

トンガ王国

トンガ王国

開発途上国の社会・経済開発のための 民間技術普及促進事業

災害対応型沖縄可倒式風力発電システム 普及促進事業業務完了報告書

平成 27 年 12 月

(2015 年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

株式会社プログレッシブエナジー

民連
J R
15-095

目次

概 要.....	2
第一章 トンガ王国における該当開発課題の現状およびニーズ.....	3
1 政治・経済の概況.....	3
2 開発課題の現状と国別援助方針.....	7
3 大洋州と沖縄の関係.....	10
第二章 トンガ王国における電力事業の現状.....	12
1 Tongatapu 島 電力概要.....	12
2 TPL の概要.....	15
3 TERM の目標と活動内容.....	16
第三章 トンガ王国の電力分野の ODA 事業およびドナーの分析.....	18
1 ハイブリッドアイランド構想（日本）.....	18
2 マイクログリッドシステム（日本）.....	18
3 34 の村のネットワーク改善計画（NZ）.....	19
4 マーマ・マイ太陽光発電システム（NZ）.....	20
5 NZ Wind power feasibility study.....	20
第四章 実施結果および活動報告.....	21
1 8 月トンガ調査.....	21
2 9 月大臣招聘.....	23
3 3 月トンガ調査.....	25
4 5 月エンジニア招聘.....	27
5 活動を終えて、総括（達成結果）.....	29
第五章 提案する事業の仕組み.....	30
1 トンガに提案する風力発電導入計画の概要.....	30
2 TPL の風力に対するこれまでの取り組み.....	32
3 導入プラン.....	34
4 資金調達プラン.....	51
5 事業化による開発効果.....	52
第六章 提案企業による海外進出の見通し.....	53
1 提案企業の海外進出の位置づけ.....	53
2 提案企業の海外進出による地域経済への貢献.....	54
3 提案企業による海外進出の見通し.....	54
参考資料.....	56

概 要

本事業は、我が国民間企業の製品・技術やノウハウ、そしてそれらを包含したシステム等への途上国政府関係者等の理解の促進を通じ、開発途上国の社会・経済開発への活用可能性を検討する事業である。

(株)プログレッシブエナジーの属する沖縄電力(株)グループでは、沖縄の過酷な気象条件にも耐え得る災害対応型沖縄可倒式風力を、沖縄県内の小規模離島へ導入しており、その運用実績も良好であるため、沖縄と類似の気象条件や地理的負担を背負っている国々へ展開することにより、再生可能エネルギーに対して同様な課題を持つ大洋州諸国の課題解決の一助とするため、本事業により対象国政府関係者の沖縄への招聘による製品への理解の促進や、対象国保守要員の沖縄でのメンテナンス体験、また現地での PR 活動等を実施した。

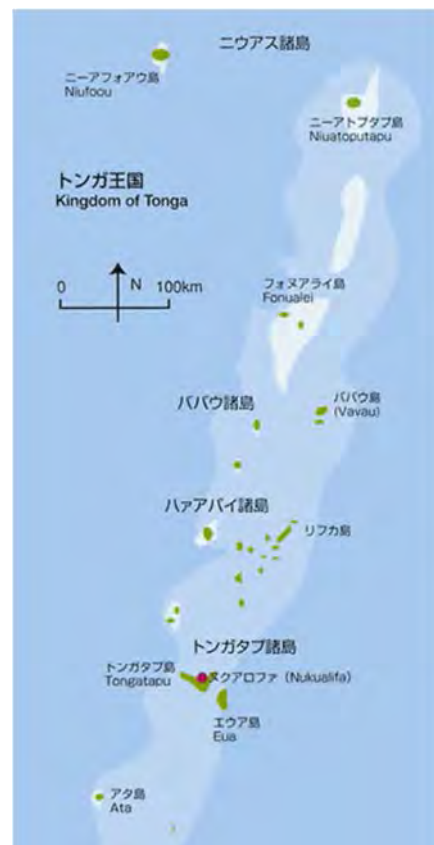
その成果として、対象国へ災害対応型沖縄可倒式風力を導入する場合の導入プランを提案し、(株)プログレッシブエナジーの海外事業展開の可能性を検討した。

第一章 トンガ王国における該当開発課題の現状およびニーズ

1 政治・経済の概況

① 概要

政治的立場	1970 年独立（それ以前は英国の保護国）
首都	ヌクアロファ(Nuku' alofa)
人口	10.57 万人（2014 年）
主要言語	英語およびトンガ語
識字率	98.2%（2011 年）
国土面積	747 平方キロメートル
排他的経済水域	70 万平方キロメートル
一人あたりの GNI	4,490 米ドル(2013 年推計)
主要産業	農業、漁業
年間輸出額	3,500 万パアンガ（2014 年推計・約 1,750 万米ドル）
主要輸出品	魚介類、根菜類、カボチャ（2014 年）
年間輸入額	4.041 億パアンガ（2014 年推計・約 2 億米ドル） （2008 年アジア開発銀行）
主要輸入品	食糧、機械、輸送機器、燃料油、化学製品
公式通貨	パアンガ(pa' anga : 自国通貨)



② 地理

日本から南、約 7800 キロの南半球に位置し、ポリネシア語圏内で『南』の意味を持つトンガ王国は、その名の通り、大洋州諸国内で最南端国の一つ。北からニウアス、ヴァヴァウ、ハアパイとトンガタプ 4 つの主な諸島からなり、最大島である南部のトンガタプ島ヌクアロファに首都がおかれている。毎年サイクロン被害に見舞われるほか、国内に活火山島や海底火山があるため地震の発生もある。2014 年 12 月の海底火山噴火による新島誕生(Hunga Tonga=Hunga Ha'apai)は記憶に新しい。

③ 政治

大洋州内唯一の王国で、1900 年から 1970 年まで英国の保護下にあった。憲法は 1875 年に制定され、トゥイ・カノクポル（トゥポウ）王朝が国権三権を支配する実質的な絶対王政国だったが、1990 年代から民主化運動が起こり、2006 年の暴動化したデモを経て、2010 年の憲法改正により立憲君主制に移行した。国王、枢密院を構成する王室と貴族による内政及び地方自治に対する影響力は引き続き制度的にも強い。現在の国王は 2012 年に即位したトゥポウ 6 世 (HM King George Tupou VI。戴冠式は今年 6 月)、総理大

臣は民主化運動のリーダーであったアキラシ・ポヒヴァ首相 (Hon Samuela 'Akilisi Pohiva) (2014 年就任)。

立法府は議員定数 26 名の一院制国会(Legislative Assembly/Fale Alea o Tonga)。任期は 4 年で、17 名は国民による直接選挙による選出、9 名は貴族の間から互選される貴族議員。内閣は総理大臣が指名、国王が任命する 12 名により構成され、このうち半数は国会議員であることが義務付けられている。司法府は、憲法により独立が保証され、控訴審裁判所、最高裁判所、土地問題裁判所と判事裁判所により構成されている。

下記に、2014 年 12 月以降のトンガ政府の体制を示す。

省庁	外務・貿易省 (Ministry of Foreign Affairs & Trade)	省庁	法務省 (Ministry of Justice)
大臣	Prime Minister Hon. Samiuela 'Akilisi Pohiva	大臣	Hon. Vuna Faka'otusia
次官	Mr. Va'ingaTone	次官	Ms Susana Faletau
省庁	首相府 (Prime Minister's Office)	省庁	保健省 (Ministry of Health)
大臣	Prime Minister Hon. Samiuela 'Akilisi Pohiva	大臣	Hon. Saia Piukala
次官	Mr. Paula P. Ma'u	次官	Dr. Siale 'Akau'ola
省庁	財務・国家計画省 (Ministry of Finance and National Planning)	省庁	教育・訓練省 (Ministry of Education and Training)
大臣	Hon. 'Aisake Valu Eke	大臣	Hon. Samiuela 'Akilisi Pohiva
次官	Mr. Tatafu Moeaki	次官	Mrs. Emily Pouvalu
省庁	歳入・税関省 (Ministry of Revenue and Customs)	省庁	商業・観光・労働省 (Ministry of Commerce and Tourism and Labour)
大臣	Hon. Tevita Lavemaau	大臣	Hon. Dr Pohiva Tui'onetoa
次官	Mrs. Irma Daphney Stone	次官	Mrs Vaimoana Taukolo
省庁	警察・刑務・消防省 (Ministry of Police, Prisons and Fire Services)	省庁	インフラ省 (Ministry of Infrastructure)
大臣	Hon. Dr Pohiva Tuionetoa	大臣	Hon. 'Etuete Sungalu Lavulavu
次官	Grant' O'Fee	次官	Mr. Ringo Fa'oliu
省庁	国営企業省 (Ministry of Public Enterprises)	省庁	農食林水産省 (Ministry of Agriculture, Food, Forests and Fisheries)
大臣	Hon. Poasi Tei	大臣	Hon. Semisi TaelangiFakahau
次官	-	次官	Mrs Losaline Ma'asi
省庁	内務省 (Ministry of Internal Affairs)	省庁	国土・天然資源省 (Ministry of Lands and Natural Resources)
大臣	Hon. Fe'aomoeata Vakata	大臣	Lord Ma'afu
次官	Mr. Lopeti Senituli	次官	Mr. 'Asipeli Palaki

順不同・出典：トンガ政府

④ 経済・財政

主に内需と海外に多数居住するトンガ人による本国送金によりトンガ経済は支えられている。主要輸出産品である農産物は台風などの天候で生産高が大きく変わり、また主な貿易相手及びトンガ人が居住する各国の経済状況に影響を受けやすい。2014年に国内を襲ったサイクロン『イアン』は農業のみではなく、国内のインフラにも甚大な被害を与えた。食料や燃料、消費財を大きく輸入に依存していることから、恒常的な貿易赤字で、2014年の統計によると約3.7億パアングの輸入超過となっている。

2014 - 15年度の経済成長率は3.4%で、上記のサイクロン『イアン』による復興事業のための海外からの支援等公共事業主導の成長であったことから、トンガ政府は『2015 - 2025年度トンガ戦略的開発枠組み (Tonga Strategic Development Framework 2015-2025)』の柱である『グッドガバナンス強化を通じたトンガの開発と全国民の生活の質向上予算 (A more Progressive Tonga Supporting a Higher Quality of Life for all through Enhanced Good Governance)』実現のため、観光業、農業、水産業、製造業及び海外直接投資を含む更なる民間セクターの育成を目指すことにしている。財政は国内税収、海外からの予算支援と国債の三本柱で、2015 - 2016年度の予算総額は約4.9億パアングとなっている。

⑤ 各産業分野

第一次産業： GDPの約18%を占めており、このうち農業がGDP全体の15%となっている。かぼちゃが主力農産物として輸出されていたが、輸出先の市場縮小などにより根菜類、スイカ、ココナッツ、カヴァなどの市場多角化が行われた。漁業はGDPの約3%、林業は0.4%となっている。

第二次産業： 建設業を中心に、GDPの約17%を占めている。これは2006年に起こったヌクアロファの暴動及び2014年の『サイクロン・イアン』からの復興事業、2019年に開催されるパシフィックゲームに向けた建設需要、海外ドナーによる開発支援プロジェクトなど、公共事業主導となっている。製造業はGDPの6%と低く、政府は法律や金融環境の整備を行い育成したい意向を持っている。

第三次産業： 約54%と最もGDPに占める比率が高い。GDPの約10%は卸・小売業で、2014年には卸業者が2013年の191業者から211業者、また小売りは1461業者と前年から17%の伸びを記録した。また観光業は全体のGDP3%と低いですが、トンガ政府は更なる成長を画策している。

⑥ 輸出入

2014年の輸出総額は約3500万パアングで、主な輸出品は魚介類(42.1%)、カヴァを含む根菜類(26.5%)、カボチャ(7.0%)。主な輸出先は、ニュージーランド、香港、米国、日本と豪州だった。同年の輸入総額は約4億パアングで、おもに鉱物製品(石油製品)が22.3%、機械・電化製品が18.6%、食料・飲料・たばこが12.8%。主な輸入元はニュージーランド、シンガポール、米国、日本、フィジー、中国と豪州だった。

⑦ 税制

所得税、法人税、消費税と関税の主要4税により構成されている。所得税の課税対象所得は7,401パアングから10%、30,001パアング以上の課税対象所得で20パーセント及び2,260パアング(固定額)の源泉徴収。法人税は一律25%、消費税率は15%(医療、教育、運輸、土地リース代、金融サービス、家庭用電力・水道等を除く)。2005年にWTOに加盟したため、最高輸入関税率は15%から20%に抑えられている。輸出にかかる関税は無い。政府は援助事業や国内の産業育成に有益と考えられる事業に対する免税

を行うことが出来る。

⑧ 労働力・人的資源

2011年の国勢調査によると、15歳以上の労働人口は64,597名で、半自給自足を含む何らかの経済活動を行っている人口は33,795名。15歳以上の人口中9割以上が中等・高等教育を受ける教育熱心な国民性と初等教育は義務教育であることから、識字率は98.2%、英語の識字率もそのうち86%と非常に高い。初等・中等教育の他に、トンガ教員学校、南太平洋大学のトンガ校、また私立のアテニシ・インスティテュート等の大学に相当する教育機関も設置されている。

単純労働力は容易に確保できるが、技能工は不足気味であることから、大型事業等を実施する際には外国人労働者・技能工雇用は避けられない。政府は申請に基づき審査の上労働許可証を発給する。民間部門では現在の所法定最低賃金は設定されておらず、賃金を含む雇用条件は使用者と被用者との合意が必要。1964年に労働組合法が制定され、公務員労組及び看護師労組が活動している。

⑨ インフラ

大洋州の中ではインフラは比較的充実している。主要地区間は舗装道路で結ばれているほか、自国所有の衛星通信システムにより通信環境も良好である。豪州、ニュージーランド、フィジーと首都ヌクアロファから33キロ南東にあるファアモトゥ国際空港間で直行便が運航されているほか、ヴァヴァウ島にも国際空港が設置されており、国内線もヌクアロファと国内の主要各島間運行を行っている。また国際貨物海上輸送は日本を初め豪州、ニュージーランド、米国などから運行されているほか、国内の貨物海上輸送は民間会社と政府資本であるポリネシア海運公社が運行を行っている。主要港はヌクアロファ港で、2015年6月に日本政府による無償資金協力で整備が行われることが決まった。また金融インフラとして、トンガ準備銀行の監督の下、3つの商業銀行とトンガ開発銀行が営業を行っている。

首都のあるトンガタプ島の電力供給は島に1カ所あるトンガ電力公社（Tonga Power Limited）のポプア発電所に設置されているディーゼル発電機（合計最大出力：11MW）を主に、同発電所内に設置されているニュージーランドの支援で設置された1.3MWのマーママイ（Ma'ama Mai）太陽光発電システム、および、2015年3月に日本の支援によってバイニ地区に設置された1.0MWの太陽光発電システムによって賄われている。ディーゼル発電機の燃料の軽油は全て輸入されており、発電コストが非常に高いため、電気代が太平洋地域において最も高い。（Transforming Tonga A Private Sector Assessment Summary /ADB 2008, JICAより出典）

⑩ 海外投資関連法令

海外投資促進とトンガ国民の産業保護を目的に、2002年外国投資法及び2006年外国投資法令が2007年4月に施行され、以下の業種に対する海外投資は禁止されている：

- ◆ タクシー業
- ◆ ハイヤー業
- ◆ 中古車販売業
- ◆ 小売り卸売業
- ◆ 食パン製造業

- ◆ トンガ文化活動業
- ◆ 鶏卵のための養鶏業
- ◆ 警備業
- ◆ ココナッツの輸出
- ◆ 50 万パアング未満の投資による住宅ビル、商業ビルの配線工事・機器設置工事
- ◆ 根菜類、カボチャ、カジノキ、パンダナス、カヴァの栽培
- ◆ 沿岸漁業、12 カイリ内水深 1000 メートル以内の近海漁業、水深 500 メートル以内の海底漁業

⑪ 土地利用

土地は王室所有地、貴族・準貴族所有地と政府所有地のみで、一般成人男性に対し、国土大臣により貴族・準貴族所有地及び政府所有地から借地として与えられる。土地の売買は土地法により禁じられており、外国人によるリースを含むすべての土地のリースは国土大臣の承認が必要である。

⑫ カントリーリスク

2006 年に民主化を求めるデモが暴徒化し、首都ヌクアロファでは放火や商店の略奪事件が起きたが、「友好的な島々(The Friendly Islands)」と呼ばれるほど、基本的には平和な国であるため、カントリーリスクは、気象変動に伴う台風の甚大化と干ばつの長期化など自然災害のみと言える。

2 開発課題の現状と国別援助方針

大洋州島嶼国各国は、人口・面積の規模、経済構造、海洋資源・鉱物資源の有無、自由連合盟約に付帯する経済支援の有無など、国により様々な状況にある。しかし、共通の開発上の課題として、国土が広大な地域に散らばり（拡散性）、国内市場が小さく（狭隘性）、国際市場から地理的な遠さ（遠隔性）、そして産業は、一次産品に依存し脆弱であるため、国家経済、特にインフラ整備などの開発事業は海外からの無償資金協力援助に依存している。また、国内の労働市場が十分発達していないため、近隣の豪州、ニュージーランドや関係の深い米国への出稼ぎ労働者が多く、こうした海外労働者からの送金が重要な役割を果たしている。

伝統的に個々の島・地域の自然環境における適正規模の人口を養う自給体制が確立しており、一部の都市地域を除けば、依然として自己完結的な生存経済下に暮らす住民が多い。こういった「原初的豊かさ」とグローバル化や市場経済システムとの共存をどのように図っていくかが、両者の橋渡しをする援助を巡る課題である。

さて、トンガは地理的条件からサイクロンや地震・津波などの自然災害のリスクが高く、特に 2014 年のサイクロン「イアン」により、ハアパイ諸島を中心に大きな被害が発生したことなども踏まえ、早急に自然災害への対応策及び備えを講じていく必要がある。また、首都ヌクアロファのあるトンガタブ島やヴァヴァウ本島では、急速な都市化とそれに伴う都市部への人口流入が進んでおり、その結果、1) 著しい地域格差、2) 失業者の増加、3) 島内で処理しきれない廃棄物の増加、4) 水資源の枯渇・汚染等による環境の悪化が懸念されている。

