

トンガ王国
トンガ電力公社

トンガ王国

風力発電所整備計画 準備調査報告書

平成29年4月
(2017年)

独立行政法人 国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社

株式会社東洋設計

産公
JR(先)
17-034

要 約

1. 国の概要

(1) 国土・自然

トンガ王国（以下、「ト」国）は南太平洋に位置し、176の島々から構成される島嶼国である。最も人口の多い島は首都ヌクアロファが位置するトンガタブ島であり、人口の約73%が集中している。「ト」国の東側には大陸プレート境界となるトンガ海溝が南北にわたって存在し、「ト」国で最大のトンガタブ島は、地盤の大部分が隆起した石灰岩から形成されている。

気温は12月から3月にかけて最も高く、月最高気温平均が約30℃、月最低気温平均が約23℃である。一般的に1月から3月にかけて降水量が多く、7月から10月にかけて降雨が少ない。

風速は、トンガタブ島南東部に位置する空港内の観測所では年間を通じて約3～5mの風速であり、安定している。また、風力発電所の建設予定地であるニウトウアでは、年間を通じて6～10m/sと安定しており、風向の大部分を海から陸に向う東南東の風が占めるなど、風速の条件が非常に良い。

しかし一方で、サイクロンも通常12月から4月にかけての夏場に多く発生しており、特に1月から2月に集中する。サイクロンについては、規模が近年大型化しており、2016年2月には最大瞬間風速84.9m/sのサイクロン・ウィンストンが発生し、「ト」国に接近したのち、フィジーに甚大な被害を与えた。

(2) 国家経済

「ト」国は島嶼国という地理的な条件から、石油燃料の輸入が全輸入額の約20%を占めており、GDPの10%に相当している（2014年）。「ト」国の主な産業は農業であるが、「ト」国の財政は海外援助と出稼ぎ者からの送金に大きく依存しており、GDPの31%を海外送金が占めている。

「ト」国は国内市場が狭く、地理的にも他国との貿易に適さない位置にあるため、経済が発達せず、国内は慢性的な失業に悩んでいる。「ト」国の産業は農業、漁業と観光、出稼ぎ送金に頼っており、主要作物はコブラ、バナナ、ヤシ油、カボチャで、輸出額15.6百万米ドルに対し、輸入額は244.2百万米ドルにも達し、貿易赤字も大きい（2014年、アジア開発銀行）。

主な輸出品目はカボチャ、魚類、バニラ、カヴァであり、主な輸入品目は食料、飲料、家畜、機械・機器、燃料、石油製品である。この中で、カボチャはトンガ経済の柱となっており、対日貿易のほとんどをカボチャ輸出が占めている。一方でカボチャ栽培が成功しすぎたため、モノカルチャー経済化が懸念されており、政府は新しい輸出商品作物の開発に熱心で、既に成功しているカボチャに次ぐ商品の開発に向けて市場調査や相手国への輸出手続きに関する調査を積極的に行うとともに、製品の品質管理にも力を入れている。

2. プロジェクトの背景、経緯及び概要

(1) 上位計画

「ト」国は国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点からも極めて脆弱である。これを受け「ト」国では、温室効果ガスの排出削減とエネルギー安全保障の向上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」という政策目標を2009年に閣議決定した。これを基に、「ト」国ではこれまで出力合計2.3MWの太陽

光発電施設を整備してきたが、更なる再生可能エネルギーの割合を増加させるため、トンガタブ島に風力発電施設が整備されることを期待している。

したがって本協力対象事業では、風力発電施設及び系統安定化施設を整備することにより、再生可能エネルギーの利用促進、及び電力供給源の多様化を図り、もって「ト」国のエネルギーの安定供給に寄与することを目標とする。

（２）現状と課題

2008年の世界的な原油価格の高騰により、「ト」国の電気料金はTOP 1.00/kWh（約USD 0.50/kWh）に達し、「ト」国の経済活動や国民の生活に深刻な影響を与えた。これを教訓に「ト」国では、「2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーで賄う」という政策目標を実現するための指針として、トンガエネルギーロードマップ 2010-2020（Tonga Energy Road Map: TERM 2010-2020）を策定した。TERMでは、様々な種類の再生可能エネルギーが選択肢として挙げられたが、現時点で豊富な賦存量が確認され、かつ既存の電力系統に接続して大規模に導入可能な再生可能エネルギー源は、風力と太陽光に限られると判断されている。

また2015年12月には、気候変動に関する国連枠組み条約の目的達成に向けて、各国が自主的に決定する約束草案（Intended Nationally Determined Contributions: INDC）が「ト」国においても策定された。INDCでは、TERMの政策目標に加え、2030年までに再生可能エネルギーの割合を70%にまで増加させる、エネルギー効率の改善など、気候回復に向けた排出の削減と投資の両方を目的として計画されており、より費用対効果の高い「ト」国としての対応を明示的に示し、気候変動に対する不作為によるコスト上昇を避けている。

以上の状況から、「ト」国ではニュージーランド国（以下、「ニ」国）のNZAIDの支援により、トンガタブ島において出力1.3MWの系統連系型太陽光発電設備を導入し、2012年7月から運転を開始した。また、本邦無償資金協力により「マイクログリッドシステム導入計画」（2013年度E/N締結）を実施し、最大出力1.0MWの太陽光発電設備、容量1.0MWの蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等が導入され、2015年3月より運転を開始している。しかし、「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TERMの目標を達成するためには、更なる再生可能エネルギーの導入と共に、再生可能エネルギーを導入した場合の安定的な電力供給と電力系統の周波数制御が必要となる。これに対処するため、更なる再生可能エネルギーの導入と同時に、既存マイクログリッドシステムの活用をベースとした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ることが「ト」国電力セクターにとって緊急の課題となっている。

（３）無償資金協力の背景、経緯及び概要

本協力対象事業で対象となるトンガタブ島は、トンガ電力公社（Tonga Power Limited : TPL）が、ディーゼル燃料に依存する発電施設として合計8機のディーゼル発電機により、総定格出力14.16MWで供給している。消費電力は季節により差があり、最大消費電力は約9.1MWである。再生可能エネルギーの導入が始まっているものの、依然として電力供給の大半がこれらディーゼル発電により賄われているため、「ト」国政府は国家のエネルギー安全保障の観点から、太陽光発電など再生可能エネルギーの導入、並びに省エネルギーの推進により、輸入燃料の消費量を削減することを重要な政策課題として位置づけている。具体的には、TERMに基づき、TPLは太陽光、風力発電の出力をそれぞれ9.3MW、6.6MWまで増やすことを掲げている。

「ト」国における再生可能エネルギー利用としては、太陽光発電（PV）の導入が先行しており、ディーゼル発電が導入されていない離島において、多くの独立型 PV システムが導入されている。住宅用のソーラーホームシステム（SHS）については、1990 年代からオーストラリア国、EU や我が国の支援を得て、トンガタブ、ババウ、ハーパイ、ニウアス等の各諸島の離島に導入が進められている。系統連系型 PV システムについては、「二」国政府の支援により、トンガタブ島で実施されたメガソーラー発電所（1.3MW）や、UAE 資金によりババウ島に 500kW の PV システム導入が実施された。また、わが国の無償資金協力により「マイクログリッドシステム導入計画」（2013 年度 E/N 締結）を実施し、最大出力 1.0MW の太陽光発電設備、容量 1.0MW の蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等が導入済みである。太陽光発電に加えて、風力発電のポテンシャルも確認されており、「二」国政府の協力の下、フィージビリティ調査が実施された。このように、我が国や他国ドナーの支援により、再生可能エネルギーの導入が進んでいるが、2020 年までに TERM で掲げる目標を達成するためには、更に多様な電力供給源を確保し、安定した電力供給を実現する必要がある。

かかる状況下、2014 年に「ト」国政府から我が国政府に対し、トンガタブ島における風力発電設備及び系統安定化設備の導入について、無償資金協力の要請が発出された。本協力対象事業では、トンガタブ島の環境に適した風力発電設備等を導入し、エネルギー資源の多角化を図るとともに、エネルギー自給率の向上に資することが期待されている。

3. 調査結果の概要とプロジェクトの内容

(1) 調査結果の概要

1) 風速及びサイクロン

トンガタブ島では、本件の風車設置予定地であるニウトウア地区で「二」国支援のもと、地上 40m 地点で風況調査が実施されている。以下はニウトウアの風況データである。

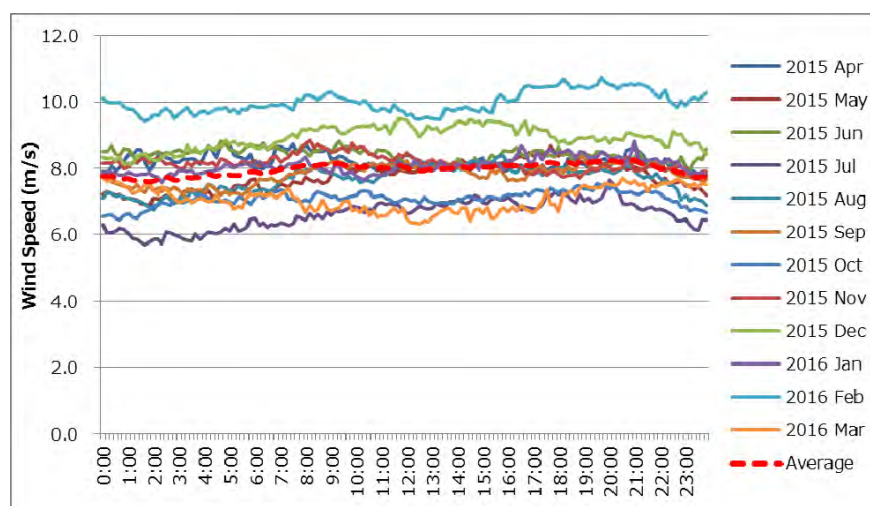


図1 ニウトウア地区の月別平均風速（2015 April - 2016 March）

風速は年間を通じて 6~10m/s と安定しており、風力発電施設の設置予定地であるニウトウア地区が海に面していることから、観測地点の標高の高さも相まって風速としては非常に条件が良い。

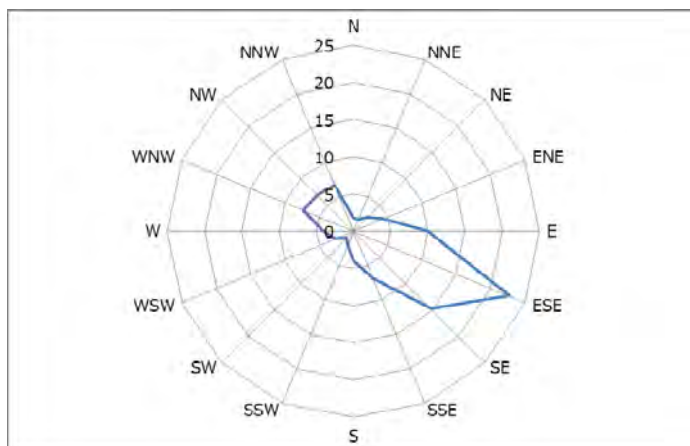


図2 年間風配図 (2015 Apr-2016 Mar)

風向を確認すると東南東から南東に集中しており、年間を通じてほぼ一定の方向から風が吹いている。風速、風向とも非常に安定しており、風力発電に適している環境であることが確認できる。

サイクロンは通常12月から4月にかけての夏場に多く発生しており、特に1月から2月に集中する。サイクロンの規模としては1分平均風速で30m/s程度(クラス:C2)までのサイクロンが約6割を占めるが、1分平均風速で50m/sを超えるサイクロン(クラス:C4、C5)も発生している。クラスC4、C5のサイクロンについては、10年に一度程度の発生件数であったものが、2010年以降では既に5回発生しており、サイクロンの大型化が傾向として見られる。

2016年2月に発生したサイクロン・ウィンストンは、「ト」国を通過せず、直撃は無かったものの、「ト」国近郊を往復した影響で、「ト」国のババウ島で家屋半壊・倒壊、避難指示、停電などの被害が発生した。

サイクロン・ウィンストンにより最も大きな被害を受けたのはフィジー国であり、同国に甚大な被害を与えた。フィジー気象局が観測した最大瞬間風速は84.9m/sであり、過去に南半球で発生したサイクロンの中では最も大型のサイクロンであった。

死者は42名であり、360以上の家屋、65の校舎が破壊され、14000人以上の人々が、避難所での生活を余儀なくされた。



図3 ウィンストンによる被害状況 (フィジー)

2) 地盤

2014年に7箇所、2015年に17箇所のテスト用ピットの試掘(深さ:2.5m程度)が「ニ」国により実施された。表層約30cmは風化した火山灰由来のシルト質粘土に覆われ、深さ2.3m程度までは石灰岩が風化した状態から未風化に徐々に変化しており、深さ2.5m程度になると未風化の石灰岩となり、これが基盤岩であることが確認されている。地下水は確認されず、一部のテスト用ピットで浸透試験が実施された結果、地盤内への水の浸透が確認されたが、これは深さ2.3mまでの石灰岩の風化層内に浸透したものと考えられる。

2015年の調査では、基盤岩上の風化層のサンプルによる点載荷試験も実施されており、破壊荷重は3,300~6,400kN/m²であり、構造物を建設する上で問題のない地盤であることが確認されている。

また2015年に、対象地区において地表下の弾性波速度が測定された。結果は図4の通りであり、

およそ 2.0～2.3m 付近で弾性波速度 (Vs : m/s) が 285m/s 程度となっている。これは、標準貫入試験における N 値に換算すると約 45 となり ($V_s=80N^{1/3}$: 道路橋示方書の砂質土を適用)、深さ 4.0m を超えると Vs : 500m/s 以上 (N 値換算 : 244) を示すことから、石灰岩の固い岩盤であることが改めて確認できる。

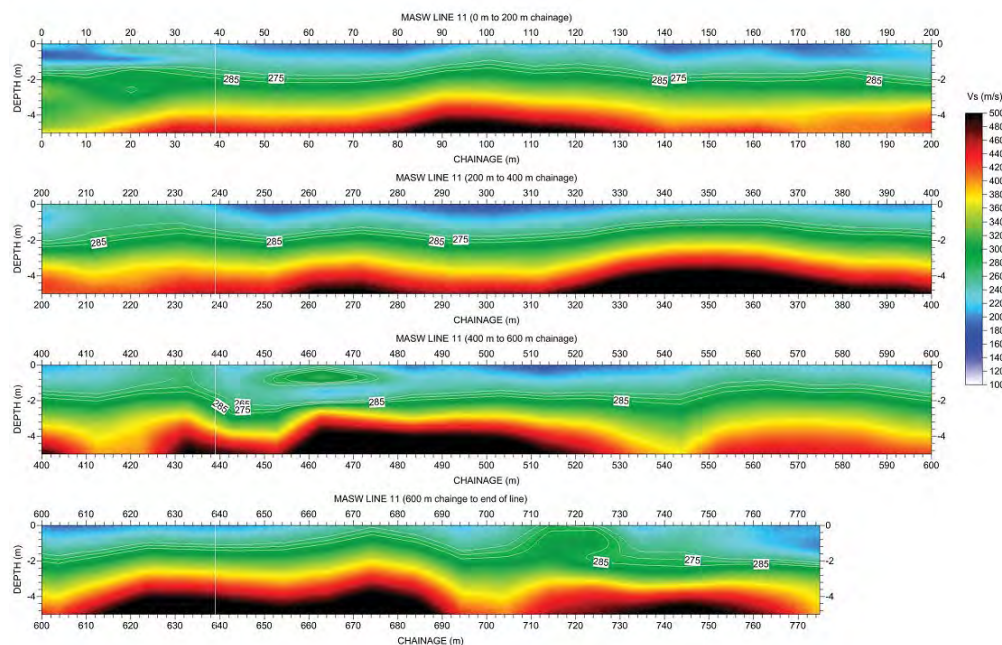


図4 「ト」国実施の MASW による弾性波速度分布 (一部抜粋)

3) 設計水平震度

「ト」国での設計水平震度は、構造物ごとに採用値を検討する必要があるが、地震をとりまく状況が我が国と類似していることや、本協力対象事業に先行して実施されている「マイクログリッドシステム導入計画」の事例から、設計条件として我が国で一般的に採用されている水平震度 0.2 (水平加速度 0.2G) を採用することとした。

(2) プロジェクトの内容

1) 導入する風力発電システム

本協力対象事業では、「ト」国建築基準をベースに、近年のサイクロン規模の大型化も考慮した上で、以下の条件を満たす風車を候補とする。

表1 風力発電システムの条件

出力	風車5基で1.3MW以上を確保すること
極値風速	常時では各風車が選定した風車カテゴリによりIEC61400-1に則って設計され、かつ、以下の各高さにおける風速に耐えること 地上10m : 70.0m/s 地上40m : 76.2m/s 地上45m : 76.7m/s
乱流強度	0.12以上を確保すること
設計水平震度	0.2G以上を確保すること

2) 導入する系統安定化設備 (蓄電設備)

本協力対象事業で必要となる系統安定化設備 (蓄電設備) の出力は、風力発電出力の短周期の出

要 約

力変動を補償することとする。代数的手法を用いて必要な系統安定化設備の出力を計算した結果、導入する風力発電施設を 1,375kW とした場合、必要な LFC 調整力から系統安定化設備の出力は 530kW となる。

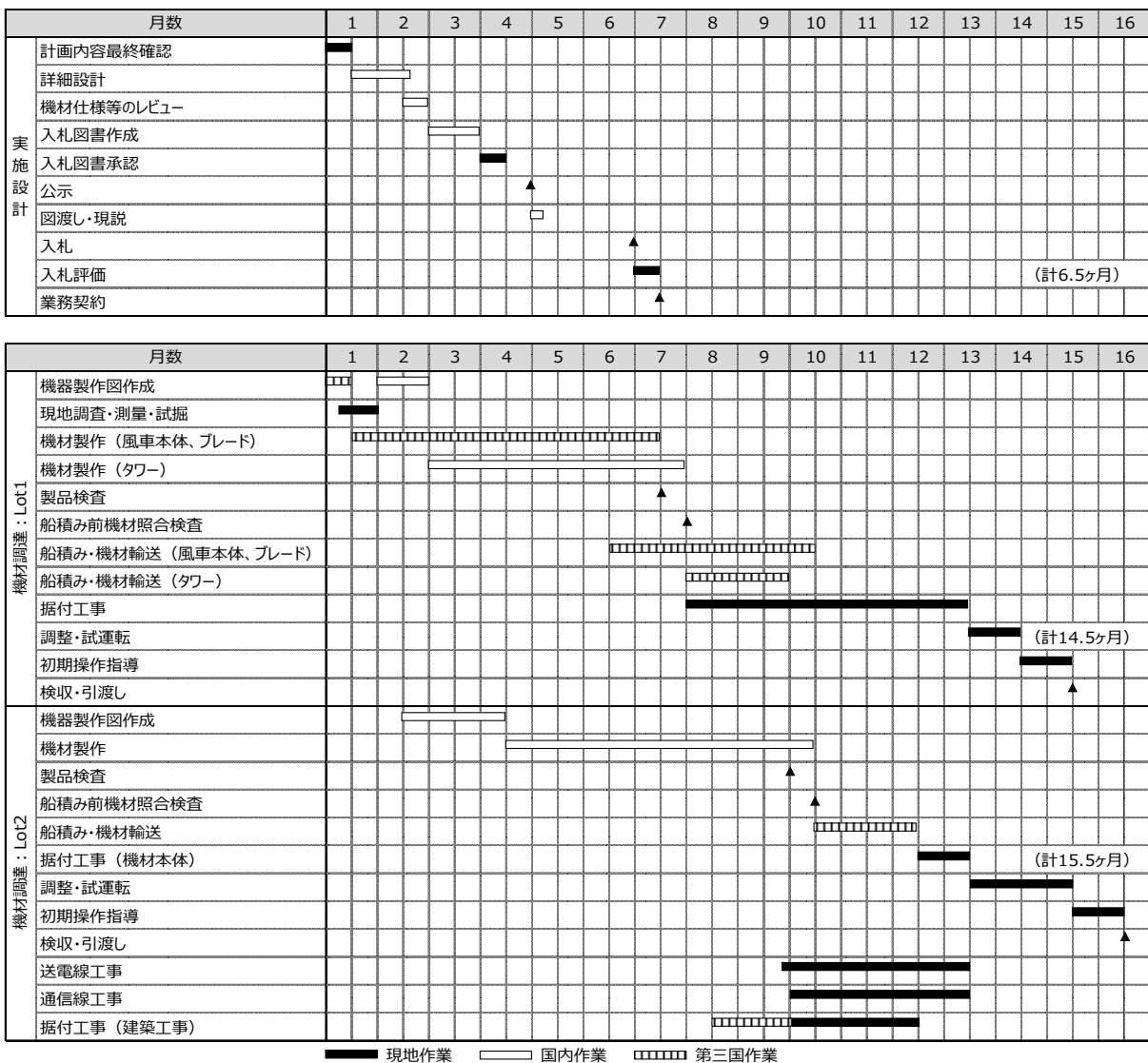
また、蓄電容量は SOC を 50%とした場合、12.5kWh 以上が必要となり、風力発電機の出力変動に併せて充放電サイクル数がきわめて多い結果となった。したがって、短周期変動補償用の蓄電設備として、充放電サイクルが 10 万回以上を確保できるリチウムイオンキャパシタを採用する。

4. プロジェクトの工期及び概略事業費

(1) プロジェクトの工期

我が国政府により本協力対象事業の実施が承認された後、両国間で交換公文 (E/N) が取り交わされ、我が国の無償資金協力制度に基づき、本協力対象事業が開始される。本協力対象事業は大きく、①実施設計、②調達業者選定 (入札図書作成・入札公示・入札・入札評価・契約)、③資機材調達の 3 段階からなる。以下に事業実施工程表を示す。

表 2 事業実施工程表



(2) 概略事業費

本協力対象事業を我が国の無償資金協力により実施する場合、我が国と「ト」国との施工負担区分に基づく双方の経費内訳は、以下に示す積算条件において、次のとおりと見積もられる。但し、ここに示す概略事業費は暫定値であり、必ずしも交換公文上の供与限度額を示すものではなく、協力対象事業の実施が検討される時点において更に精査される。

1) 日本側負担経費

日本側の負担経費は、以下のとおり見積もられる。

表3 日本側負担経費

費目		概略事業費 (百万円)	
機材調達	風力発電施設一式 (風力発電機、系統安定化設備等)		
据付工事	風力発電機、系統安定化設備、建屋等		
実施設計・調達監理、ソフトコンポーネント			

2) 「ト」国側負担経費

「ト」国側の負担経費は、以下のとおり見積もられる。

表4 「ト」国側負担経費

トンガ側負担経費 : 1,811,100TOP (87.17百万円)

費目	金額 (TOP)	金額 (百万円)
用地取得	243,000	11.70
伐開	903,000	43.46
サイト周囲のフェンス及び門	65,000	3.13
アクセス道路整備	492,000	23.68
警備員小屋	8,000	0.39
トイレ建設	5,600	0.27
給水工事及び排水工事	62,000	2.98
備品の調達 (家具・什器含む)	500	0.02
銀行取極めに係る手数料 (想定)	32,000	1.54
合計	1,811,100	87.17

5. プロジェクトの評価

(1) 妥当性

無償資金協力による本計画の実施は、以下の観点から妥当と判断される。

- ▶ 本計画は、「ト」国最大の島であるトンガタブ島を対象としており、「ト」国国民の約 73%となる 75,416 人 (2011 年国勢調査) が対象となり、相当数の国民が裨益対象となる。
- ▶ 島国である「ト」国は、発電の大部分を輸入燃料によるディーゼル発電に頼っており、温室効果ガスの排出削減とエネルギーの安全保障の向上の観点から、本計画の実施によって自国による再生可能エネルギーを生み出すことが可能となるため、エネルギーの安定供給に大きく寄与する。

- ▶ TPL は再生可能エネルギーの需要電力量に対する割合を 50%にまで上昇させる目標を掲げており、本計画の実施はこの目標達成に寄与する。
- ▶ TPL はこれまでに再生可能エネルギーとして太陽光発電施設を導入しており、ディーゼル発電機の運用と共に施設の修繕、運転・維持管理にかかる経験と高い技術力を有している。MW 級の風力発電の導入は本協力対象事業が初めてとなるが、系統安定化についても既存システムに準じて計画しており、TPL による持続的な運営・維持管理が期待できる。
- ▶ 本計画は「ト」国の国民生活の基幹となる電力供給施設であり、無償資金協力の枠組みに合致する。
- ▶ 本計画の実施により、大気汚染、廃棄物、用地取得、事故の環境影響が予測されるが、緩和策を実施することで環境影響を最小限に抑えることが出来ると評価される。

(2) 有効性

1) 定量的効果

本協力対象事業に期待される定量的効果を次表に示す。風力発電電力量は再生可能エネルギー発電量の増加と見なすことができ、ディーゼル発電による燃料の炊き減らしに寄与する。また再生可能エネルギーの発電電力に対する割合が増加すること、さらには化石燃料の削減に伴い、温室効果ガスの排出抑制を通じた気候変動の緩和にも資する。

表 5 本計画実施後の定量的効果

成果指標	2016 年 (基準値)	2022 年 (運転開始 3 年後)
風力発電電力量 (発電端側)	0 MWh/年	4,296 MWh/年
設備利用率	0 %	35.7 %
稼働率	0 %	90.7 %
ディーゼル燃料の削減	0 kL/年 0 TOP/年	1,079 kL/年 (IMF 推計) 1,492,810 TOP/年
再生可能エネルギーの割合	7.42 % (太陽光) 0 % (風力)	6.42 % (太陽光) 7.32 % (風力)
温室効果ガスの削減量	0 t CO ₂ /年	2,903 t CO ₂ /年

2) 定性的効果

本計画の実施によって期待される定性的効果は、以下のとおりである。

- ▶ 電力供給源の多様化
- ▶ エネルギーの安定供給

以上の内容より、本計画実施の妥当性は高く、また有効性が見込まれると判断される。

目次

要約

目次

位置図／完成予想図／系統図／施設関係図／写真

図表リスト／略語集／用語及び定義

第1章 プロジェクトの背景・経緯.....	1-1
1-1 当該セクターの現状と課題.....	1-1
1-1-1 現状と課題.....	1-1
1-1-2 開発計画.....	1-2
1-1-3 社会経済状況.....	1-4
1-2 無償資金協力の背景・経緯及び概要.....	1-6
1-3 我が国の援助動向.....	1-7
1-4 他ドナーの援助動向.....	1-8
1-4-1 各ドナーの援助動向.....	1-8
1-4-1-1 世界銀行.....	1-9
1-4-1-2 アジア開発銀行.....	1-9
1-4-1-3 ニュージーランド.....	1-9
第2章 プロジェクトを取り巻く状況.....	2-1
2-1 プロジェクトの実施体制.....	2-1
2-1-1 組織・人員.....	2-1
2-1-2 財政・予算.....	2-2
2-1-3 技術水準.....	2-8
2-1-4 既存施設・機材.....	2-8
2-1-4-1 電源設備.....	2-8
2-1-4-2 系統安定化設備.....	2-15
2-1-4-3 送配電設備（11kW、400V）.....	2-17
2-1-5 トンガ電力公社の将来計画.....	2-20
2-2 プロジェクトサイト及び周辺状況.....	2-21
2-2-1 関連インフラの整備状況.....	2-21
2-2-2 自然条件.....	2-23
2-2-3 地盤・測量調査結果.....	2-33
2-2-3-1 地盤調査.....	2-33
2-2-3-2 測量調査.....	2-35
2-2-4 環境社会配慮.....	2-35
2-2-4-1 環境影響評価.....	2-35
2-2-4-2 用地取得・住民移転.....	2-47

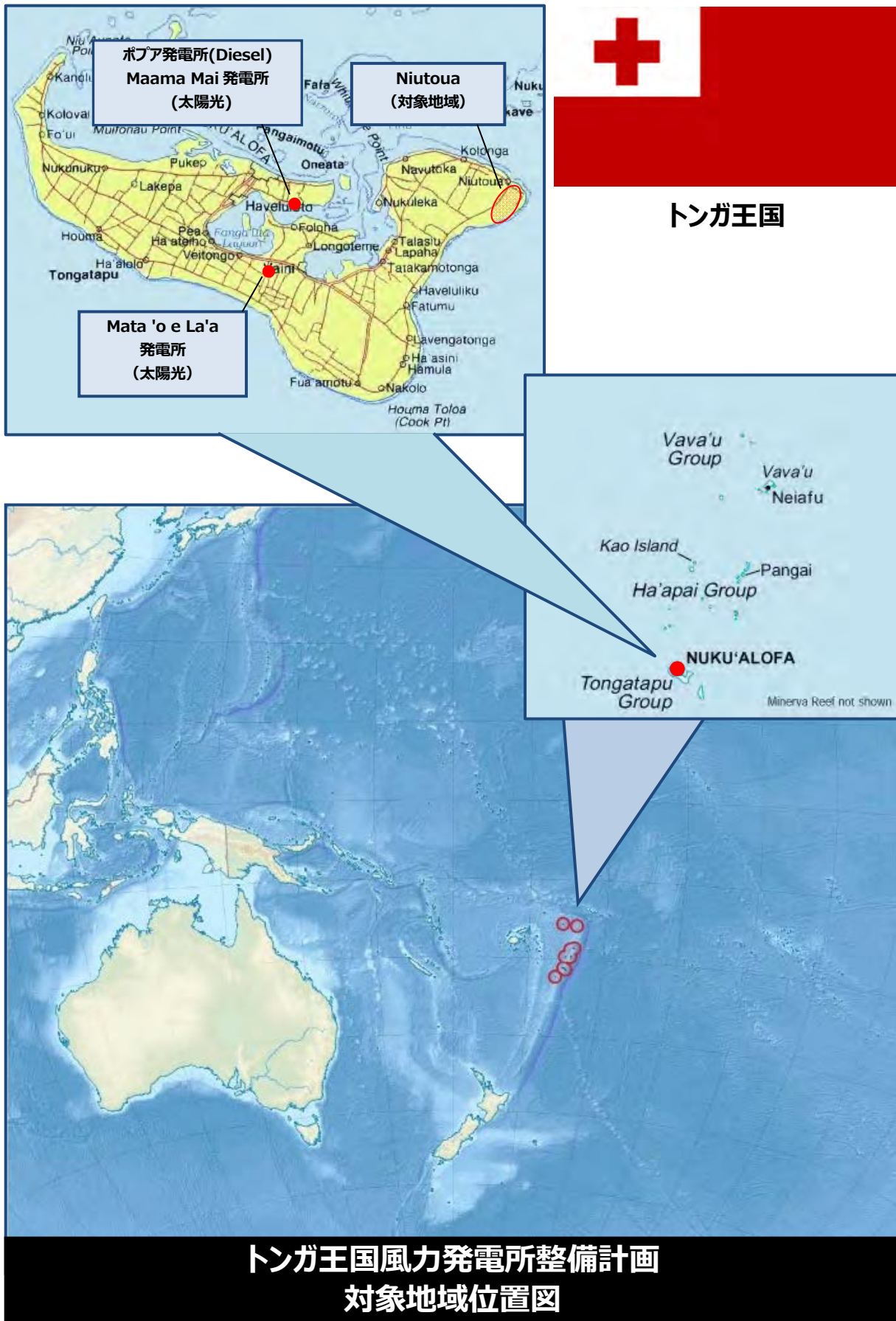
2-3 その他（グローバルイシュー）	2-51
第3章 プロジェクトの内容	3-1
3-1 プロジェクトの概要	3-1
3-1-1 上位目標とプロジェクト目標	3-1
3-1-2 プロジェクトの概要	3-1
3-2 協力対象事業の概略設計	3-1
3-2-1 設計方針	3-1
3-2-1-1 基本方針	3-1
3-2-1-2 自然環境条件に対する方針	3-7
3-2-1-3 風車の選定に対する方針	3-12
3-2-1-4 系統安定化に対する方針	3-12
3-2-1-5 既存グリッドへの接続に対する方針	3-18
3-2-1-6 社会経済条件に対する方針	3-20
3-2-1-7 建設事情に対する方針	3-20
3-2-1-8 現地業者、現地資機材の活用に対する方針	3-22
3-2-1-9 実施機関の維持・管理能力に対する方針	3-23
3-2-1-10 施設・機材等の範囲、グレードの設定に対する方針	3-23
3-2-1-11 工法/調達方法、工期に係わる方針	3-24
3-2-1-12 維持管理に関わる方針	3-24
3-2-2 基本計画	3-27
3-2-2-1 計画の前提条件	3-27
3-2-2-2 全体施設計画	3-40
3-2-2-3 基本計画の概要	3-41
3-2-3 概略設計図	3-47
3-2-4 施工計画/調達計画	3-55
3-2-4-1 施工方針/調達方針	3-55
3-2-4-2 施工上/調達上の留意事項	3-56
3-2-4-3 施工区分/調達・据付区分	3-57
3-2-4-4 施工監理計画/調達監理計画	3-58
3-2-4-5 品質管理計画	3-59
3-2-4-6 資機材等調達計画	3-61
3-2-4-7 初期操作指導・運用指導等計画	3-62
3-2-4-8 ソフトコンポーネント計画	3-63
3-2-4-9 実施工程	3-72
3-3 相手国側分担事業の概要	3-73
3-4 プロジェクトの運営・維持管理計画	3-74
3-4-1 基本方針	3-74
3-4-2 運営・維持管理体制	3-74
3-4-3 定期点検項目	3-75

