

3.2 太陽光発電

太陽光電池に関してはシリコン系単結晶製品が主流となっており、この型式を計算に用いることとした。日本各社メーカー製品の平均の値を用いた。太陽光モジュールは離島住民宅へ設置するものとし、発電量は最寄りの AMeDAS の観測データを用いた算出量と同じものとする。単位面積、単位時間当たりの太陽電池の発電量 W_P は式 (6) で求められる。

$$W_P = Q_s P_p C_e k_T k_E k_c C_U C_P \quad (6)$$

Q_s : 単位面積当たりの全天日射量 P_p : 定格出力 C_e : 変換効率 k_T : 温度補正係数 k_E : 設置方式に依る温度上昇への影響係数 k_c : 影の影響による損失係数 C_U : 昇圧ユニット変換効率 C_P : パワーコンディショナの変換効率

3.3 波力発電²⁾

波浪を表現する指標として波パワー WP [W/m] がある。これは単位時間、単位幅当たりの波のエネルギーのフラックスを表現したもので、高橋らによって提唱された。波パワーは微小振幅波理論から式 (7) で与えられる。

$$WP = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g \quad (7)$$

ρ : 海水密度 g : 重力加速度
 H : 来襲する波の波高 C_g : 波の群速度

浅水変形の影響を無視できる程度の水深、かつ全ての個々波の周期と有義波周期 $T_{1/3}$ が一致、波向の影響を無視した不規則波においては波パワーの算定式を式 (8) の形に変形できる。

$$WP = \frac{1}{2} H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (8)$$

波力発電に関しては未だに実証研究段階であるため、商業導入された製品が存在しない

い³⁾。そこで、波浪耐性などが実証実験によりある程度実証されており、かつ式(7)の個々波の周期と有義波周期 $T_{1/3}$ が一致という仮定条件の影響が小さいという理由から可動物体型(ポイントアブソーバ式)OPT社製パワーブイ PB-150 について発電量を算出する。パワーブイ PB-150 の発電量は波パワー WP と比例するものとし、基準有義波周期 6.3[s], 有義波高 4[m] で定格出力 150[kW] を発揮することから、PB-150 のパワーカーブを Fig. 2 のように作成した。

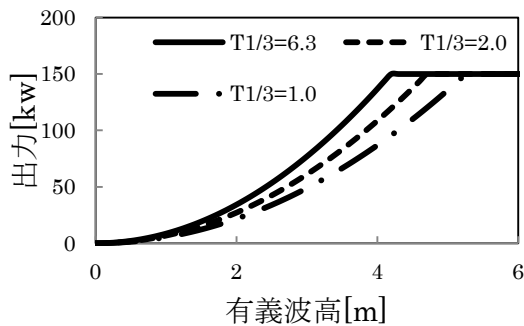


Fig. 2 PB-150 出力特性図

海上技術安全研究所の波高-波周期出現率データとこの出力特性から発電量を算出する。

4. 発電コストの算出

システムの耐用年数内の平均的なコストを算出する定額法を採用した。発電システムの発電コストを α , 年間発電量を \bar{W}_{year} , 年間減価償却費を C_1 , 年間運用費を C_2 とすると式(9)の関係になる。

$$\alpha = \frac{C_1 + C_2}{\bar{W}_{year}} \quad (9)$$

ここで、減価償却費 C_1 は初期建設費用 A と年間金利 r , 設備寿命 m を用いて式(10)のように表せる。

$$C_1 = \frac{Ar(1+r)^m}{(1+r)\{(1+r)^m - 1\}} \quad (10)$$

年間金利 r は5%とし、設備寿命 m は風力発電に関しては20年、太陽光、波力発

電に関しては30年とした。初期建設費用 A に関しては、風力、太陽光発電に関しては製品の平均から、波力発電に関しては実証実験の総工費から算出した。比較のための火力発電の発電コストに関しては、燃料費を主要港との距離に比較すると仮定して算出した。

波力発電に関しては他の発電方式に比べて導入量が少ないため、今後経験曲線効果が期待できる。経験曲線効果とは、大量生産などによって生産コストを低減することを言い、生産量が2倍になったときの低減率を習熟率という。生産量を X とし、それぞれでの生産コストを Y とし、習熟率を b とすると、式(11)が成り立つことが経験的に言われている。

$$\frac{Y}{Y_1} = \left(\frac{X}{X_1} \right)^b \quad (11)$$

波力発電機のような大型システムに関しては $b=-0.152$ 程度とされている。

5. 対象離島

対象となる離島は独立電源による電力システムを持ち、なるべく気象条件の異なる離島を5つ選択し、日本海側から3島、太平洋側から2島を計算対象とした。

6. 計算結果

計算した発電方式別の発電コストの結果を離島別に Fig. 3 ~ 7 に示す。但し、波力発電に関しては経験曲線効果を適用した値を、風力発電に関しては需要電力の10%を賄った場合についての発電コストの値を示した。