1) の、地域格差の解消には、運輸・通信網の整備・強化が不可欠であり、また、公共事業サービスに必要な各種インフラ整備も重要であるが、トンガ政府が独自に対応することは財政上難しい状況にある。2) では、若年層の多いトンガでは、慢性的な失業問題への対策として、国内及び域内の産業・経済の発展に寄与する技術教育・職業訓練の拡充を図ることも政府の重要な課題である。3) において、トンガタプ島では、廃棄物処理が開始されたが、管理が不十分であるため、環境へのマイナスのインパクトが懸念される。4) 離島の辺縁部では地下水の塩水化が進行するなど、揚水量の増加による淡水レンズへの影響も危惧される。

一方、水資源の涵要^{かんよう}を促進する森林などの自然環境の保全に関しては、自然保護区の指定等はあるものの、実質的な管理体制は伴っていない。また、公衆衛生分野の課題として、生活習慣病、特に糖尿病における成人罹患率は40%を超えており、運動療法や食習慣の改善に向けた健康教育などの協力がますます重要となっている。

参考：対トンガ王国 事業展開計画／2014年4月 外務省

表 1-1. トンガ王国主要経済指標等(2012年)

人口	10万人
GNI総額	4.85億ドル
GNI一人あたり	4,220ドル
経済成長率	0.8%
失業率	—
対外債務残高	1.97億ドル
援助受取総額（支出純）	0.78億ドル
DAC分類	低中所得国
世界銀行分類	iii／高中所得国

出典：WDI（世界銀行）等

表 1-2. ミレニアム開発目標（MDGs）代表的な指標

		過去データ	最新データ
目標 1	1日1.25ドル未満で生活する人々の割合	-	-
目標 2	初等教育における純就学率	92.3%(1990)	98.9%(2006)
目標 3	初等教育における男子生徒に対する女子生徒の比率 (男子を1とした時の女子の人数)	0.99人(1990)	0.96人(2007)
目標 4	5歳未満児の死亡数(1,000人あたり)	22.9人(1990)	12.8人(2012)
目標 5	妊産婦の死亡数(出生児10万人あたり)	67人(1990)	110人(2010)
目標 6	15～49歳のHIV感染率 (100人あたりの年間新規感染者数の推定値)	-	-
目標 7	改良飲料水源を継続して利用できる人口の割合	98.6%(1990)	99.2%(2011)

出典) Millennium Development Indicators (The Official United Nations Site for the MDG Indicators)

出典：外務省

トンガ王国国別援助方針

① 援助の意義

トンガは他の大洋州島嶼国同様、国土が広大な地域に散らばり（拡散性）、国内市場が小さく（狭隘性）、国際市場から地理的に遠い（遠隔性）など、開発上の困難を抱えている。天然資源に乏しく、人口が少ないことに加え、生活物資等の大半を輸入し、一方で外貨収入は海外送金や援助に依存した経済であることから、自立的な経済発展・社会開発を達成するための構造的な制約に直面している。

また、気候変動や自然災害に対しても脆弱性を抱えている。特にサイクロンや地震・津波などの自然災害のリスクが高く、災害への脆弱性の克服が同国の社会・経済発展には不可欠である。また、都市化による水資源への影響が顕在化していることから、環境に配慮した社会インフラの整備が必要とされている。

2006年の反政府デモを発端とする暴動を経て、2010年にはより民主的な政治制度へ移行したが、今後、民主主義を根付かせ、政治的安定を維持するためには、調和のとれた経済発展が必要不可欠である。また、同国は南太平洋唯一の王国であり、トンガ王室は日本の皇室と非常に親密である他、文化・スポーツの交流が盛んである。さらに、これまで国際場裏における我が国の立場や国際機関の選挙での我が国の立候補を支持するなど、良好な二国間関係を築いているが、近年、新興ドナーの影響力拡大による我が国の存在感の相対的な低下が指摘されている。同国の自立的・持続的な発展の後押しと二国間関係の強化のため、継続的な支援が重要である。

② 援助の基本方針（大目標）：環境に配慮した持続的経済成長の達成と国民の生活水準の向上我が国は、トンガの国家開発計画、1997年から3年に1度開催している「太平洋・島サミット」における我が国の支援方針等を踏まえ、環境保全や気候変動に対する支援をはじめとして、基礎的な社会サービスの向上やインフラ整備を含む持続的な経済成長基盤の強化に対しても支援を行う。

③ 重点分野（中目標）

（1）環境・気候変動

自然災害のリスクを軽減するため、東日本大震災を踏まえた我が国の防災面での経験・技術・知見の活用を念頭においた支援を行う。また、環境に配慮した社会を整備するため、太陽光発電の普及・活用を推進することにより、再生可能エネルギーの導入を促進する「トンガ・エネルギー・ロードマップ 2010-2020」の取り組みへの支援や、住民の良質な水へのアクセスを確保するため、水資源の保全についての支援を行う。

（2）脆弱性の克服

保健医療水準の向上のため、フィラリアを2020年までに撲滅するための支援をはじめとする感染症予防強化を含む保健医療サービスへの支援に重点を置く。また、コミュニティレベルでの保健・医療施設へのアクセス向上及び国民の健康意識向上に資する取組に対する支援を行う。教育分野に関しては、基礎教育及び職業訓練教育の質の向上及びアクセス向上のため、研修やボランティア等を通じた支援を行う。また、基幹産業である観光業、農林水産業等の産業振興の環境を整備するため、社会インフラの整備と維持管理、産業を担う人材育成についても支援を行う。

④ 留意事項

（1）主要ドナーである豪州、ニュージーランドを始めとした他の援助国と積極的な意見交換を行い、援助の重複を回避するとともに、相乗効果を生むような、効果的かつ効率的な援助の実施に努める。

（2）我が国からのボランティア及び専門家派遣、ならびにトンガからの研修員受入プログラムは同国政府から高い評価を得ており、直接的に日本の顔が見えることや両国間の人材交流の機会確保の観点から、今後とも積極的に実施する。

表 1-3. 日本国の対トンガ援助携帯別実績（年度別）

（単位：億円）

年度	円借款	無償資金協力	技術協力
2009 年度	-	11.46	3.23(3.10)
2010 年度	-	9.32	3.05(2.95)
2011 年度	-	18.67	3.69(3.54)
2012 年度	-	16.76	3.11(2.92)
2013 年度	-	2.86	2.35
累計	-	194.30	104.31(103.23)

平成 24 年 4 月 / http://www.ton.emb-japan.go.jp/japanese/keikyo/CAP_j.PDF

添付資料：事業展開計画

3 大洋州と沖縄の関係

太平洋島嶼国の多くは、大統領をはじめとした政財界のリーダーも輩出されるほど多数の日系人が存在し、国際社会においても日本の立場を支持してきた等、日本とのつながりが深い親日国家といえる。特に沖縄県とは、同じ「島」であるが故に抱えざるを得ない廃棄物処理や経済活動における課題のほか、気候、文化面でも多くの共通点を有している。

太平洋・島サミットは、太平洋の島国が直面している様々な課題について、日本がこれらの国や関係国と共に取り組み、関係強化を図るために主催している首脳会議で、太平洋の安定と繁栄を目指すものである。1997 年 1 月、日本と太平洋諸島フォーラム加盟国・地域間で、第 1 回太平洋・島サミットが開催されて以降 3 年に 1 回のペースで開催され、これまでに 7 回の太平洋・島サミットが開催された。沖縄では過去 3 回開催されている。



2012 年の第 6 回会議では、沖縄県の共催により、「エコアイランドシンポジウム」を開催し、沖縄県で推進されている循環型社会システム構築、「エコアイランド」の取組を好事例として、生活や産業が島嶼環境、特に水に与える影響を軽減し、経済的にも環境的にも持続可能な島とする試みについて、島嶼国の行政官、民間事業者と、沖縄及び県外の島嶼自治体関係者が共に学びあう機会を設けた。また、同シンポジウムでは、沖縄のリソースを活かした協力に関する調査が行われ、大洋州諸国の参加者に共有された。

第 7 回会議は、2015 年 5 月に福島県いわき市で開催され、今後 3 年間に、防災、気候変動、環境、人的交流、持続可能な開発、海洋・漁業、貿易・投資・観光の 7 つの分野に焦点を当てつつ、協力を進めることが決定された。安倍総理からは、同年 3 月に大洋州各国を襲ったサイクロン『パム』への被害に対しお見舞いを述べ、台風や海面上昇などの自然災害対策等として、今後 3 年間に強靱なインフラ整備をはじめとする 550 億円以上の支援を実施することを表明した。また、人材交流を通じ、参加国で防災専門家ら約 4000 人を育成する考えも示した。

よって、弊社の提案している災害対応型沖縄可倒式風力の大洋州島嶼国への導入は、台風を始めとする防災対策、風力関連の技術者育成の面からも、『太平洋地域において気象変動と災害に強靱な開発を行う

ため、国家や地域の既存の方針を踏まえつつ、自然災害に強靱な社会経済インフラの整備及び能力構築並びに太平洋災害早期警報システムなどを組み合わせた包括的な、切れ目のない、かつ、調整された支援を行う意図』をうたう、第7回太平洋・島サミット（PALM7）「福島・いわき宣言—共に創る豊かな未来—」に合致したプロジェクトと言える。



第二章 トンガ王国における電力事業の現状

1 Tongatapu 島 電力概要

トンガは172の小島からなる島嶼国家で、最大の島であり首都があるトンガタブ島でもその面積は日本の対馬と同等である。このトンガタブ島の電力供給は島に1カ所あるトンガ電力公社（Tonga Power Limited、以下TPLと称する）のポプア（Popua）発電所に設置されているディーゼル発電機（合計最大出力：11MW）を主に、同発電所内に設置されているニュージーランドの支援で設置された1.3MWのマーマイ（Manma Mai）太陽光発電システムによってまかなわれている。（2015年4月には、Vaini地区にも1MWの太陽光発電システムの導入あり）

トンガタブ島の電力需要は、冬場の使用電力が少ない時期で4MW、夏場の使用電力が最大となる時期で8MWと使用量に大きな開きがある。またポプア発電所のディーゼル発電機の燃料の軽油は全て輸入されており、発電コストが非常に高いため、電気代は日本国内の約2.5倍から3倍近くとなっており、国の財政にとっても、顧客である一般のトンガ人にとっても大きな負担となっている。

トンガ政府は、温室効果ガスの排出抑制とエネルギー安全保障の向上という命題に対処するため、2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーにてまかなう計画（トンガ・エネルギーロードマップ2010-2020）を策定しており、これに基づいた再生可能エネルギーの導入を進めている。

ただし、再生可能エネルギー（特に太陽光発電や風力発電）は自然条件で発電出力が左右されるため、エネルギーの安定供給という面で見れば、再生可能エネルギーのみを大量導入した際には電力品質が低下する（安定した品質の電力供給、電圧、周波数）懸念があり、この点に対処しながら再生可能エネルギーの導入を進める必要がある。

出展：トンガ王国マイクログリッドシステム導入計画準備調査報告書／八千代エンジニアリング株式会社

表 2-1. トンガタブ島の電力状況

Generation	Distribution	Customers
Tongatapu Equipment Two 2.88 MW Leroy Somer and Cat M32 generating units. Six Caterpillar 3516B diesel engines driving 11 kV Kato/Cat alternators. PLC control automatically controls load. 1.4 MW solar plant Capacity 13.8 MW ² Staffing Fully automated with SCADA monitoring.	Distribution standard 11 kV. The low voltage network operates at a three/single phase standard of 415/240V Lines 187 km of overhead line, 12 km of underground cables, and 1 kilometre of submarine cable. 452 km of low voltage lines (single and three phase).	Domestic 12,277 Commercial 3,037 Electricity tariff s/kWh Fuel 48.55 Non-fuel 43.17 Total 91.73

2013年9月に新たに、2.88MWのTheMakディーゼル発電機が導入され、年間24万リットルの燃料とメンテナンスコストを削減する。

表2-2. ポプア発電所のDGごとの発電量 (2007)

名前	モデル	ベース電圧 (kV)	Base (kVA)	PMax (kW)	Speed (RPM)	De-rated Power (kW)	導入年
UNIT 1	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1998
UNIT 2	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1998
UNIT 3	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1998
UNIT 4	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1998
UNIT 5	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1998
UNIT 6	CAT 3516B	11	1 525	1 400	1 500	420-1 260	1999
UNIT 7	CAT MaK6CM32C	11	3 456	2 880	600	2 448	2006
Trailer Unit	CAT PM3516B	11	1 525	1 400	1 500	Out of service	2010

表2-3. Electricity sales in MWh, 2007-2012

Year	Sector	Sales in MWh	Year	Sector	Sales in MWh
2007	Residential	22 670	2010	Residential	21 215
	Commercial/industrial	23 018		Commercial/industrial	21 540
	Government	627		Government	587
	Total	46 315		Total	43 341
2008	Residential	22 794	2011	Residential	21 846
	Commercial/industrial	23 144		Commercial/industrial	22 181
	Government	630		Government	604
	Total	46 568		Total	44 631
2009	Residential	21 070	2012	Residential	22 109
	Commercial/industrial	21 393		Commercial/industrial	22 448
	Government	583		Government	611
	Total	43 045		Total	45 168

表2-4. Typical weekday load pattern

Hour	kW	Hour	kW	Hour	kW	Hour	kW
0100	4 514.0	0700	4 738.8	1300	5 794.4	1900	6 216.6
0200	4 273.2	0800	4 906.2	1400	5 769.8	2000	6 875.2
0300	4 145.8	0900	5 748.6	1500	5 710.6	2100	6 575.8
0400	4 105.4	1000	5 870.4	1600	5 672.6	2200	6 069.4
0500	4 224.0	1100	5 898.2	1700	5 332.0	2300	5 483.8
0600	4 338.6	1200	5 920.8	1800	5 189.4	2400	4 893.0

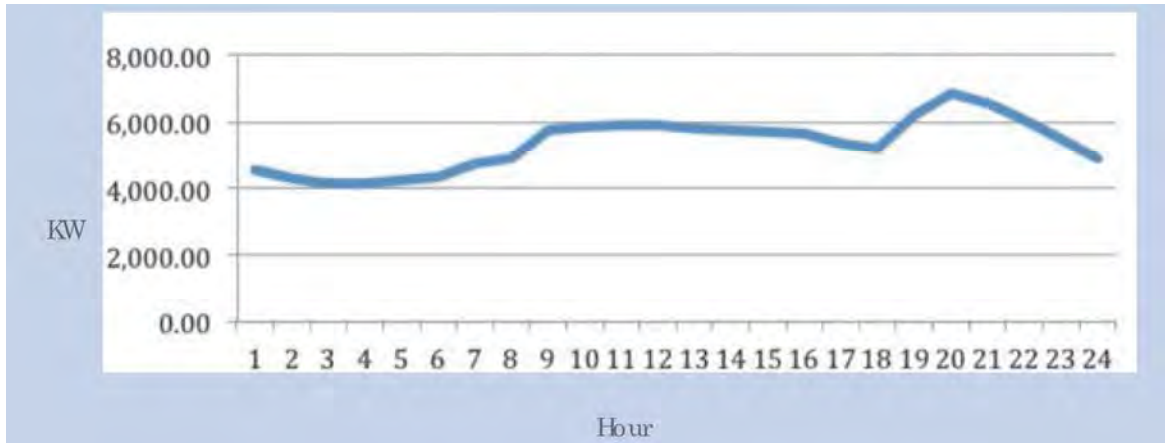
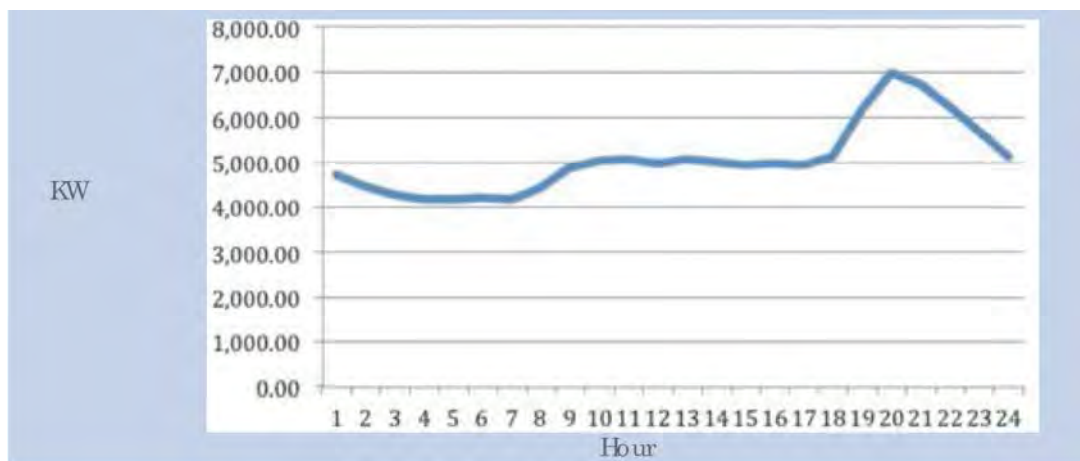


表2-5. Typical Sunday load pattern

Hour	kW	Hour	kW	Hour	kW	Hour	kW
0100	4705.0	0700	4161.0	1300	5061.0	1900	6226.0
0200	4448.0	0800	4443.0	1400	5004.0	2000	6981.0
0300	4268.0	0900	4877.0	1500	4950.0	2100	6730.0
0400	4175.0	1000	5026.0	1600	4965.0	2200	6263.0
0500	4156.0	1100	5078.0	1700	4950.0	2300	5716.0
0600	4197.0	1200	4977.0	1800	5136.0	2400	5126.0



2 TPL の概要

トンガ電力公社 Tonga Power Limited (TPL)

Tongatapu - Head Office Corner Taufu'ahau and Mateialona Roads P.O.Box 429 Nuku'alofa