3-4-3-1 点検項目.....	3-75
3-4-3-2 日常点検記録ノートの作成と保管.....	3-78
3-4-3-3 測定と安全対策.....	3-78
3-4-4 予備品購入計画.....	3-78
3-4-4-1 機材の取替周期と点検内容.....	3-79
3-4-4-2 予備品の調達計画.....	3-79
3-5 プロジェクトの概略事業費.....	3-80
3-5-1 協力対象事業の概略事業費.....	3-80
3-5-2 運営・維持管理費（事業収支）.....	3-82
3-5-2-1 運営・維持管理費（事業収支）の緒元.....	3-82
3-5-2-2 運営・維持管理費（事業収支）の算出.....	3-84
3-5-3 運営・維持管理費（事業収支計画）の比較・検討.....	3-92
第4章 プロジェクトの評価.....	4-1
4-1 事業実施のための前提条件.....	4-1
4-2 プロジェクト全体計画達成のために必要な相手方投入（負担）事項.....	4-1
4-3 外部条件.....	4-2
4-4 プロジェクトの評価.....	4-2
4-4-1 妥当性.....	4-2
4-4-2 有効性.....	4-2

[資料]

- A1. 調査団員・氏名
- A2. 調査行程
- A3. 関係者（面会者）リスト
- A4. 討議議事録（M/D）
- A5. ソフトコンポーネント計画書
- A6. 参考資料
- A7. その他資料

位置図



完成予想図



可倒式風車（参考）



固定式風車（参考）



トンガタブ島 送配電線系統図 (現況)



トンガタブ島 送配電線系統図 (2017年6月以降)



トンガタブ島 電力施設関係図

写真 (1/4)



ボア発電所 (No. 1 建屋 : ディーゼル発電)
CAT 製発電機 6 台が格納されている。発電機が適切に管理されており、排出ガスが非常に澄んでいる。



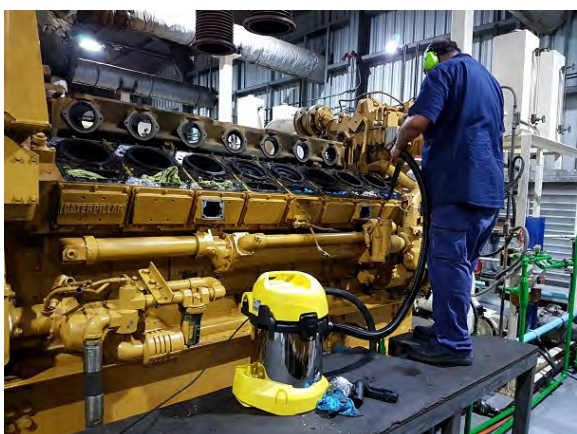
CAT 製ディーゼル発電機 (No. 1 建屋内)
スケジュールに従って定期的に点検が行われている。



ボア発電所 (No. 2 建屋 : ディーゼル発電)
MAK 製発電機 2 台が格納されている。



MAK 製ディーゼル発電機 (No. 2 建屋内)
調査期間中に冷却水の循環に問題があり緊急停止したが、40 分ほどで復帰した。



CAT 製ディーゼル発電機のオーバーホール
一定の運転時間を経過した発電機は、順にオーバーホールが行われる。写真は、シリンダーヘッドを取り外し、シリンダ内部を清掃しているところ。



取り外されたシリンダーヘッド
日本では取り外した部品を調整し再度使用することが多いが、TPL ではオーバーホールごとに新しい部品に交換している。

写真 (2/4)



ポプア発電所内の制御室（CAT 製発電機）
CAT 製発電機の制御盤に加え、SCADA により MAK 製発電機、太陽光発電施設が一元的に管理されている。



オイルタンク（ポプア発電所）
トンガタブ島内の軽油備蓄基地から、ローリーで陸送される。燃料は全て輸入に依存しており、燃料消費量の削減が課題となっている。



冷却水の取水口（ポプア発電所）
定期的に清掃が行われているが、清掃時にバルブを閉め、終了後のバルブの開け忘れにより、全ディーゼル発電機が停止した。



太陽光発電所
（Maama Mai 発電所：NZ 支援、1.3MW）
ポプア発電所内にある太陽光発電所である。日本の無償資金協力により、蓄電設備が整備された。



蓄電設備棟（ポプア発電所）
太陽光発電施設のための蓄電設備が格納されている。



太陽光発電所
（Mata 'o e La'a 発電所：日本支援、1.0MW）
バイニ地区にある、日本の無償資金協力により整備された施設である。

写 真 (3 / 4)



蓄電設備棟 (Mata 'o e La'a 発電所)
バイニ地区の太陽光発電施設に日本の無償資金協力により整備された設備である。蓄電設備、変圧器を介して系統に接続されている。



リチウムイオンキャパシタ
日本の無償資金協力で整備された蓄電設備である。太陽光発電の短周期変動補償に対応している。



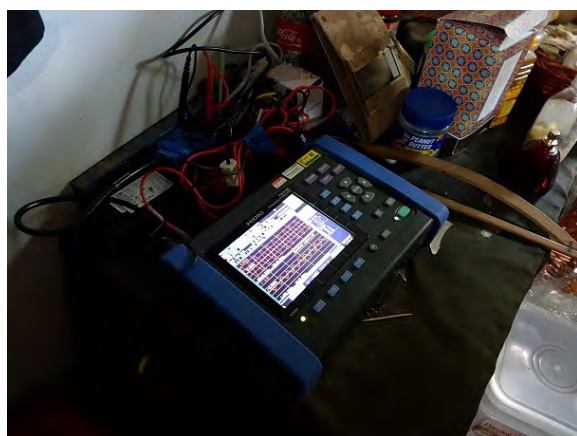
ニウトウア集落
風車予定地から約 800m 離れている。集落が海岸沿いにあるため、波音が絶えず聞こえる。



接地調査
ニウトウア地区の風況観測地点で実施した。抵抗値は非常に小さく、大掛かりな接地工事は必要ないことが確認された。



ニウトウア沿岸部 (風車設置予定エリア)
東南東から南東の風が常時吹いており、風況は良い。サイトは海岸から約 180m 内陸に入った場所に計画される。



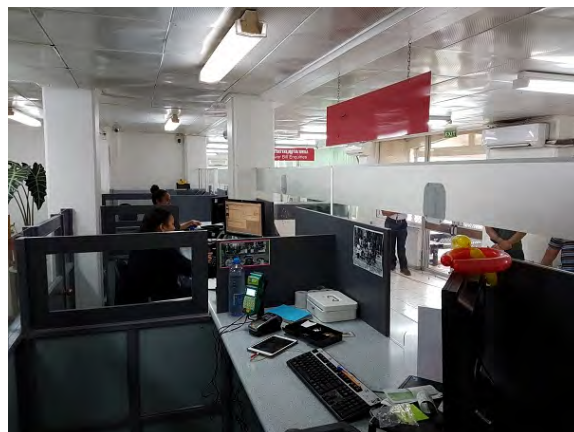
高調波調査
ニウトウア集落内の民家にて 7 日間の継続調査を実施した。特に問題は見られず、TPL により電圧、周波数管理が適切に行われている。

写真 (4 / 4)



TPL 本部

ヌクアロファ市の中心地にあり、電力料金の支払い窓口が併設されている。



電気料金支払い窓口

TPL 本部内に併設の支払い窓口である。クレジットでの支払いも問題なく行われている。



電柱の更新

現在、トンガタブ島内では、ヌクアロファ周辺を中心に配電線の再整備が進められており、電柱はニュージーランド仕様の木製柱に更新されている。



可倒式風車 (11kW)

トンガタブ島唯一の風力発電施設であり、出力は小さいが配電線に接続されている。小型なため、風車上部の風による振動が大きい。



アジテータ

トンガタブ島内には数カ所のコンクリートプラントがあり、アジテータにより生コンクリートが運ばれている。



ニウトウアの南方約 10km の位置にある採石場
トンガタブ島で使用される砕石、コンクリート用骨材は、全て石灰岩であり、島内で生産されている。

図表リスト

図 1-1	TSDF-II の 7 つの国家目標と 5 つの基本分野	1-3
図 2-1	トンガ電力公社 (TPL) の組織図	2-2
図 2-2	TPL の利益率の推移	2-3
図 2-3	TPL の有形固定資産内訳と推移	2-6
図 2-4	TPL 電力公社の電気料金の推移	2-7
図 2-5	TPL のディーゼル油購入単価と原油価格の推移 (左) と 2011 年を 100% とした割合 (右)	2-7
図 2-6	ディーゼル発電機の運転制御	2-10
図 2-7	発電施設ごとの発電出力推移と再生可能エネルギーの割合	2-10
図 2-8	平日の供給電力及び各発電出力 (平日、上図: 冬場、下図: 夏場)	2-11
図 2-9	休日の供給電力及び各発電出力 (平日、上図: 冬場、下図: 夏場)	2-12
図 2-10	CAT と MAK の燃料供給と使用量の管理	2-13
図 2-11	CAT と MAK の平均燃費	2-14
図 2-12	制御ロジック	2-15
図 2-13	マイクログリッドシステム単線結線図	2-16
図 2-14	電圧補償機能	2-16
図 2-15	下げ代補償機能	2-17
図 2-16	トンガタブ島の送電系統図 (現状)	2-17
図 2-17	各送電系統の電力供給量	2-18
図 2-18	各送電系統の供給電力	2-18
図 2-19	トンガタブ島の増強ポイントおよび再生可能エネルギー発電施設の導入計画	2-19
図 2-20	トンガタブ島のループ系統 (リング系統) 計画図	2-20
図 2-21	過去 6 年間 (2011 Jan-2016 Jun) の月平均気温	2-23
図 2-22	過去 6 年間 (2011 Jan-2016 Jun) の月当り降水量 (左図) と平均日当り降水量 (右図)	2-24
図 2-23	過去 6 年間 (2011 Jan-2016 Jun) の月平均湿度	2-24
図 2-24	2000 年以降の風速の観測記録	2-25
図 2-25	過去 6 年間 (2011 Jan-2016 Jun) の月平均風速	2-25
図 2-26	ニウトウアの風況データ (10 分ごと)	2-25
図 2-27	ニウトウア地区の月別平均風速 (2015 April – 2016 March)	2-26
図 2-28	年間風配図 (2015 Apr-2016 Mar)	2-26
図 2-29	半径 100km 以内で発生した地震の震源地及び震源深さ	2-28
図 2-30	サイクロン・ヘタ経路図	2-30
図 2-31	サイクロン・イアン経路図	2-31
図 2-32	サイクロン・ウィンストン経路図	2-32
図 2-33	ウィンストンによる被害状況 (フィジー)	2-32
図 2-34	「ニ」国実施の MASW による弾性波速度分布 (一部抜粋)	2-34
図 2-35	「ニ」国実施の GPR による調査結果	2-34
図 2-36	ニウトウア地区の地質構造	2-35
図 2-37	風力発電施設建設予定地	2-36

図 2-38	用地取得の範囲	2-48
図 3-1	Nuku'alofa 港近傍のルート案	3-2
図 3-2	選定ルート現況	3-3
図 3-3	Hoi 地区近傍のルート案	3-3
図 3-4	海沿いルート（左）及び内陸ルート（右）	3-4
図 3-5	輸送ルート	3-4
図 3-6	ブレード輸送時のトレーラー軌跡図	3-5
図 3-7	交差点位置図	3-6
図 3-8	交差点 A（左上）、交差点 B（左下）及び交差点 C（T 字路）（右下）	3-6
図 3-9	未舗装区間拡幅断面計画	3-7
図 3-10	ウィンドシアの法則（公式及び粗度の種別ごとの指数 α ）	3-9
図 3-11	サイクロン時の指数 α （海上）、78 ページ	3-9
図 3-12	風速の鉛直分布（ $\alpha=0.061$ ）	3-10
図 3-13	各風車カテゴリの基準乱流強度とニウトウアの乱流強度	3-11
図 3-14	代数的手法の概念図	3-13
図 3-15	需要電力と電源種別による発電収支	3-14
図 3-16	CAT の運転台数制御（左：追機制御、右：停止制御）	3-16
図 3-17	負荷率の累積稼働率（左：CAT、右：MAK）	3-17
図 3-18	休日の需要電力の最小値（平均値- 2σ ）に対する蓄電設備の必要性	3-17
図 3-19	TPL の系統強化後の送電線図	3-20
図 3-20	過去の原油価格の推移と各機関の将来推計価格	3-25
図 3-21	ディーゼル油価格の将来推計価格	3-26
図 3-22	年間発電量の実績と推計	3-27
図 3-23	需要電力の実績と推計	3-28
図 3-24	月別・系統別電力供給量	3-28
図 3-25	日負荷曲線（上：平日、下：休日）	3-29
図 3-26	トンガタブ電力系統の電力需給バランス	3-31
図 3-27	風車による発電量比較（単基、5 基累積）	3-35
図 3-28	代数的手法のベクトル図	3-35
図 3-29	休日の電力供給実績	3-36
図 3-30	各風速における目標 SOC の設定	3-37
図 3-31	SOC 制御ロジックの概略	3-37
図 3-32	風速 11m/s の時の風車の変動出力および蓄電装置の充放電出力	3-38
図 3-33	全体システム構成図	3-48
図 3-34	機器配置図	3-49
図 3-35	配電系統図	3-50
図 3-36	単線結線図	3-51
図 3-37	蓄電設備建屋平面図	3-52
図 3-38	蓄電設備棟構造図	3-53
図 3-39	光ケーブル配置図	3-54

図表リスト

図 3-40	先方対象機関の実施体制	3-70
図 3-41	将来人口と一人当たり電力消費量	3-86
図 3-42	世銀による低中所得国の電力消費量の推移	3-86
図 3-43	電気料金収入	3-87
図 3-44	ディーゼル発電機による年間発電量及びケースごとの燃料費	3-88
図 3-45	事業支出（燃料価格一定の場合）	3-90
図 3-46	ケースごとの燃料費と事業総支出に占める割合	3-90
図 3-47	風力発電による燃料費削減金額と累積金額	3-93
図 3-48	将来の発電コストの推定	3-93
図 3-49	電気料金単価の推移	3-94
図 3-50	一人当たり電力使用量及び電気料金支払額	3-95
図 3-51	一人当たり GDP の実績及び将来推計	3-95
表 1-1	トンガエネルギーロードマップ（TERM）実施計画の概要と達成状況	1-4
表 1-2	我が国の援助実績（無償資金協力）	1-7
表 1-3	我が国の援助実績（技術協力プロジェクト）	1-8
表 1-4	「ト」国における各ドナーの援助実績（電力案件）	1-8
表 2-1	トンガ電力公社が運営する電力施設	2-1
表 2-2	TPL の損益推移	2-3
表 2-3	TPL の対前年度比損益推移及び百分比	2-4
表 2-4	TPL の資産状況	2-4
表 2-5	TPL の対前年度比資産推移及び百分比	2-5
表 2-6	TPL の有形固定資産の年度ごとの内訳	2-5
表 2-7	2016 年のトンガ電力公社の電気料金	2-7
表 2-8	トンガタプ島の電源構成概要	2-9
表 2-9	ディーゼル発電機の概要	2-9
表 2-10	ディーゼル発電機の更新計画	2-14
表 2-11	再生可能エネルギーの開発計画	2-21
表 2-12	月別風向出現頻度	2-26
表 2-13	半径 100km 以内で発生した地震の内訳（1966-2016）	2-27
表 2-14	「ト」国に影響与えたサイクロンの記録（1960-2016）（「ト」国気象局）	2-29
表 2-15	サイクロン規模による分類	2-30
表 2-16	「ト」国環境影響評価に係る制度	2-37
表 2-17	施設建設のゼロオプションとプロジェクトを実施した場合の比較	2-39
表 2-18	TPL 及び NZ による環境社会影響評価内容	2-40
表 2-19	環境影響項目の評価基準	2-41
表 2-20	環境影響予測評価結果	2-42
表 2-21	TOR	2-43
表 2-22	影響評価	2-45
表 2-23	環境影響が予測される項目に対する緩和策	2-45

表 2-24	モニタリング計画	2-46
表 2-25	用地取得面積	2-48
表 2-26	エンタイトルメント・マトリックス	2-49
表 2-27	実施スケジュール	2-50
表 2-28	用地取得にかかる補償費用と財源	2-50
表 2-29	用地取得が想定される農地における補償額	2-50
表 2-30	モニタリング計画	2-51
表 3-1	風車カテゴリの基本パラメータ	3-7
表 3-2	最大瞬間風速の各種数値	3-8
表 3-3	基本数値の設定	3-15
表 3-4	CAT の運転台数の設定値	3-15
表 3-5	風力発電設備の最大電流値	3-18
表 3-6	ディーゼル油価格の将来推計価格	3-26
表 3-7	トンガタブ電力系統の電力需給バランス	3-30
表 3-8	EN50160 の周波数、電圧の管理基準	3-31
表 3-9	電力品質の基準	3-32
表 3-10	風力発電システムの条件	3-33
表 3-11	風車の稼働率	3-34
表 3-12	代数的手法による短周期の LFC 調整力の算出結果	3-37
表 3-13	風力発電機 1 機あたりに必要になる PCS 容量および蓄電装置容量	3-38
表 3-14	ディーゼル発電機 (CAT、MAK) の運転制御による出力	3-40
表 3-15	蓄電設備棟 仕上げ表	3-44
表 3-16	主要機材の概略仕様	3-45
表 3-17	日本及び「ト」国側の施工負担区分	3-58
表 3-18	建設用資機材の調達先	3-61
表 3-19	成果達成度	3-66
表 3-20	本邦コンサルタントの調達	3-69
表 3-21	活動ごとの対象者	3-70
表 3-22	ソフトコンポーネントの実施工程	3-71
表 3-23	概略事業費	3-71
表 3-24	事業実施工程表	3-72
表 3-25	風力発電機の標準的な定期点検内容	3-76
表 3-26	系統安定化設備および電気設備の標準的な点検内容	3-77
表 3-27	主要機材の取替周期と点検内容	3-79
表 3-28	風力発電機 (可倒式) の消耗品、交換部品	3-80
表 3-29	系統安定化設備の交換部品	3-80
表 3-30	日本側負担経費	3-81
表 3-31	「ト」国側負担経費	3-81
表 3-32	TPL による事業収支予測 (「ト」国全体、2026 年まで)	3-82
表 3-33	2040 年までの発電量及び需要電力量予測 (「ト」国全体)	3-85

図表リスト

表 3-34	2040年までの発電量及び需要電力量予測（トンガタブ島）	3-85
表 3-35	将来人口と一人当たり年間電力消費量	3-85
表 3-36	電気料金収入	3-87
表 3-37	その他収入	3-87
表 3-38	燃料費	3-88
表 3-39	再生可能エネルギー管理費	3-88
表 3-40	維持修繕費	3-89
表 3-41	職員給与	3-89
表 3-42	資材費	3-89
表 3-43	施設管理費	3-89
表 3-44	一般管理費	3-89
表 3-45	貸倒引当金	3-90
表 3-46	減価償却費	3-91
表 3-47	減価償却費（風力発電施設）	3-91
表 3-48	支払利息	3-91
表 3-49	所得税及び配当引当金	3-92
表 3-50	内部留保金額	3-92
表 3-51	一人当たり GDP の増加率の推計	3-96
表 4-1	事業実施のための前提条件	4-1
表 4-2	本計画実施後の定量的効果	4-3

略語集

ACI	American Concrete Institute	米国コンクリート学会
ASTM	American Society for Testing and Materials	米国材料試験協会
BS	British Standard	英国工業規格
CEO	Chief Executive Officer	最高経営責任者
DAC	Development Assistance Committee	開発援助委員会
DEC	Department of Environment & Climate Change	環境・気候変動局
DSM	Demand Side Management	需要側管理、電力消費節減対策
E/N	Exchange of Notes	交換公文
EAC	Environmental Assessment Committee	環境評価委員会
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIA	Energy Information Administration	米国エネルギー情報局
EU	European Union	欧州連合
G/A	Grant Agreement	贈与契約
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GNI	Gross National Income	国民総所得
GPR	Ground Penetrating Radar	地中レーダ探査
IEA	International Energy Agency	国際エネルギー機関
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IMF	International Monetary Fund	国際通貨基金
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業者
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JCS	Japanese Cable Makers' Association Standard	日本電線工業会規格
JEC	Japanese Electrotechnical Committee	電気学会電気規格調査会
JEM	Japan Electrical Manufactures	日本電機工業会標準規格
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JIS	Japanese Industrial Standards	日本工業規格
JTWC	Joint Typhoon Warning Center	合同台風警報センター
LAN	Local Area Network	ローカルエリアネットワーク
LFC	Load Frequency Control	負荷周波数制御
LIC	Lithium Ion Capacitor	リチウムイオンキャパシタ
MASW	Multi-channel Analysis of Surface Waves	多チャンネル型表面波探査
MEIDECC	Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment Climate Change, and Communications	気象・エネルギー・情報・災害管理・環境・気候変動・通信省
MFNP	Ministry of Finance and National Planning	財務・国家計画省
MLSNRE	Ministry of Lands Survey and Natural Resources	土地計画・自然資源省

MoI	Ministry of Infrastructure	社会インフラ省
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	米国海洋大気庁
NS\$	New Zealand dollar	ニュージーランドドル
NZAID	New Zealand International Aid and Development Agency	ニュージーランド国際開発機構
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OJT	On the Job Training	実地訓練
PAT	Ports Authority Tonga	トンガ港湾公社
PCS	Power Conditioning System	パワーコンディショナー
PEEP	Promoting Energy Efficiency in the Pacific	エネルギー消費効率化
PV	Photovoltaics	太陽光発電
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	リモート監視・制御システム
SHS	Solar Home System	ソーラーホームシステム
SOC	State Of Charge	充電状態
TERM	Tonga Energy Road Map	トンガエネルギーロードマップ
TGIF	Tonga Green Incentive Fund	トンガ環境促進基金
TOP	Tonga pa'anga	トンガドル
TPL	Tonga Power Limited	トンガ電力公社
TSDF	Tonga Strategic Development Framework	トンガ戦略的開発フレームワーク
TVNUP	Tonga Village Network Upgrade Project	トンガ村落配電強化プロジェクト
USD	U.S. dollar	アメリカドル
WTI	West Texas Intermediate	米国製原油

用語及び定義

本報告書では、主として JIS C1400-0:2005（風力発電用語）の用語に従った。使用した用語及び関連用語を以下に示す。

1	風車	Wind Turbine	風力エネルギーを主軸の動力に変換するロータをもつ装置。
2	風力発電装置（風力発電機）	Wind Turbine Generator	風がもつ運動エネルギーを電気エネルギーに変換する装置。風力発電システムのうち、発電所の構外に設置される遠隔監視制御装置、表示盤などを除く。
3	風力発電システム（風力発電設備、風力変換装置）	WTGS、Wind Turbine Generator System	風がもつ運動エネルギーを電気エネルギーに変換するシステム。
4	風力発電所	Wind Power Station	一グループ又は複数グループの風力発電装置。
5	ヨー制御（方位制御）	Yaw Control	風車回転面を変動する風向に追尾させる制御。風車の保護及び出力制御のために方位を制御することもある。
6	風速	Wind Speed	空気が移動した距離とそれに要した時間の比。単位は通常 m/s。
7	風速度	Wind Velocity(Vector)	風の速度ベクトル。
8	平均風速	Mean Wind Speed	風速の瞬間値を、規定期間内で統計的に平均したもの。規定期間は、数秒から数年の場合がある。「平均風速」として、月平均風速及び年平均風速が通常使われる。
9	瞬間風速	Instantaneous Wind Speed	時々刻々に変動する風速の瞬間的な値。
10	10 分間平均風速	10 Minute Average Wind Speed	風速の 10 分間平均値。ある時刻の平均風速には通常、正時前 10 分の平均値を取る。
11	年平均	Annual Average	十分な期間にわたって集めた十分な量の測定データセットを平均した値であって、測定対象の期待値を推定できるもの。
12	年平均風速	Annual Average Wind Speed	年平均用語の定義に従って平均した風速。
13	最大風速	Peak Wind Speed、Maximum Wind Speed	ある期間内（時間・日・月・年など）における最大の風速。通常 10 分間の平均値をとる。
14	最大瞬間風速	Maximum Instantaneous Wind Speed	特定の時間、期間の中での瞬間風速の最大値。通常測定時間、0.1～数 10 秒間の平均値の最大値を取る。
15	極値風速	Extreme Wind Speed	t秒間で平均した最大平均風速で、T 年間（再現期間：T 年）で経験しそうな風速。JIS では、再現期間は T=50 年及び T=1 年、並びに平均時間は t=3 秒及び t=10 分を用いる。一般的には、定義がややあいまいな耐風速という用語が用いられることがあるが、JIS では用いない。JIS では風車の設計には設計荷重ケースに用いる極値風速を用いる。
16	耐風速	Survival Wind Speed	構造物が耐えられるよう設計された最大風速の一般名称。この規格では、この用語は用いない。設計条件では、極値風速を用いる。
17	基準風速	Reference Wind Speed	風車階級を定義するための基準となる極値風速。基準風速 V_{ref} の階級で設計された風車は、風車のハブ高さにおける再現期間 50 年の極值的 10 分平均風速が V_{ref} 以下の気象に耐えるように設計されている。
18	風速分布	Wind Speed Distribution	風速の累積分布関数であって、ある長時間内の風速の分布を示すもの。
19	最多風速出現頻度	Maximum Occurrence Frequency Of Wind Speed	ある期間内（月・年など）における風速の出現度数の最も多いもの。
20	風向	Wind Direction	観測者から見て、風が向かってくる方向。
21	風向度数分布	Frequency Distribution Of Wind Direction	ある地点のある期間（月・年など）における各方位別の風向の出現度数分布。

用語及び定義

22	風配図	Wind Rose	ある地点のある期間における各方位別の風向の出現度数を、放射状のグラフに表したものの。
23	風速階級別風向の出現度数分布	Frequency Distribution Of Wind Direction For Each Wind Force Scale	ある地点のある期間における風速階級に対応する各方位別の風向出現度数分布。
24	ウィンドプロフィール、ウィンドシア－法則（風速の高度分布）	Wind Profile, Wind Shear Law	風速の鉛直方向分布。数学表現として、対数則及び指数則がよく用いられる。
25	ウィンドシア－	Wind Shear	風向に対して垂直な面を横切る風速の変化。備考 地表境界層では鉛直方向の風速変化。
26	回転サンプル風速度	Rotationally Sampled Wind Velocity	回転するロータのある点から見た風速度。
27	突風（ガスト）	Gust	風速の瞬間的な変化で、その立ち上がり時間、振幅及び継続時間で特徴付けられるもの。
28	突風率（ガストファクター）	Gust Factor	ある測定時間の平均風速 U_m に対する、同じ時間内の最大瞬間風速 U_{max} の比 ($G=U_{max}/U_m$)。
29	乱流強度（乱れの強さ）	Turbulence Intensity	風速の標準偏差の平均風速に対する比。この比は、指定の時間内に採取した同一の風速測定データセットから決定する。
30	粗度長（粗度定数、粗度係数）	Roughness Length	風速の高度分布が対数則に従うとした場合、平均風速が零となる外挿高さ。
31	（風車）ロータ（翼車、ロータ、ロータシステム）	Wind Turbine Rotor	風車において、風からエネルギーを吸収するために回転する部分。ブレード、ハブ、シャフトなどから構成される。
32	翼（羽根、ブレード）	Blade, Rotor Blade	ロータを構成する回転翼。
33	ハブ（ロータヘッド）	Hub	翼をロータ軸に固定する部分。
34	主軸（ロータ軸）	Main Shaft, Rotor Shaft	ロータからの動力を発電機に伝達する回転軸。増速機付きの風車においては、低速軸及び高速軸の総称。
35	ナセル	Nacelle	水平軸風車において、タワーの上部に配置され、動力伝達装置、発電機、制御装置などを格納するもの、及びその内容物の総称。
36	（風車の）支持構造物	Support Structure	タワー及び基礎からなる風車の一部分。
37	タワー（塔）	Tower	風車ロータ、動力伝達装置、発電機などを地上から適切な高さで支持するための架台。
38	基礎	Foundation	タワーの荷重を地盤に伝えるための工作物。
39	ロータ直径	Rotor Diameter	風車ロータの直径。ダリウス風車の場合には、赤道面の直径。
40	受風面積	Swept Area	ロータ翼先端の回転による軌跡が、風向に垂直な平面に投影した面積。
41	ハブ高さ	Hub Height	風車ロータ中心の地上高さ。垂直軸ダリウス風車の場合には、赤道面の高さ。
42	出力曲線（パワーカーブ、出力特性曲線）	Power Curve	横軸に風速、縦軸に風車出力をとり、両者の関数関係を示す曲線又はプロットされたデータ群。
43	ピッチ角	Pitch Angle	翼のあるスパン方向位置（通常はブレード半径の100%位置）における、翼弦とロータ回転面のなす角度。
44	ロータ回転速度	Rotor Speed	風車ロータの軸周りの回転速度（r/min、min ⁻¹ ）。
45	周速比	TSR, Tip Speed Ratio	風速に対する翼先端の周速度の比。
46	前方風速	Undisturbed Wind Speed, Free-Stream Speed	風車ロータに流入する風であり、風車の影響を受けていない距離が十分離れた前方の風速。
47	風車後流	Wake	風車に流入した空気流の風車ロータの後方流れであり、風車前方の自由気流と比較して、一般的に風速が低く、乱流強度が高い。
48	カットイン風速	Cut-In Wind Speed	風車が利用可能な動力を生むハブ高さにおける最小の風速。
49	定格風速	Rated Wind Speed	風車の定格出力が発生するハブ高さにおける規定の風速。
50	カットアウト風速	Cut-Out Wind Speed	風車が利用可能な動力を生むハブ高さにおける最大の風速。

