

# モルディブ共和国への中型風車導入可能性調査

## FEASIBILITY STUDY ON INSTALLATION OF MIDLE-SIZED WIND TURBINE IN THE REPUBLIC OF THE MALDIVES

豊田 玲子\* 細田 直久\*  
Leiko Toyoda Naohisa Hosoda

インド洋の島国であるモルディブ共和国は、地球温暖化による海面上昇によって国土消失の可能性が非常に高いことから、温室効果ガス排出ゼロを目指した国づくりに取り組んでいる。電力については既存のディーゼル発電から再生可能エネルギーへの転換の必要にせまられている。平成26年度経済産業省「地球温暖化対策技術普及等推進事業」の一環として、同国における当社製中型風力発電機の導入可能性調査を実施した。既存風況データの収集・分析、新たな風況観測設備の設置による風況精査、北部および中北部の中核島での発電所データの収集・分析により、風力発電機の導入は事業性が十分確保できるという結果が得られた。

キーワード：風力発電、モルディブ、マイクログリッド

### 1. まえがき

インド洋に浮かぶ約 1000 以上のサンゴ礁の島からなるモルディブ共和国は、国内の最高海拔地点が 2.4m と低く、地球温暖化による海面上昇によって国土消失の可能性が非常に高いことを背景に、温室効果ガス排出ゼロを目指した国づくりに取り組んでいる。中でも、電力はほぼ 100%がディーゼル発電によって賄われており、再生可能エネルギーへの転換は、地球温暖化対策のみならず、電力コストの削減、エネルギー安全保障の向上にもつながると期待が非常に高い。

当社ではこの政府方針に着目し、平成 25 年度より同国のような小規模の離島でも活用可能な 300kW 風力発電機の提案を進めており、平成 26 年度は経済産業省「地球温暖化対策技術普及等推進事業」の一環として、風力発電事業候補地での風況精査を含めた、導入可能性調査を実施した。



図-1 モルディブの位置図(外務省ホームページより)

### 2. モルディブの電力事情

モルディブ国内には一般住民が暮らす居住島が 197、リゾート専用の島が 104、その他工業や農業専用島が 20 存在する。居住島での電力供給は、首都のマレ周辺では STELCO（国営電力会社）が、その他の島の大部分は FENAKA（国営公共サービス会社）が担い、原則、各島に 1 つのディーゼル発電所が存在する。また中北部の 1 島は、MWSC（マレ水道公社）が公共サービス全てを担っている。リゾート島や工業島では、リゾート施設や工場を運営する会社が個々に独自のディーゼル発電設備を所有している。

小規模な島がそれぞれ独立して電力を生産しなければならないため、小規模発電に適しているディーゼル発電が全島で採用されている。問題点としては、二酸化炭素排出量の多さだけでなく、発電コストの高さ、ディーゼル燃料を海外からの輸入に 100%依存していることによるエネルギー安全保障上の課題等が認識されている。

一方で再生可能エネルギーは、二酸化炭素排出量を削減でき、外部に依存しない自給可能なエネルギーであることに加え、発電コストの削減も可能である。日本で一般的な火力発電等の発電コストは、10 円/kWh 以下とされるのに対して、モルディブでのディーゼル発電コストは、0.3~0.5 USD /kWh と非常に高い。風力発電による発電コストは 20 円/kWh 程度以下に抑えることが可能であり、コストの大部分が初期投資費用のため、20 年間の運転期間中、発電コストはほとんど変動しない。