Phone: 21400 Faults: 944 Fax: 23047

Tongatapu - Small Industries Office By-Pass Road Ma'ufanga Nuku'alofa

Phone: 21344, 28344 Faults: 944 Fax: 23047

Vava'u Office Neiafu Phone: 7720119 Faults: 7720113 Fax: 70798

Ha'apai Office Pangai Customer Service: 60586 Faults:7720008 Fax: 60586

'Eua Office 'Ohonua Customer Service: 50487 Faults : 7720128/7720129 Fax: 50487

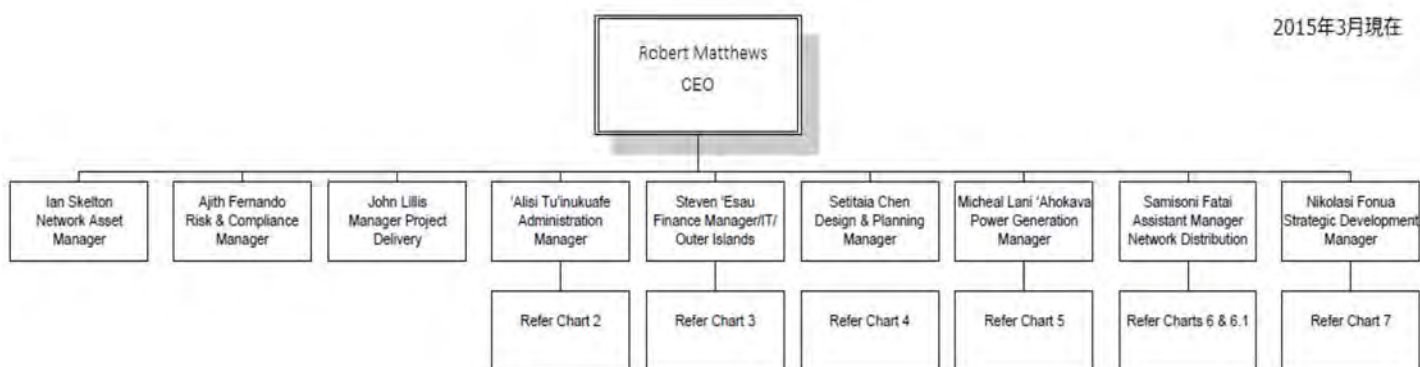
Website: <http://www.tongapower.to/>



TPL は、100%の国有企業として 2008 年 7 月に設立された。トンガ国内に信頼性の高い、安全で手頃な価格の電力を供給することを主な事業としている。

TPL の中核目的は、「オイル価格の高騰に左右されず、島嶼国であるトンガの脆弱性を軽減し、持続可能な方法でエネルギーサービスへの品質向上を図る」こととしている。その戦略や事業計画において重要なことは、財政的に持続可能であることである。

2015 年 3 月 9 日に、新たな CEO として、Robert Matthews を迎え入れた。彼は、2012 年 2 月から 2015 年 2 月まで CEO を務めた John van Brink 氏の後を引き継ぐことになる。Robert 氏は、TPL に CEO として務める以前は、オーストラリアで、電力業界の幹部として長年勤めてきた経緯がある。



TPL は、トンガ政府において、公営企業省の管轄下に置かれている。

プロフィール

2008 年より電力供給を開始

3,963 の企業を含むおよそ 20,500 の顧客へサービスを提供する

緊急時には 24 時間対応

従業員：148 人

Financial Performance 2014 and Projections for 2015

Year ending 30 June	Budget	Audit	Projection
	2014	2014	2015
	1 Jul-30 Jun	1 Jul-30 Jun	1 Jul-30 Jun
	T\$	T\$	T\$
Total Revenues	41,117,329	48,304,130	44,640,229
Total Expenses	38,194,863	45,668,758	41,573,818
Net Profit After Tax	2,922,466	2,635,372	3,066,411
Return on Average Equity	6%	5%	6%

Year ending 30 June	Budget	Audit	Projection
	2014	2014	2015
Meets 2008 Concession Contract requirements ¹			
Available capacity			
Installed generation capacity (MW)	16	16	16
Generating capacity utilization			
Load factor (%)	52	57	54
Distribution efficiency ²			
Line loss (%)	13	12	13
Note 1: Achievement of Customer Service Levels, Distribution and Heat Loss efficiencies is dependent on sufficient retained earnings to provide the capital investment necessary to achieve the efficiencies and standards.			
Note 2: The Concession Contract obligates Tonga Power to reduce line losses to 13% from the period commencing 01 January 2012 until 30 June 2015.			

3 TERM の目標と活動内容

トンガ王国では、温室効果ガスの排出削減とエネルギーの安定的な確保という二つの命題に対処するため、2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーで賄うという「トンガ・エネルギーロードマップ 2010-2020」(TERM: Tonga Energy Road Map)を策定している。



この中で、2つの主な内容を掲げており、その一つが、トンガの電力セクターの拡張である。これは、Tonga Energy Roadmap Implementation Unit (TERM IU)によって実施され、電力セクターの企画制作における支援を行うとしている。二つ目には、TPLによる再生可能エネルギー導入の支援がある。これには、新たな再生可能エネルギー導入に関わる制度設計および、電力設計も含まれており、2012年から2017年までの5年間においては、設備導入にかかる財務面でも支援を行う。

下記に活動内容を示す。

PHASE-1

- ・ 石油サプライチェーン調査による提言がトンガ王国政府によって検討され、実施を決定する。
- ・ 石油調達価格のリスクヘッジに係る活動を開始する。
- ・ 石油及び電力に係る組織、法制度、政策、規制の改正を行う。
- ・ 再生可能エネルギーのポテンシャルに関するデータ収集活動、データ収集・モニタリングシステムを導入する。
- ・ TERM の活動に係る環境社会配慮項目を特定するための環境スクリーニングを行う。
- ・ 気候変動のインパクトが、エネルギーインフラの長期的な安全や保安に与えるリスクを分析する。
- ・ 第一期のエネルギー使用効率化/DSM (Demand Side Management)プログラムを開始し、更に広範囲の効率化プログラムを計画・実施するためのデータ収集、分析を実施する。
- ・ 独立系統の再生可能エネルギープログラムを実施する。
- ・ 電力供給に係る安全確保、データ収集、効率改善のための投資がTPL によって行われる。
- ・ TGIF (Tonga Green Incentive Fund) を設立する。

PHASE-2

第二期のエネルギー使用効率化/DSM プログラムを実施する。

- ・ 1MW までの系統連系型太陽光発電をトンガタブ島、及び最低 1 箇所その他の島で実施する。同プロジェクトには集中型、分散型、蓄電池付を含む。運転、維持管理、訓練にかかる委託契約も実施される。
- ・ ココナッツ油 (660,000ℓ/年) を発電用燃料として使用するための実証試験を実施する。運転、維持管理、訓練にかかる委託契約も実施される。
- ・ 産廃処分場から発生するバイオガスを使用したIPP 発電プロジェクトを実施する (Phase-0 で実現可能と判断される場合)
- ・ 石油調達に関する金融リスク管理の導入経験のレビュー、必要に応じた修正。
- ・ Phase-2 プロジェクト実施のためのアドバイザーを選定する。

PHASE-3

Phase-1 プロジェクトのデータ、及び経験の分析。特に、損失低減及びDSM プログラムを評価し、目標達成のために補足すべき事項を特定する。系統連系型システムの運用データを評価し、必要な対策を特定し、最も現実的な再生可能エネルギーの選択肢を適用するために必要となる新技術を確認する。

- ・ Phase-1 で確立されたデータ収集システムを「制度化」する。
- ・ TGIF を活用し、フルスケールの再生可能エネルギープロジェクトをIPP ベースで実施する。TERM の基本原則に基づき、Phase-2 プロジェクトの優先順位付けを行う。Phase-2 のプロジェクトには、需要家が所有する分散型の太陽光発電が含まれる。

2014年10月に、TERMの目標として2020年までに100%を達成するという新たな発表がなされたが、これが効力があるものかどうか、トンガ政府内で確認中である。

Radio New Zealand News: Tonga plans to be 100 percent renewable by 2020 / 31 October 2014

第三章 トンガ王国の電力分野の ODA 事業およびドナーの分析

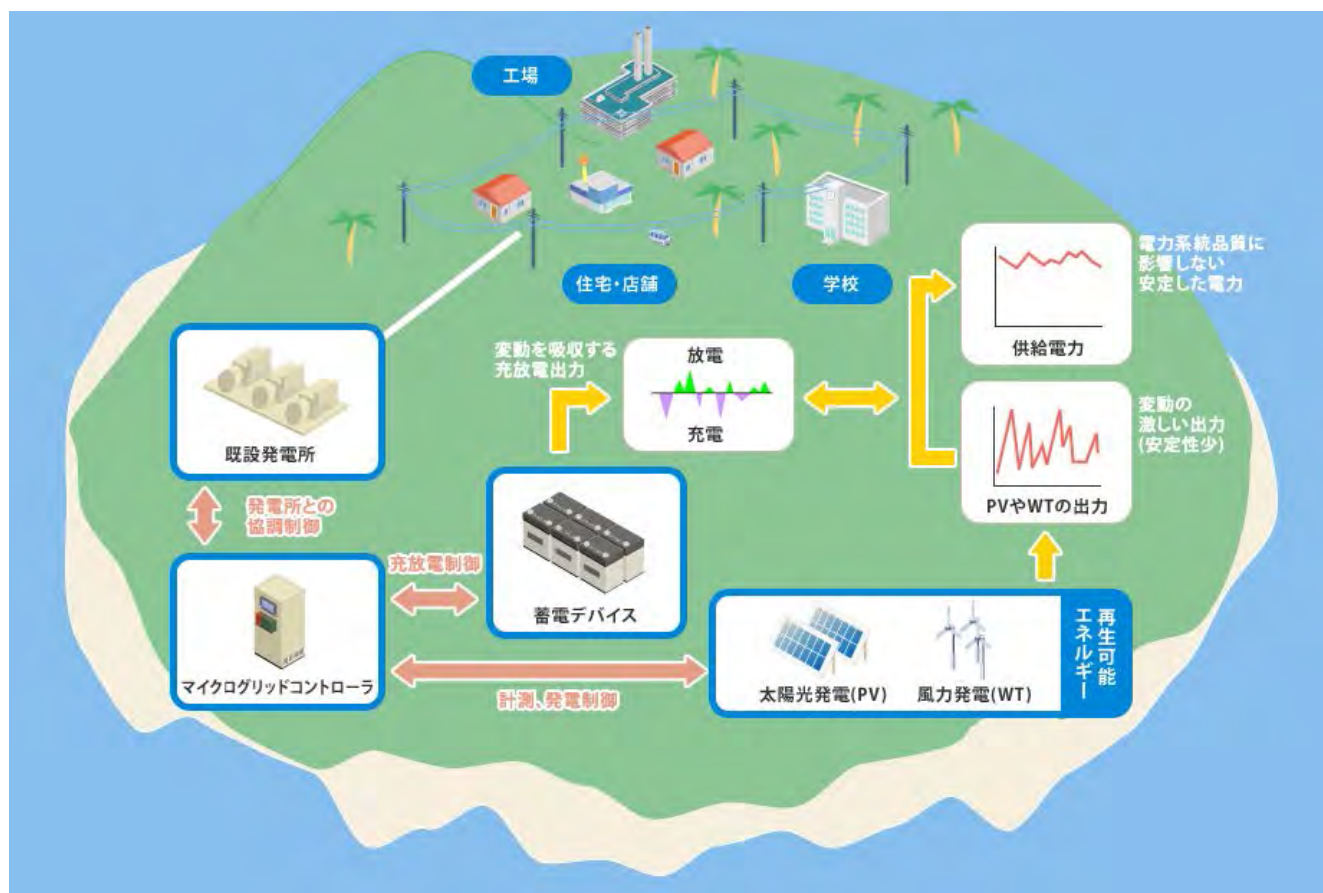
1 ハイブリッドアイランド構想（日本）

大洋州地域において各国は、再生可能エネルギー導入率の目標を掲げ、日本・他ドナー支援による太陽光を中心とした再生可能エネルギー導入を進めている。しかし、その不安定な出力は、電力供給の不安定化やディーゼル発電の非効率運用を引き起こしている。そこで JICA は、2015 年、大洋州各国を対象として、再生可能エネルギーとディーゼル発電の長所を活かした、系統安定化策を伴う燃料費削減方策を実現するハイブリッドアイランド構想を提唱している。

ディーゼル発電設備の状況、再生可能エネルギー導入状況と接続許容量、オペレーションとメンテナンス（O&M）体制・能力、再生可能エネルギー導入目標を総合的に勘案しながら、実現可能な燃料費削減方策を特定することが重要と捉え、国によっては、ディーゼル発電機への支援は不要で、再生可能エネルギー導入が飽和状態となることもありえるため、各国状況に合わせて検討する内容となっている。

2 マイクログリッドシステム（日本）

マイクログリッドシステムとは、出力変動を伴う自然エネルギーによる発電設備を大量に導入した場合、安定的な電力供給が難しく、かつ電力系統の周波数が変動して電力の品質を維持することが困難となるため、電力系統の状況に応じて蓄電デバイスの高速充放電制御を行い、不安定な再生可能エネルギーの出力変動を抑えることによって電力品質を維持し、その大量導入を可能にするシステムである。



2015年3月、本邦の無償資金協力（供与額15.7億円）によりマイクログリッドシステム（太陽光発電システム含む）をバイニ（Vaini）地区に設置した。これは、バイニ地区に1.0MWの最大出力の太陽光発

電システムを新設したもので、この太陽光発電システムは、トゥポウ 6 世国王から、マタオエリア"MATAOE LA'A" (The Face of the Sun) と命名された。

また、マイクログリッドシステムの一部として、11.3kWh のリチウムイオンキャパシターを含んだマイクログリッド制御システムと、11kV の受変電装置が設置された。

さらに、ポプア発電所敷地内に設置されている既設のマーママイ太陽光発電システムの電力安定供給を目的に、バイニ地区と同容量の 11.3kWh リチウムイオンキャパシターを含むマイクログリッド制御システム及び 11kV の受変電装置を新設し、ポプア側の電力品質の維持も併せて行ない、トンガタブ島内の電力の安定供給を行なうシステムとなっている。

これにより、安定した電力供給と電力系統の周波数変動を可能な限り抑え、同島に安定した電力供給を実現し、同国のエネルギーロードマップ達成に貢献することが期待されている。

出典：JICA トンガ王国へのマイクログリッドシステムの導入 2015 年 3 月 19 日

<http://www.jica.go.jp/tonga/office/information/event/150319.html>

上述のマイクログリッドシステムにおいては、当初、風力発電についても導入を検討されていたが、導入計画段階の調査報告書によると、環境影響評価が十分に行われておらず、その調査には時間を要するために、当プロジェクトのスケジュールには沿わないために採択がされなかったとあり、同時に、風況についても調査されており、その結果、風車を稼働するための基準値 (NEDO) は十分に満たしているとの記述がある。

《本マイクログリッドシステムと風力発電の協調の可能性》

現地調査に伴い、既存マイクログリッドシステムのデータネットワークに、風力発電システムのデータ回線を接続する事は可能である事を確認出来た。既存のシステムとしては短周期補償用 PCS で太陽光発電の出力変化を抑制する事で系統安定を図り、既存 DG の最低負荷信号を受信する事で PCS にて太陽光発電の出力制限を行っている事が確認できた。その事から、可倒式風力の導入に伴い、既設 DG 運転効率向上及び予備電力確保の為、長周期補償用の蓄電池を導入する事により更なる効率化を図る事が出来ると思われる。

3 34 の村のネットワーク改善計画 (NZ)

このプロジェクトは、配電の際のロスを軽減するために実施されるもので、同時に、送電線は地下に埋設される。

最初に実施された村のプケ村では、配電ロスが実施前は、34% (2011 年 12 月 13 日から 2012 年 1 月 11 日まで) であったのに対し、実施後は、わずか 2% (2012 年 8 月 11 日から 2012 年 10 月 9 日まで) にまで改善されている。

ハアカメ村およびハアラロ村においても同様の報告がされている。

これにより、各村において掘削にかかる雇用も創出されている。さらには、TPL の送電担当者の技術アップにも繋がっている。

TPL は、この対象地域プロジェクトの成果として、2012 年までに 16% の燃料費削減を目指している。



4 マーマ・マイ太陽光発電システム (NZ)

2012年7月、ポプア発電所敷地内に、ニュージーランドの支援によって導入され、およそ年間 2,050 MWh を発電している。5,760 にもおよぶソーラーパネルによる発電により、年間 481,000 リットルのディーゼル燃料を削減していることになる。発電量は、離島を含むトンガ国内全体の発電量の 3.1% となっている。



5 NZ Wind power feasibility study

2014年4月のPhase1の報告書では、NiutouaとLapahaの両サイトのいずれかで2MWの風力発電が導入に適していると述べてあったが、2015年3月のPhase2の調査では、Niutouaがより適しているとの指摘がある。

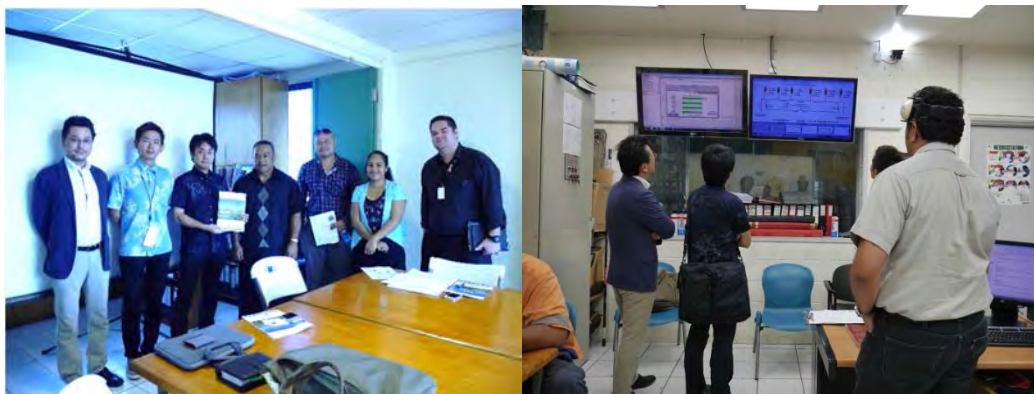
さらに、送電線や建造物をJICAと共有してプロジェクトを進めることを前提に、合計5MWの風力発電を提案している。この調査の中で、両サイトにおいて、これまで30m、40m、50mの高さで風況データを採取してきたが、より風車稼働に適したデータを得るために、Niutouaの既存風況マストより海岸沿いに、高さ60mのマストを新たに設置するとのことである。これまでの風況データに基づき、種類の異なる風車を導入した場合の建設コストや発電量などが比較検討されている。