			速。
51	定格回転速度	Rated Rotor Speed	定格出力を発生する風車ロータ回転速度。
52	(風力発電システムの) 定格出力	Rated Power	一般には製造業者によって指定される、機器又は装置の規定の運転状態における出力の値。
53	利用可能率 (稼働率)	Availability, On-Wind Availability, True Availability	ある期間中において、全暦時間から風車の保守又は故障による停止時間を差し引いた値の、同期間中の全暦時間に対する比 (研究又は実証目的の風車においては、暦時間の代わりに、運転可能な風速が得られた時間の合計値を用いることもある)。
54	設備利用率	Capacity Factor	ある期間中における風車総発電量の、同期間中に定格出力で運転したと仮定して風車が発生可能な発電量に対する比。
55	複雑な地形	Complex Terrain	地形が変化に富み、又は障害物が存在し、それらによって風がゆがめられやすい風車サイトの地理形状。
56	気流のゆがみ	Flow Distortion	障害物、地形変化、ほかの風車などに起因する気流の変化。計測される風速は自由気流風速から偏り、大きな不確かさを伴う。
57	自由流風速	Free Stream Wind Speed	通常は、ハブ高さにおける、乱されていない自然の気流の速さ。
58	障害物	Obstacles	建物、樹木、近隣の風車など、風を乱す要因となる風車周辺の恒常的建造物及び物体。
59	サイト・キャリブレーション	Site Calibration	試験サイトにおいて、風車設置点に一時的に設置された風向風速計に流入するハブ高さの風速及び風向と、性能計測に用いる風況観測マストで計測される風速及び風向のデータを取得し、風車に流入する地形による流れのゆがみを補正すること。
60	試験サイト	Test Site	性能計測を行う風車及びその周辺を含む土地。
61	設計条件	Design Situation	発電、パーキングなど、風車の運転が可能なモード。
62	(風車の) 外部条件	External Conditions (For Wind Turbines)	風車の運転に影響を与える要素であって、風の条件とその他の気象条件 (雪、氷など) からなる。
63	設計限界	Design Limits	設計に用いられる最大値又は最小値。
64	限界状態	Limit State	構造物及びそれにかかる荷重の状態であって、それを超えると構造物が設計要求事項に合致しなくなる状態。設計計算 (すなわち、限界状態に対する設計要求事項) の目的は、限界状態になる確率を当該構造物に定められたある値以下に抑えることである。
65	運用の限界状態	Serviceability Limit States	通常の運用基準の限界に関する状態。
66	最終限界状態	Ultimate Limit State	故障又はそれに匹敵するほどの大幅な変形若しくはゆがみに相当する限界状態。
67	(風車の) 重大故障	Catastrophic Failure (For Wind Turbines)	構成部品又は構造物が、分解又は破壊して、基礎機能を失い安全性を損ねること。
68	潜在欠陥	Latent Fault, Dormant Failure	通常の運転時には検知できない、構成部品又はシステムの欠陥。
69	設計荷重ケース	Design Load Case	風力発電装置の設計に用いる外的運転条件、故障・輸送・建設・保安などを考慮した荷重の条件。
70	運転荷重	Operation Load	風力発電システムの運転及び制御によって発生する荷重。
71	地震荷重	Seismic Load	基準地震が風力発電装置に与える荷重。
72	パーキング	Parking	正常停止後の風車の状態。
73	外挿	Extrapolation	ある既知の数値データを基にして、そのデータの範囲の外側で予想される数値を求めること。また、その手法を外挿法 (補外法) という。当該数値データを、何らかの関数にあてはめ、数値データの無い範囲 (外側) の値を推定する。
74	内挿	Interpolation	補間とも言う。ある既知の数値データを基にして、そのデータの範囲の内側で予想される数値を求めること。また、その手法を内挿法 (補間法) という。最も簡単なものは、一次関数

用語及び定義

		(直線) による内挿 (直線内挿) である。
75 疲労強度	Fatigue Strength	疲労による破壊に到るまでの繰り返した回数に対応する応力を疲労強度という。金属は繰り返し荷重により生じる応力が、降伏点よりかなり小さい場合でも、疲労によって破壊することがしばしばある。
76 終局強度	Extreme Strength	応力度、ひずみ度曲線における最大応力度のこと。
77 フェザリング状態	Feathering State	ブレードのピッチ角度が0 度程度の状態のこと。
78 ファイン状態	Fine State	ブレードのピッチ角度が-90 度程度の状態のこと。
79 風力係数	Wind Force Coefficient	建築物の形状によって定まる係数のことで、風圧力の算定などに用いる。

第1章 プロジェクトの背景・経緯

第1章 プロジェクトの背景・経緯

1-1 当該セクターの現状と課題

1-1-1 現状と課題

トンガ王国（以下、「ト」国）は南太平洋に位置し、176の島々から構成される島嶼国である。最も人口の多い島は首都ヌクアロファが位置するトンガタブ島であり、人口の約73%が集中している。「ト」国は島嶼国という地理的な条件から、石油燃料の輸入が全輸入額の約20%を占めており、GDPの10%に相当している（2014年）。更に、電力供給の約93%以上が輸入燃料を使用したディーゼル発電に依存している。このため「ト」国は、国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点からも極めて脆弱である。2008年の世界的な原油価格の高騰により、「ト」国の電気料金はTOP 1.00/kWh（約USD 0.50/kWh）に達し、同国の経済活動や国民の生活に深刻な影響を与えた。これを教訓に「ト」国では、温室効果ガスの排出削減とエネルギー安全保障の向上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」という政策目標を2009年に閣議決定し、同政策目標を実現するための指針として、トンガエネルギーロードマップ2010-2020（Tonga Energy Road Map: TERM 2010-2020）を策定した。

TERMでは、様々な種類の再生可能エネルギーが選択肢として挙げられ、安定した供給源（firm capacity and energy）として廃棄物処分場のバイオガス発電とココナッツ油発電（既存のディーゼル発電機で使用）が、不安定な供給源（intermittent resources）として風力発電と太陽光発電が検討された。その結果、安定した供給源ではバイオガスが、不安定な供給源では風力が最も安価、ココナッツ油と太陽光はより価格の高い発電方式、蓄電設備付の太陽光発電は最も価格の高い発電システムと評価された。ただ、現時点で豊富な賦存量が確認され、かつ既存の電力系統に接続して大規模に導入可能な再生可能エネルギー源は、風力と太陽光に限られる。

また2015年12月には、気候変動に関する国連枠組み条約の目的達成に向けて、各国が自主的に決定する約束草案（Intended Nationally Determined Contributions: INDC）が「ト」国においても策定された。INDCでは、TERMの政策目標に加え、2030年までに再生可能エネルギーの割合を70%にまで増加させる、エネルギー効率の改善など、気候回復に向けた排出の削減と投資の両方を目的として計画されており、より費用対効果の高い「ト」国としての対応を明示的に示し、気候変動に対する不作為によるコスト上昇を避けている。

以上の状況から、「ト」国ではニュージーランド国（以下、「ニ」国）のNZAIDの支援により、トンガタブ島において出力1.3MWの系統連系型太陽光発電設備を導入し、2012年7月から運転を開始した。また、本邦無償資金協力により「マイクログリッドシステム導入計画」（2013年度E/N締結）を実施し、最大出力1.0MWの太陽光発電設備、容量1.0MWの蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等が導入され、2015年3月より運転を開始している。しかし、「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TERMの目標を達成するためには、更なる再生可能エネルギーの導入と共に、再生可能エネルギーを導入した場合の安定的な電力供給と電力系統の周波数制御が必要となる。これに対処するため、更なる再生可能エネルギーの導入と同時に、既存マイクログリッドシステムの活用をベースとした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ることが「ト」国電力セクターにとって緊急の課題となっている。

1-1-2 開発計画

(1) 国家開発計画

「ト」国では、財務・国家計画省（MFNP : Ministry of Finance and National Planning）が中心となり、2011年から2014年までの4年間を対象期間とした戦略的開発フレームワーク（TSDF-I : Tonga Strategic Development Framework 2011-2014）を策定し、「ト」国の将来に向けた開発の指針としてきた。その後、TSDF-Iの総括を基に2015～2025年までを対象期間とした第二次戦略的開発フレームワーク（TSDF-II : Tonga Strategic Development Framework 2015-2025）が2015年に策定された。

TSDF-IIは、7つの国家目標とそれを実現するために柱となる5つの基本分野から構成され、各基本分野は更に成果目標が設定されている。各成果目標は国家目標と関連づけられ、各成果目標の達成がどの国家目標の成果に繋がるかが示されている。再生可能エネルギーの導入に関連する成果目標と関連図けられる国家目標を図1-1に赤枠で示したが、風力発電施設の導入を図る本協力対象事業は、TSDF-IIによる国家目標の達成に資するものと位置付けられている。

Pillars	Organizational Outcomes	More inclusive, sustainable and...						
		A: ...dynamic & knowledge based economy	B: ...balanced urban & rural development across island groups	C: ...empowering human development with gender equality	D: ... responsive good-governance with strengthened rule of law	E: ... successful provision & maintenance of infrastructure & technology	F: ... effective land admin & environment management, with resilience to climate & risk	G: ... consistent advancement of our external interests, security and Sovereignty
1. Economic Institutions	1.1 Improved macroeconomic management & stability with deeper financial markets	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	1.2 Closer public/private partnership for economic growth	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	1.3 Strengthened business enabling environment	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	1.4 Improved public enterprise performance	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	1.5 Better access to, and use of, overseas trade & employment, and foreign investment	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
2. Social Institutions	2.1 Improved collaboration with & support to civil society organizations and community groups	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.2 Closer partnership between government, churches & other stakeholders for community development	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.3 More appropriate social & cultural practices	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.4 Improved education & training providing life time learning	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.5 Improved health care and delivery systems (universal health coverage)	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.6 Stronger integrated approaches to address both communicable & non-communicable diseases	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.7 Better care & support for vulnerable people, in particular the disabled	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	2.8 Improved collaboration with the Tongan diaspora	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
3. Political Institutions	3.1 More efficient, effective, affordable, honest, transparent & apolitical public service focussed on clear priorities	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.2 Improved law & order and domestic security appropriately applied	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.3 Appropriate decentralization of government admin with better scope for engagement with the public	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.4 Modern & appropriate Constitution, laws & regulations reflecting international standards of democratic processes	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.5 Improved working relations & coordination between Privy Council, executive, legislative & judiciary	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.6 Improved collaboration with development partners ensuring programs better aligned behind gov't priorities	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	3.7 Improved political and defence engagement within the Pacific & the rest of the world	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
4. Infrastructure & Technology Inputs	4.1 More reliable, safe and affordable energy services	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	4.2 More reliable, safe, affordable transport services	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	4.3 More reliable, safe and affordable information & communication technology (ICT) used in more innovative ways	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	4.4 More reliable, safe and affordable buildings and other structures	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	4.5 Improved use of research & development focussing on priority needs based on stronger foresight	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
5. Natural Resources & Environment Inputs	5.1 Improved land use planning, administration & management for private & public spaces	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	5.2 Improved use of natural resources for long term flow of benefits	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	5.3 Cleaner environment with improved waste recycling	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none
	5.4 Improved resilience to extreme natural events and impact of climate change	significant	moderate	moderate	moderate	partial	none	none

Level of support from Organizational Outcome to National Outcome: significant moderate partial none

出典 : Tonga Strategic Development Framework 2015-2025

図 1-1 TSDF-II の 7 つの国家目標と 5 つの基本分野

(2) トンガエネルギーロードマップ 2010-2020 (TERM 2010-2020)

TSDF-I による政策目標を実現するための指針として、「ト」国政府は約 1 年を費やし TERM を策定した。ただ、「電力供給の 50% を再生可能エネルギーで賄う」という政策目標を達成するためには、再生可能エネルギーのポテンシャルに関するデータの収集・測定や評価、再生可能エネルギー

導入に係る法制度・組織の改正、再生エネルギー発電に対する電気料金補助の仕組み、IPP (Independent Power Producer) など民間事業者の参入にかかる規制・制度の整備などの課題を解決する必要がある。TERM では3 フェーズに分けた実施計画が示されており(表 1-1)、実施計画に基づいた進捗状況が評価されている。TERM では、再生可能エネルギーの種類別の導入規模が具体的に示されていないなど、目標達成に向けた道筋が明確になっていない。これは、TERM 策定時に再生可能エネルギーの導入規模を検討するに十分なデータが存在しなかったためであり、TERM ではその後のデータの収集・分析を経てプロジェクトの評価、実施を行うというアプローチを採っている。

表 1-1 トンガエネルギーロードマップ (TERM) 実施計画の概要と達成状況

Phase-0 実施内容	進捗状況
1. 石油サプライチェーン調査による提言が「ト」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。	○
2. 石油及び電力に係る組織、法制度、政策、規制の改正を行う。	◎
3. 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。	○
4. 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。	○
5. 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。	△
6. 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。	○
7. 独立システムの再生可能エネルギープログラムを実施する。	◎
8. 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。	◎
9. TGIF (Tonga Green Incentive Fund) を設立する。	×
Phase-1 実施内容	達成状況
1. 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。	◎
2. 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、訓練に係る委託契約も実施される。	◎
3. ココナツ油 (660,000 l /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。	△
4. 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)	△
5. 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。	△
6. 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-2 実施内容	達成状況
1. 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。	△
2. Phase-1で確立されたデータ収集システムを「制度化」する。	Phase-0,1の進捗による
3. 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。	Phase-0,1の進捗及び政策、部門目標の提案による

出典 : Tonga Energy Road Map (TERM) Review/Implementation Report 2010-2014

1-1-3 社会経済状況

(1) 社会状況

「ト」国は南太平洋に位置し、国土面積が 748km²、人口 105,586 人 (2014 年、世銀)、国民一人当たりの GNI が 4,260 米ドル (2014 年、世銀) である。同国は 176 の島々から構成される島嶼国であり、そのうち 32 の島で人が居住しているが、最も人口の多い島は首都ヌクロアファが位置するトンガタブ島であり、人口の 73% が集中している。

政治面では、1970 年に英国との保護領関係を解消し、国王を元首とする立憲君主国家として独立

した。「ト」国では、国王が大きな政治的権力を保持してきたが、2006年11月に民主化を求めるデモに端を発する暴動が発生し、その後民主化に向けた改革が進められている。

「ト」国の主な産業は農業であるが、同国の財政は海外援助と出稼ぎ者からの送金に大きく依存しており、GDPの31%を海外送金が占めている。島嶼国という地理的な条件から、石油燃料の輸入が全輸入額の20%を占めており、これはGDPの10%に相当している。更に、電力供給の93%以上が輸入燃料を使用したディーゼル発電に依存している。このため「ト」国は、国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点からも極めて脆弱である。

(2) 経済状況

「ト」国は国内市場が狭く、地理的にも他国との貿易に適さない位置にあるため、経済が発達せず、国内は慢性的な失業に悩んでいる。「ト」国の産業は農業、漁業と観光、出稼ぎ送金に頼っており、主要作物はコプラ、バナナ、ヤシ油、カボチャで、輸出額15.6百万米ドルに対し、輸入額は244.2百万米ドルにも達し、貿易赤字も大きい（2014年、アジア開発銀行）。

主な輸出品目はカボチャ、魚類、バニラ、カヴァであり、主な輸入品目は食料、飲料、家畜、機械・機器、燃料、石油製品である。トンガでは元来カボチャを食べる習慣がなかったが、気候がカボチャ栽培に適している上に、日本でカボチャが採れないものの、冬至などで需要の多い12月に収穫シーズンとなるため、1990年代に日本の商社がカボチャ栽培を持ち込んだ。現在ではカボチャはトンガ経済の柱となっており、対日貿易のほとんどをカボチャ輸出が占めている。一方でカボチャ栽培が成功しすぎたため、モノカルチャー経済化が懸念されており、政府は新しい輸出商品作物の開発に熱心で、既に成功しているカボチャに次ぐ產品の開発に向けて市場調査や相手国への輸出手続きに関する調査を積極的に行うとともに、產品の品質管理にも力を入れている。

主要経済指標は以下のとおりである。（外務省ホームページより）

1. 主要産業：農業（コプラ、やし油、カボチャ）、漁業
2. GNI：4.5億米ドル（2014年、世界銀行）
3. 一人当たりGNI：4,260米ドル（2014年、世界銀行）
4. 経済成長率：2.1%（2014年、世界銀行）
5. 物価上昇率：2.5%（2014年、世界銀行）
6. 総貿易額：
 - (1) 輸出15.6百万米ドル
 - (2) 輸入244.2百万米ドル（2014年、アジア開発銀行）
7. 主要貿易品目：
 - (1) 輸出カボチャ、魚類、バニラ、カヴァ
 - (2) 輸入食料、飲料、家畜、機械・機器、燃料、石油製品
8. 主要貿易相手国：
 - (1) 輸出ニュージーランド、韓国、米国
 - (2) 輸入フィジー、ニュージーランド、中国
9. 通貨：パアンガ（T\$、TOP）1パアンガ=54.6円（2014年3月）
10. 経済概況：財政状態は恒常的に海外援助及び出稼ぎ者からの送金に大きく依存
11. 主要援助国（単位：百万米ドル、2013-2014年度平均、DAC）：

(1) 豪州 (27)、(2) ニュージーランド (14)、(3) 日本 (9)

1-2 無償資金協力の背景・経緯及び概要

(1) 無償資金協力の背景

「ト」国のエネルギー供給は、輸入石油燃料、太陽光が大部分を占め、特に電力供給については、約93%を輸入ディーゼル燃料による小規模な系統電力に依存している。本協力対象事業で対象となるトンガタブ島は、トンガ電力公社 (Tonga Power Limited : TPL) が、ディーゼル燃料に依存する発電施設として合計8機のディーゼル発電機により、総定格出力14.16MWで供給している。消費電力は季節により差があり、最大消費電力は約9.1MWである。再生可能エネルギーの導入が始まっているものの、依然として電力供給の大半がこれらディーゼル発電により賄われているため、「ト」国政府は国家のエネルギー安全保障の観点から、太陽光発電など再生可能エネルギーの導入、並びに省エネルギーの推進により、輸入燃料の消費量を削減することを重要な政策課題として位置づけている。具体的には、2010年6月にTERMを策定し、2020年までに電力供給の50% (発電量ベース) を再生可能エネルギーとすることを政策目標としている。これに基づき、TPLは太陽光、風力発電の容量をそれぞれ9.3MW、6.6MWまで増やすことを掲げている。

「ト」国における再生可能エネルギー利用としては太陽光発電 (PV) 導入が先行しており、ディーゼル発電が導入されていない離島において、多くの独立型PVシステムが導入されている。住宅用のソーラーホームシステム (SHS) については、1990年代からオーストラリア国、EUや我が国の支援を得て、トンガタブ、ババウ、ハーパイ、ニウアス等の各諸島の離島に導入が進められている。系統連系型PVシステムについては、ニュージーランド国 (以下、「二」国) 政府の支援により、トンガタブ島 (本島) で実施されたメガソーラー発電所 (1.3MW) や、UAE資金によりババウ島に500kWのPVシステム導入が実施された。また、わが国の無償資金協力により「マイクログリッドシステム導入計画」(2013年度E/N締結) を実施し、最大出力1.0MWの太陽光発電設備、容量1.0MWの蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等が導入済みである。太陽光発電に加えて、風力発電のポテンシャルも確認されており、「二」国政府の協力の下、フィージビリティ調査が実施された。このように、我が国や他国ドナーの支援により、再生可能エネルギーの導入が進んでいるが、2020年までにTERMで掲げる目標を達成するためには、さらに多様な電力供給源を確保し、安定的な電力供給を実現する必要がある。

かかる状況下、2014年に「ト」国政府から我が国政府に対し、トンガタブ島における風力発電設備及び系統安定化設備の導入について、無償資金協力の要請が発出された。本協力対象事業では、トンガタブ島の環境に適した風力発電設備等を導入し、エネルギー資源の多角化を図るとともに、エネルギー自給率の向上に資することが期待されている。

(2) 「ト」国の要請内容

「ト」国の要請内容については以下の通りであり、風力発電施設の導入と共に、関連する各施設の整備、及び風力発電導入に合わせた送配電施設の運転・維持管理に係る指導である。

- ① 風力発電設備（合計出力約 1.3MW）の調達と据付
- ② 系統安定化設備システム（蓄電池もしくはキャパシタ）の調達と据付
- ③ 連系用配電設備（新設・増強）の調達と据付
- ④ 風力発電施設及び送配電システムコントロールの運転・維持に係る指導

1-3 我が国の援助動向

我が国は「ト」国の国家開発計画、「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っている。電力セクターに対しては、環境に配慮した社会を整備するため、再生可能エネルギーの導入促進や TERM の取組みへの支援を基に SHS やマイクログリッドの整備と共に太陽光発電設備を導入している。

表 1-2 に我が国の無償資金協力実績を示す。

表 1-2 我が国の援助実績（無償資金協力）

協力内容	実施年度	案件名	案件概要	供与限度額 (億円)
無償資金協力	2004	バイオラ病院改善整備計画	バイオラ病院の中央診療棟、産科病棟、外科病棟、浄化槽、及びそれらに関わる医療機材の整備を行う。	10.30
	2008-2010	離島間連絡船建造計画	離島間の重要なライフラインとなっている船が老朽化しており、危険な状態で貨物及び旅客を過積載して運航している。そのため新たな離島間連絡船(全長53メートル、総トン数1,500トン)を建造し、関連機材の整備を行うため必要な資金を供与する。	16.76
	2009	太陽光を活用したグリーンエネルギー導入計画	太陽光発電施設の提案・導入を進め既存発電機の燃料費の削減及び温室効果ガスの排出量の削減を行う。	5.90
	2009-2010	バイオラ病院改善整備計画	バイオラ病院の一般及び専門外来(耳鼻咽喉科、眼科、糖尿病科、理学療法科)・救急部門、歯科診療、霊安室などの医療活動に関わる部分及び看護学校を含む施設の新築既存建物の改修を含む建設計画とそれらの運用に必要な機材整備を行う。	19.22
	2012	マイクログリッドシステム導入計画	太陽光発電モジュール、蓄電設備及びマイクログリッドコントローラーの整備を行う。	15.73
	2015	国内輸送船用埠頭改善計画	トンガタブ島スクアロファ港にて、大型国内輸送船用の埠頭を整備し、貨客分離、国際貨物・国内貨物の荷役作業分離による本来の港湾機能の回復を図る。	33.20
	2015	太平洋島嶼国における多様な災害の危険評価及び早期警戒システム強化計画（UN連携/ESCAP実施）	太平洋島嶼国14か国を対象とした気象観測・予報に携わる人材の育成を行い、衛星から得られるデータと各国保有の地勢図や社会経済データを繋ぎデジタル化する。	1.24

出典：外務省 HP を基に調査団が作成

技術協力プロジェクトに関しては、2000 年度以降、広域技術協力プロジェクトが全てを占め、「ト」国単独の技術協力プロジェクトは実施されていない。以下に我が国の技術協力プロジェクト実績を示す。

表 1-3 我が国の援助実績（技術協カプロジェクト）

協力内容	実施年度	案件名	C/P機関
広域 技術協カ プロジェクト	2005-2010	大洋州地域予防接種事業強化	保健省
	2007-2011	地震観測網の運用	天然資源省
	2007-2010	気象予警報能力強化及びネットワーク作り	環境省
	2010-2014	地域保健看護師のための「現場ニーズに基づく現任研修」強化	保健省
	2011-2016	大洋州地域廃棄物管理改善支援	環境省、保健省
	2017-2021	大洋州地域廃棄物管理改善支援Ph2【予定】	廃棄物公社、環境省、保健省

出典：貴機構トンガ支所の情報により調査団が作成

また、草の根無償資金協力に関して、ここ数年は、村単位での給水施設整備（ソーラー式ポンプ、タンク、ポンプ小屋等）が主な案件として実施されており、学校整備（校舎新設・修繕、トイレ設置、雨水タンク設置等）、多目的研修センター、離島用ボート供与（海上輸送施設整備）なども行われている。

1-4 他ドナーの援助動向

1-4-1 各ドナーの援助動向

「ト」国における各ドナーの電力分野への援助実績を表 1-4 に示す。

表 1-4 「ト」国における各ドナーの援助実績（電力案件）

実施年度	実施機関	案件名	金額 (千USD)	案件概要
2010-2011	World Bank	Tonga Energy Development Policy Project	5000.0	TERMのプロジェクト実施に係る予算の補助
2012-2013	World Bank	TERM Implementation Project	2800.0	TERMの制度及び規則の枠組みの強化
2011-2016	REEEP (European Union)	REEEP TERM Support	120.0	トンガ国の持続的発展プロジェクト。PILR改革(政策、制度、法律、規定)の提案により、TERMの指標実施計画フェーズ（0、1及び2）の実行程を構築する。
2016-2020	REEEP II	REEEP II - Monitoring & Evaluation Framework	---	TERMの指標実施計画の進捗を確認するとともに、送配電線強化、再生可能エネルギー導入、蓄電設備導入の各プロジェクトの促進を図る。
2011-2013	NZAid	Tonga Village Network Upgrade Project (TVNUP)	5400.0 (千万NZD)	トンガタブ島スクアロファから離れた17村落への配電網の改善
2014-2018	NZAid	TVNUP II & III	---	トンガタブ島スクアロファから離れた33村落への配電網の改善プロジェクト。配電時の電気ロスの削減が期待されている。
2011-2012	NZAid	Renewable Energy-Meridian Solar Project (Popua Solar Farm)	7900.0	トンガタブ島ボアにおける1MW太陽光発電所建設。1MW太陽光プロジェクト完了に続く、大規模な再生可能エネルギー計画への投資計画の可能性調査。
2016年 終了予定	MFAT (New Zealand)	Smart and Pre-payment Metering Deployment	MFAT: 2200.0 TPL: 6000.0	頻りに電気料金を滞納している顧客に対する、滞納を未然に防ぐための電気料金プリペイドシステムの構築プロジェクトである。2015年に終了する予定であったが、2016年までプロジェクトが延長されている。
2012-2013	GIZ	Coping with Climate Change in the Pacific Island Region (CCCPIR)	170.0	BMZ による援助及びGIZ及びSPCのパートナー連携による実施。本プロジェクトのエネルギー部門は2012年1月に開始され、期間は2年間である。トンガ国におけるCCCPIR エネルギー関連事業は風力発電の初期アセスメント及び再生可能エネルギー及びエネルギー効率に関する意識向上のためのワークショップのサポートである。
2015	ADB	Promoting Energy Efficiency in the Pacific: Phase 2 (PEEP2)	Phase1: 1200.0 Phase2: 1200.0	Phase1(PEEP1):クック諸島、バブアニューギニア、サモア、バヌアツにおける需要家側エネルギー効率化構想構築への技術支援。2011年に完了。グリーンエネルギー基金の援助によるトンガLED街灯の導入試験。Phase2(PEEP2):5か国におけるエネルギー効率改善計画。初期スコーピング調査が全5ヶ国において実施中である。太平洋地域社会基盤機関、世界環境基金及びアジアグリーンエネルギー基金による援助。
2015	ADB	Ha'apai Network Rebuild	9000.0	サイクロン イアンにより被害を受けた、ハアパイ島の送配電線復旧プロジェクトである。
2014-2017	ADB	Outer Island Renewable Energy Generation	24000.0	500kW（ハアパイ島）、250kW（イウア島）の太陽光発電設備の導入計画、及び300kWの政府関連機関の太陽光発電設備を整備する。

出典：TPL からの情報により調査団が作成

1-4-1-1 世界銀行

TERM の設立に伴い、TERM に沿ったプロジェクトが円滑に進むよう、TERM の運営に係る強化を中心に援助が行われている。

1-4-1-2 アジア開発銀行

「ト」国では、アジア開発銀行の支援による電力消費節減対策（Demand Side Management : DSM）プログラムとして、エネルギー消費効率化（Promoting Energy Efficiency in the Pacific : PEEP-1）が2008年9月から2011年5月にかけて実施され、エネルギー消費効率の改善の必要性が確認された。その後、同プログラムの第二フェーズである PEEP-2 が2015年3月まで実施されている。

1-4-1-3 ニューージーランド

(1) 配電線の効率化

「ニ」国による電力分野への協力は多岐にわたり、配電線の高効率化（Tonga Village Network Upgrade Project : TVNUP）によって、地方村落の配電線を熱効率の高い電線へ入れ替える事業が進行中である。また、太陽光発電施設の整備、電気料金のプリペイドシステムの構築など、電力分野における協力の幅が広い。

(2) 「ニ」国の風力発電設備に係る援助動向

1) 「ニ」国の動向

「ニ」国の風力発電事業は Phase1 から Phase3 に分かれており、Phase1 では風況調査を含めた現地状況の確認調査の実施、Phase2 では Phase1 の結果を元に各種解析を行い、候補となる風車選定を行っている。2016年には、Phase2 の最終段階としてフィージビリティスタディを実施している。

2) 風力発電設備の設置位置、仕様、NZとの協調について

風力発電設備の整備に当たり、我が国、「ニ」国双方が互いに協調しあいながら事業を進めていく必要がある。この共通認識のもと、調査団は日本の無償資金協力にて、「ト」国が要請している対象サイトであるニウトウア地区の北部から南に向かって風力発電設備を整備すること、将来、「ニ」国がニウトウア地区に風力発電設備を計画した場合でも、日本側、「ニ」国側の風力発電施設が一連の施設となることを考慮し、蓄電設備を今回整備する用地の南側に設け、既存系統への接続箇所が複数とならないよう配慮することを説明している。

第2章 プロジェクトを取り巻く状況

第2章 プロジェクトを取り巻く状況

2-1 プロジェクトの実施体制

2-1-1 組織・人員

(1) トンガエネルギーロードマップ（Tonga Energy Road Map : TERM）

TERM 設置の目的は、エネルギーセクターへのドナー受け入れの増加も含め、電気料金を低減させることにより「ト」国の持続的な経済発展を実現するとともに、環境負荷低減とエネルギー安全保障を図ることである。この目標達成のために、TERM 委員会が組織されている。

(2) トンガ電力公社（Tonga Power Limited : TPL）

1) 設置目的と役割

トンガ電力公社は、国内の電力供給を目的に 2008 年 7 月に設立された、「ト」国出資 100%の公営企業である。事業内容は、主要 4 島（トンガタブ、ババウ、ハアパイ及びエウア）における発電、送配電及び売電を行っている。

表 2-1 トンガ電力公社が運営する電力施設

島名	稼働中の発電施設（on-grid）
トンガタブ	ディーゼル発電、太陽光発電、風力発電
ババウ	ディーゼル発電、太陽光発電
ハアパイ	ディーゼル発電
エウア	ディーゼル発電