\* 環境事業部

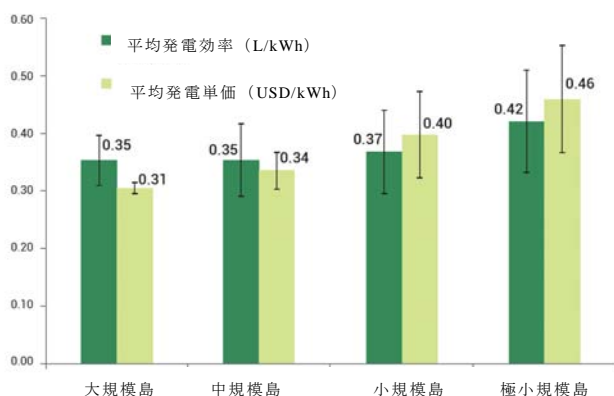


図-2 首都圏以外の島での発電効率及び平均発電単価<sup>1)</sup>

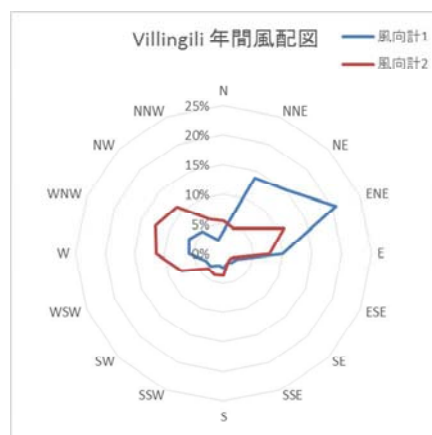


図-4 ヴィリングリ風配図(2004年)

### 3. モルディブの風況条件

モルディブの島々は南北に数百 km に渡って点在しており、南端は赤道直下、北端は北緯 7 度に位置する。米国国立再生可能エネルギー研究所が作成したモルディブの風力資源マップによると、赤道に近い南部は風速が低く、首都のマレ周辺や以北が比較的風力発電に適した 6m/s 程度以上の年平均風速が期待できるとされている。

本調査では、モルディブ環境・エネルギー省が 2004 年に、マレ近郊のヴィリングリおよび中北部のエイダフシの既存の電波塔に設置した風速センサーで観測した風況データを分析した。

ヴィリングリの年平均風速は 40m 高さで 5.3m/s、エイダフシの年平均風速は 48m 高さで 5.4m/s であり、モンスーンの襲来する 5 月が最も風速が高かった。なお、ヴィリングリの風向計 1 は異常な分布となり、期間中故障したものである。

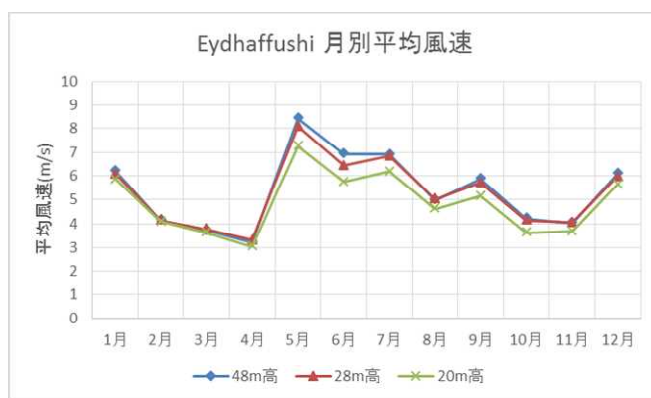


図-5 エイダフシ平均風速(2004年)



図-3 ヴィリングリ平均風速(2004年)

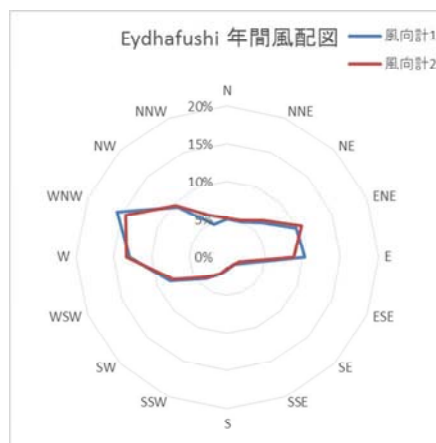


図-6 エイダフシ風配図(2004年)

