

SHIBAURA MOT DISCUSSION PAPER

芝浦工業大学大学院工学マネジメント研究科

ディスカッションペーパー

離島における風力発電システム導入規模の最適化手法の研究

加瀬 明子

Discussion Paper No. 2014-01

Shibaura Institute of Technology

Graduate School of Engineering Management

芝浦工業大学大学院

工学マネジメント研究科

〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5

芝浦工業大学大学院工学マネジメント研究科(MOT)ディスカッションペーパーは、研究科の教職員と学生の専門的かつ独創的な研究の促進を図り、広く学術の振興及び教育の発展に資するために、研究成果をワーキングペーパーとして公表するものです。ディスカッションペーパーの著作権は著作者に帰属します。

The MOT Discussion Paper Series is published as a working paper.  
The copyright is retained by the author(s).

## 離島における風力発電システム導入規模の最適化手法の研究

The optimization technique of the wind power generator system introduction scale in a detached island

加瀬 明子\*

Akiko KASE\*

### Abstract

This study evaluates the optimal scale of a wind power generation system to be deployed on a remote island in terms of diesel cost savings relative to investment cost.

First, a simple model is constructed based on the assumptions of constant wind power supply and constant power demand. An advanced model is constructed to account for temporal fluctuations in power supply and demand. Case-by-case calculations are performed using each model for Tarama Island, Okinawa. Although the optimal scale of the wind power generation system implied by the advanced model is almost 10-20% smaller than that implied by the simple model, the sensitivity of cost performance is relatively low. Consequently, we find that the optimal scale is approximately equal to the averaged demand.

### 要旨

本研究では、離島に導入する風力発電システムの最適規模を、投資コストに対する既存のディーゼル発電コスト節約効果によって評価する。

まず、一定の電力需要と風速による発電(供給)が行われることを想定した総量による簡易モデルを構築した。次に、時間単位での電力需給変動を考慮した電力需給変動型モデルを構築した。それぞれのモデルを沖縄県多良間島のケースによって事例計算し、風力発電システムの導入規模を推定した。今回のケースでは、電力需給変動モデルでの最適規模は、簡易モデルよりも1~2割小さいが、投資効果の感度は低く、およそ風力発電システムの定格出力=平均需要の関係が成立している。

Keywords : wind power generation, diesel power generation, optimization, introduction scale

キーワード : 風力発電, ディーゼル発電, 最適化, 導入規模

---

\* (株)東芝 生産技術センター グローバル生産エンジニアリングセンター akiko.kase@toshiba.co.jp

## 1.はじめに

日本の電力は原子力発電を中心とした安価かつ安定した電力供給を利点とした発電方式が主流である。しかし、東日本大震災以降、安全性を最重視するようになり、原子力発電依存社会が問題視されるようになった。安全性と安定的電力供給が求められ、リスク分散型電力供給システムの実現に向けて、自然エネルギーを活用した発電方式が注目されている。自然エネルギーには、太陽光発電、小水力発電、地熱発電、波力発電、風力発電などがある。中でも、住宅用などの小規模発電の開発、導入を促進し、注目されているのが太陽光発電と風力発電である。2050年までの風力発電導入計画を図1に示す[16]。2013年現在、日本の風力発電量は500万kWであるが、2050年には10倍の5000万kWを導入する計画であり、今後成長が期待されていることがわかる。

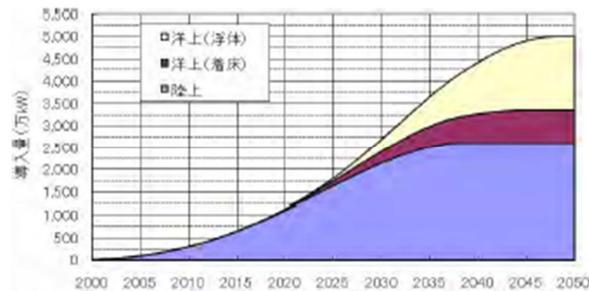


図1 日本の風力発電導入量

しかし、日本国内にある約300島ある有人の離島[19]は大規模電源などと系統連系していない場合が多く、分散型電源としてディーゼル発電機が使われているケースが多い。ディーゼル発電は重油を使うため、CO<sub>2</sub>の排出量が多く、発電コストが高いなどの課題がある。離島における発電コスト比較を図2に示す[5]。離島のディーゼル発電コストは、100kW級の小規模風力発電の2倍であり、離島では低コストな電力網の実現に風力発電が期待されている。

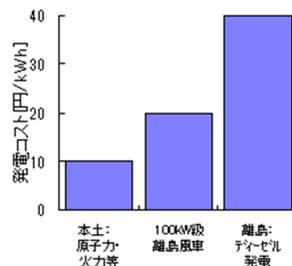


図2 発電コスト

また、離島は電力系統が脆弱なため、再生可能エネルギーの大規模な導入は困難になっており[14]、離島の独立系統電源として、太陽光発電と風力発電が期待されている。離島は、海に囲まれ周りに遮蔽物ないため、風などの自然資源が豊富に得られることがその理由である。