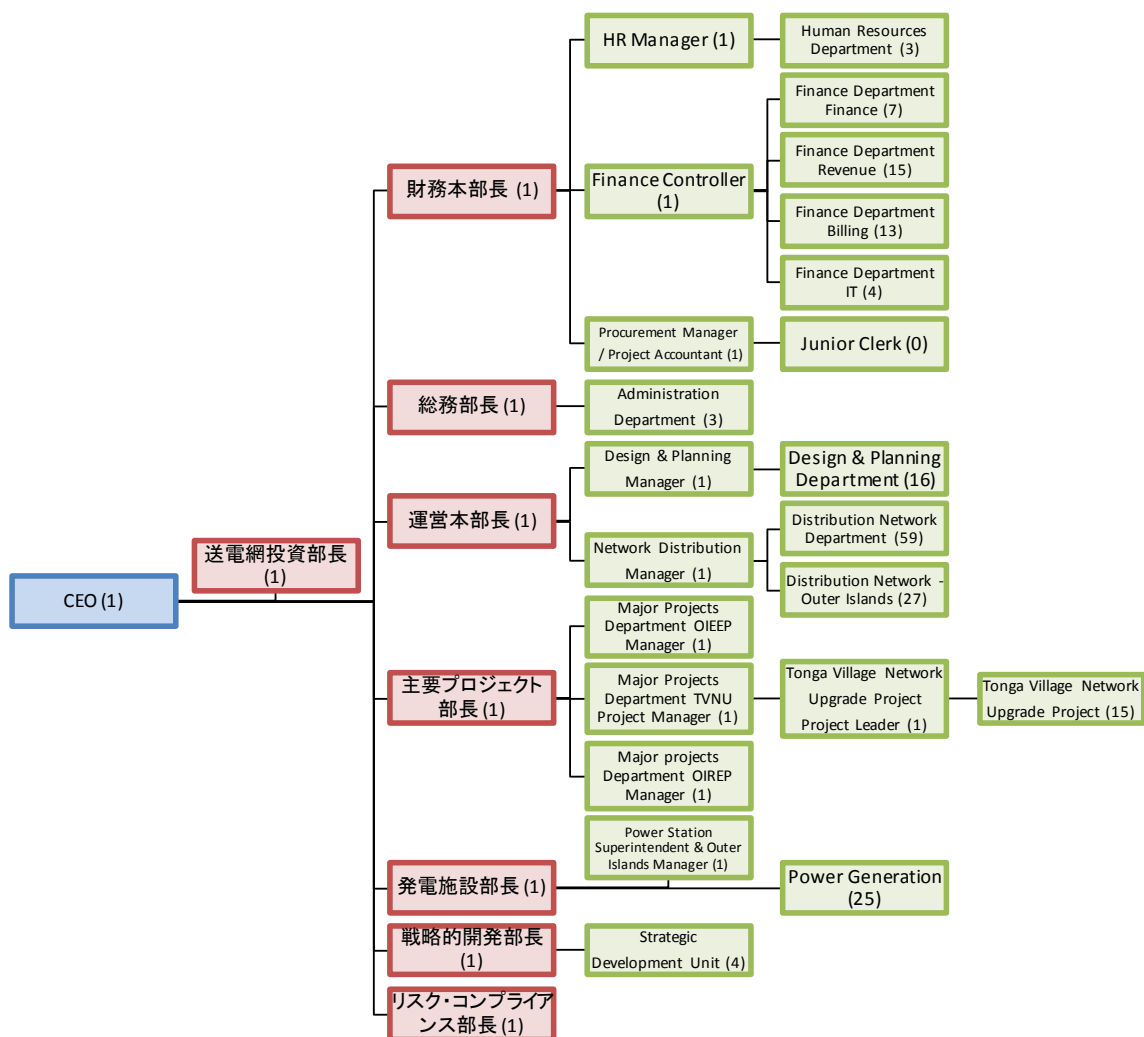
出典：TPL からの情報により調査団が作成

「ト」国の他の離島については、独立型 PV システム、または住宅用のソーラーホームシステムが導入され、使用者により管理されている。一方、トンガ電力公社も離島の電力状況の改善も注視しており、具体化はしていないものの、系統連系用の太陽光発電施設をハアパイ、エウア島の 2 島に、独立型 PV システムを Uiha 島、Nomuka 島、Ha'ano 島、Ha'afeva 島、Niuatoputapu 島、そして Niufo'ou 島の 6 島に導入する計画を立てている。

2) 組織構成

トンガ電力公社の組織構成を以下に示す。全体の組織は CEO 以下、8つの部門で構成されている。職員数は 2016 年 6 月現在で 210 名（CEO、研修生、臨時職員含む）である。

経営・事務部門は、総務、財務、戦略的開発、リスク・コンプライアンスの 4 部門で 56 名の職員構成となっている。また、技術部門は、送電網投資、運営、主要プロジェクト、発電施設の 4 部門に分かれており、154 名の職員となっている。



出典：TPL

図 2-1 トンガ電力公社（TPL）の組織図

(3) 本協力対象事業の実施体制

「ト」国側の本協力対象事業に係る責任機関は、気象・エネルギー・情報・災害管理・環境・気候変動・通信省（Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment Climate Change, and Communications、以下「MEIDECC」）、実施機関は TPL である。

2-1-2 財政・予算

(1) トンガ電力公社（TPL）

TPL の会期は7月1日から6月30日である。2013年度にトンガガス公社を傘下に入れ、以降連結財務諸表が開示されている。

1) 事業収支

外部監査法人により承認された、TPL の財務状況は下表のとおりである。売上及び各利益については、数年毎に上下があるものの、全体的に安定して上昇している。また、本業による儲けを示す

売上総利益は2015年に最高額を計上しており、そこから販売管理費を除いた営業利益も高水準を保っている。2009年度以降、最終的な収支を示す当期純利益を計上しており、ここ数年は約200万TOPの利益を確保している。

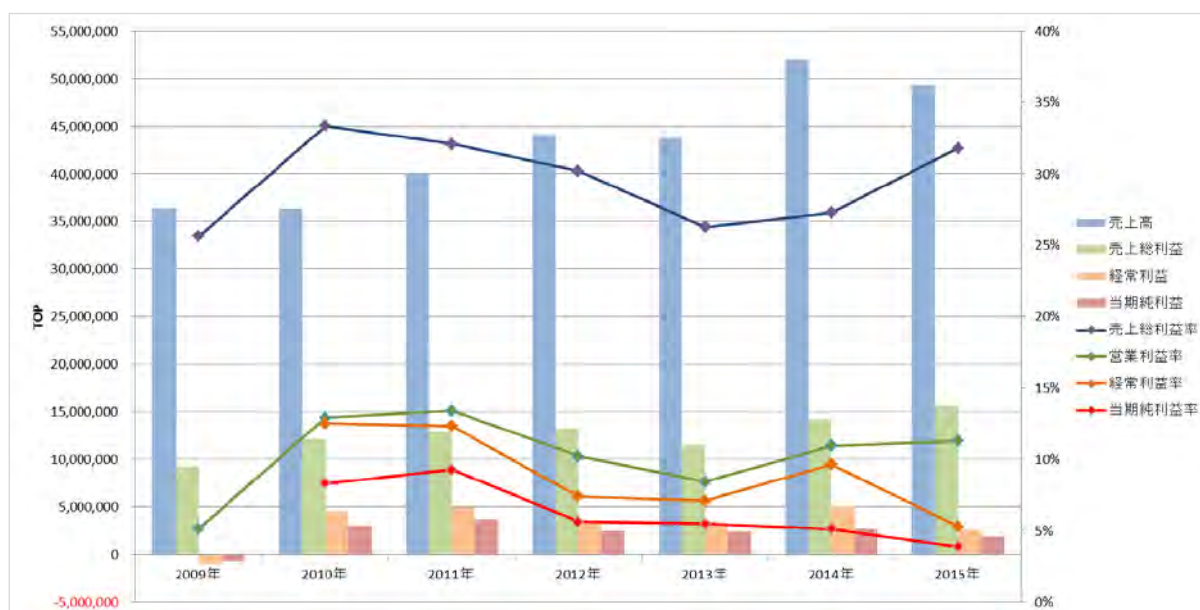
表 2-2 TPL の損益推移

単位：TOP

項目	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
	単独決算	単独決算	単独決算	単独決算	連結決算	連結決算	連結決算
売上高	36,283,008	36,321,524	40,124,291	44,038,707	43,712,981	52,013,426	49,262,708
売上原価	(26,981,554)	(24,209,093)	(27,254,796)	(30,750,577)	(32,231,532)	(37,823,214)	(33,612,040)
売上総利益	9,301,454	12,112,431	12,869,495	13,288,130	11,481,449	14,190,212	15,650,668
販売費	(34,639)	(47,797)	(58,451)	(83,749)	(2,439,632)	(4,488,840)	(5,130,860)
一般管理費	(7,948,481)	(7,597,079)	(8,006,238)	(8,874,768)	(5,634,858)	(6,350,049)	(7,434,477)
その他収入	540,453	215,404	568,892	173,726	273,277	2,334,771	2,472,927
営業利益	1,858,787	4,682,959	5,373,698	4,503,339	3,680,236	5,686,094	5,558,258
金融収益	---	---	---	---	---	---	73,749
財務費用	---	---	---	---	---	---	(3,034,202)
金融費用等	(1,240,349)	(144,391)	(422,039)	(1,246,678)	(582,635)	(666,659)	(2,960,453)
為替損益	(1,539,196)	0	0	0	0	0	0
経常利益	(920,758)	4,538,568	4,951,659	3,256,661	3,097,601	5,019,435	2,597,805
配電資産償却費	0	0	0	0	0	(1,478,671)	0
税引前利益	(920,758)	4,538,568	4,951,659	3,256,661	3,097,601	3,540,764	2,597,805
法人税/補助金等	193,774	(1,524,510)	(1,237,915)	(780,314)	(704,647)	(885,191)	(693,930)
当期純利益	(726,984)	3,014,058	3,713,744	2,476,347	2,392,954	2,655,573	1,903,875

※TPL（トンガ電力公社）は2007年8月29日に法人設立し、2008年7月25日に操業開始したため、2009年6月30日が会計報告の初年度。

出典：TPL 年次報告書 2009～2015年



出典：「TPL 年次報告書 2009-2015年」より、調査団作成

図 2-2 TPL の利益率の推移

表 2-3 TPL の対前年度比損益推移及び百分比

項目	対前年度比率						損益計算書百分比						
	2010年 単独決算	2011年 単独決算	2012年 単独決算	2013年 連結決算	2014年 連結決算	2015年 連結決算	2009年 単独決算	2010年 単独決算	2011年 単独決算	2012年 単独決算	2013年 連結決算	2014年 連結決算	2015年 連結決算
売上高	100%	110%	110%	99%	119%	95%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
売上原価	90%	113%	113%	105%	117%	89%	-74%	-67%	-68%	-70%	-74%	-73%	-68%
売上総利益	130%	106%	103%	86%	124%	110%	26%	33%	32%	30%	26%	27%	32%
販売費	138%	122%	143%	2913%	184%	114%	0%	0%	0%	0%	-6%	-9%	-10%
一般管理費	96%	105%	111%	63%	113%	117%	-22%	-21%	-20%	-20%	-13%	-12%	-15%
その他収入	40%	264%	31%	157%	854%	106%	1%	1%	1%	0%	1%	4%	5%
営業利益	252%	115%	84%	82%	155%	98%	5%	13%	13%	10%	8%	11%	11%
金融収益	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0%
財務費用	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-6%
金融費用等	12%	292%	295%	47%	114%	444%	-3%	0%	-1%	-3%	-1%	-1%	-6%
為替損益	0%	---	---	---	---	---	-4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
経常利益	N/A	109%	66%	95%	162%	52%	-3%	12%	12%	7%	7%	10%	5%
配電資産償却費	---	---	---	---	---	---	0%	0%	0%	0%	0%	-3%	0%
税引前利益	-493%	109%	66%	95%	114%	73%	-3%	12%	12%	7%	7%	7%	5%
法人税/補助金等	N/A	81%	63%	90%	126%	78%	1%	-4%	-3%	-2%	-2%	-2%	-1%
当期純利益	N/A	123%	67%	97%	111%	72%	-2%	8%	9%	6%	5%	5%	4%

出典：「TPL 年次報告書 2009-2015 年」より、調査団作成

2010 年度以降は諸費用を差し引いた利益額を示す当期純利益を毎年計上しており、2015 年度においても 1.9 百万 TOP、売上比 4% を計上している。

2) 資産状況

TPL の資産状況は、下表の通りである。総資産は 2013 年度まで漸増であったが、2014 年度以降前年度比 130% を超える割合で増加してきており、その内訳及び資金調達源を以下で分析する。

表 2-4 TPL の資産状況

項目	2009年 単独	2010年 単独	2011年 単独	2012年 単独	2013年 連結	2014年 連結	2015年 連結
資産の部							
流動資産							
現金及び預金	1,742,804	1,459,805	313,663	143,856	1,904,855	3,800,252	2,884,887
営業債権及びその他の債権	3,781,314	5,040,329	4,830,653	4,358,207	6,336,320	5,705,132	5,491,792
棚卸資産	401,150	800,121	1,007,301	952,482	1,158,729	1,454,832	1,157,400
満期保有有価証券	1,000,000	2,004,518	0	1,000,000	1,029,918	0	1,392,070
デリバティブ金融商品	0	0	689,591	0	150,509	206,133	0
流動資産合計	6,925,268	9,304,773	6,841,208	6,454,545	10,580,331	11,166,349	10,926,149
固定資産							
無形固定資産	0	0	413,903	616,420	507,623	398,826	1,260,461
有形固定資産	50,709,266	51,330,599	53,622,918	58,166,820	60,462,392	80,711,917	114,243,191
繰延税金資産	0	0	0	0	0	0	168,742
満期保有有価証券	---	---	---	---	---	2,057,913	700,000
固定資産合計	50,709,266	51,330,599	54,036,821	58,783,240	60,970,015	83,168,656	116,372,394
資産合計	57,634,534	60,635,372	60,878,029	65,237,785	71,550,346	94,335,005	127,298,543
負債の部							
流動負債							
当座貸越	0	0	63,267	549,810	0	0	0
営業債務及びその他の債務	3,914,317	4,939,666	4,058,811	3,736,472	4,854,243	5,355,515	5,428,905
配当準備金	0	1,000,000	1,000,000	866,721	779,094	1,000,000	1,900,000
従業員給付	0	0	112,763	165,401	209,234	226,540	426,540
繰延収益-寄贈資産	---	---	---	---	---	728,592	1,852,867
税金負債	0	587,687	422,260	440,951	0	0	189,426
借入	1,391,041	3,499,406	2,459,980	435,400	337,160	709,842	1,581,164
デリバティブ金融商品	0	0	307,324	139,479	163,095	44,618	160,296
流動負債合計	5,305,358	10,026,759	8,424,405	6,334,234	6,342,826	8,065,107	11,539,198
固定負債							
繰延税金負債	926,393	1,863,719	2,679,374	4,337,202	5,249,356	6,613,056	7,104,288
繰延収益-寄贈資産	0	0	0	0	152,484	7,841,175	32,719,802
借入	14,719,844	10,180,078	7,495,690	6,722,769	10,347,880	15,983,118	20,098,831
固定負債合計	15,646,237	12,043,797	10,175,064	11,059,971	15,749,720	30,437,349	59,922,921
負債合計	20,951,595	22,070,556	18,599,469	17,394,205	22,092,546	38,502,456	71,462,119
資本の部							
株式資本	32,783,595	32,783,595	33,783,595	33,783,595	33,783,595	33,783,595	33,783,595
資産再評価準備金	4,626,328	4,494,147	4,361,966	8,317,362	7,815,204	12,565,800	12,111,612
利益剰余金 (内部留保金)	-726,984	1,287,074	4,132,999	5,742,625	7,859,001	9,483,154	9,941,217
資本合計	36,682,939	38,564,816	42,278,560	47,843,582	49,457,800	55,832,549	55,836,424
資本負債合計	57,634,534	60,635,372	60,878,029	65,237,785	71,550,346	94,335,005	127,298,543

出典：TPL 年次報告書 2009~2015 年

表 2-5 TPL の対前年度比資産推移及び百分比

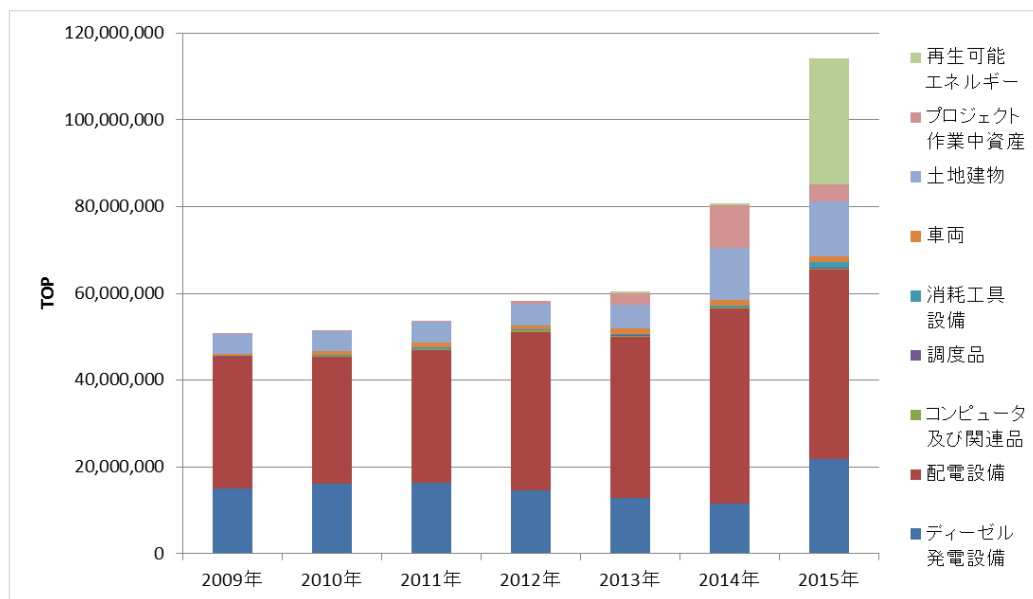
項目	対前年度比率						損益計算書百分比						
	2010年 単独	2011年 単独	2012年 単独	2013年 連結	2014年 連結	2015年 連結	2009年 単独	2010年 単独	2011年 単独	2012年 単独	2013年 連結	2014年 連結	2015年 連結
資産の部													
流動資産													
現金及び預金	84%	21%	46%	1324%	200%	76%	3%	2%	1%	0%	3%	4%	2%
営業債権及びその他の債権	133%	96%	90%	145%	90%	96%	7%	8%	8%	7%	9%	6%	4%
棚卸資産	199%	126%	95%	122%	126%	80%	1%	1%	2%	1%	2%	2%	1%
満期保有有価証券	200%	---	---	103%	---	---	2%	3%	0%	2%	1%	0%	1%
デリバティブ金融商品	---	---	N/A	---	137%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
流動資産合計	134%	74%	94%	164%	106%	98%	12%	15%	11%	10%	15%	12%	9%
固定資産													
無形固定資産	---	---	149%	82%	79%	316%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	1%
有形固定資産	101%	104%	108%	104%	133%	142%	88%	85%	88%	89%	85%	86%	90%
繰延税金資産	---	---	---	---	---	---	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
満期保有有価証券	---	---	---	---	---	34%	---	---	---	---	---	2%	1%
固定資産合計	101%	105%	109%	104%	136%	140%	88%	85%	89%	90%	85%	88%	91%
資産合計	105%	100%	107%	110%	132%	135%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
負債の部													
流動負債													
当座貸越	---	---	869%	0%	---	---	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
営業債務及びその他の債務	126%	82%	92%	130%	110%	101%	19%	22%	22%	21%	22%	14%	8%
配当準備金	---	100%	87%	90%	128%	190%	0%	5%	5%	5%	4%	3%	3%
従業員給付	---	---	147%	127%	108%	188%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%
繰延収益-寄贈資産	---	---	---	---	---	254%	---	---	---	---	---	2%	3%
税金負債	---	72%	104%	---	---	---	0%	3%	2%	3%	0%	0%	0%
借入	252%	70%	18%	77%	211%	223%	7%	16%	13%	3%	2%	2%	2%
デリバティブ金融商品	---	---	45%	117%	27%	359%	0%	0%	2%	1%	1%	0%	0%
流動負債合計	189%	84%	75%	100%	127%	143%	25%	45%	45%	36%	29%	21%	16%
固定負債													
繰延税金負債	201%	144%	162%	121%	126%	107%	4%	8%	14%	25%	24%	17%	10%
繰延収益-寄贈資産	---	---	---	---	5142%	417%	0%	0%	0%	0%	1%	20%	46%
借入	69%	74%	90%	154%	154%	126%	70%	46%	40%	39%	47%	42%	28%
固定負債合計	77%	84%	109%	142%	193%	197%	75%	55%	55%	64%	71%	79%	84%
負債合計	105%	84%	94%	127%	174%	186%	36%	36%	31%	27%	31%	41%	56%
資本の部													
株式資本	100%	103%	100%	100%	100%	100%	89%	85%	80%	71%	68%	61%	61%
資産再評価準備金	97%	97%	191%	94%	161%	96%	13%	12%	10%	17%	16%	23%	22%
利益剰余金(内部留保金)	-177%	321%	139%	137%	121%	105%	-2%	3%	10%	12%	16%	17%	18%
資本合計	105%	110%	113%	103%	113%	100%	64%	64%	69%	73%	69%	59%	44%
資本負債合計	105%	100%	107%	110%	132%	135%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

出典：「TPL 年次報告書 2009-2015 年」より調査団作成

表 2-6 TPL の有形固定資産の年度ごとの内訳

項目	単位：TOP										
	ディーゼル 発電設備	配電設備	コンピュータ 及び関連品	調度品	消耗工具 設備	車両	土地建物	プロジェクト 作業中資産	再生可能 エネルギー	計	
取得価格	2009年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2010年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2011年	19,907,582	38,448,602	424,873	84,033	511,036	1,449,120	5,195,121	111,494	---	66,131,861
	2012年	19,960,349	36,519,458	531,727	101,899	572,491	1,608,611	5,223,480	667,079	---	65,185,094
	2013年	19,960,349	39,378,219	682,868	154,466	702,166	2,292,664	6,133,193	2,415,759	559,947	72,279,631
	2014年	19,989,413	49,830,573	750,762	156,075	817,789	2,910,274	12,791,815	9,640,034	559,946	97,446,681
2015年	31,088,813	52,250,138	857,315	186,486	4,661,757	3,423,506	13,718,843	3,859,895	29,917,824	139,964,577	
減価償却額	2009年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2010年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2011年	3,591,744	7,868,860	146,115	26,186	148,170	437,049	290,819	0	---	12,508,943
	2012年	5,359,477	0	231,347	40,211	243,737	737,064	406,438	0	---	7,018,274
	2013年	7,084,004	2,377,446	337,933	61,635	335,479	1,083,646	528,301	0	8,796	11,817,240
	2014年	8,347,635	5,036,295	456,662	88,631	438,042	1,529,668	791,706	0	46,125	16,734,764
2015年	9,334,884	8,522,892	588,749	118,566	3,237,434	2,174,221	1,029,364	0	715,276	25,721,386	
残存簿価	2009年	15,042,958	30,301,094	121,733	44,041	117,808	332,694	4,652,964	95,974	---	50,709,266
	2010年	16,197,636	29,290,000	167,486	48,967	216,547	806,564	4,545,645	57,754	---	51,330,599
	2011年	16,315,838	30,579,742	278,758	57,847	362,866	1,012,071	4,904,302	111,494	---	53,622,918
	2012年	14,600,872	36,519,458	300,380	61,688	328,754	871,547	4,817,042	667,079	---	58,166,820
	2013年	12,876,345	37,000,773	344,935	92,831	366,687	1,209,018	5,604,892	2,415,759	551,151	60,462,391
	2014年	11,641,778	44,794,278	294,100	67,444	379,747	1,380,606	12,000,109	9,640,034	513,821	80,711,917
2015年	21,753,929	43,727,246	268,566	67,920	1,424,323	1,249,285	12,689,479	3,859,895	29,202,548	114,243,191	
残存簿価率	2009年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2010年	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	2011年	18.0%	20.5%	34.4%	31.2%	29.0%	30.2%	5.6%	0.0%	---	18.9%
	2012年	26.9%	0.0%	43.5%	39.5%	42.6%	45.8%	7.8%	0.0%	---	10.8%
	2013年	35.5%	6.0%	49.5%	39.9%	47.8%	47.3%	8.6%	0.0%	1.6%	16.3%
	2014年	41.8%	10.1%	60.8%	56.8%	53.6%	52.6%	6.2%	0.0%	8.2%	17.2%
2015年	30.0%	16.3%	68.7%	63.6%	69.4%	63.5%	7.5%	0.0%	2.4%	18.4%	

出典：「TPL 年次報告書 2009-2015 年」より調査団作成



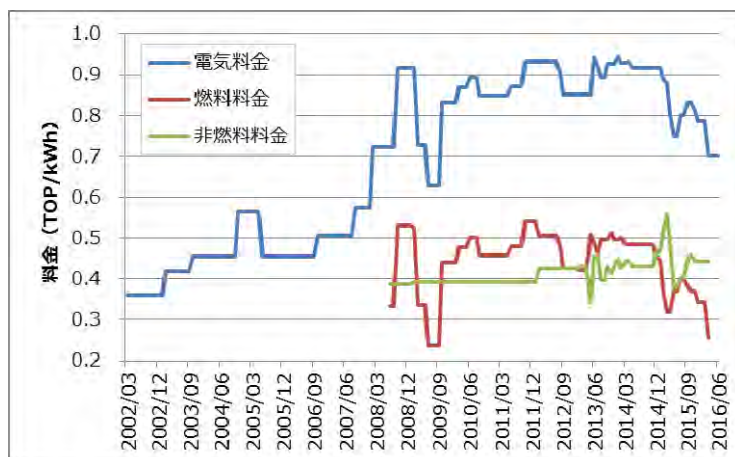
出典：「TPL 年次報告書 2009-2015 年」より調査団作成

図 2-3 TPL の有形固定資産内訳と推移

資産の部については、固定資産の割合が 2015 年度には 90%を超えている。2013 年までは漸増であったが、送配電設備の強化及び整備、再生可能エネルギーの導入等により、2014 年度以降増加割合が高まっている。TPL の年間報告書によると、2014 年度の増加は、「ニ」国支援の Tonga Village Network Upgrade Project (TVNUP) による既存の低圧配電網の更新、バイニ太陽発電所整備に伴う土地収用及び施設整備によるものである。同様に、2015 年度の増加は、2014 年 12 月にポプア発電所に導入されたディーゼル発電機 (MAK 社製、G8) の購入と、日本無償資金協力で建設されたバイニ太陽光発電施設の竣工が主である。

3) 電力料金

電源の大半をディーゼル発電に依存するトンガ電力公社の電気料金は非常に高額であり、世界的に原油価格の高騰した 2008 年には、家庭用 TOP 0.9167/kWh、非家庭用 (商業、教育、宗教、政府施設等) TOP 1.0267 まで急激に上昇した。その後、電気料金の変動はあるものの、2014 年 1 月に最大 TOP 0.9445/kWh となるなど高止まりの状態が続いており、2015 年 5、6 月に TOP 0.7500/kWh まで下がったものの、現在は TOP 0.8/kWh 以上で推移している。2009 年の 3 月以降、家庭用と非家庭用の料金種別が無くなり、一律の料金となっている。トンガ電力公社の電気料金は、燃料料金 (Fuel Tariff) と非燃料料金 (Non-Fuel Tariff) から構成され、非燃料料金は 2008 年のトンガ電力公社設立から 2009 年 12 月まで TOP 0.3869/kWh であったものが、最大で 2015 年 3 月の TOP 0.5596/kWh まで上昇している。燃料料金は、トンガ電力公社が購入するディーゼル油の単価が改定される度に再計算が行われ、最新の燃料単価をベースに今後 6 ヶ月間の燃料料金収入と燃料購入費用をシミュレーションし、両者がバランスするよう燃料料金が調整される。図 2-4 に、2002 年から現時点までの電気料金の推移を示す (2008 年以降は燃料料金と非燃料料金を併記)。



出典：TPL 資料より調査団作成

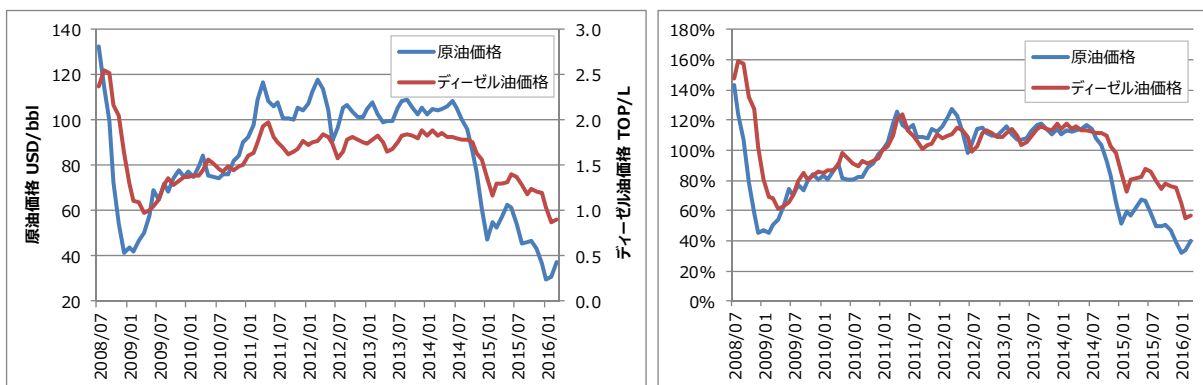
図 2-4 TPL 電力会社の電気料金の推移

表 2-7 に 2016 年のトンガ電力会社の電気料金を、図 2-5 にトンガ電力会社が購入するディーゼル油単価と原油価格の推移を示す。電気料金については基本料金 (7.70TOP) を含む従量制であり、11kWh を超える電気使用量については一律 0.6999TOP/kWh となっている。また、使用者による電気料金の区別はなく、トンガ電力会社が電力供給している 4 島 (トンガタブ、ババウ、ハアパイ及びエウア) の電気料金は全て同じである。トンガ電力会社が購入するディーゼル油は税金が免除され、更に市場価格に対して 0.06TOP/l の割引が適用されている。

表 2-7 2016 年のトンガ電力会社の電気料金

従量料金	単位	1月	2月	3月	4月	5月	6月
0-11kWh	TOP	8.65	8.65	7.70	7.70	7.70	7.70
11kWh-200kWh	TOP/kWh	0.7868	0.7868	0.6999	0.6999	0.6999	0.6999
200kWh-	TOP/kWh	0.7868	0.7868	0.6999	0.6999	0.6999	0.6999

出典：TPL 資料より調査団作成



出典：TPL 資料より調査団作成

図 2-5 TPL のディーゼル油購入単価と原油価格の推移 (左) と 2011 年を 100%とした割合 (右)

ディーゼル油単価と原油価格の価格変動に関し、原油価格の上昇時にはディーゼル油単価も追従し同様に上昇するが、原油価格の下降時はディーゼル油価格が遅れて下降を始める傾向があり、2016 年時点で原油価格が 2011 年の約 40%程度まで値を下げているのに対し、ディーゼル油価格は 60%程度に留まっている。