### 4. 候補サイトの選定

本調査では、3カ所の風力発電導入候補サイトとして、前述の風況条件や各島の既存電力システムの規模から、北部の拠点島クルドゥフシ、前述のエイダフシに比較的近い中北部の拠点島ナイファル、及びマレ近郊の人工島グリファルを選定し、各島に風況観測マストを設置した。



写真-1 クルドゥフシ風況マスト設置状況



写真-2 ナイファル風況マスト設置状況



写真-3 グリファル風況マスト設置状況

表-1 導入候補サイトの状況

	クルドゥフシ	ナイファル	グリファル
位置	北部	中北部	中部
人口	約 9000 人	約 4000 人	無し(工業島)
電力規模 Max. Min.	約 2000kW 約 1200kW	約 1200kW 約 700kW	約 1000kW
産業	貿易, 流通業	漁業	工場が立地
電力供給	FENAKA	FENAKA	MWSC

5. 各島の電力使用状況調査

それぞれの島に導入可能な 300kW 風力発電機の適正基数を検討するための基礎データとして、クルドゥフシとナイファルの発電所における発電実績や、1 年間の毎時発電出力の記録等を収集し分析した。

図-7, 8 に、両島の月別発電量と燃料消費量の実績を示す。いずれも、発電量が右肩上がりであり、増加する電力需要への対策が必要になることがわかる。

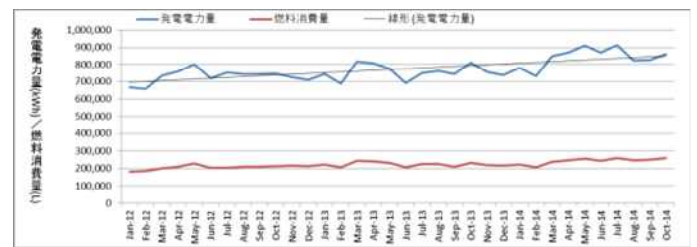


図-7 クルドゥフシ発電所の発電実績 (2012-2014 年)

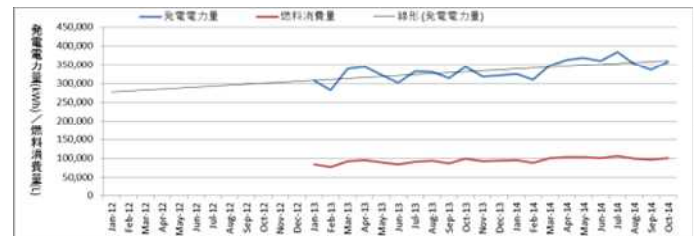


図-8 ナイファル発電所の発電実績 (2013-2014 年)

図-9～12 に両島のディーゼル発電所における日最大・最小発電出力月平均値、および時間帯別発電出力の年平均値を示す。月平均の日最大発電出力は、乾季で気温の高い4月が最も高いが、総じて年の変動は小さい。

一方で、一日の変動では、午前8時から負荷(電力需要)が増え始め、午前10時から午後2時が第一次ピークとなり、その後夜8時に第2次ピークがある。深夜0時から早朝6時が最も電力需要が少ない。この傾向は、年間を通じて共通している。