そこで、本研究では、離島の脆弱な電力系統を補完する自然エネルギーとして風力発電に着目した。

## 2. 研究目的

本研究では、ディーゼル発電を使用する離島に、導入する風力発電システムの適正規模を、投資コストに対するディーゼル発電コストの節約効果によって評価する。

投資効果を最大化することは、電力会社が負担している燃料コストが節約できることに併せて、過剰・過小規模による不適切な投資を抑制することもできる。なお、過剰供給の場合に備えた大規模蓄電池を併設すると投資コストが増加するため考慮しない。

そこで、本研究では、発注者側に当たる発電事業者及び地方自治体の視点で投資効果を最大化することを目的に、離島に適切な風力発電システムの規模を推定する手法を提言する。また、発電量の変動も考慮し、その手法の有効性を確認する。

### 3. 先行研究のまとめ

従来の研究では、発電方式による発電コストを比較し、どの発電方式が最も低コストであるかを導出する研究[20]、風力発電の立地プロセスにおける事業者の参加の場と意思決定手続き[21]、再生可能エネルギー建設の立地に着目した導入の意思決定プロセスデザイン[22]がある。しかし、風力発電システムの適正規模を決定する手法の研究はこれまでにない。そこで、既存のディーゼル発電のコストを抑制し、適正な風力発電システム規模を決定する投資効果の評価手法を研究することとした。受注者優位で過小、過剰な規模の風力発電を導入することなく、発注者が投資効果を最大化するための導入規模を決定する手法は、持続的な風力発電導入推進と自立分散型電力システムの構築のためにも重要であると考えられる。

### 4. 研究方法

ディーゼル発電を使用している離島において、最も投資効果が高い風力発電システムの導入規模を推定するモデルを構築し、事例によってこのモデルの有効性を確認する。研究手順は以下の通り。

- I. 風力発電システムの投資コストの推定
- II. 電力需給の総量による簡易モデル化
- III. 簡易モデルの有効性確認
- IV. 電力需給の変動を考慮したモデル化
- V. 電力需給変動モデルの有効性確認

風力発電システム事業の価値を評価するモデルでは DCF(Discount Cash Flow)法ではなく、単純積上げ法によって評価する。これは、1 章でも述べた通り、離島は独立系統電源を用いるケースが多く、売電事業でないため、各種税金を考えず、減価償却を無視する。その結果、風力発電システムの耐用年数は同じキャッシュフローが続くと考え、単純積上げ法によって最適性を評価しても解への影響はないと言える。

### 5. 風力発電システム導入コスト

風力発電システムの初期投資コストには、風車、発電機、送電線、土地取得、各種税金などがあり、本研究では、次の二つを投資コストとして扱う。風車、発電機等の建設物に関わるコストを風力発電システム建設コスト、建設に必要な土地に関わるコストを建設立地コストとする。以下に、風力発電システム建設コスト、建設立地コストの算出式について説明する。

#### 5.1 風力発電システムの投資コストの推定

風力発電システムは、発電規模、立地条件、詳細スペックによって異なるが、2010年モデルプラントの建設コストは20～35万円/kWと幅を持たせて[22]推定されている。本研究では、投資効率のよい導入規模を具体的に決定するため、これまでに建設された風力発電システムの建設コスト実績[24], [25], [26], [27]を用いて風力発電システムの導入規模(定格出力)単価の算出関数を推定する。

風力発電システムの建設コストは、ある価格帯の幅を持って推定され、建設基数が増え、大型化するほど建設コストが下げられる。このことから、定格出力  $X(\text{kW})$  の風力発電システム建設コストの出力単価  $C(X)$  を次の関数で推定する。

$$C(X) = a e^{-bx} \quad \dots(1)$$

そして、上述の風力発電システム建設コストを近似する式(1)の定数  $a$ ,  $b$  を最小二乗法により、以下のよう決定した。図3に風力発電システムの建設コスト実績と式(1)の近似曲線を示す。

$$a = 40.38, b = 0.0003758$$

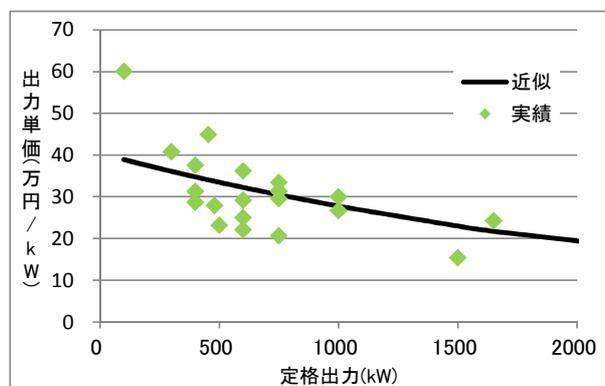


図3 定格出力  $X$  の建設コストの出力単価

## 5.2 建設立地コスト

[11]より、定格出力  $X(\text{kW})$  の風力発電システムを建設するときの地上占有面積  $S(X)(\text{m}^2)$  は  $X/200(\text{m}^2)$  であることから、土地取得価格を  $q$  円/ $\text{m}^2$  とすると、定格出力  $X(\text{kW})$  の時の建設立地コスト  $Lc(X)(\text{円}/\text{m}^2)$  は次の式で表せられる。