第四章 実施結果および活動報告

1 8月トンガ調査

活動期間	平成 26 年 8 月 26 日（火）～8 月 30 日（土）
業務従事者	（株）プログレッシブエナジー 比嘉、福原 （株）オオマエ；大前隆之助、加藤 Pacific Front Management Tonga；Paul Karalus
面談者、 活動内容	<p>8 月 27 日（水）</p> <p>日本大使館 / 村田哲己参事官、JICA 木川浩史支所長 JICA トンガ / JICA 木川浩史支所長 トンガ電力公社（TPL） / Steven 'Esau CEO 代理, Michael Lani 'Ahokava 技術部長, Nikolasi Fonua 新規事業開発部長)</p>  <p>8 月 28 日（木）</p> <p>Ca'Bella（現地土木業者） / Paea Pau'u 常務 公営企業省 / Fe'aomoeata Vakata 大臣 Siaso Sovaleni 次官、局長 2 名、ADB コンサル 1 名 TERM 事務局 / Tevita Tukunga 局長, TPL Nikolasi Fonua 新規事業部長同席</p>  <p>8 月 29 日（金）</p> <p>環境省 / CEO Sione Tukia、Ms. Dorothy ポプア発電所視察 / TPL Michael Lani 'Ahokava 技術部長 TPL とミーティング / Steven 'Esau CEO 代理, Michael Lani 'Ahokava 技術部長, Nikolasi Fonua 新規事業開発部長)</p>

風車導入候補地 視察



8月30日 (土)

Fletcher Royco(フレッチャーロイコ：土木業者)

Ofa construction (オフア・コンストラクション) / 'Ofa Latu 氏



活動報告

- ・TERM 事務局及び公営企業省、環境省、電力公社に本事業の説明を行い、本邦受入活動へのご理解を頂き、JICA トンガ支所の協力を仰ぎつつ今後のスケジュール及び人員の調整を行っていくことを確認した。
- ・可倒式風力発電設備の導入に向けた課題の1つである既存電力網の接続基準を解決するためにトンガ電力公社に確認した。
- ・現地業者（建設業者、輸送業者、組立業者等）への見積りを依頼した。
- ・活動期間内において、現地のニーズを強く確認できた。現地関係省庁、土木業者等への確認、依頼を通して可倒式風力発電システムの導入に向けた地盤固め、調査ができた。各業者からの見積り收受、TPL からの必要情報の収集を今後も密に続け、事業経費の積算を行いたい。また、現地要人の招聘について、人員確認、日程確認を行うことが出来た。今後、受入側である沖縄サイドの日程、人員調整を行っていく。

2 9月大臣招聘

活動期間	平成26年9月28日(日)～10月2日(木)
業務従事者	:(株)プログレッシブエナジー; 高木、比嘉、山城、石川、津波古、新里、福原 (株)オオマエ; 大前隆之助、加藤
訪問団	:<トンガ国公営企業省: Ministry of Public Enterprises (MPE)> Sosefo Fe' aomoeata Vakata 大臣 (ソセフォ・フェアオモエアタ・ヴァカター) Siaosi Sovaleni 次官 (シアオシ・ソヴァレニ) Sione Plotu Akauora 副次官 (シオネ・プロトゥ・アカウオラ) <トンガ電力公社: Tonga Power Limited (TPL)> Graham Steven 'Esau 社長 (グラハム・スティーブン・エサウ)
面談者、活動内容	<p>9月29日(月)</p> <p>沖縄県庁 / 川上好久副知事、下地明和商工労働部長、武田智統括監、古堅勝也課長、金城克也班長、大濱克行主査、JICA 沖縄柏谷亮所長同席</p> <p>JICA 沖縄 / 柏谷亮所長、笠原健一郎企画役、若杉聡課長</p> <p>沖縄電力 / 大嶺満社長、島袋清人取締役離島事業部長、柏谷亮 JICA 沖縄所長 同席</p>   <p>9月30日(火)</p> <p>南大東島 南大東可倒式風力発電所 視察</p>   <p>10月1日(水)</p> <p>全体的なミーティングの実施</p> <p>県内経済活動視察</p>

10月2日(木)

在東京 トンガ大使館 / タニア・ラウマヌルペ・タラフォリカ・トゥポウ閣下



活動報告

- ・ JICA 沖縄（沖縄国際センター：OIC）の柏谷所長とともに、沖縄県庁を訪問し、川上好久副知事と面談。沖縄とトンガの類似点、可倒式風力導入の必要性、沖縄の持つ他の環境技術などについて意見交換を行い、沖縄県との交流を深めた
- ・ OIC を訪問し、OIC についての説明、研修施設などの見学を行った。
- ・ 沖縄電力の大嶺社長との面談も行き、可倒式風力についての説明、沖縄電力が導入に至った経緯などを紹介していただき、理解を深めていただいた。また、今後の支援についての協力を得るとともに、人的ネットワークの形成を行った。
- ・ 南大東島の可倒式風力発電システムを実際に視察していただき、理解を深めていただいた。沖縄はトンガと気候も似ており、自然災害など共通する部分がおおく、沖縄の経験をトンガで活かせると感じていただいた。
- ・ 在東京トンガ大使館を訪問し、Her Excellency Ms. Tania Laumanulupe ‘o Talafolika TUPOU（タニア・ラウマヌルペ・タラフォリカ・トゥポウ大使）に沖縄視察の報告を行い、可倒式風力の必要性についての認識を深めて頂いた。

今回の受入活動を通して、沖縄県との交流、沖縄電力との人的ネットワークの形成を図ることができ、トンガ導入に向けて沖縄県全体で支援しているということを確認して頂いた。また、実際の可倒式風力発電システムを視察して頂き、積極的な意見交換を行うことで、TERM の目標達成、インフラ整備に貢献することについて理解して頂くことができ、より良いプレゼンテーションが行えた。

次回の第2回本邦受入活動（11月中旬頃）においては、トンガ電力公社2名の受入を予定しており、実務レベルでの研修を通して、運用に対する知識を深めるとともに、実運用への自信を持っていただけるよう受入計画の立案を行い、トンガ国への導入に向けた更なる後押しを行いたい。また、今回の受入同様、次回受入に向けた諸手続きを早急に行うこととしたい。

3 3月トンガ調査

活動期間	平成 27 年 3 月 8 日(日)～13 日(金)
業務従事者	(株)プログレッシブエナジー：比嘉、新里 (株)オオマエ：大前隆之助、加藤 Pacific Front Management Tonga：Paul Karalus
面談者、活動内容	<p>3月8日(日)</p> <p>Nerima Lodge にて打合せ Niutoua・Lapaha サイト現地調査 南洋貿易(株) 打合せ</p>  <p>3月9日(月)</p> <p>副首相打合せ / Siaso Sovaleni 副首相兼担当大臣 マイクログリッド現地調査 / 富士電機(株) 佐藤進 TPL / John van brink 前 CEO、Robert Matthews 現 CEO、 Michael Lani Ahokava 発電部長、Viliani Ongosia 若築建設(株) / 平木博美次長、久保賢作</p>   <p>3月10日(火)</p> <p>TPL / Graham Steven Esau 財務担当役員、Michael Lani Ahokava 発電部長 JICA トンガ支所 / 木川浩史所長、岩田章一、JICA 調査団：松永啓課長、小林香咲</p> 

3月11日(水)

TPL 打合せ / Robert Matthews CEO、Valium Ongosia

Niutoua、Lapaha 視察 / TPL : Michael Lani Ahokava 発電部長、Valium Ongosia

JICA : 木川浩史所長、岩田章一、JICA 調査団 : 松永啓課長、小林香咲



3月12日(木)

OFA 建設 / Ofa Latu

TERM 事務局 / Inoke Vala

TPL / Graham Steven Esau 財務担当役員、Michael Lani Ahokava 発電部長



3月13日(金)

JICA トンガ支所打合せ

(相手 : 木川浩史所長、岩田章一)

活動報告

- ・ TPL に対し第 1 回招聘活動後のフォローアップを行うと共に、第 2 回招聘活動について人員選考及び日程調整を行った
- ・ マイクログリッドシステムの情報収集・現地視察及び協調可能性調査を行った。また、施工に係る各関係会社に対し聞き取りを行った
- ・ JICA トンガ支所及び JICA 調査団に対し、打合せ及び現地調査を行う事で、情報の共有を図った
- ・ 活動期間内において、TPL より可倒式風力のニーズを再確認する事が出来た。また、第 2 回招聘活動について、人員及び日程の調整を行うことが出来た。今後、受入側である沖縄サイドの日程、人員調整を行う
- ・ マイクログリッドシステム協調可能性調査により、既存のシステムについて把握する

	<p>事が出来た。また、施工業者との打合せにより、施工情報入手、見積依頼する事が出来た。各業者からの見積收受、TPL と情報の収集及び提供を今後も密に続け、事業経費の積算精度の向上を図る</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ JICA トンガ支所及び JICA 調査団との打合せにより、情報の共有、今後の課題等について確認する事が出来た
--	---

4 5月エンジニア招聘

活動期間	平成 27 年 5 月 14 日(木)~22 日(金)
業務従事者	(株)プログレッシブエナジー；高木、比嘉、山城、石川、津波古、新里、福原 (株)オオマエ；加藤
訪問団	<トンガ電力公社：Tonga Power Limited (TPL)> Michael Lani Ahokava 発電部長、Lolohea Halaufia 整備主任
面談者、 活動内容	<p>5月15日(金)</p> <p>JICA 沖縄（JICA 沖縄国際：OIC）表敬 （相手：市民参加協力課 辻野博司 課長、若杉裕司 主任調査役）</p>  <p>沖縄電力（離島カンパニー）表敬 （相手：島袋清人 取締役、上原由嗣 離島技術課長）</p>  <p>5月16日~18日</p> <p>可倒式風力メンテナンス研修（波照間島）</p> 

波照間島において、6ヶ月毎に行われる可倒式風力のレギュラーメンテナンスを PEC 指導のもと TPL エンジニアに対しトレーニングを行った。

作業開始にあたり、ミーティングを実施し説明書およびチェックリストを用いてメンテナンス内容を説明した。その後、タワー傾倒作業のために、各支線及び各ベースの状態確認を行い、傾倒用油圧装置を設置後、傾倒作業開始。可倒式風力の特徴の一つである風車が傾倒するところを見て頂いた。

傾倒作業後、ナセルカバー取外し、DEGAS 及び FLASH（ピッチ油圧装置のガス抜き）・ブレード軸受のグリスアップを地上レベルでトレーニングした。

さらに、ヨーリング軸受グリスアップ・発電機グリスアップ・ギアボックス軸受グリスアップ・ローター軸受グリスアップ・スリップリングブラシ交換・ブレーキパッド交換・ブレーキオイル補給・電気ボックス点検等を指導した。

グリスアップにおいては、トンガ人エンジニアは、トンガでも同様の作業工程があるということで、手慣れた様子だった。

地上でのメンテナンスを終えた後、FILL（ピッチ油圧系統油圧確立）・立上前テスト・立上作業（油圧装置設置・ハンドウインチ操作）・立上後試運転を指導した。

風車のサイトから離れ、波照間電業所においては、SCADA（風車遠隔監視システム）にて、離れた場所から風車の運転状況の確認や起動停止が行えることを説明した。また、研修期間中、トンガが目標に掲げている再生可能エネルギー導入率 50%を波照間電業所が達成していることを確認し、Lani 発電部長からは、今後の可倒式風車導入に強い自信を感じているコメントがあった。

今回のトレーニングを終えて、メンテナンス作業内容についても、トンガ人エンジニアにとってさほど難しい内容ではなく、大きな修繕を除けば、トンガ人のみでの運用にも自信のぞかせていた。

5月20日

JICA 本部打合せ

(相手：東南アジア・大洋州部 東南アジア第六・大洋州課 遠山峰司 課長、布谷真知子、産業開発・公共政策部 資源・エネルギーグループ 第一チーム 松永啓 課長、小林香咲、民間連携事業部 連携推進課 安原裕人)



	<p>富士電機、南洋貿易（既設マイクログリッドチーム）打合せ （相手：富士電機 営業本部 プロジェクト推進室 海外プロジェクト本部 小川啓介 部長 発電・社会インフラ事業本部 社会システム事業部 佐藤進 担当課長、荒井広 南洋貿易 太宰雅一 取締役）</p>
活動報告	<ul style="list-style-type: none"> ・ JICA 沖縄及び沖縄電力を表敬訪問し意見交換する事で、トンガとの共通点を確認し相互理解を図った ・ 波照間島にて、可倒式風力の実際の運用状況を、視察し、傾倒・立上作業及びメンテナンスを体験トレーニングする事で、可倒式風力に対する理解を深めて頂いた ・ J I C A本部を表敬訪問し意見交換及び事業報告行った ・ 各メーカーと意見交換及び情報収集を行い、知見を広げた <p>今回の招聘活動期間を通して、可倒式風力の傾倒・立上作業及びメンテナンスをトレーニングすることにより可倒式風力の優位性及びメンテナンスの容易さを理解して頂くことが出来た。トレーニング以降の TPL の発言からは、可倒式風力導入に対する自信が感じられた。また、JICA や沖縄電力、メーカー等関係各所を表敬訪問する事により、有意義な意見交換を行う事が出来、今後の事業展開に向けて人的ネットワークを構成する事が出来た。今後もフォローアップを続け導入に向けて活動して行きたい。</p>

5 活動を終えて、総括（達成結果）

トンガ政府及び電力公社を本邦へ招聘し、実際に可倒式風力を視察して頂くことで、理解を深め、電力公社職員に対し、実際のメンテナンスを体験して頂くことにより、予備知識の習得並びにメンテナンスの容易さを実感して頂いた。

また、実際に運用を行う(株)沖縄電力と交流を持つことで、トンガ王国と似通った地域である沖縄で可倒式風力を導入した経緯、並びに現在の運用状況を聞くことで、可倒式風力の優位性を感じて頂いた。

現地活動においては、関係各所と交流を持つことで、人的ネットワークの構成並びに可倒式風力のニーズを確認できた。電力公社は可倒式風力導入に向けて環境アセスメントの実施及びパイロット基の運用、NZ による FS の為の Niutoua にて更なる風況データ収集など積極的な活動を展開していることが確認できた。

トンガ王国においては TERM にて 2020 年までに再生可能エネルギー50%を目標に掲げている事から、既存のマイクログリッドシステムのさらなる効率化を図る為にも、可倒式風力の導入はベストな提案であると考えられる。

第五章 提案する事業の仕組み

1 トンガに提案する風力発電導入計画の概要

トンガ国は、熱帯雨林気候に属し、本邦沖縄県と地理的、気候的な類似性を有する島嶼国である。また、本邦沖縄県程ではないが、サイクロンの襲来する地域でもある。PECが開発した“災害対応型沖縄可倒式風力”は、台風常襲地域であり、高温多湿という過酷な自然条件の沖縄で、導入実績と運用実績を積み上げている唯一の風車である。その“災害対応型沖縄可倒式風力”を中心として、トンガ国の実情に適合した風力発電システムを計画する。

ここで、本提案の“災害対応型沖縄可倒式風力”は、沖縄の過酷な自然条件にも耐えうるように設計されており、タワーはトラス構造とすることで、自立時に風速 60m/s にも耐えることが出来、特に台風時には傾倒することにより風速 85m/s にも耐えうる事が出来る。この風車をトンガ国にも導入することで、同様なサイクロンの被害を避けることが可能になると考えられる。なお、沖縄式のトラス構造タワー（耐風速 60m）は、一般的なチューブ式タワー（耐風速～42.5m）と比較し耐風速に優れた設計となっており、日本の厳しい建築基準にも合致した構造にすると同時に、分解が可能であり、運搬及び組立時に大きな重機を必要としないことから、島嶼向けのデザインとなっている。

また、Niutoua サイトは、20m 程度ある樹木に覆われた地域であり、樹木による風況の乱れ等の影響を回避するため、タワー高さを通常の 38m から 50m 以上へアップし計画する。

さらに、風車を複数台設置することから、風車を連携する電力線はループ状のデザインとし、電力線トラブル時の供給力の確保を図る。



図 5-1 “災害対応型沖縄可倒式風力”

また、トンガ国には、2015 年に日本の支援により、マイクログリッドシステムが導入されている。しかしながら、計画時には導入予定であった風力発電が、その後の調査により省かれたシステムとなっている。その理由は、環境調査に時間を要するためマイクログリッドプロジェクトの実実施スケジュールに当てはまらなかったためであるが、現在は導入候補地において環境調査が進んでおり、風車導入の環境は整っている。

このような状況から、風車導入にあたっては、既存マイクログリッドシステムとの協調を考慮する必要

がある。



図 5-2 トンガ国におけるマイクログリッドシステム (出典：八千代エンジニアリング)

ここで、マイクログリッドシステム施工中の現地駐在員より説明を受けたマイクログリッドシステムの内容と、TPLの要望より、提案する風力発電システムの内容は、現マイクログリッドシステムのPCS、蓄電システムが、PVの系統安定化でその能力を使い切っており、新たな再生可能エネルギーまで制御出来る余裕がないことから、PCSと蓄電システムを風力発電システム用に追加し、TPLの要望を受け入れた長周期変動補償を主目的とするシステム構成を提案する。

表 5-1 提案する災害対応型沖縄可倒式風力発電システムの概要

項目	備考
災害対応型沖縄可倒式風力	5基、275kW、トラス式タワー50m以上、予備品
系統連系システム	受電設備、保護装置、ループ式デザイン
敷地造成、基礎設置	100m×500m
風車設置工事	現地据付、試運転調整
機器輸送	沖縄 → Niutoua サイト
PowerConditionerSystem	600kVA (300kVA×2)
鉛蓄電池	約 4,000kWh