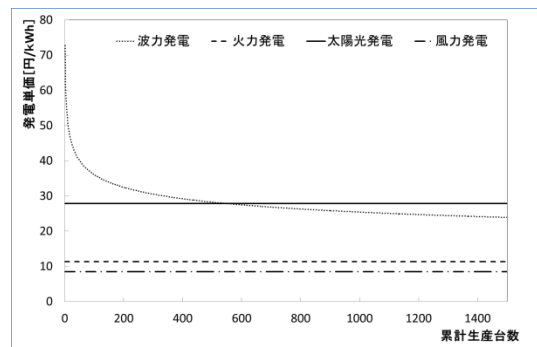


Fig. 3 佐渡島における方式別発電コスト

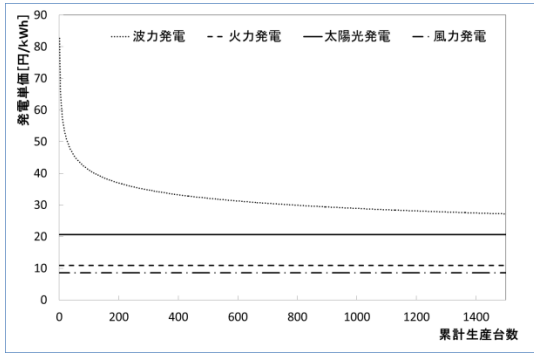


Fig. 4 隠岐島における方式別発電コスト

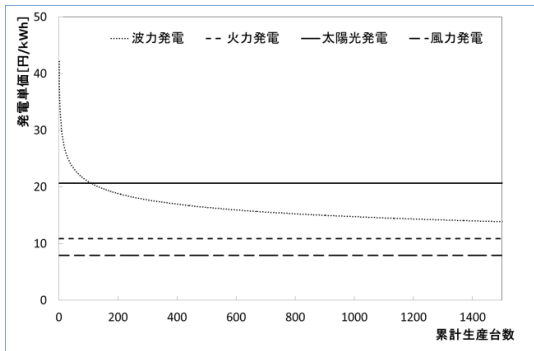


Fig. 5 石垣島における方式別発電コスト

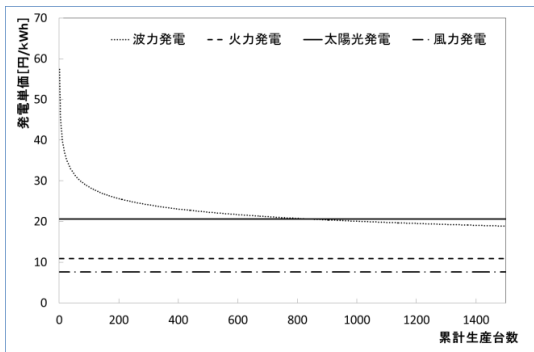


Fig. 6 宮古島における方式別発電コスト

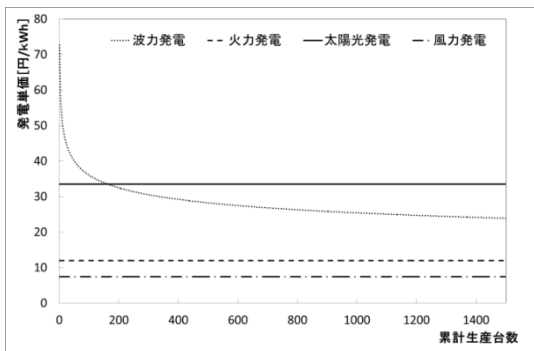


Fig. 7 宮古島における方式別発電コスト

7. 考察と今後の課題

隠岐諸島を除く 4 諸島において、累計生産台数が現状の 1000 倍の時点で現状の太陽光発電コストより低減される結果となった。この結果は opt 社製パワーバイを用いて、生産性向上に関する経験曲線効果について検討したもので、実際には発電機器の変換効率も上昇するものと考えられるため、離島においては商業発電化の実現可能性は大きいと考えられる。

また、平均気温に関しては緯度が高くなるにつれて低下し、温度補正係数の影響を受けるが、太陽光発電コストは低緯度地域ほど安いという結果となった。

風力発電に関しては既存のディーゼル発電コストよりも低い値が算出されたが、これは本土における建設コストの平均を用いたことが原因と推測される。

また、ディーゼル発電の離島におけるコストはさらに高額だとする試算報告もあり⁴⁾、燃料や資材の発電コストに関する検討が必要であると考えられる。

【参考文献】

- (1) エネルギーに関する年次報告 2011, 経済産業省資源エネルギー庁
- (2) 関 克己: 全国港湾海洋は老観測長期データに基づく日本沿岸の季節別波浪特性の経年変化, 湾港空港技術研究所資料, pp. 105-112, 2003 年
- (3) BP Statistical Review of World Energy 2011 (<http://www.bp.com/>)
- (4) 國場 裕介, 安里 貞夫: 沖縄の新エネルギー技術とその将来性, 沖縄県技術士会報, 2010