$$Lc(X) = S(X) \times q$$

以上の風力発電システムの建設コストと建設立地コストの和を投資コスト  $I(X)$  とし、次の式で推定する。また、定格出力  $X(\text{kW})$  の投資コストを図4に示す。

$$I(X) = C(X) \times X + Lc(X)$$

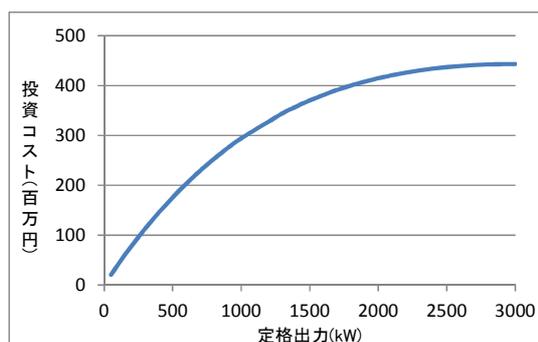


図4 定格出力 X の風力発電システムの投資コストの推定

## 6. 簡易モデルの構築と評価

簡易モデルでは、年間を通じて一定の電力需要と一定の風速を得られることを前提とする。風力発電システムが耐用年数の間、安定して稼働した場合の総量で経済性を評価する。そして、総量を基にした投資コストに対する既存のディーゼル発電の節約効果モデルを構築し、実在する離島を例にこの簡易モデルの有効性を確認する。

### 6.1 電力需給の総量による簡易モデル

一定の電力需要を前提としたディーゼル発電量とディーゼル発電コスト、一定の風速が得られることを前提とした風力発電量、風力発電コストの算出式を示す。そして、導入後の風力発電システムを安定的に稼働させるための維持管理コストの算出式を示す。最後に、風力発電システムを導入した場合のディーゼル発電節約による CO2 排出節約コストも考慮し、ディーゼル発電節約コストとこの節約コストの投資コストに対する節約効果をモデル化する。

#### I. ディーゼル発電量

平均需要を  $u(\text{kW})$  とすると、耐用年数の期間での総電力需要は、同期間の総ディーゼル発電量  $De(\text{kWh})$  に等しく、次の式で表される。

$$De = u \times 24 \times 365 \times \text{耐用年数} \quad \dots(2)$$

#### I. ディーゼル発電コスト

ディーゼル発電単価を  $d(\text{円/kW})$  とすると、総電力需要  $DE(\text{kW})$  のディーゼル発電のコスト  $DC(\text{円})$  は、次の式で表せられる。なお、ディーゼル発電単価には、ディーゼル発電機の減価償却費や燃料費、維持管理費等が含まれていると仮定する。

$$Dc = De \times d$$

#### II. 風力発電量

一定の風速  $v(\text{m/s})$  が風力発電システムの耐用年数の間続いたとき、定格出力  $X(\text{kW})$  の耐用年数の期間における総発電量  $P(X)(\text{kWh})$  を次の式で表す。この時、定格風速は  $r(\text{m/s})$ 、風力発電システムの稼働率を 100% とする。

$$P(X) = X \times v / r \times 24 \times 365 \times \text{耐用年数} \quad \dots(3)$$

### III. 風力発電によるディーゼル燃料削減コスト

定格出力  $X(\text{kW})$  の風力発電システムを導入した場合の耐用年数の期間全体の総発電量を  $P(X)(\text{kWh})$  とすると、耐用年数あたりの風力発電コスト  $Pc(X)(\text{円})$  は、自然エネルギーから得られたであろう発電量が既存のディーゼル発電分を補うことができることから、次の式で表わされる。

$$Pc(X) = P(X) \times d$$

### IV. 維持管理コスト

[6]より、維持管理コストは風力発電システム導入コストの毎年 20～25% であることから、定格出力  $X(\text{kW})$  の時の耐用年数の期間における維持管理コスト  $Rc(X)(\text{円})$  を、次の式で表す。

$$Rc(X) = (C(X) \times X + Lc(X)) \times 25\% \times \text{耐用年数} \cdots(4)$$

### V. ディーゼル発電節約による $\text{CO}_2$ 排出節約コスト

ディーゼル発電によって発生する  $\text{CO}_2$  は、 $\text{CO}_2$  排出権の価格取引が行われている。ディーゼル発電の節約に伴い、 $\text{CO}_2$  排出量の取引コストも節約できるため、節約コストにはディーゼル発電における  $\text{CO}_2$  排出節約コストも考慮する。ディーゼル発電における  $\text{CO}_2$  の排出量を  $m(\text{kg/kWh})$ 、 $\text{CO}_2$  排出権の取引コストを  $e(\text{円/kg})$ 、ディーゼル発電総量を  $De(\text{kWh})$  とすると、 $\text{CO}_2$  排出権取引コスト  $Cc(X)(\text{円})$  は次の式で表すことができる。