2-1-3 技術水準

本協力対象事業で調達される風力発電設備、蓄電設備等の運転・維持管理を担当するのは、トンガ電力公社の発電施設部である。トンガ電力公社は 2008 年に設立されたが、その前身である Shoreline Power において発電設備の運転・維持管理に従事した要員がトンガ電力公社に引き継がれている。トンガ電力公社の発電施設部には、「ニ」国出身の発電施設部長をはじめ、「ニ」国やオーストラリアの大学を卒業した技術者が在籍し、発電施設の運転、維持管理に係る技術レベルは比較的高い。系統接続の太陽光発電が導入されてからは、主に電力消費量が少なくなる日曜において、ベースロード電源であるディーゼル発電の出力抑制と、常時変化する太陽光発電の出力特性から、発電の制御が間に合わず、時折停電が発生するなどの問題が発生している。しかし、それ以外では既設のディーゼル発電機、太陽光発電施設の運転・維持管理を問題なく行っており、時折、単純ミスによる停電は発生するものの、大きなトラブルは発生していない。ディーゼル発電機については、エンジンの潤滑油交換やオーバーホールの周期を厳密に守っており、計画的な維持管理が行われている。

「ト」国では、2012 年 7 月に既設ポプア発電所内で 1.3MW の太陽光発電設備、2015 年 3 月には本邦無償資金協力で整備されたバイニ地区の太陽光発電（1.0MW）及び蓄電設備を含むマイクログリッドシステムが運転を開始し、トンガ電力公社の発電部門が両施設の運転・維持管理を行っている。このため、トンガ電力公社は太陽光発電、マイクログリッドシステムを含む電力施設の運転・維持管理技術をある程度習得しているが（マイクログリッドシステムについては、設備の導入を担当した富士電機(株)が発電記録等のデータを管理している）、上述の 1.3MW の太陽光発電設備に関してトンガ電力公社は、当設備の建設を担当したニュージーランドの Meridian Energy 社との間で Asset Management Contract を締結し、同設備の保証期間を 2017 年まで延長している。本協力対象事業で導入する風力発電施設は、トンガ電力公社にとって系統に接続する初めての風力発電設備となるため、既存施設同様、瑕疵担保期間終了後の保証についても考慮することが望ましいと考える。

上述の通り、トンガ電力公社の技術水準は比較的高いため、保証期間の延長を基に、本協力対象事業の初期操作・運用操作指導、並びにソフトコンポーネントによる運転・維持管理技術の移転を行うことにより、本協力対象事業で調達される機材の運転・維持管理は問題なく行われるものと判断する。ただし、メーカーが指定する時期に交換が必要となる部品もあり、適切な時期に部品を更新するために、メーカーとのメンテナンス契約によりメーカーが遠隔にて施設の状態を監視する体制を構築することも重要である。

2-1-4 既存施設・機材

2-1-4-1 電源設備

トンガタブ島では、ポプア発電所のディーゼル発電設備、ポプア発電所に隣接する太陽光発電設備（Maama Mai 発電所）、そして日本無償資金協力によりバイニ地区に整備された太陽光発電設備（Mata 'o e La'a 発電所）から、マイクログリッドシステムを通じてトンガタブ島内全域へ 11kV の高圧送電線にて電力供給が行われている。この他、11kW の風力発電設備、住宅用のソーラーホームシステム（SHS）がトンガタブ島では導入されているものの、風力発電設備は既存の低圧配電線に接続されていること、SHS は既存の電力系統に接続されていないことから、本件の検討対象から

除外する。表に 11kV の高圧送電線に接続されているトンガタブ島の電源構成概要を示す。

表 2-8 トンガタブ島の電源構成概要

発電設備	設置場所	通称	台数	設備容量 (kW)			
				ディーゼル		太陽光	計
				単機	合計		
ディーゼル発電機	Popua発電所	CAT (G1~G6)	6	1,400	8,400	---	8,400
		MAK (G7, G8)	2	2,880	5,760	---	5,760
太陽光発電設備	Popua発電所	Maama Mai	---	---	---	1,300	1,300
	Vaini発電所	Mata 'o e La 'a	---	---	---	1,000	1,000
設備容量計	---	---	---	---	14,160	2,300	16,460

出典：調査団作成

(1) ポプア発電所 (ディーゼル発電)

1) ディーゼル発電機と制御シーケンス

ポプア発電所には、No.1 建屋に設備容量 1,400 kW のディーゼル発電機 (CAT) が 6 台、No.2 建屋に 2,880 kW のディーゼル発電機 (MAK) が 2 台設置されている。

CAT 及び MAK は程度の良い中古機であり、一部の CAT においては老朽化に伴う不安定な挙動を示すことがあるものの、TPL は常に発電機の状況を管理し、定期的なメンテナンスのもと、状態良く発電機を運転している。発電機の整備方法としては、定期的に発電機を分解し、部品費用をメーカーと折半のうえ、必要な部品を新品に交換することで対応している。

表 2-9 ディーゼル発電機の概要

ポプア発電所 建屋No.	ディーゼル 発電機	回転数 (rpm)	台数	設備容量 (kW)		調速機 制御モード	備考
				単機	小計		
No.1	Caterpillar 社製 3516B	1,500	6	1,400	8,400	アイソクロナス	使用電力量に応じて運転台数を随時変化させて運転している
No.2	MaK 社製 6CM32C	600	1	2,880	2,880	ベースロード	熱効率が高いため、ベース負荷発電設備として一定運転している
	MaK 社製 6CM32C	600	1	2,880	2,880	ベースロード	2014年12月に導入
計	---	---	---	---	14,160	---	2014年に追加発電機が導入されるまでは、総定格出力11.28MWであった

出典：調査団作成

No.1 建屋の CAT : 6 台は、運転台数制御で、個々の負荷率が 65%~85% 内で運用されており、負荷追従変動に対応する運転を担っている。高速ディーゼル発電機である CAT は、中速ディーゼル発電機である No.2 建屋の MAK : 2 台の最適効率 (負荷率範囲 : 65%~85%) が維持できるよう、運転中の MAK の発電機負荷率を 15 分毎に手計算で把握しながら適正な範囲に保ちつつ、需要電力の増減に応じて CAT の運転台数を集中制御室で手動制御している。なお、MAK の 2 台目は 2014 年に設置工事が開始され、同年 10 月から試験運転を開始し、同年 12 月からベースロード制御運転に移行している。

2016 年現在の運転台数制御シーケンスは、電力需要が増加 (減少) し、運転中の MAK の負荷率 85% (65%) に達した際に、停止中 (運転中) の CAT に手動で追加起動信号を発信し、需要に応じて 1 台ずつ追加稼働 (運転停止) させている (図 2-6)。

トンガタブ島には大規模な産業機器を導入している大口需要家が存在しないため、上記のシーケンスによる追機に数分を要しても、負荷分担運転中の発電設備は負荷率の高警報 95% に達する前に

追機が完了している。

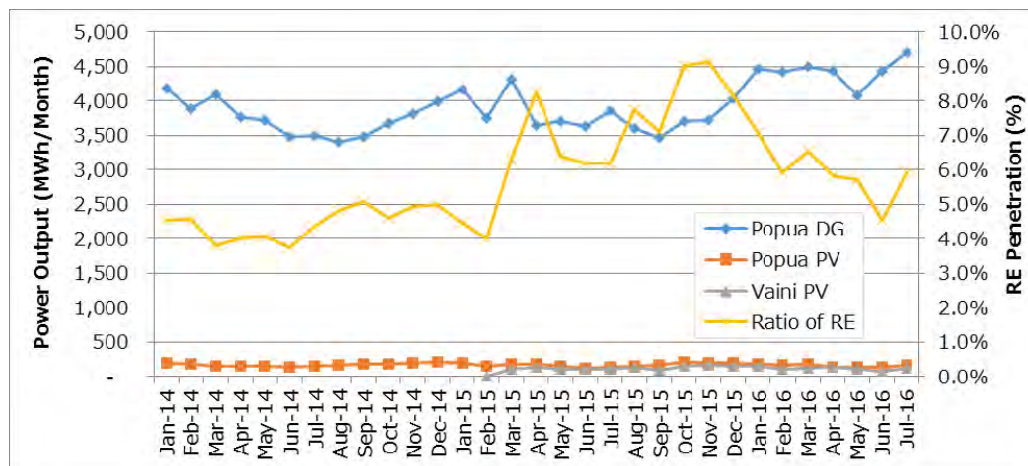
追機シーケンス			停止シーケンス		
時間	条件	動作	時間	条件	動作
0秒	発電設備の負荷が85%に到達	追機起動信号の発信 (5秒程度起動)	180秒	負荷分担運転の停止	
	追機起動信号の受信	自動負荷制御運転の開始 (負荷増加速度：5%/sec)		余剰発電設備の出力が 50 kW まで低下	発電機遮断器の解列
60秒	追機発電設備の出力が 500 kW に到達	暖気のため一定出力運転		余剰停止信号の受信	自動負荷制御運転の開始 (負荷低減速度：5%/sec)
	追機設備の暖気運転完了	自動負荷制御運転の継続 (負荷増加速度：5%/sec)	0秒	発電設備の負荷が65%に低下	余剰停止信号の発信
180秒	負荷分担運転の開始				

出典：調査団作成

図 2-6 ディーゼル発電機の運転制御

2) 年間の発電出力変動

2014年1月以降の、トンガタブ島の各発電施設の発電出力（ディーゼル発電、太陽光発電）及び太陽光発電の全発電出力に占める割合の推移を以下に示す。

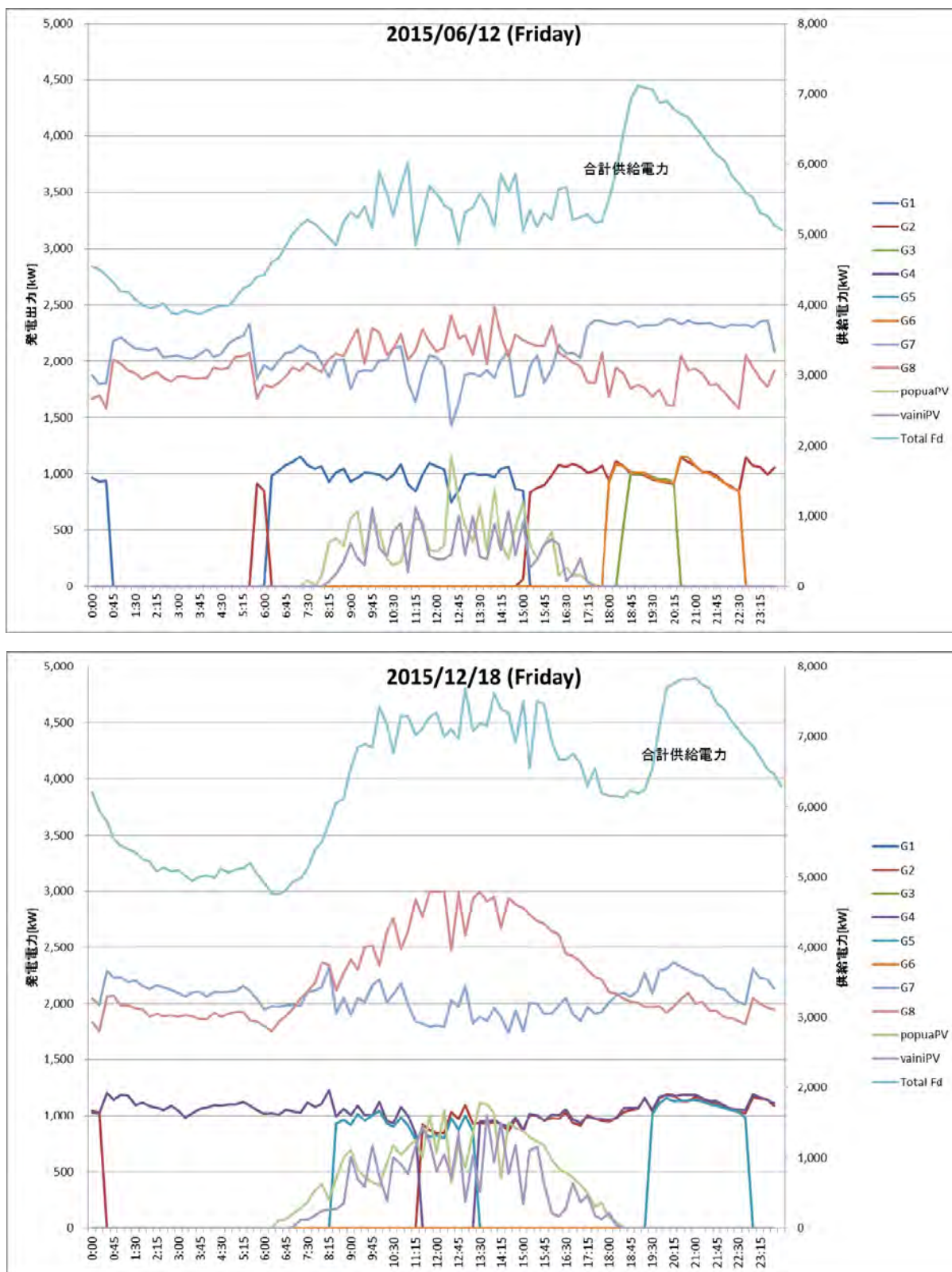


出典：TPL 資料より調査団作成

図 2-7 発電施設ごとの発電出力推移と再生可能エネルギーの割合

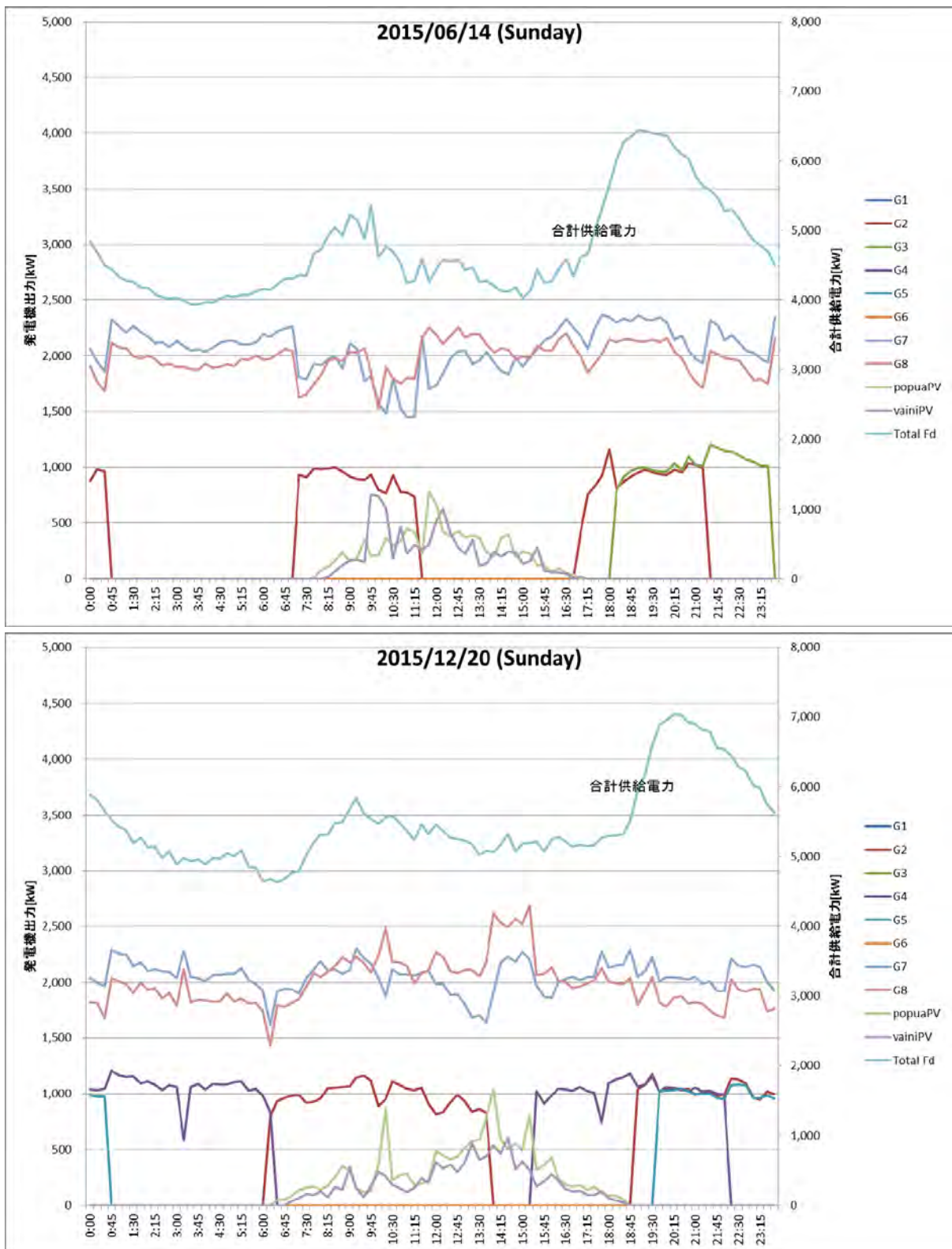
ディーゼル発電の月当たり発電量は季節により変化し、冬場の約 3500MWh/月から、夏場の約 4,500MWh/月の間で変動している。太陽光発電の発電量は、季節により発電量の差があるものの、ディーゼル発電に比べ変化は少ない。冬場は夏場に比べて需要電力が少ないため、ディーゼル発電の出力が下がり、相対的に太陽光発電出力の割合が大きくなり、これまでの実績では月当たり換算で最大約 9%の発電を太陽光が担っている。

以下に、ポプア発電所の SCADA ログデータから、冬場と夏場の平日および日曜日の供給電力と各ディーゼル発電機および各太陽光発電の 15 分毎の発電出力の変化を示す。



出典：TPLの記録データより調査団が作成

図 2-8 平日の供給電力及び各発電出力（平日、上図：冬場、下図：夏場）



出典：TPLの記録データより調査団が作成

図 2-9 休日の供給電力及び各発電出力（平日、上図：冬場、下図：夏場）

上図は、ベースロード電源である MAK (G7, G8) 2 基、ポプア発電所および Vaini 発電所の太陽光発電施設が全て稼働し、CAT (G1~G6) が必要に応じて運転台数制御を行っている状態であり、施設のメンテナンスや故障等でいずれの電源も停止していない通常運転時の記録である。

冬場の平日および休日は、電力需要が少ないことから午前1時から6時頃まではCATが全て停止しており、この時間帯の電力需要の変動に対してはMAKの調整力のみで電力が供給されている。その後、午前6時頃から電力需要の増加と共に、CATが電力需要に応じて順次稼働を開始している。

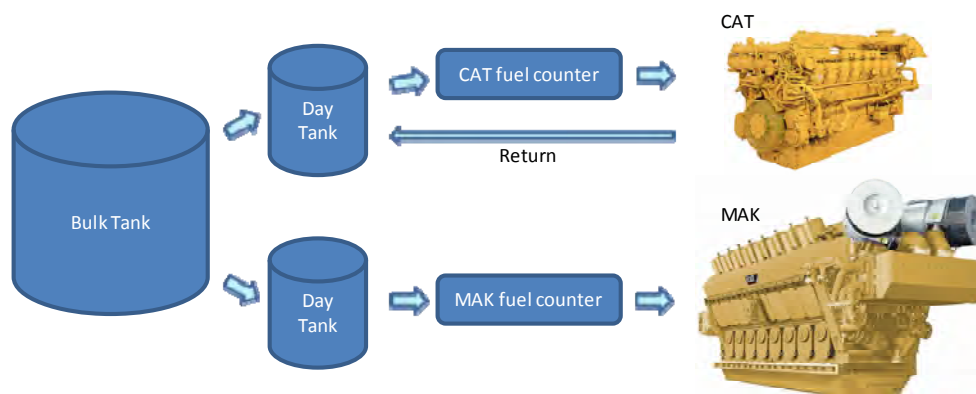
ただし、休日は平日に比べて電力需要が少ないため、太陽光発電設備からの出力電力の上昇に伴いMAKの負荷率が65%以下となる。この場合、MAKの発電出力が1,500kWを下回った段階で稼働中のCATを停止させ、MAKの負荷率を上げて運転している。このように、太陽光発電の出力電力変動および需要の変動に対しては、MAKの調整力のみで対応している。過去の出力変動を確認すると、MAKは1台あたり15分間で最大約500kWの出力変動の許容幅がある。すなわち、MAK2台で約1,000kWの調整力を有している。

夏場の平日および休日は、1日と通じてMAK2台分の発電電力を超える電力需要があるため、CATにて電力を補っている。また、運転するCATの台数が同じでも、メンテナンスや発電機の寿命を考慮し、それぞれの発電機の運転負荷を分散させ、時間毎に他のCATに切り替えて運転している。

3) 発電機の燃料消費量

2種の発電機（CAT：6台、MAK：2台）は、ディーゼルエンジンへの燃料供給方式が異なる。CATの燃料供給はユニットインジェクタ方式であり、Day Tankから低圧ポンプによって供給された燃料が、低圧配管を通して各シリンダ上部にある噴射器でカムを介し高圧にされた後、燃料噴射を行う。この過程で、低圧配管にはカムのタイミングにより使用されなかった燃料が幾分残るため、残った燃料が下図の通り、Day Tankに戻される。しかし、CATのFuel Counterは供給側の配管にしがなく、戻された燃料の量は目視で残量を確認して換算する必要があり、正確な燃料消費量が確認出来ない。

一方、MAKの燃料噴射方式はコモンレール式であり、Day Tankから高圧ポンプ（サプライポンプ）によって供給された燃料が、高圧配管を通して各シリンダ上部にある電磁式インジェクタによって噴射される。サプライポンプから供給された燃料がDay Tankに戻る経路が存在しないことから、Fuel Counterが表示した数値により、燃料消費量が正しく記録される。



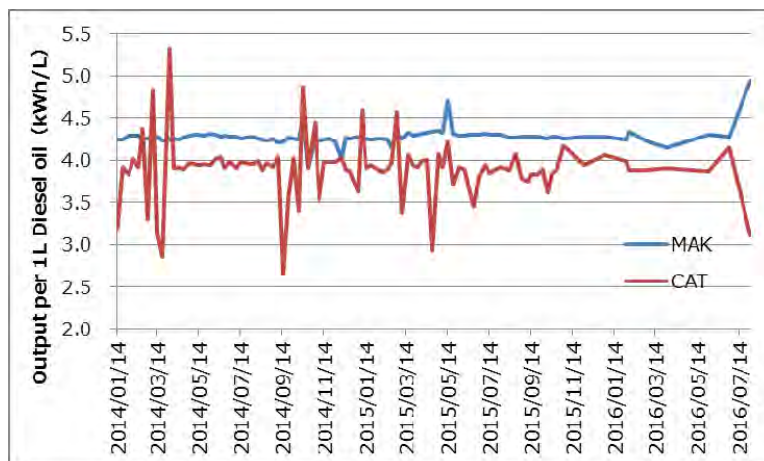
出典：調査団作成

図 2-10 CATとMAKの燃料供給と使用量の管理

TPLは燃料消費量や発電量の積算量をBulk Tankへの給油量と共に記録している。それら基礎データから、CAT、MAKそれぞれの燃料1Lあたりの発電量（燃費）を以下のとおり算出した。

Bulk Tankへの給油およびBulk Tank内残量から計算される全燃料消費量から、正しく記録されたMAKへの燃料供給量を差し引いた残りを、CATへの燃料供給量とする。このCAT、MAKへの燃料

供給量を燃料消費量とし、発電量と併せて 1L あたりの平均発電量（平均燃費）を算出した結果を下図に示す。



出典：TPL の記録データより調査団が作成

図 2-11 CATとMAKの平均燃費

CAT の 1L あたりの発電量にバラツキが見られるのは、Bunk Tank 内残量の正確な値が確認出来ないことが要因と考えられるが、平均化することでその誤差を補えるとする。その結果、既存 CAT および MAK の 1L あたりの発電量は、3.979kWh/L (CAT)、4.374kWh/L (MAK) となる。

4) 既存ディーゼル発電機の更新

既存のディーゼル発電機は、MAK、CAT 共に程度の良い中古機を導入している。このうち、CAT については導入後 17~18 年を経過していることから、2020 年に向けて順次更新することが計画されている。しかし、CAT の 2 台については下表の通り、2016 年に更新予定となっており、TPL で更新の検討はされているものの、具体的な更新時期については確定していない。

また、現時点では基本的に 2 台の 1,400kW の CAT を 2,200kW の CAT1 台に更新する計画であるが、更新費用の増大を懸念して TPL は、①計画通り 2,200kW の CAT への更新、②既存と同型である 1,400kW の CAT への更新、③既存 CAT の主要部品の交換による継続使用、の三案で比較しているものの、いずれで対応するか最終確定がされていない。

表 2-10 ディーゼル発電機の更新計画

Diesel Generator		Installed Year	Installed Capacity (kW)	Year						
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CAT 1	Caterpillar (3516B)-1	1998	1,400	1,400	1,400	Retire				
CAT 2	Caterpillar (3516B)-2	1998	1,400	1,400	1,400	Retire				
CAT 3	Caterpillar (3516B)-3	1998	1,400	1,400	1,400	1,400	Retire			
CAT 4	Caterpillar (3516B)-4	1998	1,400	1,400	1,400	1,400	Retire			
CAT 5	Caterpillar (3516B)-5	1998	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	Retire		
CAT 6	Caterpillar (3516B)-6	1999	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	Retire
MAK 7	MaK (6CM32C)-1	2005	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880
MAK 8	MaK (6CM32C)-2	2014	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880
---	Caterpillar (C175)-1	2016(Plan)	2,200			2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
---	Caterpillar (C175)-2	2018(Plan)	2,200					2,200	2,200	2,200
---	Caterpillar (C175)-3	2020(Plan)	2,200							2,200
Total Power (kW)				14,160	14,160	13,560	10,760	11,560	11,560	12,360

出典：TPL への聞き取りにより調査団が作成

(2) Maama Mai 発電所（太陽光発電：ポプア PV 発電所）

2012年7月にポプア発電所敷地内に、「ニ」国の支援によって整備された。年間およそ 2,050 MWh を発電しており、481,000 kL/年のディーゼル燃料の削減に貢献している。発電量は、離島を含むトンガ国内全体の発電量の約 3.1%である。

Maama Mai 発電所からの出力は、ポプア発電所の集中制御室内にある SCADA でモニタリングしており、日中に急激な発電出力の増減が生じた場合は、稼働中の CAT の力率計を目視確認する。そして力率が 90%に低下した際には、稼働中の CAT 及び MAK の負荷率を即座に計算し、MAK の負荷率が 65~85%の範囲を逸脱する恐れがある場合に、CAT、MAK の起動・停止を行い、最適な発電効率とシステムの安定を保つようにしている。

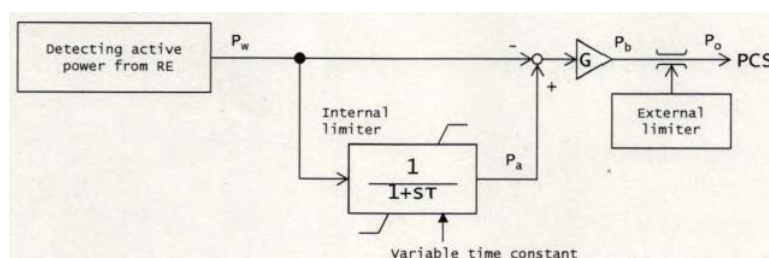
(3) Mata 'o e La'a 発電所（太陽光発電：Vaini PV 発電所）

2015年3月に我が国の無償資金協力により、1.0MW の太陽光発電施設が、マイクログリッドシステム¹の整備と共にバイニ地区に建設された。マイクログリッドシステムとしては、系統安定化設備としてリチウムイオンキャパシタが整備され、鉄骨構造の蓄電設備棟に格納されている。

この Vaini PV の運転状況は、ポプア発電所内の集中制御室でも閲覧可能であるものの、従来からある SCADA システム（米国製）との統合がなされていないため、あまり活用されていない。ただし、当発電所は系統安定化設備を備えたマイクログリッドシステムの一部として整備されたことから、特に短周期の電力変動をリチウムイオンキャパシタの充放電能力により最小限に抑えており、短周期の変動に対して管理せずとも良い状況で運用されている。

2-1-4-2 系統安定化設備

先の本邦無償資金協力により供与された系統安定化設備とマイクログリッドシステムであるが、導入された出力変動補償制御は、太陽光発電の出力変動を可変時定数フィルタにより検出し、蓄電デバイス用 PCS に出力指令値として与えることで、再生可能エネルギー発電と蓄電デバイスの合成出力を既定の変化速度以内に収まるようにし制御する方法である。

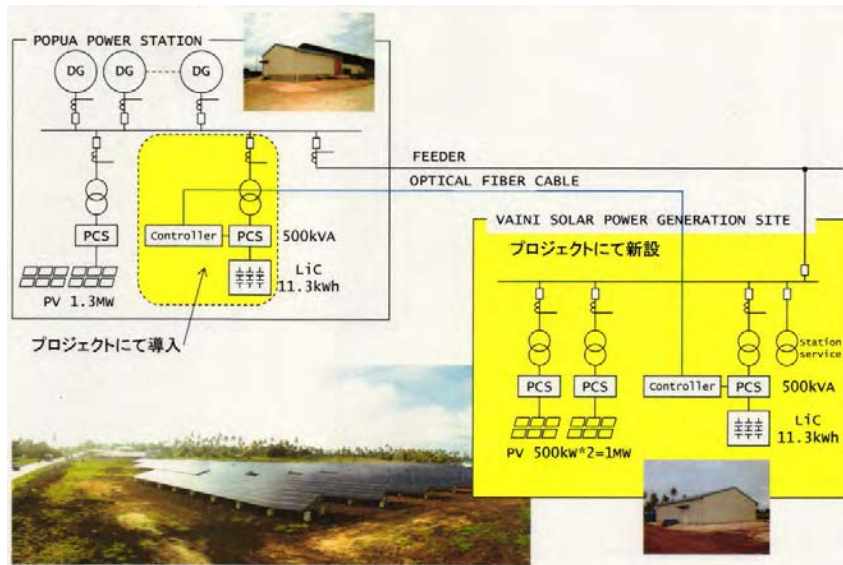


出典：TPL

図 2-12 制御ロジック

マイクログリッドシステムの系統安定化設備は、ポプア PV 発電所および Vaini PV 発電所に設置されており、共に PCS 定格出力 500kVA、蓄電装置容量 11.3kWh、蓄電装置としてリチウムイオン・キャパシタを採用している。キャパシタの特性上、急速充放電が可能で放電深度に制限がないため、蓄電装置の充放電能力を約 80%まで使用し、短周期（1分）の時間軸で出力変動補償をしている。