また、ナイファルでは停電の記録も見られた。

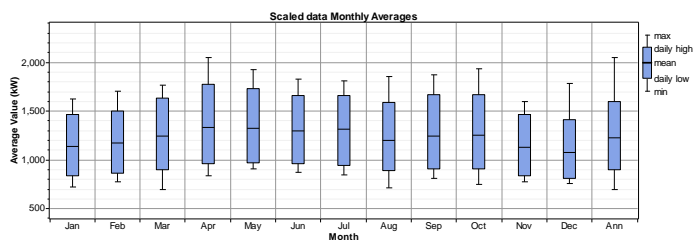


図-9 クルドゥフシ 日最大・最小発電出力の月平均値

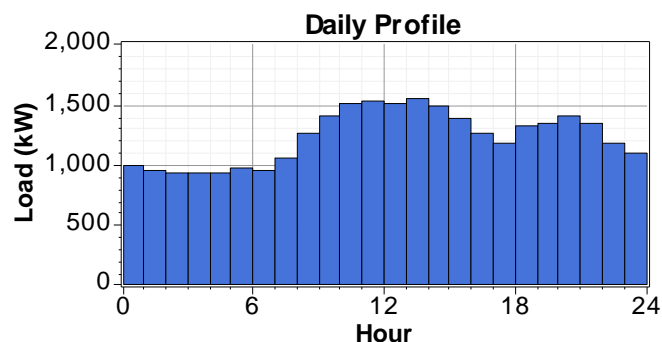


図-10 クルドゥフシ 時間別出力の年平均値

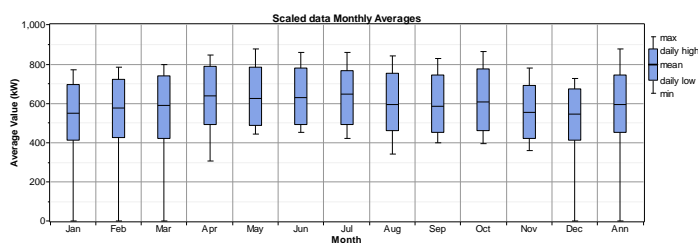


図-11 ナイファル 日最大・最小発電出力の月平均値

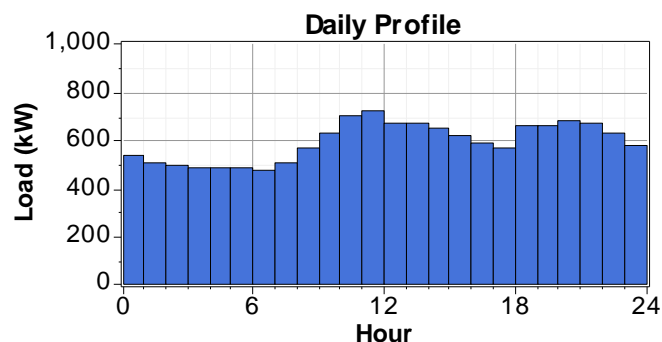


図-12 ナイファル 時間別出力の年平均値

## 6. 風車導入シミュレーション

クルドゥフシ、ナイファルの各島の電力負荷データと、前述のエイダフシの風速データから導いた風車発電可能量をもとに、風車を導入した際の、各島の発電シミュレーションを実施した。

表-2 に、クルドゥフシに 300kW 風車をそれぞれ、1～3 機導入した場合の、シミュレーション結果を示す。余

剰電力が生じるときは、風車の出力を自動抑制する前提とした。

結果として、1 機、2 機、3 機のいずれの場合でも、風力発電設備の利用率はほぼ同じであるため、クルドゥフシの電力需要を考慮した場合、300kW 風力発電機 3 機の導入が可能であるとの結論が導かれた。

ただし、使用可能な土地の面積から、後述の事業計画では導入基数を 2 機としている。

表-2 クルドゥフシでのシミュレーション結果

風車数	電力需要量 [kWh]	風車発電量 [kWh]	余剰電力量 [kWh]	風車供給量 [kWh]	再エネ率	風車設備利用率
1 基	10,723,797	453,444	2,608	450,836	4.2%	17.2%
2 基	10,723,797	906,888	3,156	903,732	8.4%	17.2%
3 基	10,723,797	1,360,325	10,464	1,349,861	12.6%	17.1%

図-13 にクルドゥフシに 2 機導入した場合の毎時の電力需要、風車出力、余剰電力の 1 年分のシミュレーション結果を示す。風車出力が電力需要を上回ることが無く、余剰電力は非常に小さいことがわかる。