$$Cc(X) = \text{Min}(P(X), De) \times m \times e \cdots(5)$$

### VI. ディーゼル発電節約コスト

定格出力  $X(\text{kW})$  のときのディーゼル発電節約総コスト  $Sc(X)(\text{円/耐用年数})$  は、電力需要を全てディーゼル発電で賄った場合に発生するコスト  $DC(\text{円})$  と、定格出力  $X(\text{kW})$  のときの風力発電によるディーゼル燃料の削減コスト  $Pc(X)$  ( $\text{kW/耐用年数}$ ) と  $\text{CO}_2$  排出節約コスト  $Cc(X)$  の和から維持管理コスト  $Rc(X)$  ( $\text{円}$ ) を除いたコストの最小値である。以下に、ディーゼル発電節約コスト  $Sc(X)(\text{円})$  を算出する式を示す。

$$Sc(X) = \text{Min}(DC, Pc(X) + Cc(X) - Rc(X)) \cdots(6)$$

### VII. 投資コストに対する節約効果

投資コストに対するディーゼル発電節約コストの投資効果  $E(X)$  は、次の式で求められる。

$$E(X) = Sc(X) / I(X) \cdots(7)$$

上記の簡易モデルによる計算フローを図 5 に示す。

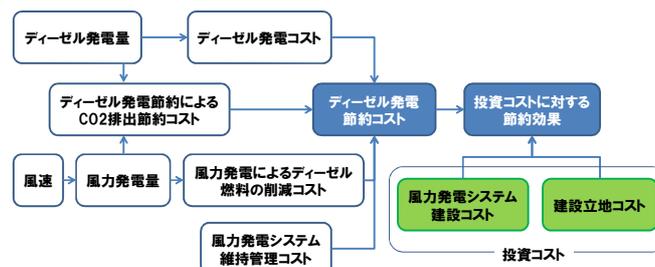


図 5 簡易モデルによる計算フロー

## 6.2 簡易モデルの有効性確認

### 6.2.1 実在する離島での事例計算

#### I. 離島の選定

日本国内の離島でディーゼル発電を主力電源としている沖縄県多良間島を選定した。多良間島は、宮古島と石垣島の間位置し、沖縄県宮古郡多良間村に属する島である。[7]より、東西約 6km、南北約 4.3km のほぼ楕円形をした島で、面積は約 19.75km<sup>2</sup>で、最高標高 33m のほぼ平坦な島である。人口は 2013 年 9 月末時点で 1,269 人である[4]。

多良間島での実電力需要データを収集できなかったため、本研究では、九州電力の電力使用実績のうち九州地方の総人口に対する多良間島の人口比率分を多良間島の電力需要とした[3]。

データ収集期間は、2012 年 9 月から 2013 年 8 月の 1 年間とし、各月の 5、10、15、20、25、30 日の時間データをサンプリング抽出した。季節や時間帯による需要と気象の変動を十分に考慮し、電力需要は[8]から、風速データは[2]から、それぞれ 1752 データ抽出した。これは総データ量の 20%に当たる。

#### II. 風力発電システムの概要

風力発電システムの定格風速は全ての規模で 10(m/s)、耐用年数は 17 年とした。

### 6.2.2 導入規模の推定

6.2.1 項のデータを用いて多良間島の風力発電システムの導入規模を推定する。

多良間島の平均需要は 877(kWh)であることから、式(2)より、総需要量はおよそ 77(百 MW/年)である。よって、耐用年数 17 年間での総需要量はおよそ 1300(百 MW/17 年)である。

多良間島の平均風速は 4.4m/s であることから、式(3)より、定格出力 X(kW)のときの耐用年数 17 年間での総発電量は図 6 の通りである。

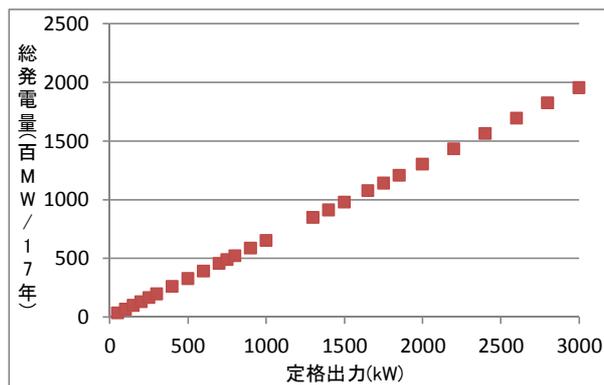


図 6 定格出力 X の多良間島での総発電量

そして、[5]よりディーゼル発電単価を 40(円/kWh)とし、[28]よりディーゼル発電における CO<sub>2</sub> の排出量を 0.7(kg/kWh)、[29]より CO<sub>2</sub> 取引コストを 1125(円/ton)とする。式(6)、(7)より、簡易モデルでの定格出力 X の節約コストと投資コスト対節約効果をそれぞれ図 7 に示す。