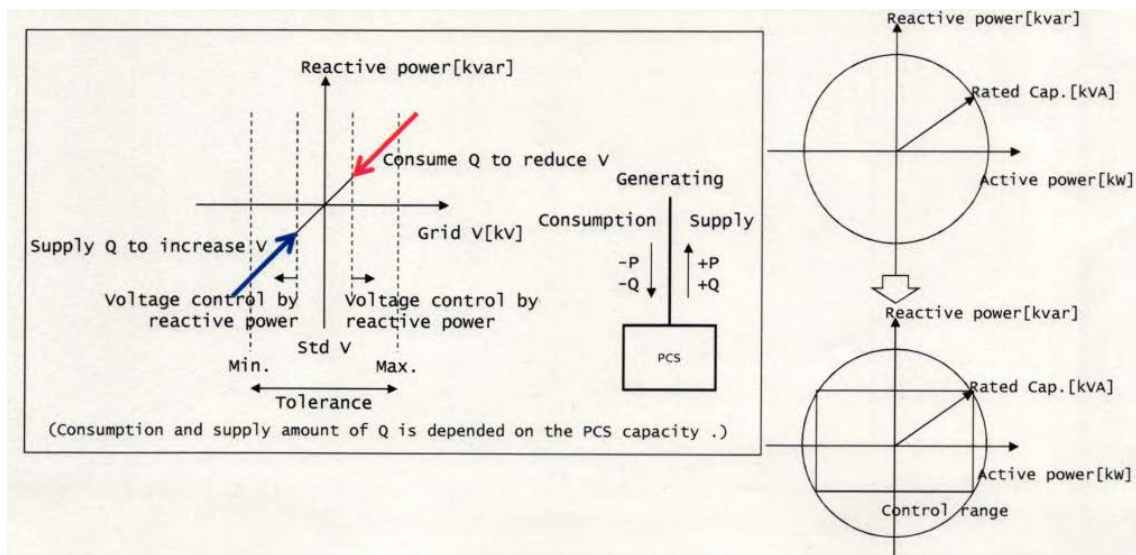
¹ 系統における従来のディーゼル発電機に加えて、再生可能エネルギー発電等の分散電源および蓄電システムとコントローラを追加してグリッド制御を行うシステムであり、電力需要に応じ蓄電装置の充放電によって電力システムの安定化を行う。



出典：TPL の資料を基に調査団が作成

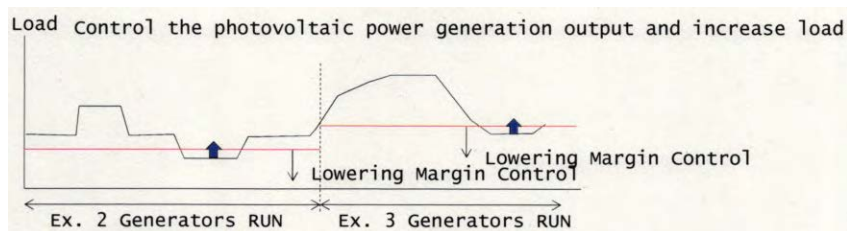
図 2-13 マイクログリッドシステム単線結線図

また、この系統安定化設備の PCS は有効電力とは独立して無効電力の制御を行うことが可能であり、電圧－無効電力の特性によって、電圧変動を無効電力の制御によって抑制することができる電圧補償機能の他に、ディーゼル発電機の状態と系統の負荷の状態を監視し、あらかじめ定めた最低負荷以下となった場合には、Vaini PV 発電所の出力を抑制し、ディーゼル発電機の供給率を高めることで、ディーゼル発電機の軽負荷運転を防止する下げ代制御機能を有している。



出典：TPL

図 2-14 電圧補償機能



出典：TPL

図 2-15 下げ代補償機能

2-1-4-3 送配電設備（11kV、400V）

(1) 現状の送配電系統

トンガタブ島の送電系統の電圧は 11kV で、島内を 3 系統に分割して送電されている。下図に示す通り、島の西側に電力を送電する Nuk1 系統、島の中央となる市街地へ送電する Nuk2 系統、島の南部及び東部への送電となる Vaini 系統からなっており、通常は各系統の末端は解列されている、いわゆる「くし形」系統である。系統事故等の電力送電のバックアップとして、各系統は手動で接続できるよう ABS（気中開閉器）もしくは GCB（SF6 ガス遮断器）を有している。ポプア発電所から Nuk1 と Nuk2 への送電線の一部は共有線となっているものの、許容電流が大きい電線を使用しており、今のところ問題は起きていない。



出典：TPL

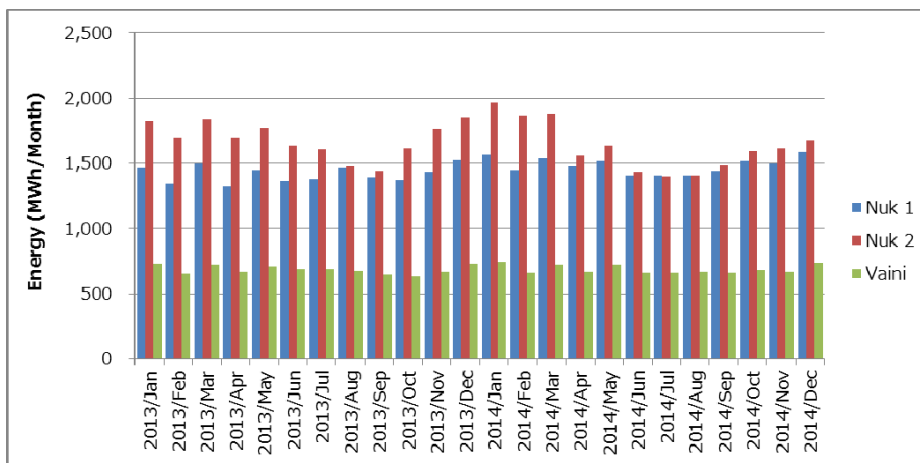
図 2-16 トンガタブ島の送電系統図（現状）

(2) 送配電系統の増強

現在、トンガタブ島内では様々な再生可能エネルギーの導入が検討されており、Vaini 系統では我

が国が導入した太陽光発電（1.0MW、マイクログリッドシステム含む）の他に、本協力対象事業の風力発電設備 1.3MW や「ニ」国の風力発電設備などが計画されている。また、中国企業による 2MW の太陽光発電施設も計画されている。

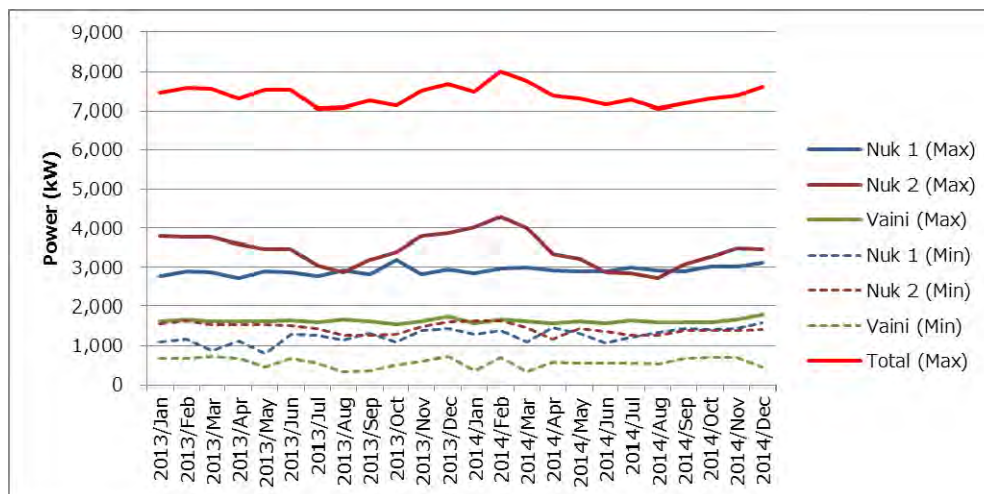
下図は各系統の月当たり電力供給量であるが、Nuk1 系統の年間電力供給量は 2013 年が約 17,000MWh/年から 2014 年が約 17,800MWh/年と 800MWh/年の増加があったのに対し、Vaini 系統の年間電力供給量は 2013 年が約 8,200MWh/年から 2014 年が約 8,240MWh/年と 40MWh/年の増加のみでほぼ横ばいであった。さらに Vaini 系統の電力供給量は Nuk1 系統と比較して 2 分の 1 以下となっており、Vaini 系統の電力需要は他の系統に比べて少ない。



出典：TPL の記録データより調査団が作成

図 2-17 各送電系統の電力供給量

また、下図に示すように、2014 年の Vaini 系統への最大供給電力は 12 月に約 1,800kW を記録するものの、通年では約 1,600kW 程度である。現状の送配電系統から考慮すると、Vaini 系統で導入可能な発電施設の設備容量は、既存のマイクログリッドシステム（太陽光発電）を除き約 600kW 程度である。



出典：TPL の記録データより調査団が作成

図 2-18 各送電系統の供給電力

そこで TPL は、再生可能エネルギーの導入拡大を可能にするため、各系統の電力需給ギャップを調整するため、下図に示す 3 箇所の系統の増強工事を 2017 年 6 月までに終了させる予定である。

増強の概要は大枠として2種類あり、それらの増強ラインを下図に示す。

まず、既存の Nuk1 系統のうち市街地西側部分の送電線を切り離すと共に、Nuk1 系統の市街地西側エリアへ直接送電するラインを確保し（増強1箇所目（図中①）、Nuk2 系統の南西部側と Nuk1 系統を結ぶラインを確保すること（増強2箇所目（図中②）、および Nuk2 の西側と接している Nuk1 の開閉器の一部を操作することで、Nuk1 の大半の系統および Nuk2 系統をループ化（リング化：Ring 1）する。

次に、Vaini 系統は現在の所、Popua 発電所より海底ケーブルによって送電されており、その海底ケーブルから南側に位置し、現在西南方向に敷設されている送電線と平行したラインを確保すること（増強3箇所目（図中③）、既存の Nuk1 から切り離された市街地部分の送電線と Nuk1 系統と Vaini 系統が接する開閉器の一部を操作することで、Nuk1 の市街地部分の系統および Vaini 系統をループ化（リング化：Ring 2）する。



出典：TPL

図 2-19 トンガタブ島の増強ポイントおよび再生可能エネルギー発電施設の導入計画

既述の通り、Nuk1 系統は近年電力需要が増大する傾向にあり、それに伴って供給電力も上昇している。これは市街地部分の電力需要の増加に起因しており、Nuk1 の市街地部分の系統を Vaini 系統とループ化することにより、Vaini 系統に連系予定の再生可能エネルギー発電設備の設備容量を大幅に増加させることが可能になるからである。

上記の増強ラインの敷設および開閉器の操作によってトンガタブ島の電力の送電系統は2つのループ系統（リング系統）で運用されることになる。下図の青線で描かれた系統・Ring 1 を Western Ring、赤色で描かれた系統・Ring 2 を Eastern Ring と TPL では称している。



出典：TPL

図 2-20 トングタプ島のループ系統（リング系統）計画図

2-1-5 トンガ電力公社の将来計画

(1) 2020 年に向けた再生可能エネルギー開発

2020 年での再生可能エネルギーの割合を 50%にすることを目指し、TPL は以下の電源開発計画を立てている。これまで、再生可能エネルギーとして太陽光発電、風力発電に加え、バイオガス発電も計画に入れていたものの、「ト」国、ドナー各国からの資金調達の目途が立っておらず、計画から除外されている。その分を主に太陽光発電で補完する計画となっており、最終的な再生可能エネルギーによる発電出力は、太陽光発電が 9.3MW、風力発電が 6.6MW となっている。

また、今後増加する再生可能エネルギーに対し、再生可能エネルギーの出力変動によるディーゼル発電機の負担軽減と、無駄のないエネルギー利用と再生可能エネルギーの安定供給を目的として、2019 年には 3MW（18MWh）の蓄電設備も導入する計画となっている。

表 2-11 再生可能エネルギーの開発計画

Road to 50% RE Penetration							
Case	Plant Involved	Incremental Peak kW	Year Built	Accumulated Peak Output (kW)	Annual Energy Output (MWh)	Accumulated Energy (MWh)	Net Penetration (%)
1	Maama Mai (PV)	1,332	2012	1,332	2,100	2,100	4%
2	La'a Lahi (Vavau Solar) (PV)	420	2013	1,752	662	2,763	5%
3	Case 2 + Vaini PV	1,000	2015	2,752	1,577	4,339	8%
4	Case 3 + 320KW SDG PV	320	2012	3,072	505	4,844	9%
5	Case 4 + 300KW (Police/Digicel) PV	300	2015	3,372	473	5,317	10%
6	Case 5 + 750KW OIREP PV (550KW Ha'apai + 200KW Eua)	750	2016	4,122	2,168	7,485	14%
7	Case 6 + 1.3MW IPP Solar PV	1,300	2016	5,422	2,050	9,535	17%
8	Case 7 + 2.2MW Wind	2,200	2017	7,622	6,360	15,895	29%
9	Case 8 + 2.2MW Wind	2,200	2017	9,822	6,360	22,254	35%
10	Case 9 + 3x1.3MW Solar PV	3,900	2019	13,722	6,150	28,404	41%
11	Case 10 + 2.2MW Wind	2,200	2019	15,922	6,360	34,764	52%
12	Case 11 + 3MW (18MWh) IPP Storage	3,000	2019	18,922	5,585	40,348	61%

出典：TPL (BUSINESS PLAN 2017 - 2020)

(2) 中国による売電を目的とした太陽光発電施設の設備 (Singyes Project)

現在、中国の民間業者により TPL への売電を目的とした太陽光発電施設の建設が計画されている。施設容量は 2.0MW であり、2017 年 2 月上旬に資機材の輸送が終了し、2017 年 2 月 1 日から 2017 年 6 月 12 日までの予定で建設されている。売電価格は今のところ 0.15USD/kWh であるが、蓄電設備の計画はされておらず、「ト」国は自国内での予算の確保、または他国援助による蓄電設備の設置を検討している。

系統としては Vaini 系統に接続されるが、蓄電設備が整備されない場合に、出力変動のある電力が直接送配電線網内に入力されることにより、トンガタブ島内の電圧が不安定となる可能性がある。我が国としても TPL に対し、蓄電設備の導入など系統を安定化させる対策を求めていく必要がある。

2-2 プロジェクトサイト及び周辺の状況

2-2-1 関連インフラの整備状況

(1) 港湾

トンガタブ島のヌクアロファ市に位置するヌクアロファ港が「ト」国における基幹貿易港であり、トンガ港湾公社 (Ports Authority Tonga: PAT) によって運営管理されている。ヌクアロファ港は、国際貨物や国内島嶼間輸送用大型船舶が使用する Queen Salote Wharf (クイーンサロテ埠頭)、国際旅客船が使用する Vuna Wharf (ブナ埠頭)、国内小型船舶が使用する Faua Wharf (ファウア埠頭) の 3 埠頭からなっており、本協力対象事業の資機材などは Queen Salote Wharf で陸揚げされる。なお、同埠頭には門型クレーンなどの陸からの陸揚げ設備がないため、資材の輸送にはクレーン付き貨物船が必要である。

(2) 輸送

日本または第三国から資機材を調達する場合、各国の主要港で船積みされ、コンテナ船にて Queen Salote Wharf まで海上輸送し、荷揚げ後、計画地まで内陸輸送される。日本からの海上輸送にはおよそ1ヵ月間を要する。Queen Salote Wharf から計画地までは約35kmであり、港での諸手続き（通常約2日間）を経て陸送される。

陸揚げ港から計画地までの全区間において、次項の通り片側1車線であることと、一部区間ではバイパスがないことから、輸送は一般車両に配慮した計画とする必要がある。

(3) 道路

ヌクアロファ市内の主用道路は、アスファルト舗装の片側1車線である。本協力対象事業の計画地はトンガタブ島内のニウトウア地区であり、陸揚げ港より約35kmの地点である。陸揚げ港よりニウトウアの集落までは、舗装道路が整備されている。しかしニウトウア集落から計画地までは、一部道路が整備されているものの、幅員が狭い区間があり、大型重機の進入が不可能な状況である。したがって、道路が整備されていない区間も含めてアクセス道路を整備する必要がある。

計画地周辺は「ト」国政府により土地区画が整理されており、上記の未舗装道路、道路が整備されていない区間も含め、土地区画に基づく道路整備計画（幅員7m）が将来行われることになっている。本協力対象事業のアクセス道路は、この道路整備計画に基づいた線形で行う必要がある。

(4) 水道設備

基本的に風力発電システムの共用時には水は使用しないが、建設時の水使用（コンクリート生産等）では、近隣にニウトウア集落が在り、水道設備を利用できることから、「ト」国側の責任に於いて、工事時に使用する水を確保すると同時に、業者が工事に必要な水を現地まで運搬することが可能である。

(5) 通信

本協力対象事業用地のあるトンガタブ島では、プリペイド式携帯電話サービスを扱う通信業者が2社あり、広く普及している。また、通信のほとんどが携帯電話で行われており、通信状況は比較的良い。また、携帯電話によるデータ通信も一般的であり、携帯電話によるインターネットサービスの利用も問題なく行える。

又、インターネットサービスを提供しているプロバイダーがヌクアロファ市に存在し、インターネットサービスを利用して、ダイヤルアップ、LAN、無線LANでの電子メールの送受信が可能である。

(6) 建設資機材及び施工業者

1) 建設資材

トンガタブ島では、レディーミクストコンクリートのプラントが4社ほどあり、建設工事で一般的に利用されている。コンクリート強度としては15、17.5、20、25、30、32、35、40kN/mm²が利用できる。サイトから近いプラントとしては、サイトから約17kmに1社あり、設備、品質共に問題なく、アジテータによりコンクリートが供給されることになる。セメントはフィジー産、ニュージーランド産のものを使用している。トンガタブ島が石灰岩が隆起して形成された島であることか

ら、コンクリート骨材は全て石灰岩である。骨材の粒度管理もされており、圧縮強度も確保できるため、コンクリート骨材として充分使用できる。

鉄筋はニュージーランド産、中国産のものが現地で調達可能であるが、中国産のものは品質にばらつきがあり、推奨できない。鉄骨は主にニュージーランドからの輸入に頼っており、「ト」国内で常備されておらず、現地での調達は不可能である。

2) 建設機械

建設機械に関しては、「ト」国建設業者が、バックホウ、トラック、ロードローラ、クレーン（ラフテレーンクレーン：25t）等の重機を保持している。本協力対象事業で調達する風車によっては、50t を超えるクレーンが必要となる可能性もあり、その場合は日本あるいは「ニ」国からの輸送を考慮する必要がある。

3) 建設業者

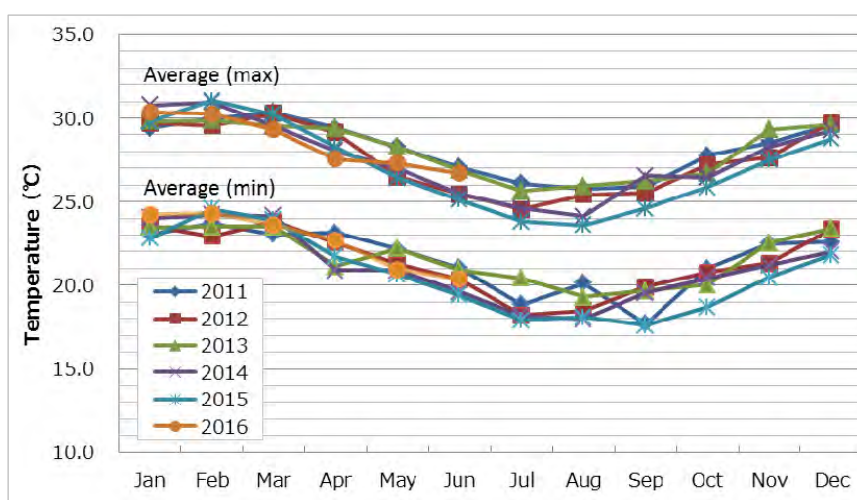
トンガタプ島には建設会社が複数社あり、「ト」国内の建設に従事している。「ニ」国の外資系建設会社や、我が国の無償資金協力「マイクログリッドシステム導入計画」及び「国内輸送船用埠頭改善計画」のサブコントラクターとして ODA 事業を経験している建設会社もあり、技術レベルに問題はない。

2-2-2 自然条件

(1) 気候

1) 気温

気温は12月から3月にかけてが最も高く、月最高気温平均が約30℃、月最低気温平均が約23℃である。その後、徐々に気温が下がり、7月から8月にかけてが最も気温が低くなる。月最高気温平均は25℃前後を保ち、月最低気温平均は約19℃と、20℃を下回るものの、年間を通じて、最高気温と最低気温の気温差は約6℃から7℃程度と安定している。

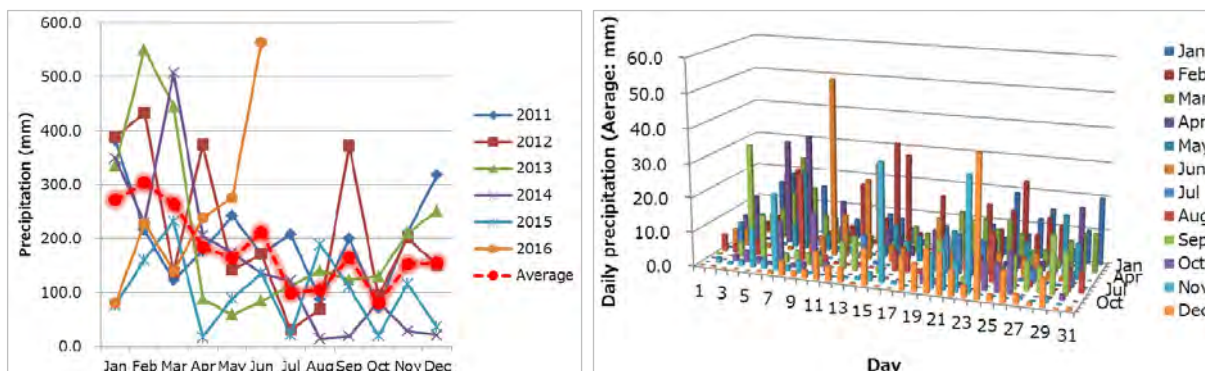


出典：気象局データより調査団作成

図 2-21 過去6年間（2011 Jan-2016 Jun）の月平均気温

2) 降水量

一般的に1月から3月にかけて降水量が多く（10mm/日を超える降水量が10日以上あるのは1～3月のみ）、7月から10月にかけて降雨が少ない傾向にあるが、2013年までは年間2,500mm程度あった降水量が、2014年は1,800mm程度まで減少し、2015年には年間降水量が1,200mmと、2014年までの平均年間降水量（約2,300mm）の約5割まで減少した。この傾向は2016年3月ほどまで続いたものの、その後は月平均降水量を上回り、2016年6月にはそれまでの月平均降水量の約4倍となる、約560mm/月の降水量を記録している。また、2016年8月においても、本来であれば1年のうち降水量の少ない時期ではあるが、連日に亘り雨が降り続けるなど、過去の傾向とは異なり、「ト」国ではエルニーニョの影響であると考えられている。

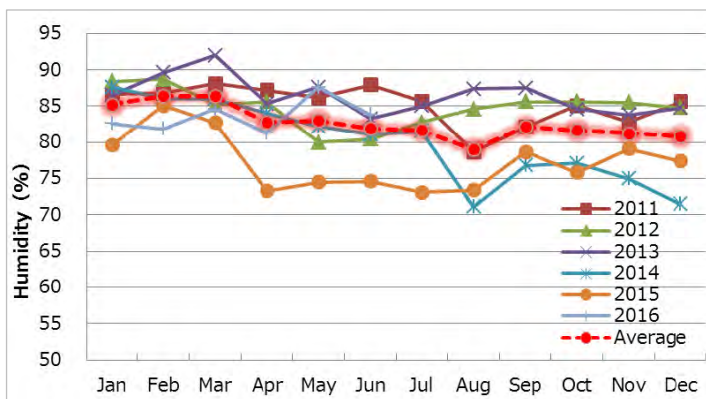


出典：気象局データより調査団作成

図 2-22 過去6年間（2011 Jan-2016 Jun）の月当り降水量（左図）と平均日当り降水量（右図）

3) 湿度

2014年の中ごろまでは、月の平均湿度はおよそ80～90%の間で推移していた。しかし、2014年後半から2015年にかけての降水量の減少に伴い、平均湿度も70%台に低下した。その後、2016年の降水量の回復及び増加により、再度80～90%を維持している。



出典：気象局データより調査団作成

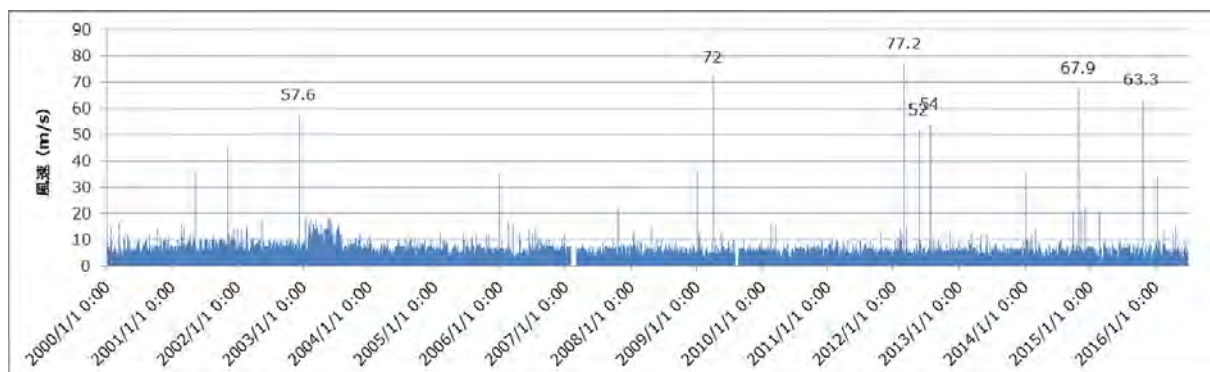
図 2-23 過去6年間（2011 Jan-2016 Jun）の月平均湿度

4) 風速

① トンガタブ島（空港内観測所）

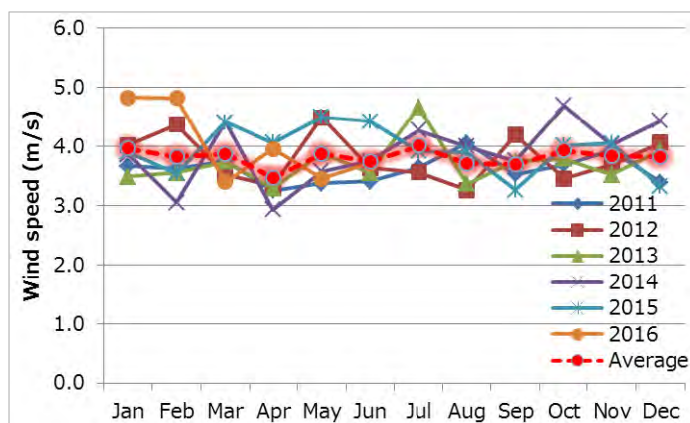
以下の風速データは、トンガタブ島南東部に位置する空港内の観測所のものである。午前1時か

ら午後 7 時まで 3 時間ごとに記録されており、連続した測定はしていないため、瞬間風速の把握は困難であるものの、過去に 70m/s を超える風速が 2 度記録されている。サイクロン等の強風時を除けば、年間を通じて約 3~5m の風速であり、安定している。



出典：気象局データより調査団作成

図 2-24 2000 年以降の風速の観測記録

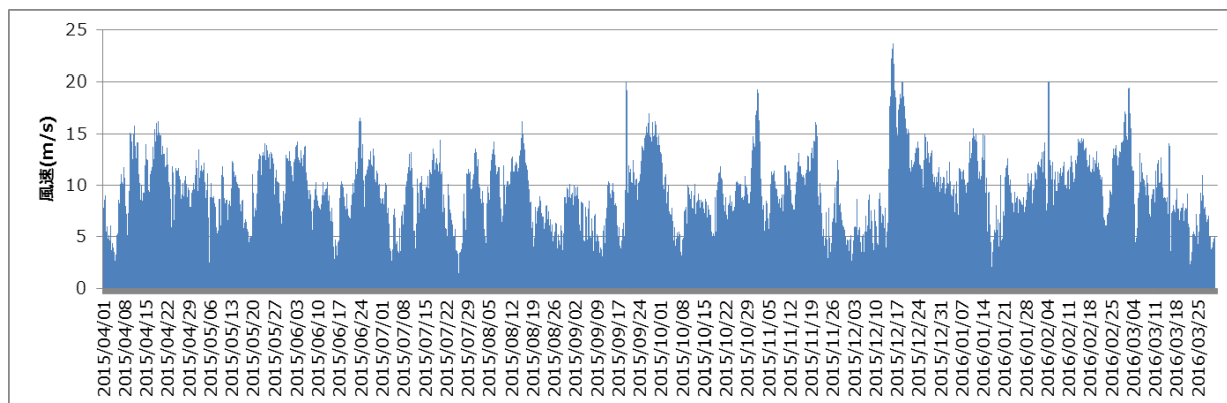


出典：気象局データより調査団作成

図 2-25 過去 6 年間（2011 Jan-2016 Jun）の月平均風速

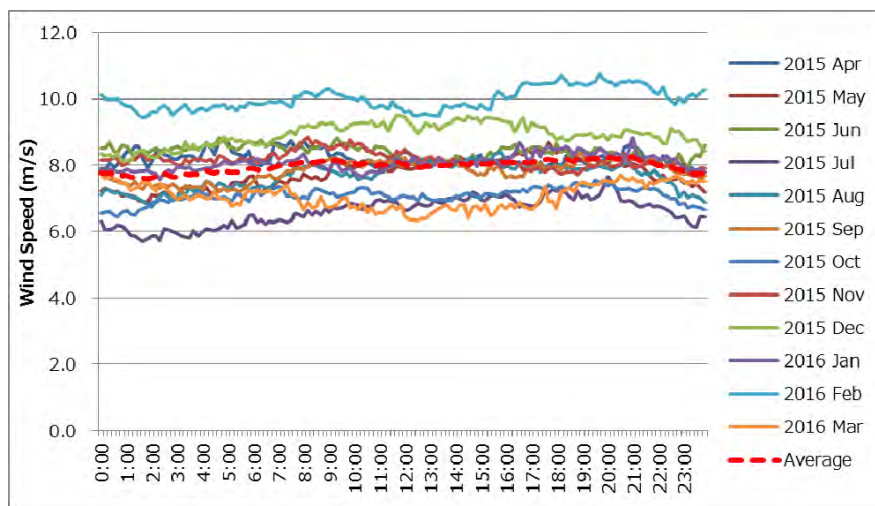
② トンガタブ島（ニウトウア）

トンガタブ島では、本件の風車設置予定地であるニウトウア地区で「ニ」国支援のもと、地上 40m 地点で風況調査が実施されている。以下にニウトウアの風況データを示す。



出典：TPL データより調査団作成

図 2-26 ニウトウアの風況データ（10 分ごと）



出典：TPL データより調査団作成

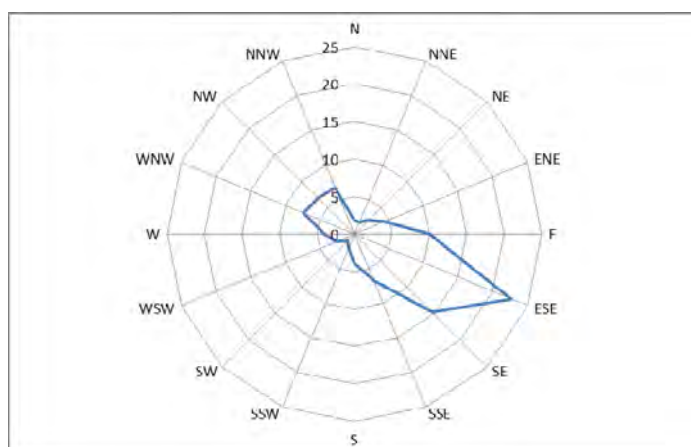
図 2-27 ニウトウア地区の月別平均風速（2015 April - 2016 March）