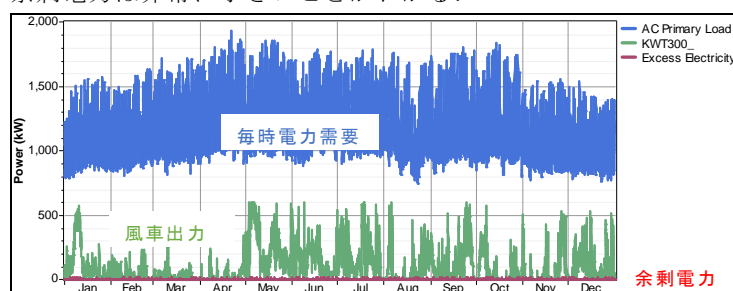


図-13 クルドゥフシに 2 機導入した場合の毎時電力バランス

表-3 に、ナイファルに 300kW 風車をそれぞれ、1 機～3 機導入した場合の、シミュレーション結果を示す。余剰電力が生じるときは、風車の出力を自動抑制する前提とした。

結果として、2 機以上導入すると、余剰電力が大きくなるものの、2 機であれば設備利用率が 15.7%を維持できることから、計画基数は 2 機とする。

表-3 ナイファルでのシミュレーション結果

風車数	電力需要量 [kWh]	風力発電量 [kWh]	余剰電力量 [kWh]	風力供給量 [kWh]	再エネ率	風力設備利用率
1 基	5,233,528	453,444	2,508	450,936	8.6%	17.2%
2 基	5,233,528	906,888	82,542	824,346	15.8%	15.7%
3 基	5,233,528	1,360,325	268,362	1,091,963	20.9%	13.9%



図-14 にナイファルに 2 機導入した場合の毎時の電力需要，風車出力，余剰電力の 1 年分のシミュレーション結果を示す。風車出力が電力需要を上回る事態が散見される。

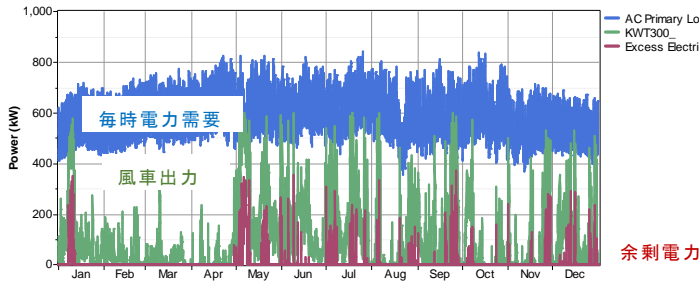


図-14 ナイファルに 2 機導入した場合の毎時電力バランス

7. システム構成の検討

上記のシミュレーション結果を踏まえ，クルドゥフシおよびナイファルへ導入する風力発電システム構成について検討した。

余剰電力への対策としては，以下の 3 つの方法が考えられる。

① 固定出力制御

風車プログラムの修正により，常時出力を一定出力以下に抑える方法。簡易に実現できるが，出力制御が不要なときも抑制することになってしまい，発電量のロスが大きい。

② 自動出力制御

系統電力の使用状況に応じて，風車出力が大きすぎる場合に出力を抑制する制御システム。風車プログラム修正が必要となるが，固定出力制御に比べて発電量の損失が少なく抑えられる。

③ 安定化蓄電池装置

余剰電力を蓄電池に蓄える方法。風車の出力抑制は最小限ですむものの，蓄電池の設置費用によるコスト増や，充放電によるロスが見込まれる。

本調査では，蓄電池導入に必要な追加コストが，蓄電池設置による使用可能電力量の増益分を大きく上回り，蓄電池設置のメリットが出ないと考えられたため，②自動出力制御方式を採用する方針とする。