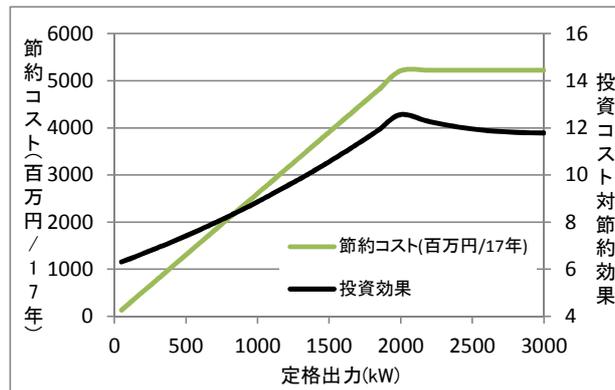


図7 定格出力 X の節約コストと投資コスト対節約効果

図7より、2000(kW)より大きい風力発電システムを導入しても節約コストは増加せず一定である。また、2000(kW)より大きい風力発電システムを導入すると投資コストが増加するため、投資コストに対する節約効果を最大化する最適規模は、年間の時間あたりの平均需要と風力発電システムの定格出力が同じときである。このケースでは、17年間の需要が1300(百 MW)で、これと同じ発電ができる規模が2000(kW)であり、投資効果グラフの折れ曲がり点である。

## 7. 電力需給の変動を考慮したモデル

6.1 節で述べた簡易モデルでは、年間一定の風速と電力需要が続くことを前提としている。しかし、実際には天候や発電システムの規模により過剰供給や電力不足が発生し需給バランスが崩れ、簡易モデルでの最適規模の風力発電を導入した場合でもディーゼル発電を使用することになる。

6.2.1 項で挙げた沖縄県多良間島の年間実績データを元に、過小規模である500(kW)を導入した場合の需給推移を図8に、過剰規模である3000(kW)を導入した場合の需給推移を図9に示す。

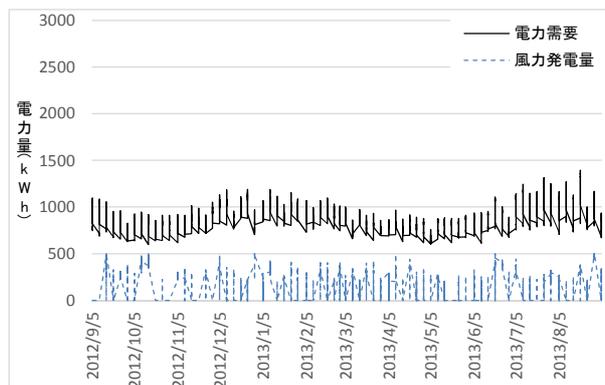


図8 過小規模導入時の電力需給推移

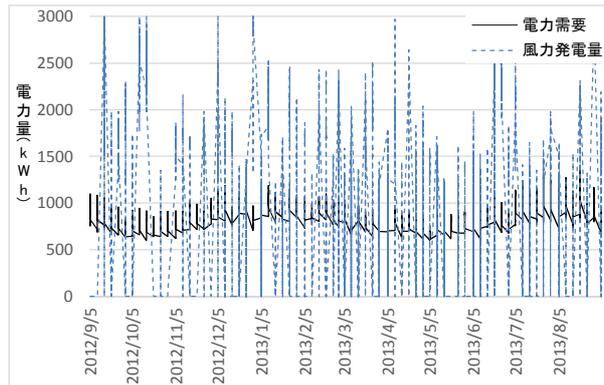


図9 過剰規模導入時の電力需給推移

過剰規模を導入した場合、電力需要よりも供給量が増え、電力余剰が多発する。一方、過小規模を導入した場合、電力需要に対して風力発電量が少なく、ディーゼル発電量を十分に抑制できない。

そこで、電力需給の変動を考慮した風力発電システムの最適規模を探索するモデルを構築する。そして、電力需給の変動モデルにおいても6.2節と同じ事例を用いて最適規模を確認する。

## 7.1 電力需給変動モデル

時定数が1時間程度の蓄電池が併設されると仮定し、時間単位の風力発電量とディーゼル発電量を推定する。そして、耐用年数期間全体の風力発電システムの維持管理コスト、ディーゼル発電節約によるCO2排出節約コストを推定し、ディーゼル発電節約コストと、この節約コストの投資コストに対する節約効果をモデル化する。電力需要と風力は1年間のデータを使い、それが17年間同じと考える。