2 TPL の風力に対するこれまでの取り組み

A summary of the wind generation studies and initiatives in Tonga to date

名称	内容	財源	年	確認事項
South Pacific Wind and Solar Monitoring Project	Established 10m height wind and solar monitoring stations across the Pacific	Pacific Island Forum	1995-1996	4.38-4.26 m/s average over the two years at 10m
Feasibility Study of Wind Power Plant	20m height wind study on Tongatapu and Eua	NEDO/Government of Japan	1999-2001	Dominant Easterly wind rose with an average of 4.8m/s at 20m
Wind Mapping Tonga	Meteodyn_Atlas® software analysis of Tonga to create wind atlas	L'agence Francaise De Development (AFD)	2006	Analysis suggests 6-7.5 m/s exists over 30m and over 7.5m/s at 50m height in certain areas on Tongatapu
Lapaha Wind-monitoring station	Installation of 50m NRG Tall Tower on Eastern Tongatapu	Vergenet Pacific	2010-present	50m anemometer readings match simulated results showing 6.5m/s average at 50m
Wind-Farm Lapaha Proposal	Proposal for a wind-farm at Lapaha	VergenetGroupe and GoT	2012	Proposal and cost estimates for a wind farm in Lapaha
Wind pre-feasibility study	WAsP software analysis of wind data from Lapaha 50m wind-mast	Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit	Sep. 2012	Confirmed the wind resource at Lapaha is 6.5 m/sec at 50 metre height.
Meridian Energy Wind data validation	In-house wind resource analysis	Meridian Energy Limited of New Zealand		Reviewed and confirmed the GIZ wind resource findings
Niutoua Wind-monitoring station	Installation of 50m Second Wind PROMast tower on North-Eastern Tongatapu	Tonga Power Limited	Sep. 2012	Monitoring underway
Wind pre-feasibility study	Economic evaluation of wind resource, network capacity and upgrade issues and costs, siting	Garrad Hassan on behalf of Tonga Power Limited, funded by the Govt of New Zealand	Feb. 2013	Report attached, identifies two sites each able to take up to 2.2 MW of generation capacity, at a cost of just under NZ\$10 million at each location (including network upgrade)
Installation of 11 kW wind turbine	Gaia-Wind unit on 20 metre tower, installed to gain experience	Tonga Power Limited	May 2013	Operating successfully, capacity factor of around 27%
Vava'u wind monitoring station	Installation of wind monitoring devices at up to 30 metres above ground level	Tonga Power Limited	Sep. 2013	Monitoring underway
Full feasibility study for 2.2 MW wind farm	Builds on the Garrad Hassan pre-feasibility study	Govt of New Zealand	Oct 2013	Scheduled to be completed mid-2014

11kwの可倒式風車テスト基の導入

右の写真は、TPLが、2013年に自助努力によりナコロ地区に導入した11kwの可倒式風車である。この風車は、英国のGaia-Windのもので、タワー部分はトンガ仕様となっている。

これは、プログレッシブエナジー社が、沖縄県の平成24年度島しょ型環境システム海外展開推進事業にて、TPLに対し可等式風車を提案し、その後、TPLによる可等式風車導入に向けたファーストステップだと聞いている。



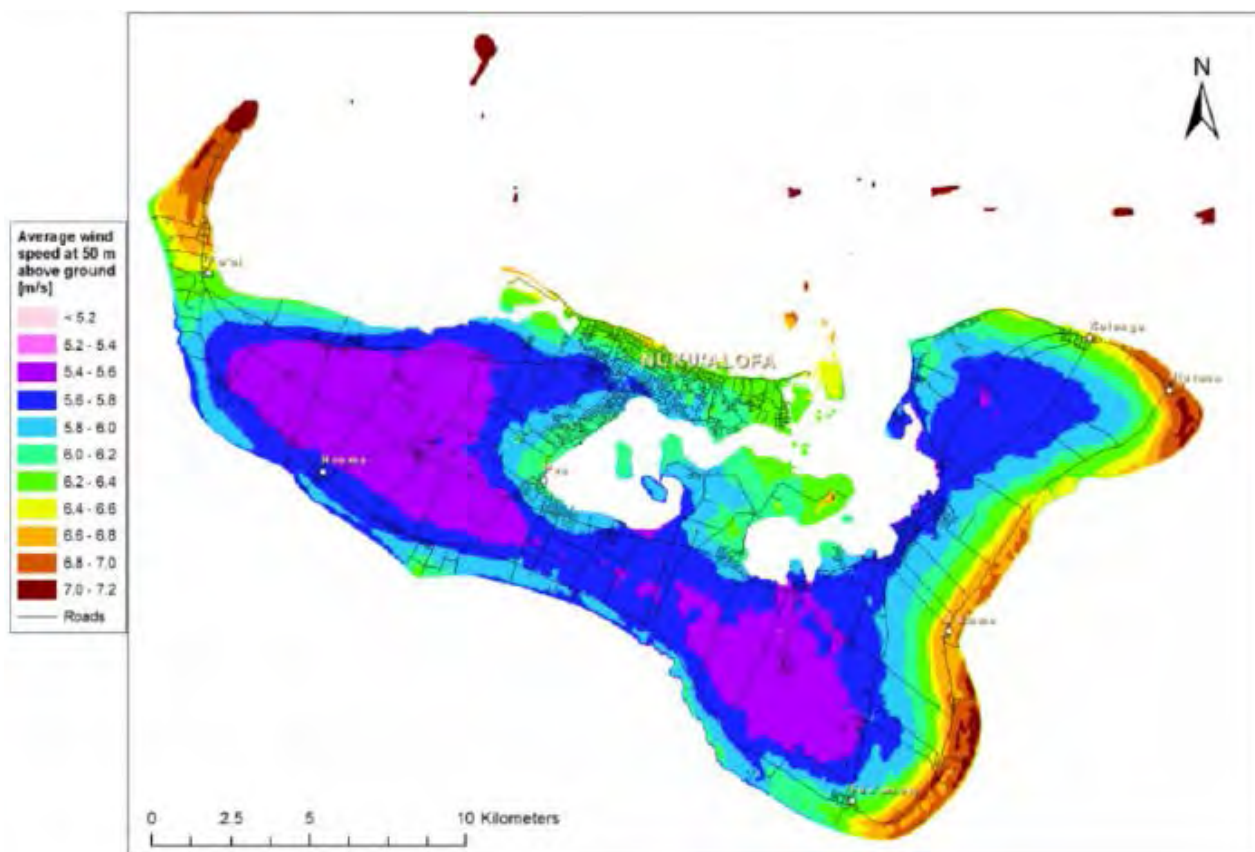
風車の高さ：18.4m

タワーの重量：3200kg

ブレード：長さ13m、重さ200kg

ナセル：長さ2.5m、重さ900kg

費用：250,000USD



WIND MAP from GIZ レポート



図 5-3 風力導入候補地

3 導入プラン

【災害対応型沖縄可倒式風力導入プラン】

本導入計画の流れについては、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構；NEDO 発行の「風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版)」を参考に、立地調査、風況調査の確認等を基に基本設計を行う。

i 導入計画

立地の検討

良好な風況が期待される有望地域を抽出し、その地域の既存の風況データ、自然条件および社会条件の調査を行うことにより、設置候補地点の選定と風力導入規模を設定する。

①有望地域の抽出

トンガ王国における有望地域は、既に数々のレポートにある通り、Niutoua サイトと Lapaha サイトである。この地域は、トンガタブ島で主に吹く南東貿易風の当たる地点であり、年平均 6~7m 程度の風が吹くことが知られている。

今回の現地調査にて TPL の意向を確認したところ、日本側には Niutoua サイトに風力発電を建設してもらいたいとの意向であった。よって本導入計画で検討するサイトは、風資源が豊富であり、現地 TPL の意向もある Niutoua サイトとする。

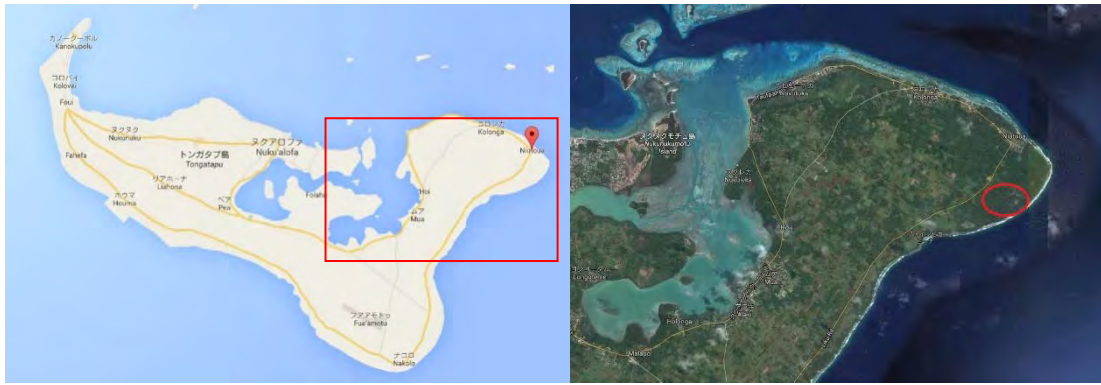


図 5-4 Niutoua サイト位置図

②風況データの収集

Niutoua サイトには、現在も風況観測用のマストが設置されており、データ収集が行われている。これまでの文献を確認すると Niutoua サイトで 2013 年 10 月より風況観測が行われており、今回の現地調査においても TPL より風況観測データを入手することが出来た。但し、本データによる風況の解析は、「Tongatapu Wind Generation Feasibility Study Phase2」等により既に行われており、当レポートによると、Niutoua サイトの主な風況は表 5-2 の通りとなる。

この表からも分かるように、NEDO の評価目安である、「月平均風速が 5m/s 以上の月が 4~5 か月以上あればほぼ良好と判断する。」を大きく上回っており、非常に有望なサイトであると判断できる。

表 5-2 Niutoua サイトの主な風況

ハブ高さ (m)	長期平均風速※1 (m/s)	主風向 (北との角度、方角)
55	7.45	約 120°、南東
45	6.72	
38	6.16	

※1； Measure-Correlate-Predict 法にて導き出された数値

ただし、表 5-2 のとおり、ハブ高さが高いほど風況的に有利である。これは、当サイトが約 20m 前後のヤシ林に囲まれていることも原因の一つである。よって、ハブ高さを高くするか、周囲の樹木を広範囲に伐採することが必要となる。

③自然条件の調査

風況は地形条件によって大きく変化することもある事から、対象地域の地形条件の調査が必要である。

また、風車の運転に影響を及ぼす可能性のある特徴的な気象条件および、風車建設に関する地盤条件についても調査が必要である。

③. 1) 地形条件

地形の変化が激しい場合、風の乱れが大きくなる可能性があり注意が必要である。

今回検討している Niutoua サイトは、海岸線の隆起箇所（数メートル程度）はあるものの、内陸部に向かい平坦な地形が続いている。よって、地形の変化による風の乱れはごく僅かと考えられる為考慮しないこととする。

また、Niutoua サイト周辺に建物はなく、建物による風況への影響も皆無である。

ただし、Niutoua サイトには高さが 20m 程度のヤシ等が自生し林を形成しており、この林による風況への影響が予想される為、ある程度の範囲において、植物の伐採が必要と考えられる。

③. 2) 気象条件

風力発電の事業計画を左右する最も大きな気象条件は落雷と台風であり、ブレードの損傷や誘導雷による制御機器の損傷、風車の倒壊に至る場合もあるため検討する。

③. 2. ア) 落 雷

沖縄電力㈱において、波照間島に設置している“災害対応型沖縄可倒式風力”は、雷保護として、“IEC61400-24”に準拠した保護を採用している。

本邦沖縄県での“災害対応型沖縄可倒式風力”運用経験では、これまで落雷の発生はあるものの、ブレードの損傷等の大規模な事故は起きておらず、サージ電流による制御機器の焼損等が発生している程度である。そのような焼損事故においては、焼損箇所を特定の上、予備へ取替対応することで故障復旧を図れることから、同様に予備品をストックすることで落雷の影響を抑えることが可能と考えられる。

参考に“災害対応型沖縄可倒式風力”ブレードの避雷構造を図 5-5 に示す。

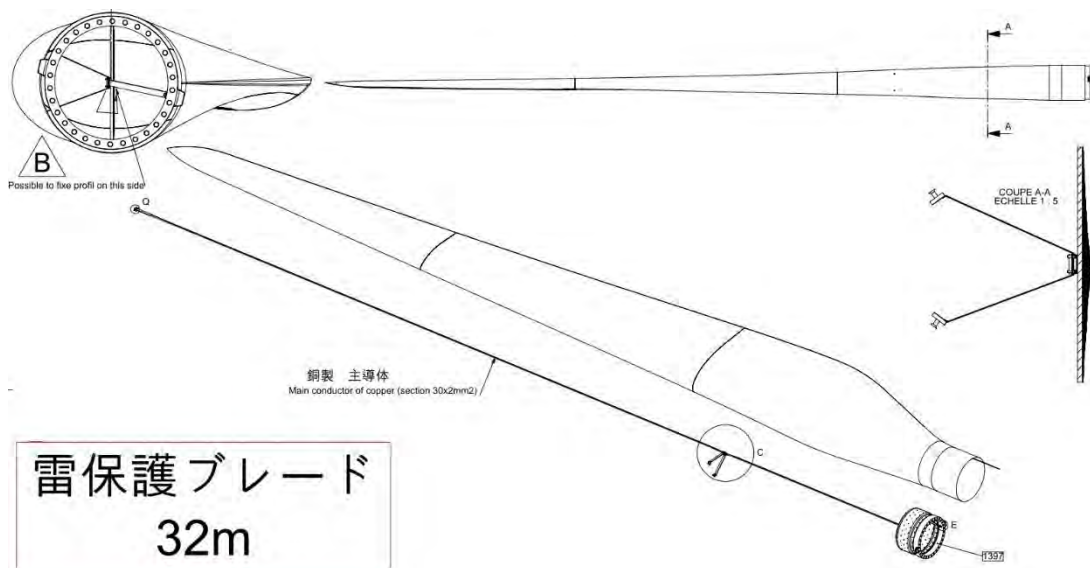


図 5-5 災害対応型沖縄可倒式風力ブレードの避雷構造

③. 2. イ) サイクロン（台風）； 添付資料； 2014-2015 TC Season Outlook 参照

トンガ王国におけるサイクロンの襲来は、2～3 個/シーズン、そのほとんどがカテゴリー 3（18-24m/s；10 分平均）程度であり、本邦沖縄県に比べ襲来頻度及び強さも小さいと言える。

ただし、2014 年 1 月にトンガ王国へ襲来したサイクロン“イアン”は、カテゴリー 5（33m/s；10 分平均）以上に成長し、甚大な被害をもたらしている。よって、ここでも本邦沖縄県での“災害対応型沖縄可倒式風力”の運用経験が参考となる。

本邦沖縄県は、世界的にも稀な台風襲来地域であり、統計的に 7.4 個/年、そのほとんどがカテゴリー 5 に属する強さで襲来している。

沖縄県を管轄する沖縄電力㈱により、“災害対応型沖縄可倒式風力”は、その周辺離島 3 カ所に 5 基設置されており、新たに 1 地点、2 基を建設中である。

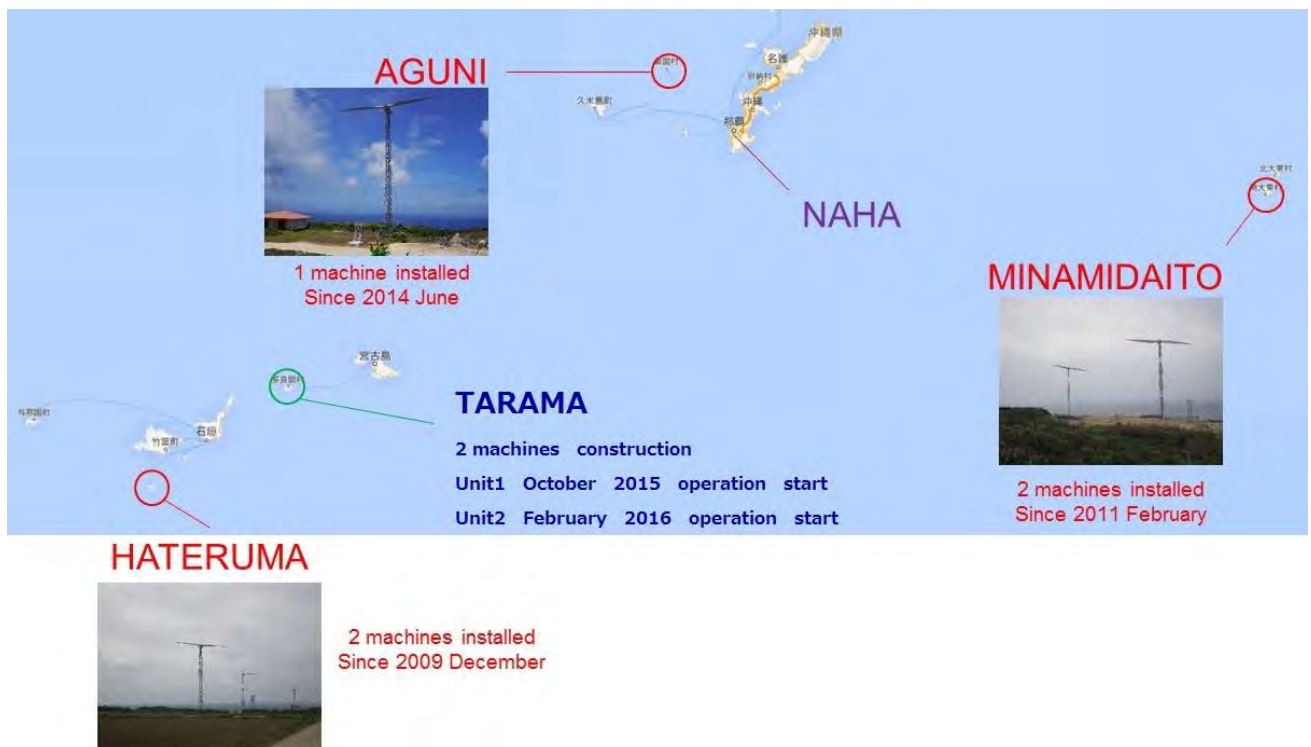


図 5-6 沖縄電力(株)における災害対応型沖縄可倒式風力の導入箇所

その沖縄電力(株)による台風襲来時の運用は、以下の通りである。

- ・風速 25m/s 以上の暴風雨域に入ると予想される場合
- ・風速 10m/s 以下の段階で風車を傾倒する

この運用を継続し、台風に耐えるのではなく、風車を傾倒し台風を避けることで、カテゴリー 5 の台風襲来を 6 年以上経験しているが、台風によるブレード損傷等の大規模被害は発生しておらず、この“災害対応型沖縄可倒式風力”を導入することで、トンガ王国におけるサイクロン被害を避けることが可能と考えられる。

③. 3) 複雑地形における風の乱流

日本のように複雑地形の多い山岳地域では風のはく離現象が起きたり、風速変動や風向変動の卓越する場所となるが、今回検討している Niutoua サイトは海岸線の隆起箇所（数メートル程度）はあるものの、内陸部に向かい平坦な地形が続いている。よって、複雑地形の変化による風の乱流は僅かであると考えられるため考慮しないこととする。