システムの構成は以下の通りで考える。

- クルドゥフシ：風車 300kW×2 機（自動出力制御）
- ナイファル：風車 300kW×2 機（自動出力制御）

なお，グリファルについては詳細な電力使用データが得られていないため，既存ディーゼル発電機の容量が 1MW であることから，300kW 機 1 機の導入で考える。

推奨ケース 1：風車 2 基 + 自動出力制御

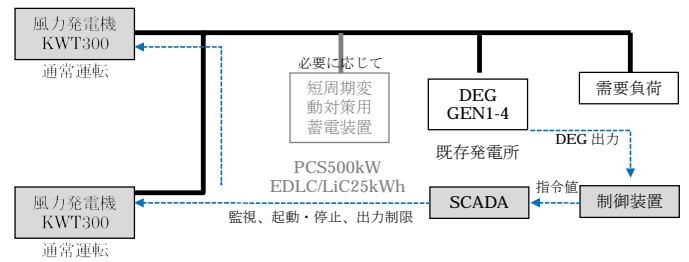


図-15 システム構成図

8. 事業性の検討

前述の検討結果をもとに，モルディブへの導入計画基数をクルドゥフシ 2 機，ナイファル 2 機，グリファル 1 機の合計 5 機として，事業性を検討した（表-4）。

表-4 導入計画概要

対象島	導入場所	導入数	年間利用可能発電量 風車電力投入率 (年風速 5.38m/s の場合)
クルドゥフシ	発電所周辺および港湾敷地	2 機	903,732kWh 8.4%
ナイファル	島北部発電所周辺	2 機	824,326kWh 15.8%
グリファル	MWSC 敷地内	1 機	451,866kWh —
総事業規模： 300kW 機×5 機			

事業性の検討では，導入予定地での 1 年間の風況データがそろっていないため，2004 年の政府調査のデータ (5.48m/s) を使用したケースと，年平均風速を 6.0m/s と仮定したケースの 2 つの風速条件，さらに，設備導入時の公的補助の比率 3 ケース (50%，30%，0%) の合計 6 パターンの試算を実施した（表-5）。

その結果，最も好条件の場合（年平均風速 6.0m/s，設備導入補助率 50%），6 年目には投資費用を回収できる試算結果となった。

表-5 事業性試算結果

ケース	年平均風速	補助率	発電単価	投資回収年数	プロジェクト IRR
1-A	5.38m/s	50%	0.227USD/kWh	8 年間	14.6%
1-B	5.38m/s	30%	0.267USD/kWh	11 年間	9.2%
1-C	5.38m/s	0%	0.342USD/kWh	15 年間	4.5%
2-A	6.0m/s	50%	0.273USD/KWh	6 年目	21.6%
2-B	6.0m/s	30%	0.213USD/kWh	8 年目	14.7%
2-C	6.0m/s	0%	0.273USD/KWh	11 年目	8.9%

## 9. まとめ

本調査を通じて、モルディブにおける当社製 300kW 風力発電機の導入意義が高いことが裏付けられた。今後も同国への提案を進め、早期のプロジェクト実現を図りたい。

最後に、本調査実施において多大なる協力をいただいた、モルディブ環境エネルギー省、在東京モルディブ大使館、経済産業省、三菱 UFJ モルガン・スタンレー証券、及び沖縄エネテックの関係者の皆様に感謝の意を表します。

### (参考) モルディブ政府および電力公社の招聘

モルディブでの風力発電導入のカギとなる政府・電力会社関係者を日本に招聘し、当社製 300kW 風力発電機の実験を体験してもらうとともに、風力発電事業の開発を自発的に進められるようなノウハウを享受した。

招聘者は、以下の3名で、3泊4日の日程で実施した。

- 環境エネルギー省 : 1名
- FENAKA エンジニア : 1名
- STELCO エンジニア : 1名



写真-4 富津工場視察状況



写真-5 KWT300 視察状況



写真-6 産総研福島再生可能エネルギー研究所視察状況



写真-7 産総研福島再生可能エネルギー研究所視察状況

### 参考文献

- 1) Ministry of Environment and Energy, Republic of Maldives “SREP Investment Plan 2013-2017”