### I. 風力発電量

定格出力  $X(\text{kW})$  を導入したとき、時刻  $t$  (1日24時間を時間刻み) のときの風速  $v(\text{m/s})$  における風力発電量  $Pt(X)(\text{kWh})$  は、カットインを  $i(\text{m/s})$ 、カットアウトを  $o(\text{m/s})$ 、定格風速を  $r(\text{m/s})$  とすると、次の式で表す。

$$Pt(X) = X \times v / r \quad (i \leq v \leq o)$$

そして、年間  $n$  日間のサンプリングによる耐用年数当たりの総風力発電量  $P(X)$  ( $\text{kWh}/\text{耐用年数}$ ) は、次の式で表す。

$$P(X) = (\sum^n (\sum_{t=0}^{23} Pt(X))) / (n/365) \times \text{耐用年数} \quad \dots(8)$$

### I. ディーゼル発電量

時刻  $t$  における電力需要を  $Dt(\text{kWh})$  とすると、定格出力  $X(\text{kW})$  の風力発電を用いたときのディーゼル発電量  $Ft(X)(\text{kWh})$  は、次の式で表す。

$$Ft(X) = \text{Max}(Dt - Pt(X), 0)$$

そして、年間  $n$  日間のサンプリングによる耐用年数当たりの総ディーゼル発電量  $F(X)$  ( $\text{kWh}/\text{耐用年数}$ )

は、次の式で表す。

$$F(X) = (\sum^n (\sum_{t=0}^{23} Ft(X))) / (n/365) \times \text{耐用年数} \quad \cdots(9)$$

## II. 維持管理コスト

維持管理コストは、式(4)を用いる。

## III. ディーゼル発電節約による CO<sub>2</sub> 排出節約コスト

ディーゼル発電節約による CO<sub>2</sub> 排出節約コストは、式(5)を用いる。

## IV. ディーゼル発電節約コスト

電力需要を全てディーゼル発電で賄った時のディーゼル発電量を  $F(0)$ 、ディーゼル発電単価を  $d$ (円/kW)とすると、定格出力  $X$  のときの耐用年数当たりのディーゼル発電節約コスト  $Sc(X)$ (円)は、次の式で表す。

$$Sc(X) = (F(0) - F(X)) \times d + Cc(X) - Rc(X) \quad \cdots(10)$$

## V. 投資に対する節約効果

投資に対する節約効果は、式(7)を用いる。

## 7.2 電力需給変動モデルでの事例計算

6.2 節 簡易モデルの有効性を確認したケースと同様に、沖縄県多良間島における電力需要と気象データを用いて事例計算を行い、電力需給変動モデルで導入規模を推定する。

### 7.2.1 風力発電システムの概要

離島は周囲に遮蔽物がないことから日本本土の陸地に比べて十分な風を得やすいと考え、カットインは 4(m/s)、カットアウトは 16(m/s)とした。また、定格風速は 6.2 節の簡易モデルのケースと同様に 10(m/s)、耐用年数は 17 年とした。

### 7.2.2 ディーゼル発電のパラメータ

ディーゼル発電単価、ディーゼル発電における CO<sub>2</sub> の単位排出量、CO<sub>2</sub> 取引コストは 6.2.2 項と同じ値を用いる。

### 7.2.3 導入規模の推定

式(8)より、定格出力  $X$ (kW)のときの耐用年数 17 年間での風力発電量は図 10 の通りである。

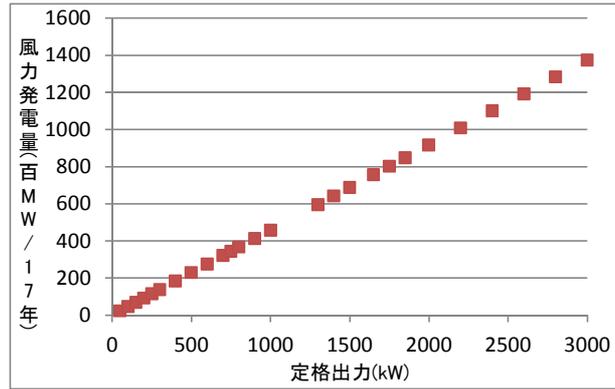


図 10 定格出力 X の風力発電量

式(9)より、定格出力 X(kW)の風力発電システムを導入したときのディーゼル発電量(kW/17年)を図 11 に示す。本モデルにおける多良間島のディーゼル発電量はおよそ 1300(百 MW/17年)から 620(百 MW/17年)で推移する。