図 2-27 は月別の風速変化を時間ごとに表したものであるが、年間を通じて6~10m/sと安定しており、前述の空港での観測記録よりも4m/sほど風速が大きい。これは風車の設置予定地であるニウトウア地区が海に面しており、風向の大部分を海から陸に向う東南東の風が占めることと観測地点の標高の高さによるものであり、風速としては非常に条件が良い。

表 2-12 月別風向出現頻度

Month	Direction (%)																	Number of Data
	Calm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
Jan	0.54	1.75	3.09	3.09	4.17	16.13	54.30	10.75	1.21	1.34	0.81	0.13	0.00	0.27	0.40	0.94	1.08	744
Feb	0.00	0.72	0.14	0.57	1.15	11.93	52.73	22.27	4.89	1.58	0.43	0.43	1.58	0.29	0.43	0.29	0.57	696
Mar	4.70	0.00	1.61	2.96	10.89	25.40	35.89	10.35	2.82	1.88	0.81	0.94	0.94	0.40	0.40	0.00	0.00	744
Apr	0.28	2.22	1.67	3.89	7.22	9.58	18.19	22.50	17.92	5.56	4.86	1.53	1.67	1.11	0.83	0.28	0.69	720
May	0.00	1.75	2.15	3.36	6.18	7.39	20.56	28.63	15.05	8.47	0.67	0.94	1.21	1.61	0.27	0.81	0.94	744
Jun	0.00	0.14	5.14	4.03	3.47	5.97	22.50	28.61	15.69	9.17	4.31	0.42	0.14	0.14	0.14	0.00	0.14	720
Jul	0.40	0.54	1.21	4.30	6.72	12.23	16.94	15.59	9.68	8.06	10.62	6.72	3.63	1.48	0.94	0.54	0.40	744
Aug	0.13	7.66	1.48	1.21	0.94	4.84	11.16	28.23	12.10	9.95	1.88	0.40	0.40	0.13	0.13	0.67	18.68	744
Sep	0.00	3.75	0.14	0.42	0.14	4.17	2.78	2.78	1.53	0.56	0.56	0.42	2.64	4.17	21.11	21.94	32.92	720
Oct	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	11.02	24.19	28.49	24.73	9.54	744
Nov	0.00	0.00	0.28	3.47	4.58	5.97	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	7.64	10.83	28.33	24.44	9.86	720
Dec	0.13	3.36	3.49	3.76	6.18	15.46	34.54	7.53	0.13	0.13	0.00	1.34	4.03	6.59	7.80	5.51	744	
Jan-Dec	0.52	1.83	1.71	2.60	4.33	9.95	22.67	14.74	6.74	3.90	2.08	1.31	2.69	4.08	7.32	6.85	6.68	8784

出典：TPL の風況データより調査団作成



出典：TPL の風況データより調査団作成

図 2-28 年間風配図（2015 Apr-2016 Mar）

風向を確認すると東南東から南東に集中しており、年間を通じてほぼ一定の方向から風が吹いている。風速、風向とも非常に安定しており、風力発電に適している環境であることが確認できる。

(2) 地震

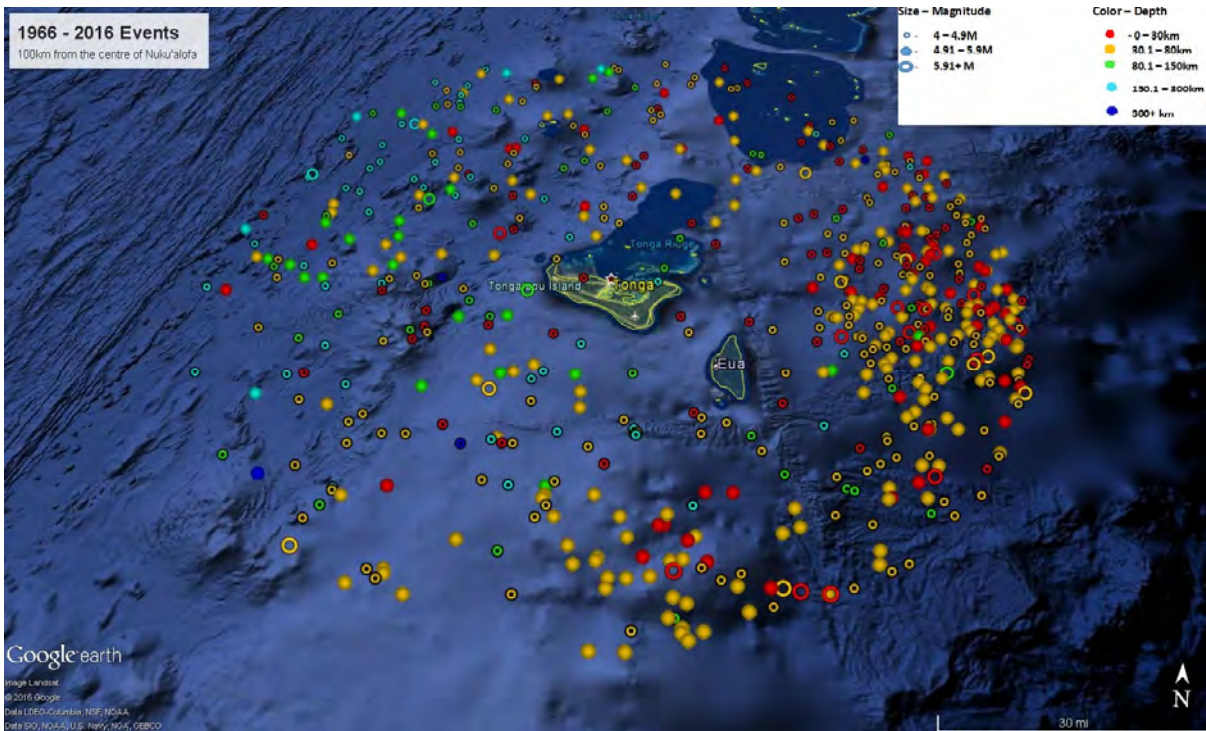
1) 過去の地震記録

トンガタプ島を中心とし、半径 100km 以内で発生した過去 50 年間の地震規模の内訳および発生地点、震源深さを以下に示す。マグニチュード 4 から 6 未満の規模の地震が大半を占めるが、数年おきにマグニチュード 6 以上の地震も発生している。震源としてはトンガタプ島の東側の割合が多く、大陸プレート境界となるトンガ海溝による影響と推測される。

表 2-13 半径 100km 以内で発生した地震の内訳 (1966-2016)

年	震度 (マグニチュード)							合計	最大震度
	<3.00 (不明)	3.00-3.99	4.00-4.99	5.00-5.99	6.00-6.99	7.00-7.99	>=8.00		
1970				1				1	4 Apr, M5.8
1971				1				1	2 Feb, M5.6
1972				3				3	3 Mar, 29 Sep, M5.9
1973			2	2				4	22 Jun, M5.5
1974			2	8				10	6 Aug, M5.7
1975			3	2				5	15 Sep, M5.4
1976			1	5				6	9 Aug, M5.6
1977			3	3				6	6 Feb, M5.7
1978			3	7	1			11	4 Mar, M6.3
1979		1	4	4				9	1 Oct, M5.6
1980			1	4	1			6	19 Dec, M6.1
1981			7	3				10	16 Jun, M5.4
1982				1				1	4 Jun, M5.0
1983			1	7	1			9	21 Mar, M6.7
1984			3	3				6	17 Aug, M5.5
1985			5	2				7	26 Nov, M5.5
1986			8	3				11	29 Jul, M5.4
1987		1	1	4	1			7	26 Mar, M6.1
1988			1	2	1			4	15 Jan, M6.4
1989			4	3				7	15 Aug, M5.1
1990			2	2				4	2 Nov, M5.6
1991			1	4	2			7	3 Mar, M6.2
1992			2	2				4	25 Aug, 24 Sep, 5.6
1993			1	2	1			4	4 Oct, M6.0
1994			5	8				13	20 Oct, M5.5
1995			11	7	2			20	27 Jul, M6.4
1996			11	6				17	28 Jun, 6 Aug, M5.6
1997		1	13	8	1			23	10 Sep, M6.1
1998		2	7	2	1			12	19 Jul, M6.0
1999			9	10	1			20	24 Jan, M6.1
2000			8	3				11	17 Aug, M5.7
2001		1	6	3				10	11 Nov, M5.4
2002			12	3				15	25 May, M5.4
2003			13	8	1			22	3 Jul, M6.0
2004			15	7	1			23	24 Apr, M6.1
2005			6	1				7	20 Sep, M5.0
2006			39	13	1			53	30 Nov, M6.0
2007		3	23	6				32	5 Feb, M5.8
2008			16	5				21	9 Oct, M5.9
2009			11	8				19	17 Jul, M5.7
2010			24	8	1			33	13 Feb, M6.1
2011			10	8	1			19	12 Feb, M6.1
2012			20	14				34	13 Nov, M5.6
2013			9	5	1			15	23 May, M6.3
2014			17	4	1			22	26 Apr, M6.1
2015			15	3				18	6 Jul, M5.8
2016			14		1			15	15 Feb, M6.0
合計	0	9	369	218	21	0	0	617	
割合	0.00%	1.46%	59.81%	35.33%	3.40%	0.00%	0.00%	100.00%	

出典：「ト」国気象局



出典：「ト」国気象局

図 2-29 半径 100km 以内で発生した地震の震源地及び震源深さ

2) 津波

トンガ海溝付近での地震発生頻度が多いことから、「ト」国は地震に伴う津波発生に対して最大限の警戒態勢を取っている。過去に「ト」国に到達した津波は、記録されているもので約 20 あり、そのほとんどは津波高さが 1m 未満の小さなものであった。しかし、2009 年 9 月に発生したサモア沖地震により、トンガタプ島の北約 600km に位置するニウアトプタプ島に最大 16.8m の津波が到達し、甚大な被害を与えている。

これを受け、「ト」国はオーストラリアの支援のもと、想定しうる最大規模の地震を、マグニチュードを 9.0 として、想定される津波の大きさを予測している。トンガタプ島に到達する津波の高さは最大 13~16m、風車が整備されるニウトウア付近では 8~10m となっている。

(3) サイクロン

1) 「ト」国近辺を通過したサイクロン

「ト」国気象局のデータに、JAXA（宇宙航空研究開発機構）及び NOAA（米国海洋大気庁）による各サイクロンの 1 分最大風速の記録を補記した、過去に「ト」国近辺を通過したサイクロンの一覧を下表に示す。「ト」国では、サイクロンの規模を、大洋州で採用されているオーストラリア国が定義するサイクロン分類に従って表記している。サイクロンは通常 12 月から 4 月にかけての夏場に多く発生しており、特に 1 月から 2 月に集中する。サイクロンの規模としては 1 分平均風速で 30m/s 程度（カテゴリー：C2）までのサイクロンが約 6 割を占めるが、1 分平均風速で 50m/s を超えるサイクロン（カテゴリー：C4、C5）も発生している。クラス C4、C5 のサイクロンについては、過去 10 年に一度程度の発生件数であったものが、2010 年以降では既に 5 回発生しており、サイクロンに大型化の傾向が見られる。

表 2-14 「ト」国に影響与えたサイクロンの記録（1960-2016）（「ト」国気象局）

No	NAME	DATE	YEAR	AREA AFFECTED *1	CLASSIFICATION *2-5			MAX SUSTAIN WINDS of Cyclone (1min average) (m/s)	The time the wind speed change	
									10 to 25m/s	25 to 50m/s
1	Unnamed	17-19 Jan	1960	Northern and Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
2	Unnamed	14-19 Mar	1961	Central and Southern	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	---	---	---
3	Unnamed	22-23 Nov	1964	Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	33.15	22.8	---
4	Unnamed	25-26 Feb	1969	Central and Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	33.15	---	---
5	Unnamed	11-17 Jan	1969	Northern and Central	Gale	C1	34 to 47 knots	---	---	---
6	Dolly	11-25 Feb	1970	Northern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
7	Gillian	08-11 Apr	1970	Central	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
8	Helen	13-16 Apr	1970	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	17.85	---	---
9	Bebe	19-28 Oct	1972	Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
10	Collete	02-03 Nov	1972	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
11	Eleampr	31-07 Feb	1973	Northern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
12	Juliet	03-04 Apr	1973	Central	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	---	---	---
13	Tina	23-28 Apr	1973	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
14	Lottie	05-12 Dec	1974	Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
15	Val	29-05 Feb	1975	Northern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
16	Pat	15-18 Mar	1977	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
17	Anne	25-31 Dec	1977	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
18	Ernie	16-23 Feb	1978	Central and Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	28.05	105.6	---
19	Leslie	21-23 Feb	1979	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
20	Meli	24-23 Mar	1979	Northern and Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
21	Ofa	10-15 Dec	1979	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
22	Tia	21-27 Mar	1980	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
23	Peni	01-06 Jan	1980	Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	33.15	47.76	---
24	Val	24-29 Mar	1980	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
25	Betsy	30-03 Feb	1981	Central and Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	---	---	---
26	Cliff	08-15 Feb	1981	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
27	Daman	20-24 Feb	1981	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
28	Isaac	27-05 Mar	1982	Central and Southern	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	51	56.4	32.64
29	Lance	03-08 Apr	1984	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
30	Drena	11-14 Jan	1985	Northern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
31	Eric	14-20 Jan	1985	Northern, Central	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	51	82.8	58.8
32	Keli	08-12 Feb	1986	Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	22.95	---	---
33	Martin	10-14 Apr	1986	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
34	Kerry	29-03 Apr	1989	Northern and Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
35	Ofa	30-10 Feb	1990	Northern	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	---	---	---
36	Sina	24-04 Dec	1990	Central and Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	63.75	55.2	21.6
37	Val	04-13 Dec	1991	Northern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
38	Joni	06-13 Dec	1992	Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
39	Nina	23-05 Jan	1993	Northern and Central	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
40	Kina	26-05 Jan	1993	Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	61.2	84	36
41	Mick	05-09 Feb	1993	Central	Storm	C2	48 to 63 knots	---	---	---
42	Hina	12-21 Mar	1997	Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	38.25	100.8	---
43	Keli	10-15 Jun	1997	Northern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	---	---	---
44	Ron	01-08 Jan	1998	Northern	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	---	---	---
45	Cori	23-30 Dec	1998	Central and Southern	Hurricane	C3 or 4	64 to 100 knots	45.9	74.4	---
46	Mona	08-10 Mar	2000	Central and Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	40.8	52.8	---
47	Paula	26-08 Mar	2001	Central and Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	53.55	42	---
48	Waka	29-01 Jan	2001	Northern and Central	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	51	232	37
49	Yolande	03-05 Dec	2002	Central	Gale	C1	34 to 47 knots	20.4	---	---
50	Ami	10-15 Jan	2003	Southern	Storm	C2	48 to 63 knots	56.1	30	68
51	Cilla	27-28 Jan	2003	Central	Gale	C1	34 to 47 knots	17.85	---	---
52	Eseta	13-14 Mar	2003	Central and Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	56.1	77	43
53	Fili	14-15 Apr	2003	Central	Gale	C1	34 to 47 knots	---	52	---
54	Heta	05-06 Jan	2004	Northern	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	71.4	---	108
55	Lola	30-01 Feb	2005	Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	---	---	---
56	Tam	12-13 Jan	2006	Northern	Gale	C1	34 to 47 knots	17.85	---	---
57	Urmil	14-15 Jan	2006	Northern	Gale	C1	34 to 47 knots	30.6	15	---
58	Vaianu	11-15 Feb	2006	Southern	Gale	C1	34 to 47 knots	38.25	48	---
59	Daman	5-Dec	2007	Vavau Haapai Tongatapu and Eua	Gale	C1	34 to 47 knots	53.55	35	35
60	Cliff	4-6 Apr	2007	Tongatapu and Eua	Gale	C1	34 to 47 knots	28.05	40	---
61	Elisa	12-Jan	2008	Tongatapu and Eua	Gale	C1	34 to 47 knots	25.5	46	---
62	Mick	15-16 Dec	2009	Tongatapu and Eua	Gale	C1	34 to 47 knots	33.15	36	---
63	Lin	3-6 Apr	2009	Tongatapu and Eua	Storm	C2	48 to 63 knots	30.6	97	---
64	Rene	14-16 Feb	2010	All island except Niuafuou	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	51	39.84	110
65	Wilma	22-25 Jan	2011	All island except Niuafuou	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	58.65	55.2	80.4
66	Cyril	7-Feb	2012	Vava'u	Gale	C1	34 to 47 knots	22.95	---	---
67	Jasmine	14-Feb	2012	Haapai Tongatapu and Eua	Gale	C1	34 to 47 knots	58.65	42	29
68	Ian	6-11 Jan	2014	Haapai	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	63.75	54	58
69	Kofi	1-Mar	2014	Tongatapu	Gale	C1	34 to 47 knots	25.5	36	---
70	Tuni	27-29 Nov	2015	Niuas	Gale	C1	34 to 47 knots	20.4	---	---
71	Ula	31-03 Jan	2015	Vavau Haapai Tongatapu and Eua	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	28.05	10	32
72	Victor	20-23 Jan	2016	Haapai Tongatapu and Eua	Storm	C2	48 to 63 knots	45.9	10.5	---
73	Winston	15-20 Feb	2016	Vavau Haapai Tongatapu and Eua	Severe Hurricane	C4 or 5	>100 knots	81.6	20	26
74	Zena	7-8 April	2016	Tongatapu and Eua	Storm	C2	48 to 63 knots	45.9	7	---

*1 Northern = Niuafuou & Niuatoputapu, Central = Vava'u & Ha'apai, Southern = Tongatapu & Eua

*2 Gale means average winds of 34 to 47 knots, Category 1

*3 Storm means average winds of 48 to 63 knots, Category 2

*4 Hurricane means average winds of 64 to 100 knots, Category 3 or 4

*5 Severe Hurricane means average winds of >100 knots, category 4 or 5

表 2-15 サイクロン規模による分類

カテゴリー	10分平均風速		瞬間最大風速 (3秒風速)	
	km/h	m/s	km/h	m/s
1	62-88	17.2-24.7	90-125	25.0-34.7
2	89-117	24.7-32.8	125-164	34.7-45.8
3	118-157	32.8-43.9	165-224	45.8-62.5
4	158-198	43.9-55.0	225-279	62.5-77.8
5	>198	>55.0	>280	>77.8

出典：オーストラリア気象局資料より調査団作成

2) 「ト」国に被害を与えたサイクロン

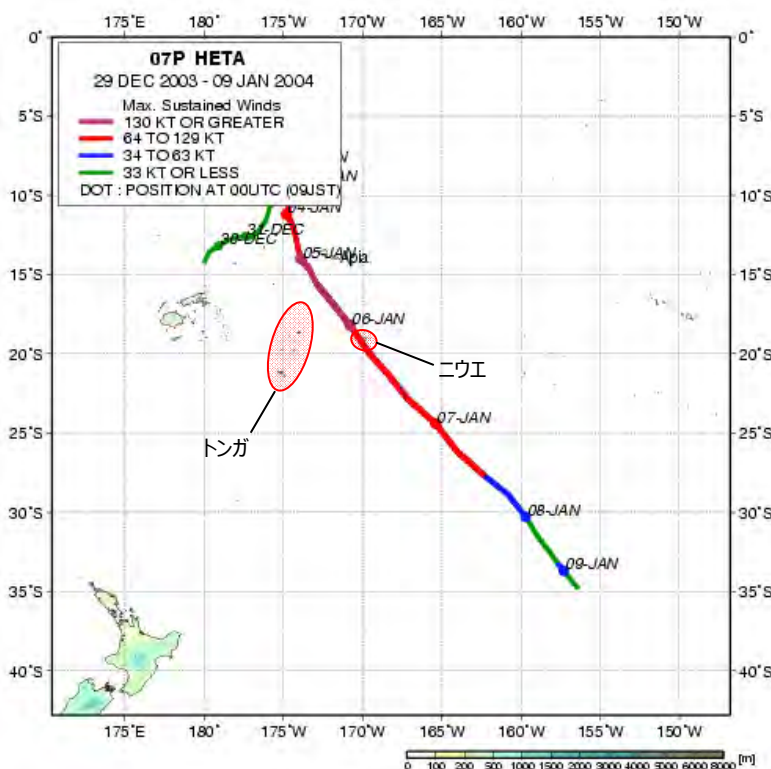
「ト」国気象局のデータのうち、「ト」国及び近郊に甚大な被害を与えたサイクロンについて説明する。

① サイクロン・ヘタ (Heta : 07P、2004 年発生)

期間：2004/01/02 - 2004/01/08

地域：太平洋南部 (ニウエ上空を通過)

最大風速 (1分最大風速)：140 kt (71.40m/s、Category 5) (最大瞬間風速：92.82m/s (参考))



出典：JAXA

図 2-30 サイクロン・ヘタ経路図

「ト」国の東北東約 300km 沖を、最大勢力を保って移動した。経路としてはニウエ国を通過し、人口の 10%が家屋を破壊されホームレスになると共に、病院や上下水道施設、ホテルなどの基幹施設を破壊し、同国に甚大な被害を与えた。

また「ト」国においては、サイクロン・ヘタが直接通過することはなかったが、北部の Tafahi 島

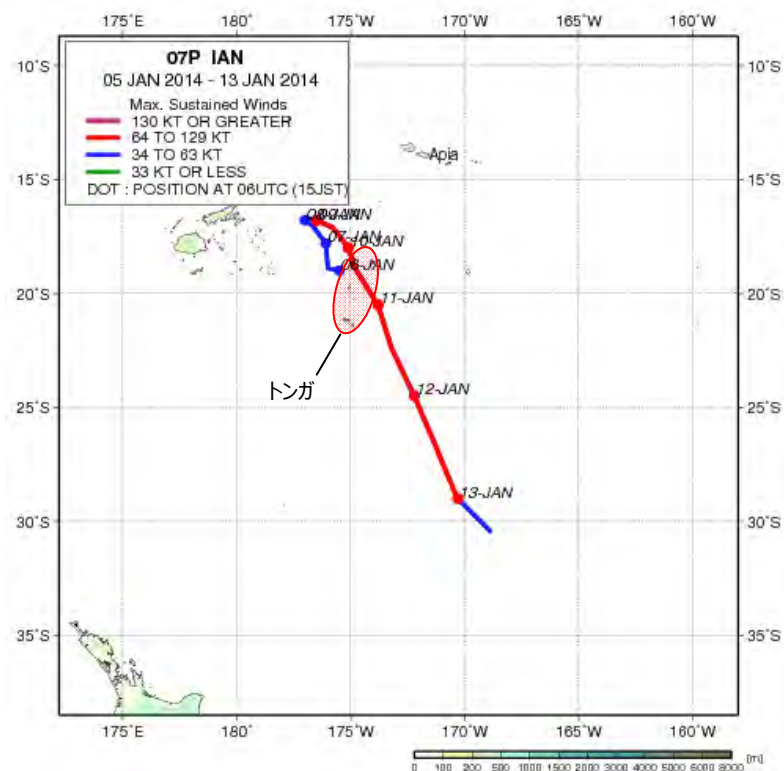
及び Niuatoputapu 島では、半数以上の家屋や建造物が破壊された。

② サイクロン・イアン (Ian : 07P、2014 年発生)

期間 : 2014/01/05 - 2014/01/13

地域 : 太平洋南部 (トンガ上空を通過)

最大風速 (1分最大風速) : 125 kt (63.75m/s、Category 4) (最大瞬間風速 : 82.88m/s (参考))



出典 : JAXA

図 2-31 サイクロン・イアン経路図

「ト」国北部で発生し、一旦北上したものの勢力を強めながら南下し、「ト」国のハーパイ諸島の北東上空を通過した。ハーパイ上空で1分最大風速 120kt 以上 (61.73m/s、最大瞬間風速 80.25m/s : 参考) の風速を記録している (Joint Typhoon Warning Center : JTWC (合同台風警報センター))。犠牲者は少なかったものの (死者 1 名、重傷者 1 名 : 外務省発表)、ハーパイ諸島各地で家屋やインフラ、農作物に甚大な被害があり、5,000 人以上が直接的な被害を受け、3,500 人以上が家をなくし、復旧には 5,600 万パーアング (約 31 億円 : 当時) かかると推計された。

また、サイクロン・イアンによる甚大な被害による「ト」国政府からの要請を踏まえ、我が国は「ト」国との友好関係にも鑑み、被災者に対する人道的支援のため、「ト」国に対し緊急援助を行っている。

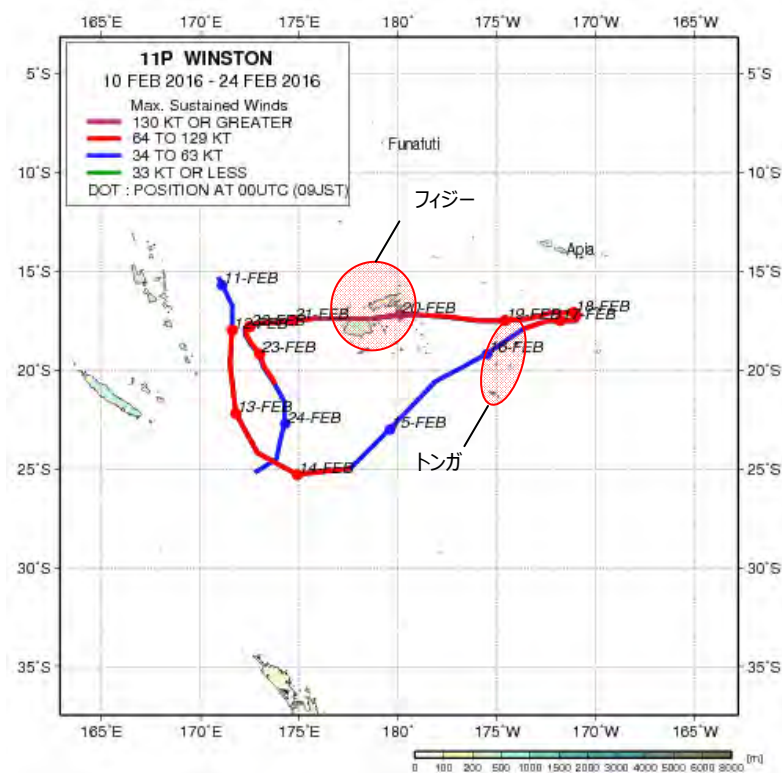
③ サイクロン・ウィンストン (Winston : 11P、2016 年発生)

期間 : 2016/02/10 - 2016/02/24

地域 : 太平洋南部 (フィジー上空を通過)

最大風速 (1分最大風速) : 160 kt (81.60m/s、Category 5) (最大瞬間風速 : 84.9m/s (実測値)、106.08m/s)

(参考)



出典：JAXA

図 2-32 サイクロン・ウィンストン経路図

サイクロン・ウィンストンは、「ト」国の主要な島を通過せず、直撃こそ無かったものの、「ト」国北部を、勢力を拡大しながら往復した。ババウ島の北西50kmを西南西から東北東に移動後、方向を反転し、西のフィジーに真っ直ぐ向いながらババウ島の北を通過したため、ババウ島では家屋半壊・倒壊、停電などの被害が発生した。

サイクロン・ウィンストンにより最も大きな被害を受けたのはフィジー国であり、同国に甚大な被害を与えた。JAXAの記録では、1分最大風速81.60m/s、最大瞬間風速106.08m/s(参考)であるが、フィジー気象局が観測した最大瞬間風速は84.9m/s(実測値)であり、数値に差はあるものの、過去に南半球で発生したサイクロンの中では最も大型のサイクロンであると言われている。死者は42名であり、360以上の家屋、65の校舎が破壊され、14,000人以上の人々が、避難所での生活を余儀なくされた。



図 2-33 ウィンストンによる被害状況(フィジー)

2-2-3 地盤・測量調査結果

2-2-3-1 地盤調査

(1) 調査目的

本協力対象事業で導入予定の風力発電施設は重量構造物であり、地盤が構造物の荷重に耐え得るか判定するための指標とするために、地盤調査により地耐力を確認する必要がある。調査地点は風力発電施設予定地であるニウトウア地区である。

(2) 調査方法

「ニ」国が2014～2015年にかけて対象地域で地盤調査を実施しており(Tongatapu Windfarm Project Geotechnical Investigation Report: 30 November 2015, Revision: 1, Reference: 248197)、本調査では、その地盤調査結果を照査することで、調査結果の妥当性を確認すると共に、本協力対象事業で採用する地耐力を設定する。照査の結果が妥当ではないと判断される場合は、本協力対象事業により追加調査を行う予定であったが、照査の結果、「ニ」国が実施した地盤調査結果は妥当と判断した。

(3) 調査結果

「ニ」国は、以下の1) から3) の調査により対象地域の地盤調査を実施している。4) は調査団が実施した、トンガタブ島の現地踏査及び既存文献による補足調査であるが、全ての調査の結果から、対象地域の地盤については石灰岩が密に分布しており、構造物の建設に十分に耐え得る地盤強度を保持していると判断した。

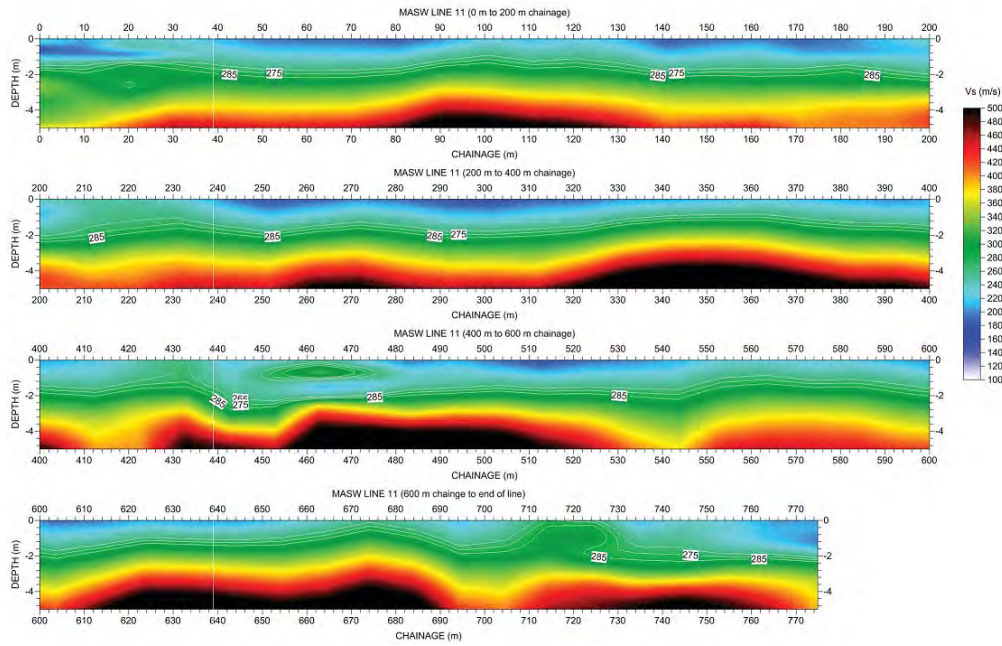
1) 地盤掘削による確認

2014年に7箇所、2015年に17箇所のテスト用ピットの試掘(深さ:2.5m程度)が「ニ」国により実施された。表層約30cmは風化した火山灰由来のシルト質粘土に覆われ、深さ2.3m程度までは石灰岩が風化した状態から未風化に徐々に変化しており、深さ2.5m程度になると未風化の石灰岩となり、これが基盤岩であることが確認されている。地下水は確認されず、一部のテスト用ピットで浸透試験が実施された結果、地盤内への水の浸透が確認されたが、これは深さ2.3mまでの石灰岩の風化層内に浸透したものと考えられる。