③. 4) 塩 害

強風で発生した海上の白波や海岸の波しぶきが空中で蒸発することによって生じた海塩粒子が、風によって運ばれ物体に付着して障害を与えることを塩害と呼ぶ。

海塩粒子の発生量は、海上風速の 3 乗に比例し増加するため、強風時ほど気中塩分量は増加し、物体への塩分付着量は海岸からの距離が近いほど増加する。

海塩粒子が物体に付着しても相当量の雨が降れば表面は塩分が洗い流されるため塩害を生じ難くなるが、機器内部に入り込んだ塩分は蓄積される。よって、ここでも“災害対応型沖縄可倒式風力”の導入・運用経験が参考となるため、導入面、運用面それぞれについて検討する。

③. 4. ア) 導入面

“災害対応型沖縄可倒式風力”は、世界的に見ても稀な台風常襲地域である本邦沖縄県に設置され、初号機の導入から既に6年を経過しているが、塩害による被害は特段確認出来ない程良好な状況である。

ナセル部には海洋環境用塗装を施し、タワー部はオリジナルな溶融亜鉛メッキ加工とすることで、耐食性を増している。この“災害対応型沖縄可倒式風力”をトンガ王国にも導入することで、塩害を抑えることが可能である。

③. 4. イ) 運用面

台風後の腐食環境については、台風経過後は晴天に恵まれる機会が多く、雨による塩分の洗い流し効果は期待できないため、台風経過後のメンテナンスが重要となる。“災害対応型沖縄可倒式風力”を導入している沖縄電力(株)においては、台風時の事前対策と台風通過後の後処置について知見を有しており、“災害対応型沖縄可倒式風力”を導入し、沖縄電力グループの運用面に関する知見を共有することで、塩害による被害を抑えることが可能となる。

③. 4. ウ) 砂塵

砂塵の多い場所では、ブレード等への損傷や機器内部への砂塵の侵入による不具合が想定されるが、今回検討している Niutoua サイトは特に砂塵の多い場所ではないため問題とはならないと考えられる。

③. 5) 地盤条件

風車の重量は500kW級で50~80tに達するため、強固な地盤の上に設置するか、大型の基礎としその重量を支えなければならない。

今回検討している Niutoua サイトは、トンガタブ島にあり、島自体が隆起サンゴ礁で火山灰に覆われた島である。隆起サンゴ礁の島という点では、本邦沖縄県の“災害対応型沖縄可倒式風力”のある各離島と同類である。よってここでも本邦沖縄の経験、知見を活かせることになる。

沖縄と同類の地盤条件であるトンガタブ島に、“災害対応型沖縄可倒式風力”を設置する場合、沖縄電力方式のグランドアンカーとコンクリート基礎を併用したシステムで基礎を設置することで、隆起サンゴ礁の島にも風車の導入が可能になると考えられる。

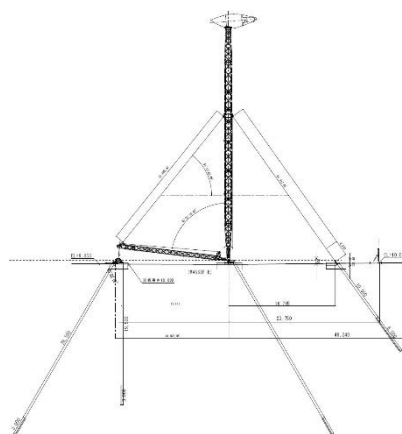


図 5-7 “災害対応型沖縄可倒式風力”の基礎設置例

③. 6) 社会条件の調査

社会条件の調査項目としては、区画指定、土地利用、送・配電計画、輸送道路、騒音、電波障害、動物・植物、景観があげられる。これら調査項目を満足することと、地域住民の理解と協力を得る必要があるため検討する。

③. 6. ア) 区画指定

本邦では、各種目的のために都市計画地域や自然公園地域等の指定があり、建築物や工作物を建設する際に規制を受ける事になるが、今回検討しているトンガタブ島 Niutoua サイトはそのような指定をされておらず、風車の建設に支障はないと考えられる。

③. 6. イ) 土地利用

以下の土地利用条件では、風車の建設が困難な場合もあるため検討する。

《住宅用地、建設用地、幹線交通用地、航空機の離着陸領域》

今回検討している Niutoua 地区は、上記のいずれの土地利用条件にも当てはまらないため風車の建設は可能である。

なお、Niutoua サイトから約 27km 南西方向に Fua'amotu 国際空港があるが、滑走路は Niutoua の方角とほぼ直角に位置するため、航空機の進入路にも当たらず問題はない。

③. 6. ウ) 送・配電線

風力発電システムを系統連携する場合、電力系統までの距離が長いと建設コストが増加するため、建設予定地点と系統連系可能な既設の送・配電線の距離を調査する必要がある。また、送・配電線の容量が少ない場合、設置可能な発電出力に制限を受ける可能性があるため検討する。

今回検討している Niutoua サイトへの送・配電線のルートに関しては、Niutoua 村の末端まで 11kVVaini フィーダーが敷設されているため、そのラインを延長することによりアクセスが可能になる。この距離は約 1.8km であり、問題になるほどの距離ではない。

また、送配電線の容量に関しては、25mm²のアルミ導体であり、公称電流は 11kV で約 132A であり、“災害対応型沖縄可倒式風力”を 5 基導入した場合でも容量的に余裕があり、問題ないと思われる。

【送配電線容量（電流値）の検討】

$I = P \div \sqrt{3} V \cos \theta$ より

$275\text{kW}/\text{基} \times 5 \text{ 基} \div (\sqrt{3} \times 11\text{kV} \times 1.0) \approx 72[\text{A}] < 132[\text{A}] \Rightarrow$ 送配電網容量以下である

※本風力システムにより力率は 1.0 へ改善され出力される。

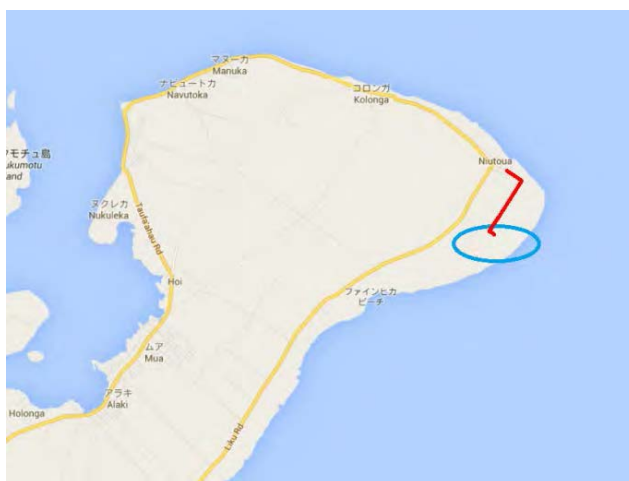


図 5-8 Niutoua サイトへの送・配電線ルート案

③. 6. エ) 輸送道路

今回検討している Niutoua サイトへのアクセスは、資材の積み下ろし場所である Nuku'alofa の港湾から、市内を通り、Taufa'afau ロードを通り、Niutoua へ至るルートが考えられる。その間の道路は大型車も充分に通行可能な幅であるが、途中、電線が数メートルの高さで道路を横断する形で垂れ下がっている箇

所がある。そのような個所を通行する場合は、電線を一時的に持ち上げる等の対応で通行可能と考えられる。

問題は Niutoua の集落からサイトまでのアクセスである。未舗装で道幅 3m 程度の道路がサイトまで開通しているが、20ft コンテナや風車ブレード等を輸送する際は、道幅の拡張、道路凹凸の整地をすることで通行が可能になると思われる。

また、“災害対応型沖縄可倒式風力”は、そのほとんどの部材が 20ft コンテナで輸送可能であるが、唯一ブレードに関してはトレーラーでの輸送となり、一部道幅の拡張（両サイド樹木の伐採）が必要と思われる。

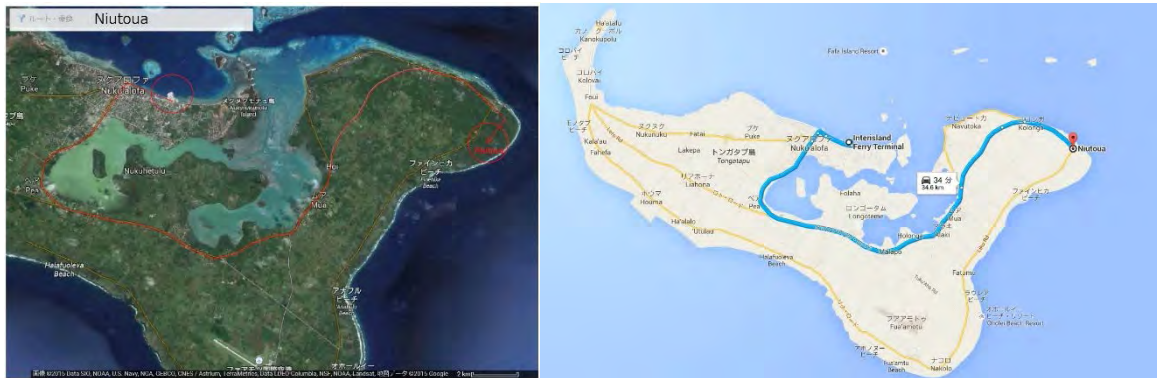


図 5-9 Niutoua サイトへのアクセス案



図 5-10 Taufa'afau ロード上の電線

ブレードの重量・寸法 760kg 、15.65m ブレード 1 枚

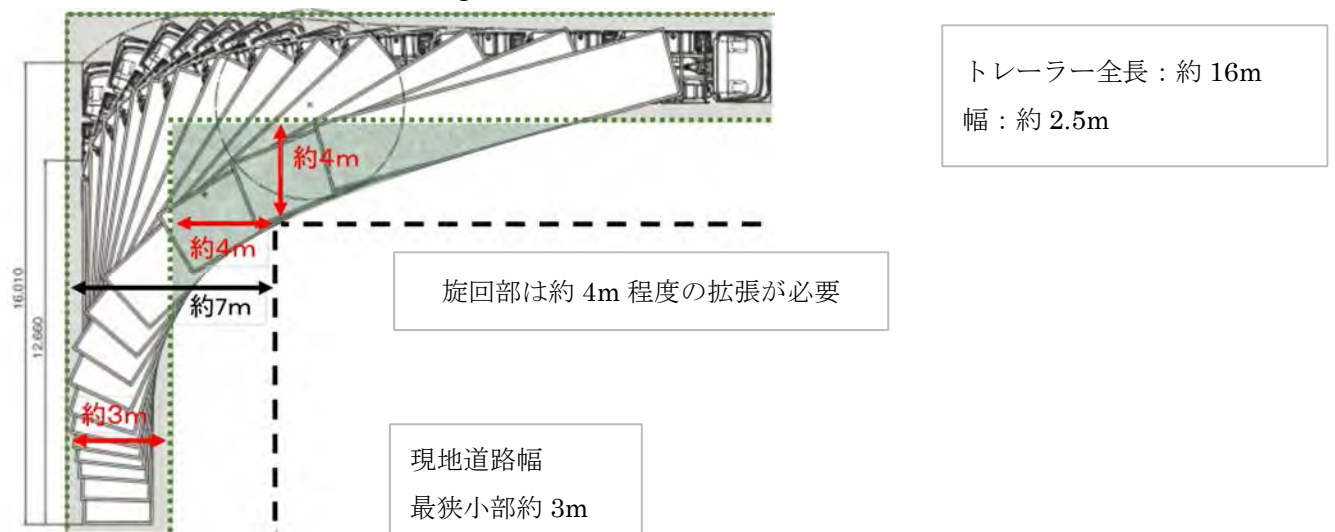


図 5-11 “災害対応型沖縄可倒式風力”のブレード輸送の検討

③. 6. オ) 騒音

風車による騒音には、ブレードが回転する際に発生する風切音と、減速機等から発生する機械音とがある。風車騒音のレベルは機種によって異なるが、通常風車が1基のみの場合、250m程度離れた場所では生活への影響がないとされている。これは、住宅街の夜間の環境基準(45dB)によっており、今回検討している Niutoua サイト上での建設可能エリアより騒音の影響度合いを検討する。

図5-12に示すように、今回 Niutoua サイトに“災害対応型沖縄可倒式風力”を5機設置した場合、一番近い住宅で約500mの距離があり、騒音による生活への影響はほとんどないと考えられる。

なお、TPLにおいても環境影響評価法に基づく環境影響評価を実施しており、その報告書上も騒音による生活への影響はないと考えられている。



図5-12 Niutoua サイト建設可能エリアと民家との離隔距離

③. 6. カ) 電波障害

風車のタワーやナセルによる、電波の遮蔽や障害を防止するため、主要な電波ルートを調査し、この電波ルートを避けて風車を設置する必要がある。

③. 6. カ. a) テレビ局

Nuku'alofa でのテレビ受信は、衛星放送のみであり、各家庭に大型のパラボラアンテナが設置されている。「騒音」の章で検討した通り、一番近い民家でサイトからの距離が500mであるため、テレビ受信への影響はないと考えられる。

③. 6. カ. b) 電話局

Nuku'alofa での電話及びインターネット回線は衛星通信を利用した携帯電話回線であり、島内の電波を集約し島外への通信に利用している。

Nuku'alofa 島内各地に携帯電話用の電波塔が存在するが、今回検討している Niutoua サイトはトンガタブ島の北東端に位置し、中心地である Nuku'alofa との通信には何ら影響を与えないと考えられることから、電話回線への影響はないと考えられる。

③. 6. カ. c) 軍隊、警察

トンガ王国にも軍隊、警察は存在するが、独自の通信網を持っておらず、風車建設による電波障害の影響はないと考えられる。

③. 6. カ. d) 漁業無線中継基地

トンガ王国には漁業無線中継基地は存在するが、独自の通信網を持っておらず、風車建設による電波障害の影響はないと考えられる。

③. 6. カ. e) 公共の防災無線

トンガ王国には公共の防災無線は存在しないため風車建設による電波障害の影響はないと考えられる。

③. 6. キ) 動物・植物

今回検討している Niutoua サイトに、絶滅が危惧され保護を必要としている動植物が生息しているとの情報はなく、また、渡り鳥の経路や中継地点であるとの情報もない。

なお、TPL においても環境影響評価法に基づく環境影響評価を実施しており、その報告書上も貴重種動植物への影響、渡り鳥への影響はないと考えられている。

③. 6. ク) 景観

今回検討している Niutoua サイト周辺に、景観形成方針等はなく、特段の対策は必要ないと考えられる。

なお、本邦沖縄県において、“災害対応型沖縄可倒式風力”は現在5機導入されているが、景観に関する苦情はなく、逆に観光名所として地域の方に親しまれている状況である。

③. 7) 風力発電システムの導入規模の想定

候補地域に自然条件と社会条件のフィルターをかけられた領域が、風力発電システムの建設可能なスペースとなるが、今回検討している Niutoua サイトでは自然条件と社会条件で制約を受ける領域はほぼなく、広大な範囲で風力発電システムの建設が可能と考えられる。



図 5-13 Niutoua サイトの土地区分と風力発電システム設置可能スペース

ここで、“災害対応型沖縄可倒式風力”1基の建設に必要な面積を確認すると約100m×45mのスペースが必要である。

一方、複数台設置する場合は、風車の風下に形成されるウエーク領域を考慮し、卓越風と直角方向にローター直径の3倍、卓越風方向にローター直径の10倍の離隔距離を確保する必要がある。

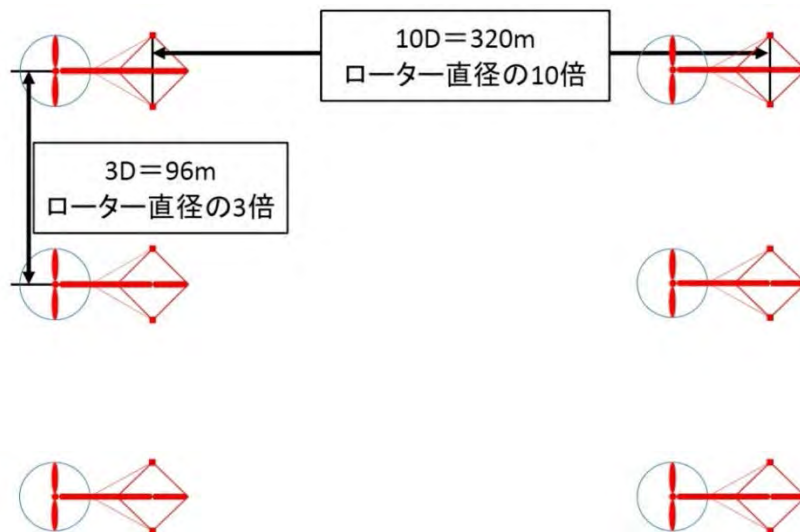


図 5-14 “災害対応型沖縄可倒式風力”の離隔距離

よって、スペース的には 10 数台の風車が建設可能と考えられる。

また、土地区分上は“Government”となっているが、トンガ国では、国民に土地が割り振られており（約 3.3 ヘクタール）、各個人との賃貸借契約交渉が TPL により行われることになるが、TPL は土地交渉に関して多くの経験を有しており、用地取得上の問題は少ないと思われる。

ii 基本設計

①風力発電システム設置地点の決定

風力発電システム設置地点については、これまでの検討にて、風況的に良好な結果が得られており、地形条件の問題もなく、輸送経路も確保可能な見込みである等 Niutoua サイトが、総合的に有利であることが確認出来た。

また、最新の情報では、2015 年 4 月に新たな風況観測マストが、旧マストの東南東約 300m の位置に建てられており、旧のマストの場所に比べ、更に風況が良いことが確認されているため、本検討による風力発電システムの設置地点は、図 5-15 のとおり、新マストの近傍とする。



図 5-15 “災害対応型沖縄可倒式風力”の設置地点

② 風力発電システム導入規模の設定（容量、台数、配置）

②. 1) 総出力規模（容量）の想定

トンガ王国にて調達可能な予算の額は、総出力規模を想定する上では重要な要素となる。

ここで、トンガ王国にて想定される調達可能な予算の規模は、第五章【資金調達プラン】にて検討した通り、今回は日本国 ODA による風力の導入が現実的であることから、その予算規模は十数億と想定される。

その予算規模を考慮に入れると、“災害対応型沖縄可倒式風力”の導入規模は、JICA 民間技術普及促進事業における PEC プロポーザルでの金額が、5 基、1,375kW、約 9 億円であり、系統安定化装置の追加やハブ高さの変更（38m→50m 以上）等を考慮すると、十数億に達すると想定される為、予算にて制限される総出力は 1,375kW とする。