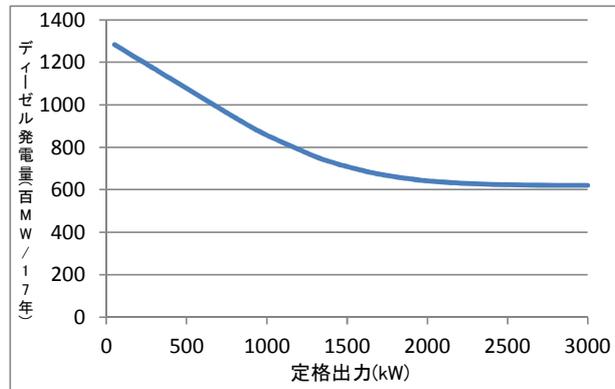


図 11 定格出力 X のディーゼル発電量

そして、式(10), (7)より、電力需給変動モデルでの定格出力 X の節約コストと投資コスト対節約効果をそれぞれ図 12 に、定格出力 1400~2000(kW)における投資コスト対節約効果の値を表 1 に示す。

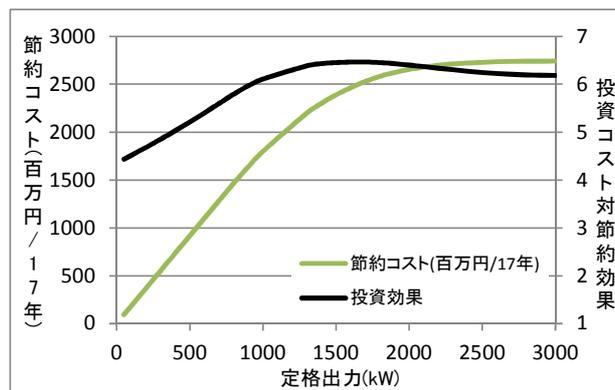


図 12 定格出力 X の節約コストと投資コスト対節約効果

表 1 投資コスト対節約効果

定格出力(kW)	投資コスト対節約効果
1400	6.430
1500	6.454
1650	6.468
1750	6.461
1850	6.444
2000	6.403

図 12 と表 1 より，風力発電システムの定格出力 X が 1650(kW) のとき，投資コストに対する節約効果が 6.468 と最大となることが分かった。ただし，定格出力 1400～2000(kW) における投資に対する節約効果の感度は低いため，同等規模の風力発電システムのうち安価なシステムを導入することが適正と考えられる。

投資コストに対する節約効果が最大となる風力発電システムの最適規模 1650(kW) の時の電力需給推移を図 13 に示す。

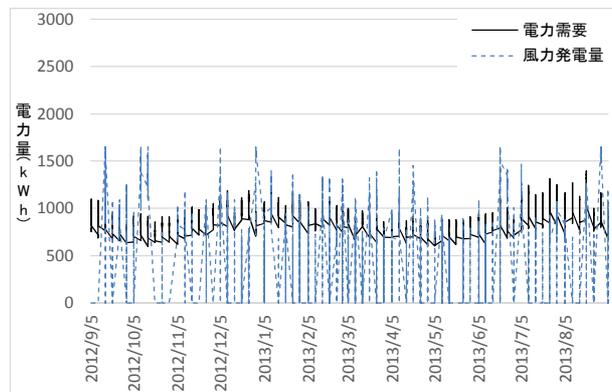


図 13 最適規模導入時の電力需給推移

## 7. 結論

本研究では，離島に導入する風力発電システムの適正規模を求める手法として，投資コストに対するディーゼル発電の節約効果を最大化するモデルを構築し，実在する離島のケースによってモデルの有効性を確認した。今回のケースでは，電力需給変動モデルでの最適規模は，簡易モデルよりも 1～2 割小さいが，投資効果の感度は低く，およそ風力発電システムの定格出力＝平均需要の関係が成立している。

今後の課題は，さまざまなケースでの評価を重ねることが必要である。さらに推定精度を向上させるためには，風力発電システムの稼働環境による稼働率や故障率を加味し，メンテナンスの複雑さをコストに換算することも必要である。避雷や突風などによる故障があるが，発生確率やリスクの大きさ，修理，メンテナンスは不確実性が高い。このような風力発電事業に影響が高い因子を取り込むことも課題である。

## 8. 参考文献

- 1) NEDO, 『日本における風力発電設備・導入実績』, Retrieved 11/02/2013 at web-site, <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/index.htm>

- 2) 気象庁, 『気象庁統計情報』, Retrieved 11/02/2013 at web-site,  
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 3) 九州経済産業局, 『九州経済概況・関連データ 人口』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
[http://www.kyushu.meti.go.jp/keizai-db/db\\_top.htm](http://www.kyushu.meti.go.jp/keizai-db/db_top.htm)
- 4) 多良間公式ウェブサイト, Retrieved 2/11/2013 at,  
[http://www.vill.tarama.okinawa.jp/?page\\_id=894](http://www.vill.tarama.okinawa.jp/?page_id=894)
- 5) NEDO, 2003, 『離島用風力発電システム等技術開発』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
<http://www.nedo.go.jp/content/100089799.pdf>
- 6) 水野瑛己, 2013, 『日本の陸上風力発電コストの現状と分析』, Retrieved 18/1/2014 at web-site,  
<http://jref.or.jp/images/pdf/20131023/20131023WindCost%20Analysis.pdf>
- 7) 多良間島ネット, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
<http://www.taramajima.net/>
- 8) 九州電力, 『過去の電力使用実績データ』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
[http://www.kyuden.co.jp/power\\_usages/history201311.html](http://www.kyuden.co.jp/power_usages/history201311.html)
- 9) 石川憲二, 2010, 『自然エネルギーの可能性と限界』, オーム社
- 10) 石川憲二, 2011, 『電気とエネルギーの未来は?』, オーム社
- 11) 牛山泉, 2010, 『今日からモノ知りシリーズコットンやさしい 風力発電の本』, 岩波書店
- 12) 日本風力発電協会, 16/12/2011, 『日本の風力発電の現状と課題』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
[http://www.cao.go.jp/sasshin/kisei-seido/meeting/2011/energy/111216/item3-1\\_1.pdf#search='%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E5%BF%85%E8%A6%81%E9%9D%A2%E7%A9%8D](http://www.cao.go.jp/sasshin/kisei-seido/meeting/2011/energy/111216/item3-1_1.pdf#search='%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E5%BF%85%E8%A6%81%E9%9D%A2%E7%A9%8D)
- 13) 地価データ, 『沖縄県宮古郡多良間村の地価データ』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
<http://www.chika-data.com/okinawa/tarama/>
- 14) 中小企業ビジネス支援サイト, 24/9/2013, 『環境省, 離島で再生エネ加速-ハイブリッド型蓄電システム, 来年度から実証』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
[http://j-net21.smrj.go.jp/watch/news\\_tyus/entry/20130924-16.html](http://j-net21.smrj.go.jp/watch/news_tyus/entry/20130924-16.html)
- 15) 岡本克也, 9/2/2013, 『太陽光発電普及下における電力需要の低減効果について-関東地方における“実質需要”のシミュレーション-』, 芝浦工業大学
- 16) 日本風力発電協会, 16/12/2011, 『日本の風力発電の現状と課題』, Retrieved 2/11/2013 at web-site,  
[http://www.cao.go.jp/sasshin/kisei-seido/meeting/2011/energy/111216/item3-1\\_1.pdf](http://www.cao.go.jp/sasshin/kisei-seido/meeting/2011/energy/111216/item3-1_1.pdf)
- 17) 経済産業省, 27/4/2012, 『平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/report\\_001\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_001_01_00.pdf)
- 18) 経済産業省, 『太陽光発電導入量の年度展開』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81125a03j.pdf#search='%E5%A4%AA%E9%99%BD%E5%85%89%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E5%B0%8E%E5%85%A5%E9%87%8F>

- 19) 日本離島センター, 2010, 『有人島と無人島』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.nijinet.or.jp/info/faq/tabid/65/Default.aspx>
- 20) 山下正義, 2012, 『離島における自然エネルギーの導入検討』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/bitstream/2261/52327/1/K-03368-a.pdf>
- 21) 馬場健司, 21/12/2007, 『風力発電の立地プロセスにおけるアクターの参加の場と意思決定手続き』,  
Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sociotechnica/2/0/2\\_0\\_68/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sociotechnica/2/0/2_0_68/_pdf)
- 22) 馬場健司, 14/5/2010, 『再生可能エネルギー技術の導入に係る社会的意思決定プロセスのデザイン-風力発電立地のケース-』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sociotechnica/6/0/6\\_0\\_77/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sociotechnica/6/0/6_0_77/_pdf)
- 23) 内閣府, 8/11/2011, 『風力発電の将来コストの見通しについて』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111108/siryos3-2.pdf>
- 24) 北栄町, 『事業費等(行政主体)』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.e-hokuei.net/hokuei/huuryoku/kenkyuukai0606/gyousei.html>
- 25) 栃木県, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.pref.tochigi.lg.jp/kankyoseisaku/home/keikaku/archive/shinenergy/pdf/5.pdf#search='%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%83%88>
- 26) 秋田県, 21/9/2012, 『風力発電事業への出資について』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.city.akita.akita.jp/city/ws/jigyougikai/2409hyuuryoku.pdf#search='%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%83%88>
- 27) はさき漁業協同組合, 『風力発電事業概要』, Retrieved 16/11/2013 at web-site,  
<http://www.portland.ne.jp/~hasaki/umimaru/press/summary.pdf#search='%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB+%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%83%88>
- 28) 電気中央研究所, 『電源別のライフサイクルCO2排出量を評価』, Retrieved 18/1/2014 at web-site,  
<http://criepi.denken.or.jp/research/news/pdf/den468.pdf>
- 29) 大澤秀一, 20/5/2013, 『排出量マーケットレポート』, 大和総研, Retrieved 18/1/2014 at web-site,  
[http://www.dir.co.jp/research/report/esg/esg-report/20130520\\_007185.pdf](http://www.dir.co.jp/research/report/esg/esg-report/20130520_007185.pdf)