一方、系統連携する送・配電線の状況（距離、容量、主要負荷等）は、前章“導入計画”の f) 社会条件で検討した通り、“災害対応型沖縄可倒式風力”を Niutoua サイトへ 5 機設置することは可能と考えられるため、**1,375kW** を総出力規模とする。

②. 2) 風車規模及び台数の設定

総出力規模が 1,375kW と求められたため、設置可能スペースにより風車規模と台数を検討する。

前章 d) 風力発電導入規模の想定により、Niutoua サイトへの“災害対応型沖縄可倒式風力”の設置可能スペースは広大であり、十数基の設置が可能と考えられるが、1,375kW で制限される基数を Max として設置可能台数を考えなければならないため、**風車設置台数は 5 基**とする。

$1,375\text{kW} \div 275\text{kW/基} = 5 \text{ 基} \leq \text{スペース的な設置可能台数 十数基} \Rightarrow \text{設置可能である}$

②. 3) 系統安定化システム（PCS ; PowerConditionerSystem）まで含めた検討

②. 3. ア) PCS の必要性

TPL は、需要家に供給する電力の品質管理基準として、欧州の基準である EN50160 を採用している。EN50160 では、周波数、電圧変動の管理基準を以下の通り定めている。新たに可倒式風力発電設備を導入した場合でも TPL の電力品質管理基準を逸脱しないこと、及び現状の電力品質を維持することが必要とされる。

表 5-3 周波数、電圧の管理基準

項目	管理基準
周波数変動	低圧、中圧配電系統における 10 秒間隔の測定において、 ±1%（49.5－50.5 Hz）の範囲が時間率で 99.5% -6%/+4%（47－52 Hz）の範囲が時間率で 100%
電圧変動	低圧、中圧配電系統において、±10%が時間率で 95%

トンガ王国ではディーゼル発電機を主要電源としており、系統の負荷－周波数制御はディーゼル発電機の調速機により行われている。系統規模に対し大きな再生可能エネルギー電源を導入する場合、電源設備の負荷追従機能には、需要変動のみならず、再生可能エネルギー電源の出力変動の補償も吸収する能力が要求される。

よって、再生可能エネルギーの出力変動による DG の負担軽減を図るため、本邦の無償資金協力により 2015 年 4 月に竣工したトンガ王国へのマイクログリッドシステムにおいては、Vaini 地区へ 1MW の PV システム+500kW の PCS、Popua 地区に 500kW の PCS（Popua 地区には既存の 1.3MWPV システム有）を設置している。

本計画においても、既存ディーゼル発電機の負荷追従能力を上回る出力変動が予想される規模の WT システムを導入する計画であるため、蓄電設備による系統安定化対策を講じる必要がある。

②. 3. イ) PCS 補償方式の検討

PV システム、WT システム等、出力が不安定な再生可能エネルギー電源の出力変動を蓄電設備で補償する場合、短周期変動補償方式と長周期変動補償方式がある。

②. 3. イ. a) 短周期変動補償方式

短周期変動補償方式とは、再生可能エネルギー電源の出力変動の速度を、ディーゼル発電機等の主要電源設備の調速機が追従できる範囲まで蓄電設備で緩和し、短時間の出力変動を蓄電設備で補い、最終的な変動補償は主要電源設備の出力を増減し、周波数を維持する方式である。短周期負荷変動については、その周期が数秒から数分程度までの微小変動をサイクリック分と呼び、数分から十数分程度の変動をフリンジ分と呼ぶ。

ここで、Vaini 地区へ設置された短周期用の PCS を含むマイクログリッドシステムの調査結果を振り返ると、蓄電システムは、その PV システムの出力変動を吸収することで SOC 値（実用充電範囲）が下限まで来ており、その能力を使い切っていることから、新たに再生可能エネルギーを導入する場合は更なる短周期用 PCS の導入が必要であると考えられた。

一方本邦沖縄県における“災害対応型沖縄可倒式風力”の運用経験から、その出力変動で最も厳しいケースは、風車自体が何らかの要因でトリップする事象であり、基本的には風車の単機容量を短周期でカバーする 300kVA クラスの PCS が必要と考える。

ただし、短周期変動補償方式としての PCS については、トンガタブ島において、既存 PV の実績データと風況データより想定した WT 出力における再エネ出現率の検討で、PV と WT の出力ピークは重ならないとの結果が出ているため、短周期変動補償方式の PCS は、これ以上は不要とも考えられ、導入計画が進んで行く段階で精査されることを期待する。

②. 3. イ. b) 長周期変動補償方式

長周期変動補償方式とは、大容量の蓄電設備を導入し、例えば、昼間に出力がピークとなる PV システムから得られた電力をバルクで蓄電し、夕方の需要ピーク時に出力するといったように、蓄電設備を活用し、再生可能エネルギー電源をスケジュール運転する変動補償方式である。

最も安定的に再生可能エネルギー電源を活用する方式であり、ディーゼル発電機等の燃料代替だけでなく、その負荷調整が可能となり、原動機の熱効率が改善され、さらなる燃料消費量の削減を図ることができる。

ここで、これまで TPL と調整して来た中で、TPL 側の強い要望としては、昼間の再エネ発電電力を蓄電し、夜間のピーク負荷時（2h 程度）に出力することで、追加の DG 起動を回避し、燃料消費量の削減を図りたいとのことであった。

なお、PCS 自体の保守メンテ時等の運用性と、トータルでの出力増を考慮すれば、PCS は 2 系統であることが望ましく、また、短周期変動補償としての必要容量 300kVA を基準に考えれば、 $300\text{kVA} \times 2 = 600\text{kVA}$ の PCS が必要と考えられる。

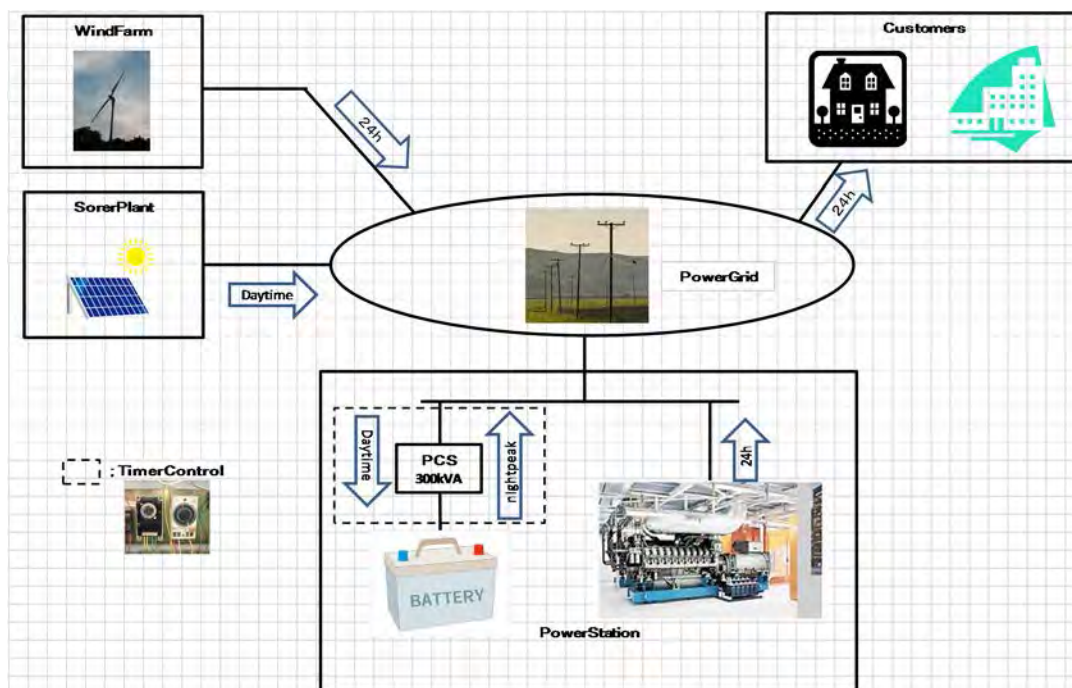


図 5-16 ストレージシステムのイメージ図

ここで、今回の風力発電システムの導入において PCS に求められる補償方式の特徴を再確認すると、

1. 短周期変動補償；（風況変化による風車発電電力変動吸収+WT トリップ時、DG システム起動までの補償）が必要である。

また、保守メンテ等の運用を加味すると、2系統ある方が好ましい。⇒300kVA×2系統

2. 長周期変動補償；昼間の再エネ発電電力を蓄電し、夜間のピーク負荷時に出力する方式（ストレージシステム）の導入が TPL により要望されている。⇒600kVA×2h 程度

よって、PCS 補償方式としては、長周期変動補償を主目的とし、かつ、短周期変動補償にも対応可能な

“600kVA×2h 程度” で計画する。

②. 3. ウ) PCS における系統安定化用蓄電池の検討

系統安定化用蓄電池には様々な種類と特徴があり、一覧にしたものが表 5-4 である。

表 5-4 系統安定化用蓄電池の種類と特徴

		鉛電池	ナトリウム硫黄電池	ニッケル水素電池	リチウムイオン電池	
① 高エネルギー密度化	現状	40~80 Wh/L	140~170 Wh/L	40~100 Wh/L	140~210 Wh/L	
	将来性	×	×	○	△	
② 大容量化実績	現状	MWh 級	数 100 MWh 級	数 100 kWh 級	数 10 kWh 級	
③-1 コストダウン	kW 単価 kWh 単価	現状*	15~25 万円/kW	24 万円/kW	10 万円/kW	5~150 万円/kW
			5 万円/kWh	2.5 万円/kWh	10 万円/kWh	10~200 万円/kWh
	本体価格	将来性	△	△	○	◎
③-2 高出力対応	現状	1 時間率 (但し容量 50%)	6~7 時間率	1 時間率	0.5 時間率	
	将来性	△	△	◎	◎	
③-3 実用 SOC 範囲	現状	比較的狭い	極めて広い	極めて広い	広い	
	将来性	△	—	—	△	
④-1 長寿命化	現状	3000 サイクル	4500 サイクル	2000 サイクル	3500 サイクル	
	将来性	△ (サルフェーション)	△	○	○	
④-2 低 SOC の寿命への低影響	現状	×	○	○	○	
	将来性	△	—	—	—	
④-3 過充電・過放電耐性	現状	過充電○・過放電×	△	○	×	
	将来性	△	△	—	△	
⑤-1 充放電エネルギー効率	現状	75~85%	90%	80~90%	94~96%	
	将来性	△	△	△	△	
⑤-2 SOC 監視の容易さ	現状	△	×	×	○	
	将来性	△	△	△	—	
⑤-3 低稼働率時の高効率性	現状	△ (リセットロス)	△~× (ヒータロス・リセットロス)	○~△ (リセットロス)	◎	
	将来性	△	△	△	—	

[出所] 独立行政法人 産業技術総合研究所 (2006 年)

ここで、前章において検討した PCS 補償方式は、長周期変動補償を主目的とし、かつ、短周期変動補償にも対応可能な補償方式であった。

表 5-4 の特徴から、各変動補償への対応や、環境面、経済性、導入実績を考慮し評価すると表 5-5 のとおりとなる。

表 5-5 蓄電池毎の評価

種 類	長周期変動補償	短周期変動補償	環境面	経済性	導入実績	評価
鉛	○	○	△	○	○	○
ナトリウム硫黄	◎	○	△	△	△	△
ニッケル水素	○	○	△	△	○	△
リチウムイオン	×	◎	△	△	○	△

ここで、各蓄電池の沖縄電力株による導入実績を見てみると、表 5-6 の通りであり、各蓄電池について、その特徴及び、運用に関する知見を有していることが分かる。

表 5-6 沖縄電力(株)による蓄電池導入実績（一部のみ抜粋）

	導入年月	導入箇所	主目的	備考
鉛	平成 26 年 8 月 平成 27 年 4 月	粟国島 波照間島	短周期変動補償 中長期変動補償	新神戸製 LL 型
ナトリウム硫黄	平成 22 年 10 月	宮古島	短周期変動補償	日本がイ製 NaS
ニッケル水素	平成 24 年 3 月	南大東島	短周期変動補償	川崎重工製キガセル
リチウムイオン	平成 22 年 10 月	宮古島	短周期変動補償	旭化成 FDK 製

なお、鉛蓄電池については、産業用の長寿命タイプが開発されており、期待寿命は一般的な 7～8 年から 15 年へ延びており、産業廃棄物の発生頻度も減少すると考えられる。

また、TPL もストレージシステムに強い要望を持っており、鉛蓄電池のリサイクルに関しては、専門業者と契約を結び、国外処理とすることで環境面での問題をクリア出来ると考えている。

以上の検討より、本 PCS に最適な蓄電池は“鉛蓄電池”と判断する。

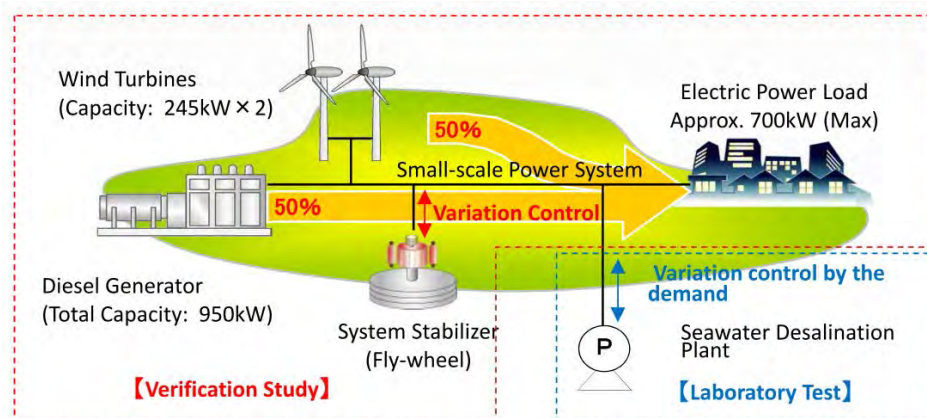
②. 3. エ) 沖縄電力(株)における再生可能エネルギーと安定電源とのハイブリッドシステムについて

沖縄電力(株)のある沖縄県は、大小 39 の有人離島からなる島嶼県であり、離島の電源構成においては、高価な燃料を必要とするディーゼルエンジンが主の安定電源となっており、環境に優しく採算の取れる再生可能エネルギーの導入が進んでいる。

また、再生可能エネルギーは出力が安定せず、台風等の災害リスクが高いことが導入における負要因となっており、離島における安定電源に置き換わるには、高度なディーゼルエンジン運用技術や蓄電池等とのハイブリッド化が必須となっている。

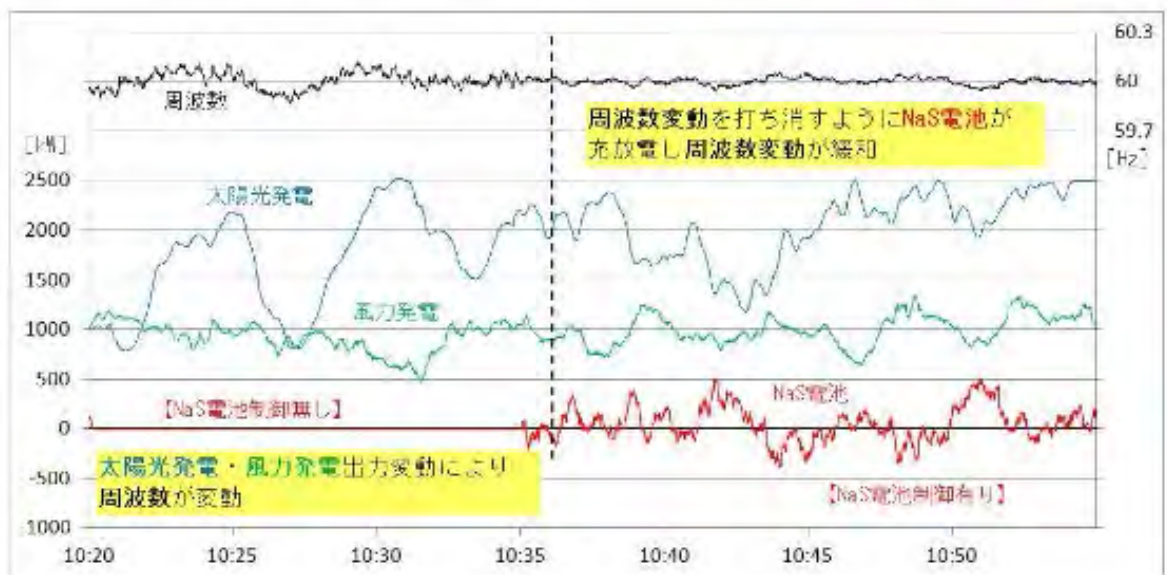
沖縄電力(株)においては、離島におけるディーゼルエンジンを中心とした再生可能エネルギーと蓄電池等との電源のハイブリッド技術を、種々の再生可能エネルギー及びディーゼルエンジン、蓄電池等と組み合わせることにより蓄積しており、その知見を、電源構成や環境の類似した大洋州諸国へ展開することが期待されている。

関連して JICA では、「ハイブリッドアイランド構想」を掲げており、効率的なディーゼルエンジンのオペレーションとメンテナンス（O&M）と再生可能エネルギーをミックスすることによるハイブリッド技術を確認するため、大洋州諸国との共同研究、技術／資金協力を進めて行く意向である。



出典；R.E.DeploymentTechnologyDevelopedOkinawa、(株)沖縄エネテック 安里貞夫氏、2015/6/18

図 5-17 波照間島における電源のハイブリッド化



出典：宮古島カソーラ-実証研究設備、沖縄電力㈱

図 5-18 宮古島における周波数変動抑制効果の実証事例

③機種を選定

本検討において、“災害対応型沖縄可倒式風力”の知見を、環境条件が類似し、再生可能エネルギーに対して同様な課題を持つ大洋州地域に広めることで、対象国の発電用燃料費の削減と共に発電原価を下げ、更には温室効果ガスの排出量削減にも寄与することが、本民間技術普及促進事業の目的であったため、機種は当初予定の通り“災害対応型沖縄可倒式風力”とする。

なお、ここまでの検討にて、本風車を導入することが、あらゆる面で有利であることが再確認出来ているが、風車のハブ高さについては、高い方が風況的にも有利であることが確認出来ているため、ハブ高さを標準の38mから50m以上へアップする。

④環境影響評価

本邦における大規模なウインドファームの一般的な環境影響評価の例として、NEDOより「風力発電のための環境影響評価マニュアル(2006)第2版」が発行されているが、今回の対象であるトンガ王国においては、同国の環境影響評価法に基づき、TPLにて環境影響評価を実施済みである。

本レポートにおいては、その詳細な検討までは行わないが、実施設計が進む段階において、その内容精査が期待される。

⑤測量・土質調査

「2. 導入計画」で検討した通り、Niutouaサイトの地形はほぼ平坦であることが確認されており、樹木伐採を行えば、土地造成もブルドーザーで地ならしする程度で問題ないと思われる。

また、土質については、表層に火山灰由来の層が2m程度あり、表層以深は石灰岩にて岩盤を形成していることが、テストピットの結果判明している。

よって、本邦沖縄県の各離島に類似した地盤を形成しており、“災害対応型沖縄可倒式風力”で採用している基礎構造で問題なく施工可能と判断する。

⑥経済性の検討

⑥. 1) 建設コスト

前章で示した通り、Niutoua サイトに“災害対応型沖縄可倒式風力”を5基、600kVA×2hのPCSを建設・導入した場合の建設コストは総額で1,880百万円となる。

表 5-7 “災害対応型沖縄可倒式風力”の導入コスト

項目	金額	備考
災害対応型沖縄可倒式風力	864 百万円	5 基、275kW、ハブ高さ 50m 以上
系統連系システム	175 百万円	受電設備、保護装置
敷地造成、基礎設置	116 百万円	100m×500m
風車設置工事	128 百万円	現地据付、試運転調整
機器輸送	85 百万円	沖縄 → Niutoua サイト
PCS	130 百万円	600kVA (300kVA×2)
鉛蓄電池	382 百万円	14,000Ah
総 額	1,880 百万円	

※ Niutoua 村～サイトまでの送配電線工事は含まず。

⑥. 2) ODA 案件化による対象国への開発効果および提案企業への事業展開効果

トンガ国において災害対応型沖縄可倒式風力を導入することで、自然災害（特にサイクロン）に対して脆弱なインフラへの対策、高価な輸入ディーゼルへの代替による温室効果ガスの排出量削減、燃料費の削減等、防災、環境、経済の側面からもトンガに対する開発効果は大きい。下表にその効果を示す。

表 5-8 トンガ国メリット

項目	メリット	備考
予想発電量 (a) /年	3,241MWh(※1)	年平均風速 7.45m/s (※2)
燃料削減量 (b) /年	972,300kL	一般的な DG 燃費 0.3L/kWh
燃料削減額 (c) /年	116 百万円	(b) × 120 円/L
CO2 削減量 (d)	2634t	(※3)

(※1) 275kW WT POWER CURVE より算出

(※2) 長期平均風速 ハブ高さ 55m

(※3) 環境省「温室効果ガス排出量算定・報告公表制度」より

トンガ国に対し、災害対応型沖縄可倒式風力の導入が進めば、実績を基に近隣大洋州諸国に対して絶好のアピールとなり、販路の拡大が見込まれる。また、海外における実績を積むことで、事業展開に対するノウハウを習得することは、PEC にとって非常に大きな利益となる。今回提案の災害対応型沖縄可倒式風力は、トンガ国および大洋州諸国のニーズ、及び日本国支援内容に多面的に合致し、PEC 利益も見込まれることから、今後も積極的に海外展開に係る活動を推進して行く。

4 資金調達プラン

今回の導入計画にあたって、下記表の通り資金調達プランの検討を行った。様々な検討の結果、日本国 ODA が最も望ましいとされる。

TPL の財務体質は比較的健全と判断されているようで、市中銀行による資金調達を含め通常政府からの資金注入なしでの経営を行っている。例えば、2013 年 11 月に 2.88MW の Mak ディーゼル発電機を導入した事例では、プロジェクトにかかる費用 T\$10.5 億のすべてを市中銀行より借り入れている。金利は年 6.35% で、2027 年 8 月 31 日に完済を予定している。このように銀行の融資を受けられた理由には、1、TPL の財務体質は比較的健全な事、2、ディーゼル発電機への融資事例が多くあり、返済計画がスムーズである事等があげられる。尚、同じ再生可能エネルギーでも、風力発電への融資には銀行は消極的である。(ディーゼル発電は屋内設置、太陽光／風力発電は屋外設置の為、自然災害へのリスクが高い)

その他の資金調達方法では世界銀行の融資制度等があり可能性はあるが、設備の維持管理まで含めた長期の債権を抱えたまま風力を導入し、長きに渡り債務返済して行くことは、当該国にとって重荷であるため、援助可能なドナーによる無償資金協力により風車を導入し、その運用維持の実績を積んだ上で自己資金による導入にステップアップすることが現実的と考えられる。

トンガ政府からの要請を受け、JICA は無償資金協力による風力発電所整備計画についての調査を検討している。PEC は無償資金協力の入札公示があれば、応札し、事業化する予定。

なお、イニシャルコストを費用負担しないのであれば、オペレーション・メンテナンスコストは自己資金で賄えるとの事。

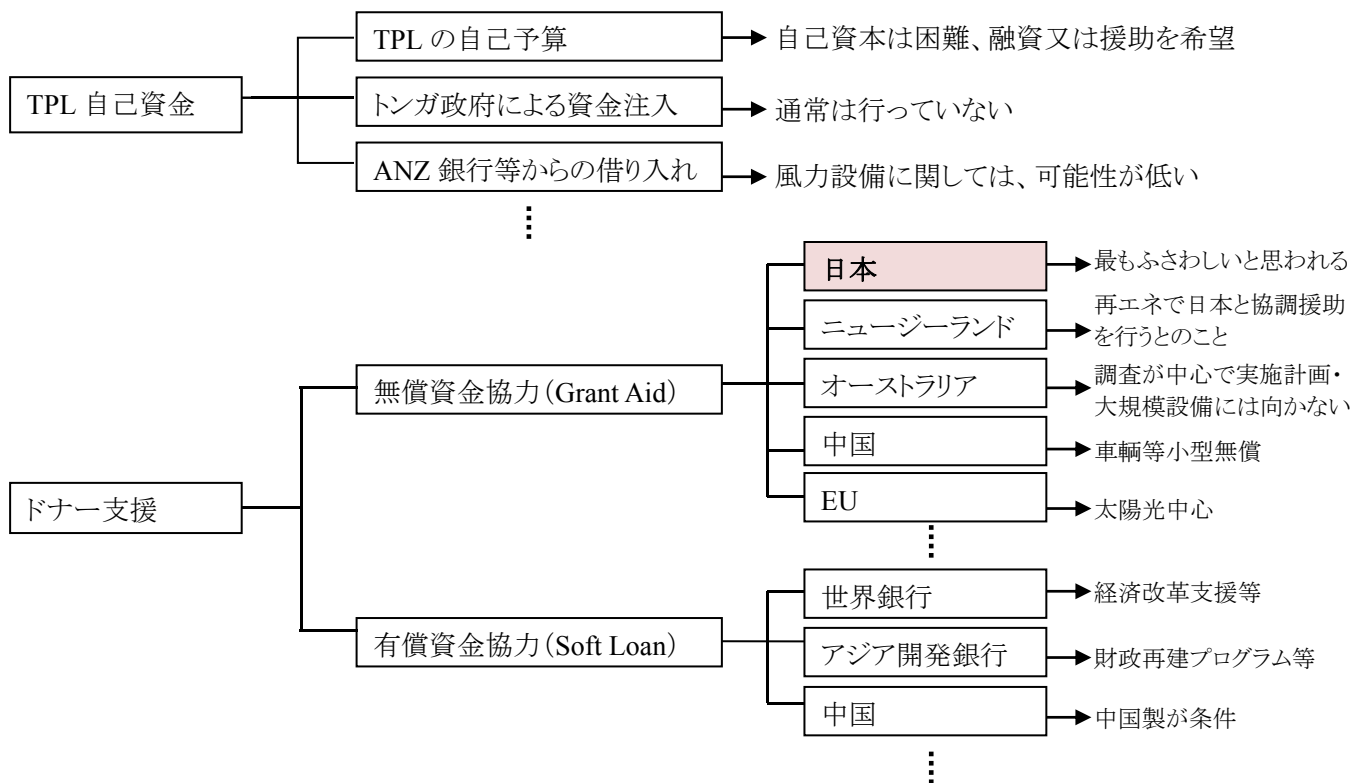


図 5-19 トンガ王国における可等式風力導入のための資金調達の選択肢

5 事業化による開発効果

自然災害（特にサイクロン）に対しての脆弱なインフラへの対策、高価な輸入ディーゼル燃料への依存による貿易赤字拡大等に対して、当該ビジネスはその課題解決へ大きく貢献できる。脆弱なインフラへの課題解決として、可倒式風力は傾倒する事でサイクロンを避け、強風によるブレード破損等の心配がなく、補修費用を大幅に抑える事ができる。この利点は、自立型風力発電では困難であり、ブレード破損を避けるために、強風を逃がす制御を非常用電源で維持しなければ、重大な故障、事故につながる。

それが可倒式風力では不要となる為、サイクロンが襲来しても被害を最小限に抑えることができ、サイクロン通過後には再び立ち上げ、すぐにエネルギー供給を再開することができる。

また、傾倒することでグランドレベルでのメンテナンスが行えることも、大型重機の搬入コスト削減になり、ランニングコストを大幅に抑えることに貢献し、補修がすぐ行えることによる故障停止時間の短縮、利用率の向上につながる。

高価な輸入ディーゼル燃料への依存している課題についても、故障停止時間の少ない可倒式風力は、ディーゼル燃料依存率を減少させるとともに、太陽光発電では不可能な夜間、雨天時にも発電が可能で、エネルギー自給率向上に貢献し、化石燃料削減により毎年1億円以上の経済的メリットが生ずることになる。さらにCO2排出量の大幅な削減にも寄与する。

第六章 提案企業による海外進出の見通し

1 提案企業の海外進出の位置づけ

ア ビジネス検討の背景

沖縄は世界的に見ても台風襲来の多い地域であり、過去に幾度となく台風被害に悩まされ、2003年には宮古島の自立式風力のタワーが強風により座屈するという被害が発生した。可倒式風力は比較的小規模な離島において「台風を避ける」・「傾倒することによるメンテナンス性の向上」を主眼に置いて製作している。これらの要件において、ノウハウを発揮できる地域は台風襲来の少ない国内本土よりも海外に多くの需要があり、特に大洋州においては、PECの知見をそのまま十分に活かすことができ、市場獲得に向けて取組みを進めている。

イ ビジネスの目的

沖縄に可倒式風力を導入したことで、台風被害やメンテナンス費用の削減実績を有している。

亜熱帯島しょで台風襲来地域である沖縄県の離島で培った可倒式風力の運用・メンテナンスのノウハウを、気象・地理的条件が類似し、再生可能エネルギーに対して同様な課題を持つ大洋州地域に沖縄の知見を広める事で、対象国の発電用燃料費削減と共に発電原価を下げる事ができ、更に温室効果ガス(CO2)の排出量削減に寄与することができる。避台風によるインフラ強化対策の一助として相互利益が見込める大洋州市場への進出を目指す。

ウ ビジネス計画

(ア) ビジネスの概要

大洋州にある国々は比較的小規模な島が多く、工業製品等の国際市場からも地理的に遠いため物流コストが高価となる。加えて、これらの島しょ国は資源に乏しい国が多く、エネルギーの大部分を輸入による化石燃料に頼るという共通の課題を抱えている。この課題解決のために、大洋州諸国は再生エネルギーの導入に特に意欲的である。

既に太陽光発電などの再生可能エネルギー導入を進めている国もあるが、太陽光発電では補えない夜間・雨天時の発電が可能な風力発電の導入についても各国の関心は高い。特に過疎地域に行けば行く程、電力の需要は夜間に限られてくる。そのニーズに対しPECの可倒式風力は、通常の風力発電に加え、傾倒することにより台風(サイクロン)を避けるという防災性を付加しており、インフラの脆弱な大洋州諸国においてサイクロン襲来後の重要な電源として非常に導入価値は高いと言える。

風力発電設備は、大型化による規模の経済によりkW当たりの単価を下げる動きが続いているが、このようなMW級の風力発電設備は、電力系統規模の小さい島しょ国である大洋州では導入することが困難である。そのため小型の風力発電設備の導入が必須条件となり、PECの可倒式風力発電設備は小型というだけでなく、可倒することで「台風を避ける」「メンテナンス性の向上」「大型重機を必要としない」「輸送が安易」という現地市場に対しての優位性を、これまで沖縄で培ってきた知見をもとに展開する事で、ビジネスモデルの確立を図る。

(イ) ビジネスのターゲット

可倒式風力は、特に台風等の襲来する地域が強いターゲットとなる。そのため、大洋州のほとん

どの国・地域が販売対象市場であり、その他にもハリケーンの発生するカリブの島国等を可倒式風力導入に向けて調査中である。

その中でもトンガ王国（以下：トンガ）は日本からのODA事業「トンガ王国 マイクログリッドシステム導入計画」を進めている。当初計画では風力発電設備も導入を計画していたが、現事業では工期の問題で風力が省かれている。トンガとしては、マイクログリッドシステムにおける再生可能エネルギー利用率の更なる向上を目指し、風車の導入に特に積極的である。また、Tonga Energy Road Map 2010-2020(以下：TERM)を策定し、「2020年までに全電力の50%を再生可能エネルギーで賄う」といった具体的目標も掲げている。そのため、大洋州への可倒式風力発電設備展開への足がかりとしてトンガを選定した。

2 提案企業の海外進出による地域経済への貢献

本製品の特徴は、「防災型」「沖縄式」という点である。防災型である可倒式風力の主要部分であるタワーは、これまで沖縄で培ってきた知見を活かし、沖縄の気候（台風被害、塩害等）に合わせ、格子状に組み込むことで、耐風速 85m/s を実現。塗装に溶融亜鉛メッキ処理を施すことで、塩害に強く長期の使用に耐える丈夫なタワーとなっている。その沖縄の知見及び経験をトンガへ導入することは、近隣諸国へのアピールとなり、更なる展開が図れると同時に、沖縄県内の地域経済活性化へ貢献すると言える。

3 提案企業による海外進出の見通し

これまでの検討にて、海外進出の背景、目的、自社製品の機能面での優位性は確認出来た。

次に、競合先を含めた自社製品の価格面での優位性確認と、現地市場規模の検討を行う。

① 競合先を含めた自社製品の価格面での優位性確認

災害対応型沖縄可倒式風力の競合先としては、Enercon 社、NorthernPower 社等数社あり、PEC 風車と比較し導入コストは安価である。ただし、競合風車は自立式であり、サイクロンによる被害や、機器の故障が生じると、数百トンクラス的大型クレーンが必要となり、そのレンタル料だけでも数千万円に達してしまう。また、大型クレーンを有する国外よりレンタルすることで、補修期間も長くなり、結果的にランニングコストは上昇する。事実、本邦沖縄においても、過去に自立式の風車を導入して来たが、相次ぐ台風や構成機器の故障により停止期間が長期化し、また停止することで機器の劣化も進行するという悪循環から採算の取れないケースが相次ぎ、台風時や補修時に傾倒することの出来る可倒式風力の導入に至っている。



撮影日：2003. 9. 12



撮影日：2003. 9. 13

図 6-1 沖縄電力(株)における風車の台風被害

近年、大洋州のサイクロンも大型化して来ており、2014年のサイクロン“イアン”や、2015年のサイクロン“パム”等は、大洋州諸国に甚大な被害をもたらした。このサイクロン大型化の傾向から考えても、十数年という長期に渡り、再生可能エネルギーである風力発電を安定的に運用するためには、“災害対応型沖縄可倒式風力”を導入することが、類似した環境である本邦沖縄の知見を取り入れるという観点からもベストな選択であると考えられ、結果的にランニングコストまで含めたコストの優位性により、島嶼国への導入メリットが大きくなると言える。

② 現地市場規模

大洋州地域での風力発電は、赤道付近には無風地帯があることや、島嶼国であるがゆえに、土地確保が難しく、資金確保も難しい等の理由から、先進国地域程進んでいないという現状であり、市場のニーズはあるものの、その規模自体はそう大きくはないと考えられる。

一方、このようなインフラ設備を導入した場合、その後のオペレーションとメンテナンス(O&M)が長期の安定運用においては重要となる。

沖縄電力グループで実施しているO&Mは、風車導入初期にPECによるトレーニングを実施することで、風車の上げ下げ及び、簡単なトラブル処置を認可しており、その資格保有者のみが運用を行うことが出来る。

ゆえに、簡単な部品交換程度の補修作業は現地保守員で行うことが出来る。対して、大掛かりな補修の場合は、都度PECの技術員及び協力会社による保守対応が可能である。

このように、新しい技術員へのトレーニングや大掛かりな作業といった部類の需要は、風車を導入した後は確実に存在すると考えられる。

③ 海外進出の見通し

以上の検討より、現地市場規模がそう大きくないと考えられることから、企業自体が海外に拠点を構える形態には適しておらず、トンガ国への風車導入を契機として近隣諸国へアピールすると共に、ランニングコストまで含めた価格面での優位性をお客様に理解して頂くには相当の説明を要することから営業活動の強化が必要と考えられ、政府を始めとする行政機関の支援等も活用しつつ、根気強く営業活動を展開して行く必要がある。

また、O&Mに関する需要は風車の導入後は確実に存在すると考えられ、風車が存続している間は継続的な需要が見込まれる。

以 上

参考資料

Feasibility Study of Wind Power Plant / NEDO / 1999-2001

Wind Mapping Tonga / L'agence Francaise De Development / 2006

Wind Farm Lapaha / Vergnet Group and GoT / 2012

Wind Pre-Feasibility Study / Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit / 2012

トンガ国風況データ整理・解析 / 西日本技術開発 / 2012

Meridian Energy Wind Data Validation / Meridian Energy Limited / 2012

Wind Pre-Feasibility Study / Garrad Hassan / 2013

Tongatapu Wind Generation Feasibility Study – Phase One / aurecon New Zealand / 2014

EIA of Hahake Districts / Tonga Power Limited / 2014

Tongatapu Wind Generation Feasibility Study – Phase Two / aurecon New Zealand / 2015

Upgrade of Grids and Preparing the Utility for Operations with Renewable Energy Plants - Stage 2 / Aecon / 2015

Tongatapu Wind Generation Feasibility Study – Phase 2b Detailed Design Study Proposal / aurecon New Zealand / 2015