2015年の調査では、基盤岩上の風化層のサンプルによる点載荷試験も実施されており、破壊荷重は3,300～6,400kN/m²であり、構造物を建設する上で問題のない地盤であることが確認されている。

2) 多チャンネル型表面波探査(MASW: Multi-channel Analysis of Surface Waves)

2015年に、対象地区において地表下の弾性波速度が測定された。結果は図2-34の通りであり、およそ2.0～2.3m付近で弾性波速度(V_s : m/s)が285m/s程度となっている。これは、標準貫入試験におけるN値に換算すると約45となり($V_s=80N^{1/3}$: 道路橋示方書の砂質土を適用)、深さ4.0mを超えると V_s : 500m/s以上(N値換算: 244)を示すことから、石灰岩の固い岩盤であることが改めて確認できる。

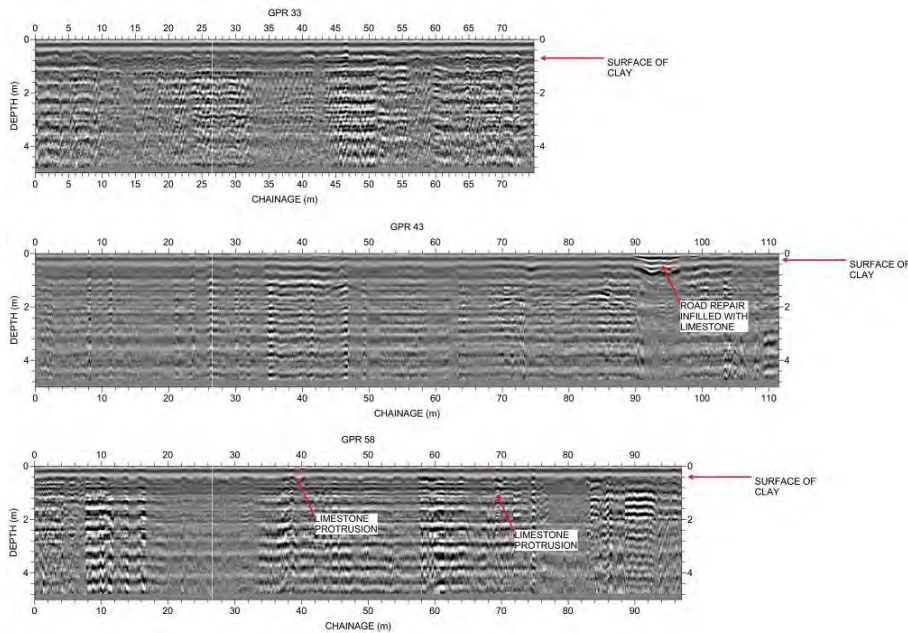


出典：「二」国調査資料

図 2-34 「二」国実施の MASW による弾性波速度分布（一部抜粋）

3) 地中レーダ探査 (GPR: Ground Penetrating Radar)

2015 年に、対象地区において地中レーダによる探査が実施されたが、図 2-35 の通り、探査結果から大きな空洞は確認出来ず、水平・鉛直方向共に、均質な地質構造であることが確認できる。



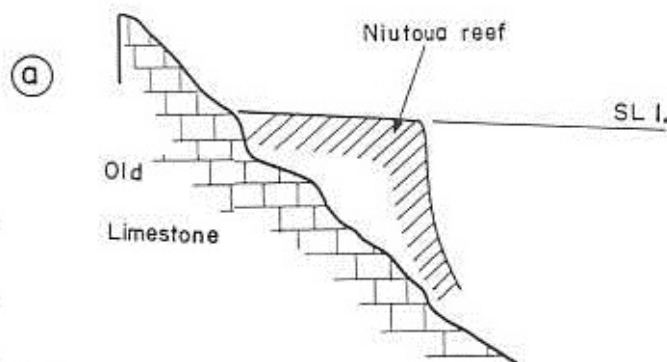
出典：「二」国調査資料

図 2-35 「二」国実施の GPR による調査結果

4) トンガタブ島の現地踏査及び文献による確認

2001 年のオーストラリアの報告書 (The Morphology and Surface Geology of the Islands of Tongatapu

and Vava'u, Kingdom of Tonga) によれば、トンガタブ島の地質構造は、鮮新世あるいは更新世の石灰岩が鮮新世の火山砕屑岩の上に 130~250m の厚さで覆うようにして構成されているとある。



出典：The Morphology and Surface Geology of the Islands of Tongatapu and Vava'u, Kingdom of Tonga

図 2-36 ニウトウア地区の地質構造

本協力対象事業の対象地域であるニウトウアについては、石灰岩の基盤岩の上にサンゴ礁が形成されているとある。現地及び地形図による標高を確認すると、海岸線が海面から 5m ほどの崖となっており、その後、なだらかな斜面となっているものの、海岸から約 200m を境に地面の勾配が変化している。これは過去に地面が隆起し段丘を形成したものと推測され、「ニ」国の調査により地表下 2.3m 程度までが風化層となっていることと併せて考察すると、この層は過去に海底でサンゴ礁を形成していたものが、地面の隆起により地表に出て、その後風化したものと推測する。

ニウトウアの南方約 10km の海沿いにある砕石場を確認したが地表下 10m 程度までの掘削が行われており、表層を除き、全て石灰岩であることを確認した。

(4) 本協力対象事業で採用する地盤の N 値

上記の調査結果を踏まえ、本協力対象事業では、未風化となる地表下 2.5m の石灰岩を基盤面とする。また、地下 2.5m 以深は N 値換算 50 以上であることが確認されているが、設計に使用する数値としては、基盤面である地下 2.5m で N 値 50 と設定する。

2-2-3-2 測量調査

風力発電施設建設予定地の地形の把握、建設予定地までのアクセス道路計画、土地利用者の把握等、現地で測量調査を実施することにより、地形を確認する必要があると想定していたが、「ト」国側より GIS データによる地形データ、地籍データを入手したことにより、本協力対象事業での測量調査の必要性は無い。

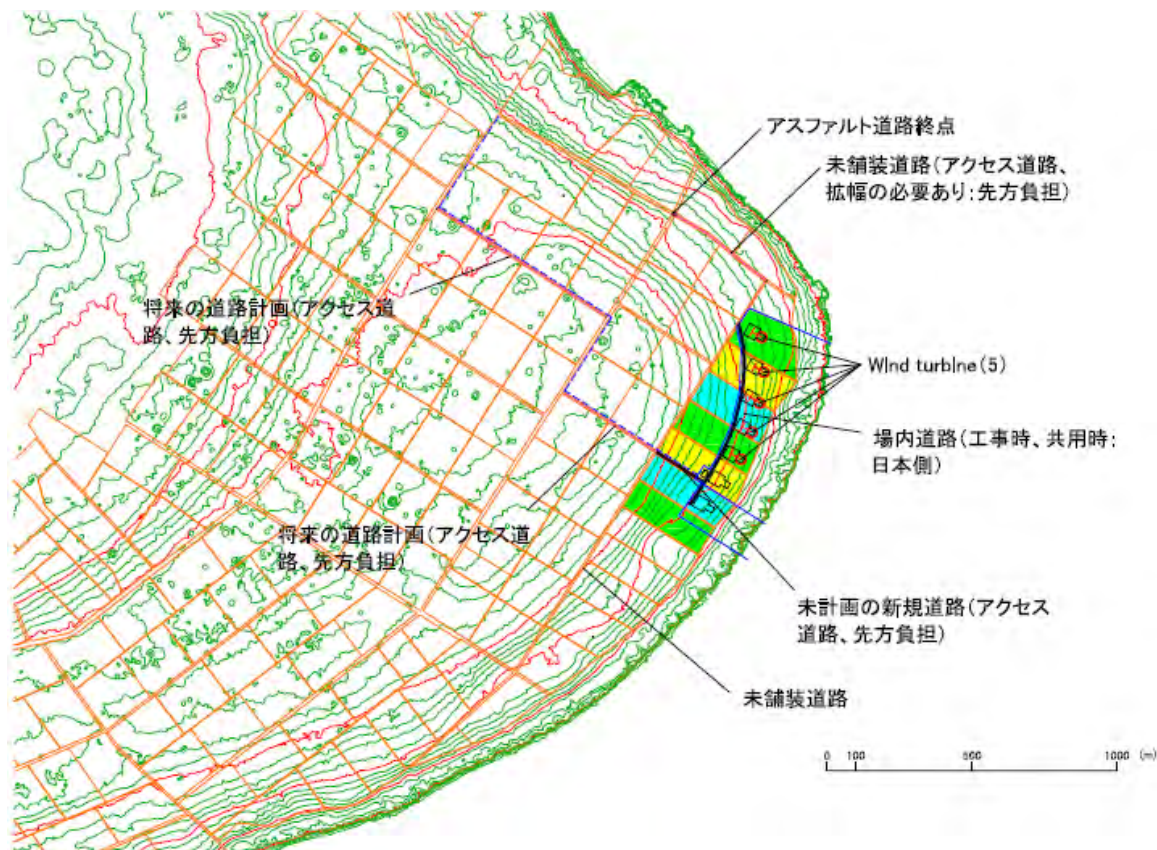
2-2-4 環境社会配慮

2-2-4-1 環境影響評価

2-2-4-1-1 環境社会影響を与える事業コンポーネントの概要

本協力対象事業は風力発電設備の整備に基づき、風力発電機及び系統安定を目的とした蓄電設備の導入、既存送配電線への接続を目的としている。本協力対象事業に関しては、環境への影響を及

ばししやすいセクター・特性及び影響を受けやすい地域に該当せず、環境への望ましくない影響は重大でないと判断され、JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010年4月公布）によるスクリーニングではカテゴリ B に分類された。このため、建設予定サイトを対象とした環境社会配慮調査を行い、主要な環境社会影響項目に対する緩和策及びモニタリング内容について以下の通り検討する。



出典：調査団作成

図 2-37 風力発電施設建設予定地

2-2-4-1-2 ベースとなる環境及び社会の状況

(1) 自然環境

風力発電施設の建設対象サイトであるニウトウア地区は、「ト」国で最も大きなトンガタブ島の北東端に位置している。建設候補地は東部海岸線から 180m ほど離れた 5 区画に亘る農地に予定されており、その大部分は雑草が茂る空き地であるが、一部、ココヤシやタロイモ等の植生が確認された。周辺の農地では数頭の家畜（牛）が確認されたが、建設予定地は最も海に近い区画に位置しており家畜は存在しない。同様に、保護林等の特別な配慮の必要な自然環境、保護対象となる動植物も見られない。このように自然環境に関し、本協力対象事業による対象サイトへの影響はない、または最小限と判断される。

(2) 社会環境

ニウトウア地区の居住区は、対象サイトから約 1km 離れたトンガタブ島の北東部に集中しており、主要産業は、漁業、農業、畜産、農畜産物の販売、商業、観光業である。地区全体の人口は概ね 750

人程度である。国土は全て国王の所有地であるが、区画ごとに住民に借地権が与えられ、土地計画・自然資源省（Ministry of Lands Survey and Natural Resources、以下「MLSNRE」）の管轄する土地計画局（Department of Lands and Survey）により地権者として登録されている。本協力対象事業の建設候補地は、区画ごとに5名の借地権者として登記簿登録されているため、建設に伴う用地取得のための補償等に関する協議およびモニタリングが必要となる。当該地区には、法令等で指定された自然保護や文化遺産保護のための特別指定地域は存在しない。

2-2-4-1-3 相手国の環境社会配慮制度・組織

(1) 環境社会配慮に関連する法令や基準等

環境影響評価の実施に関する基本法令として、環境影響評価法（Environmental Impact Assessment Act）が2003年12月3日に公布され、同法により、環境影響評価（Environmental Impact Assessment、以下EIA）が法的拘束力を持つことになった。2010年8月制定の環境管理法（Environmental Management Act）では、環境・気候変動省²が環境管理部門に係る権限を持つ部門として創設され、法の施行が推進された。さらに同年10月には、環境影響評価規約（Environmental Impact Assessment Regulations）が公布され、2003年の環境影響評価法の施行のための実施細則が定められた。環境影響評価法では、食肉処理場、醸造所、飛行場、家畜飼育場、化学薬品工場、発電所、0.5ヘクタール以上の樹木や植生の伐採、観光施設等、水系や生態系など周辺環境に恒久的に変化を与える可能性や汚染物質を発生する可能性のある29分野の一定規模のプロジェクトに対し、EIAの実施が義務付けられている。したがって、本協力対象事業による風力発電施設はEIAの対象となる。送電線の敷設についても同様に、施設本体のEIA調査時に併せて行う。建設予定敷地内の未舗装道路（私道）建設は、「ト」国環境影響評価法上のEIA対象ではない。

表 2-16 「ト」国環境影響評価に係る制度

法規名称		制定年（改正年）
環境影響評価法	Environmental Impact Assessment Act	2003
環境影響評価規約	Environmental Impact Assessment Regulations	2010
環境管理法	Environmental Management Act	2010
環境管理法(改正)	Environmental Management (Amendment) Act	2015
廃棄物管理法	Waste management Act	2005
有害廃棄物及び 化学廃棄物法	Hazardous Wastes and Chemicals Act	2010
再生可能エネルギー法	Renewal Energy Act	2008 (2010)
土地法	Land Act	1927 (1988)

出典：調査団作成

(2) 関係機関（環境社会配慮管轄機関）

「ト」国でのEIAは、MEIDECCが各機関の実施したEIAレポートの最終承認を行う。MEIDECC

² 環境・気候変動省は、2012年に土地・環境・気候変動・自然資源省（Ministry of Land, Environment, Climate Change, and Natural Resources (MLECCNR)）に編入され、環境・気候変動局となったが、その後さらに省の再編により、気象・エネルギー・情報・災害管理・環境・気候変動・通信省（Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment Climate Change, and Communications (MEIDECC)）に改名された。

の環境部門を管轄する環境・気候変動局（Department of Environment & Climate Change (DEC)）には環境評価委員会（Environmental Assessment Committee (EAC)）が設けられ、通知→環境影響評価→審査→決定の4段階を経て、環境影響評価の確認を行っている。他方、送電線の敷設は土地計画・自然資源省（MLSNRE）が計画し、社会インフラ省（Ministry of Infrastructure (MoI)）が維持管理及び運営を行っている。

本協力対象事業では、TPLによる施設計画報告書が作成され、DECによるEIAの審査が行われ、MEIDECCにより承認された。今後、施設建設についてはMoI、送電線敷設はMLSNREによる建設許可申請手続きを行うことになる。

(3) TERMにおける環境政策

「ト」国政府は、原油価格の高騰に対する対策として、2010年6月に、「Tonga Energy Road Map 2010-2010 (TERM)」を策定し、2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーとすることを政策目標とした。また、経済的、持続的かつ環境に配慮した再生可能なエネルギーである太陽光、風力による発電を取り入れ、それぞれの容量を9.3MW、6.6MWまで増やすことを掲げている。TERMでは、輸入燃料に頼らず自然エネルギーによる電力確保を促進していく姿勢を打ち出しており、発電所の開発に際しても、国際的慣行に沿った環境及び社会影響評価とその軽減策を求めている。電力生産コストが下がることにより、電気料金の低減が可能となり、しいては国民の生活に貢献することとなる。

2-2-4-1-4 代替案（ゼロオプションを含む）の検討

施設建設のゼロオプションと本計画を実施した場合の比較は、次表のとおりである。本計画を実施することで、用地取得、排気ガスによる大気汚染、粉じん等の環境影響及び事業費の計上は生じるが、風力発電施設を建設することによる「ト」国での持続的かつ経済的な電力供給における貢献は大きい。また、2013年に報告されたJICAによる「マイクログリッドシステム導入計画準備調査」では、既存道路から建設予定地までのアクセス道路の確保が問題とされたが、今般「ト」国により工事開始前までに道路が整備されることになっている。以上のことから、プロジェクト実施が最適案として推奨される。

表 2-17 施設建設のゼロオプションとプロジェクトを実施した場合の比較

項目		ゼロオプション	プロジェクト実施
風力発電施設		0基	5基
送電線敷設		0m	約2.0km
環境社会配慮	社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機による電力供給が主流となり、トンガ国政策課題でもある省エネルギー推進に反する上、輸入燃料の消費量を削減することができない。 送電線の敷設が行われない場合、系統連系が確立されず、風力発電施設が機能しないまま放置されることになる。 	<ul style="list-style-type: none"> 風力発電設備のために、土地利用権取得の必要があるが、地権者との協議の上でTPLより補償金が支払われる。受領時にTPLと地権者間で協定書を交わすため、工事前から供用後にかけてのトラブルを予防できる。 住宅地への施設建設は行われないため、住民移転は発生しない。 再生可能エネルギーによる電力確保が可能となり、住民への電力料金の負担が軽減される可能性が高い。
	自然環境	<ul style="list-style-type: none"> 既に放牧地や農地としてほとんどの土地が開拓されており、保護対象となる動植物は存在しない。 ディーゼル燃料使用の発電が主流となり、化石燃料の消費による自然環境への影響は改善されない。 	<ul style="list-style-type: none"> 保護対象となる動植物は存在しないため、生物環境への影響はない。 送電線は公道に沿って計画されるため、樹木等自然環境への影響はない。
	汚染対策	<ul style="list-style-type: none"> 未舗装道路を乗用車やトラック、バスが走行する際、日常的に排気ガスや粉じんが確認される。 	<ul style="list-style-type: none"> 工事車両による排気ガスや粉じんは発生するが、短期間のため日常のレベルを大幅に上回るものではない。 工事騒音は予想されるが、建設候補地は住宅地から離れた区域に予定されるため、住民への直接的な影響はない。
推奨される最適案とその根拠		ゼロオプションは推奨されない	最適案として推奨される
		<ul style="list-style-type: none"> 現状のままでは輸入ディーゼル燃料の使用量が継続され、省エネルギーの観点から問題がある。 輸入燃料の高騰に対処すべく「ト」国政府が策定したTERMの主旨にそぐわない。 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの利用により、輸入燃料消費量の削減に貢献し、ひいては住民の電気料金負担の軽減も期待できることから、住民に対する貢献が大きい。

出典：調査団作成

2-2-4-1-5 TPL、NZ 実施の環境社会影響評価結果

本協力対象事業の対象となる風力発電施設計画について、TPL³及び「ニ」国⁴による環境社会配慮に関する報告書が作成された。TPLによるEIAレポートは、MEIDECCにより承認され、同省が運営するTonga Environment and Climate Change Portalのサイトで公開されている。両報告書による環境社会配慮の評価結果は表2-18のとおりである。JICAガイドラインの環境チェックリストに照合し、明確な評価がなされていない項目（表中「－」の項目）については、今回の調査による補足評価が行われる。

³ “Environmental Impact Assessment_Tonga Power Limited Proposed Wind Farm , Niutoua, Hahake Districts”, Tongatapu Island, July 2014, Tonga Power Limited

⁴ “Tongatapu Wind Farm_Environmental Impact Assessment Addendum, Ministry of Foreign Affairs and Trade, New Zealand, 20.April 2016

表 2-18 TPL 及び NZ による環境社会影響評価内容

分類	S/N	影響項目	TPL及びNZ国による影響評価
汚染対策	1	大気汚染	工事車両の通行交通量の増加による一時的な大気質の悪化や、工事による粉じんの発生が考えられるが、本案件の工事に係る交通量は少なく、SPM(浮遊粒子状物質)や粉じんの大量発生などの可能性は想定されない。工事中に発生した粉じんは、乾燥した土壌への散水で対応できる。風力発電施設稼働後の運転に伴い、大気汚染を引き起こすような作業は想定されない。
	2	水質汚染	—
	3	廃棄物	建設残土や廃材の発生が想定されるが、フェンスによるサイトの区画、定期的な収集、作業員への教育等により緩和できる。本プロジェクトによる余剰電力の蓄電のための産業用バッテリーは、15～17年ごとにリサイクル処理が必要となる。供用後、使用済みのバッテリーの処理に関しては、トンガ国内に唯一存在するリサイクル企業(Gio Recycle社)が、トンガ政府及びニュージーランド政府の承認の元(バーゼル条約の遵守)、ニュージーランドに輸出し、ニュージーランドのリサイクル会社が買い取り、最終的には韓国へ輸出されて再資源化が行われる。バッテリーの買い取り価格は、NZへの輸送価格を上回っているため、バッテリーの処理に関する「ト」国の負担は発生しないと考えられる。
	4	土壌汚染	—
	5	騒音・振動 電磁波・低周波	工事中の騒音や振動の発生は想定されるが、市街地および居住区は建設サイトから1km以上離れているため、騒音レベルは35dB程度であり、許容できる範囲である。 NZコンサル報告書によれば、トンガには騒音規制が無いが、NZの規制(NZS 6808:2010)に準じるよう指導されている。この規制では、居住区や学校のような音の影響を受けやすい場所の暗騒音より5dBを超えない、または40dB以下とする。睡眠妨害にならないレベルとしては、WHOガイドラインに準じ、室内で30dB以下とする。本プロジェクトにより想定される騒音レベルは、何れも室外で40dB以下であるため、背景音として許容できる範囲である(500m離れた場所で40dBであり、会話時の60dBより小さいので問題ない)。回転羽による衛星通信、レーダー、航空機機器、地上マイクロ波、TV放送等への影響に対しては、風力発電所の設置位置と信号のいくつかの性質を変更することにより、これらの通信サービスへの干渉の可能性を削減することができる。
	6	地盤沈下	地盤沈下を起こすような作業等は想定されない。
	7	悪臭	建設中に悪臭を引き起こすような作業はない。 また、供用後、風力発電施設に悪臭が発生する要因はない。
	8	底質・土砂堆積	底質に影響を与えるような掘削をさけるため、最小限の伐採、掘削とする。
自然環境	9	保護区	対象サイトに関し、鳥類他、動植物の保護区は設置されていない。
	10	生態系・生物相	2015年10/12～16日まで、農地および海岸沿いの森林で、爬虫類に関する調査が実施された。プロジェクトサイトで確認された爬虫類は、太平洋州に広く分布するヤモリやゲッコウ、スキングといった鳥全体に多く生息する在来種である。このため、プロジェクトの実施による爬虫類の生態系への影響はほとんどないと考えられる。 10/14～16の調査では10種類の鳥が確認されている。鳥類の生息地は、主にプロジェクト対象サイトから離れた島の南西部に集中しており、ほとんどの鳥の飛行コースは、内陸部から海岸に向かっていく。 また2年前にNakorolに建設されたタービンからは、バーズストライクに関する被害報告は記録されていない。これらの調査報告から、鳥類に対する影響も低い。 Tongatapu島には3ヶ所(Kolovai,Vaini,Hufangalupe Beach)のコウモリの生息区が確認されているが、プロジェクトサイトとは別の地域である。従って、コウモリに関する生態系への影響はほとんどない。 一方、トンガに植生する植物はおよそ330種である。プロジェクトサイト周辺には、ヤシ、雑草等が叢生しており、タロイモが栽培されているが、保護が必要とされる貴重植物は存在しないことから、生態系への影響はない。
	11	水象、地下水の水質、水量	—
	12	地形、地質	—
	13	土壌侵食	工事中、土壌は土壌・堆積物管理計画(Erosion and Sediment Control Plan(ESCP))により管理され、適切な提案がなされる。また、緑地を残すことにより土壌侵食が起こらないよう留意して建設するため、土壌侵食の恐れはほとんどない。
社会環境	14	用地取得・住民移転	「ト」国の全ての土地は国王の所有となっているが、建設予定地は現在農地として国民に譲与されている。これらの用地使用権取得のため、一定額の補償と引き換えにTPLと地権者とのリース契約が交わされる(先行のEIA調査時にステークホルダー協議を実施)。
	15	少数民族・先住民族 地域紛争等	Tongatapu島は単一民族のみが在住しており、少数民族や先住民族は存在しない。
	16	雇用や生計手段等の 地域経済	施設建設工事は8か月ほど続くため、25名以上の労働者の雇用機会が増える上、何人かのスタッフにとっては風力発電施設のオペレーション技術の習得となる。また、風力発電による電力量増加に伴いディーゼル燃料による発電を抑えることにつながるため、将来的には電気料金負担の軽減となるため、正の影響が期待される。
	17	土地利用や 地域資源利用	—
	18	水の利用	施設建設に伴う工事中の濁水はほとんど発生しないため、水利用による影響は想定されない。
	19	既存の社会インフラや 社会サービス	建設工事による交通量の増加はほとんどなく、渋滞による影響はほとんどない。また、施設供用後の交通量増加もほとんどない。住民にとって電力量増加は望ましいことであるため、既存のグリッドとの連結や送電線の追加敷設に関する反対意見はない。
	20	社会関係資本や 地域の意思決定機関等の 社会組織	—
	21	被害と便益の偏在	本プロジェクトによる風力発電施設は公共施設であるため、周辺地域に不公平な被害や便益を引き起こす可能性はほとんどない。
	22	地域内の利害対立	本プロジェクトでは、島全体に対する電力供給が目的であることから、風力発電施設の建設と供用が地域内の利害対立を引き起こす可能性はほとんどない(先行のステークホルダー協議において了承済)。
	23	文化遺産	ニウトウアにはHa' amonga 'a Maui(13世紀初期の文化遺産)が存在するが、プロジェクトサイトのあるNiuatoua区域からは対局に位置しているため、プロジェクトへの影響はない。
	24	景観	Shadow flicker→羽の回転による光の陰影が生じる可能性があるが、一部の方位に短時間生じる現象であるためほとんど影響がない。また本プロジェクトによる風車は、最寄りの居住区からは見えないため、景観を損なう要素とはならない。
	25	貧困層	—
	26	ジェンダー・子どもの権利	—
	27	健康被害/リスク、 HIV/AIDSを含む感染症	建設工事を日中に行い、サイトの清掃を徹底するなど、建設時の配慮を怠らないことにより、労働者の健康への影響を最低限に抑えることができる。
28	労働環境 (労働安全を含む)	TPLによる労働基準によれば、建設作業は日中に実施され、作業員には安全靴、ヘルメット、安全ベスト、安全メガネが支給され、PPEに従い経験豊富な現場監理人による監理が行われる。 工事中は労働者の雇用増加および作業員の技術レベルの向上に寄与し、施設の稼働後も、TPLを電力の供給事業者として、他の分野、特に建設業界の雇用増加にも寄与するため、負の影響が想定されるような作業はない。	
その他	29	事故	建設現場での安全管理に留意して、事故の回避・防止に努め、救急箱を常備し、工事に係る全ての人の安全を守る。TPLの安全管理規定を遵守する。
	30	越境の影響、 及び気候変動	—

出典：調査団作成

2-2-4-1-6 スコーピング及び環境社会配慮調査の TOR

前述の通り、本協力対象事業の対象となる風力発電施設に対する環境社会配慮調査は、TPL 及び「ニ」国により実施されており、TPL による EIA 報告書は、MEIDECC により承認され、ウェブサイト上で情報公開されている。しかしこれらの報告書は、JICA の環境社会配慮ガイドライン（2010 年 4 月）に則した書式を採っていないことから、両報告書を照査した上で、JICA によるガイドラインに従い、「環境チェックリスト」の項目を網羅するように影響項目を選出した。風力施設に関するスコーピングは表 2-18 に示す全 30 項目に対して行われ、送電線敷設に関しては、「水質汚染」、「保護区」、「生態系」、「地形・地質」、「住民移転」、「生活・生計」、「文化遺産」、「景観」、「少数民族・先住民族」、「労働環境」の 10 項目に対して実施された。環境影響予測は、以下の 4 段階で評価を行った。

表 2-19 環境影響項目の評価基準

評価ランク	評価基準
A	重大な影響が予想される項目
B	ある程度の影響が予測される項目
C	現時点で影響が不明な項目
D	影響が予測されない、もしくは殆ど影響がない項目

出典：調査団作成

その結果、次表の通り、風力発電施設の建設候補地の土地利用権の取得に関する影響が比較的大きいと予測された。また、工事中の注意事項として重機からの排ガス対策及び事故等安全管理対策が挙げられた。他方、廃棄物としてのバッテリーに対する処理対策も重要であると判断した。

表 2-20 環境影響予測評価結果

分類	S/N	影響項目	評価		評価理由
			工事前 工事中	供用時	
汚染対策	1	大気汚染	B ⁻	D	工事中：工事に係る交通量の増加が一時的な大気質の悪化を生じさせる可能性があるが、本案件の工事に係る交通量は少なく、SPM（浮遊粒子状物質）や粉じんの大量発生などの可能性は想定されない。 供用時：風力発電稼働後の運転に伴い大気汚染を引き起こすような作業は想定されない。
	2	水質汚染	D	D	工事中：工事現場（電柱含む）、重機、車両及び工事宿舎からの排水は無い為、水質汚濁の可能性は想定されない。 供用時：風力発電施設からの排水は無い為、水質汚濁の可能性は想定されない。
	3	廃棄物	B ⁻	B ⁻	工事中：建設残土や廃材の発生が想定されるが、フェンスによるサイトの区画、定期的な収集、作業員への教育等により緩和できる。 供用時：本プロジェクトによる余剰電力蓄電のための産業用バッテリーは、15～17年ごとにリサイクル処理が必要となる。使用済みの鉛バッテリーの処理に関しては、トンガ国内に唯一存在するリサイクル企業（Gio Recycle社）が、トンガ政府及び韓国政府の承認の元（バーゼル条約の遵守）、コンテナに積載し、船で韓国に輸出されて再資源化が行われる。コンテナ代は「T」国の負担として発生する（調査時価格：2,600T\$/T\$）。リチウムイオンキャパシタの廃棄処理については確認が必要となる。
	4	土壌汚染	D	D	工事中・供用時：建設用オイルの流出や、工事車両からの汚染物質を通じた土壌汚染の可能性はない。
	5	騒音・振動 電磁波・低周波	D	D	工事中：騒音や振動の発生は想定されるが、市街地および居住区は建設サイトから1km以上離れているため、騒音レベルは35dB程度であり、許容できる範囲である。 供用時：NZコンサル報告書によれば、トンガには騒音規制が無い為、NZの規制（NZS 6808:2010）に準じるよう指導している。この規制では、居住区や学校のように音の影響を受けやすい場所では暗騒音レベル（35dB以下）より5dBを超えないように心がけ（=40dBを超えない）、それ以外の場所でも、40dB以下と規定している。睡眠妨害にならないレベルとしては、WHOガイドラインでは室内で30dB以下を理想としているが、本プロジェクトにより想定される騒音レベルは、何れも室外で40dB以下であるため、十分に許容できる範囲である。2016年3月のNZIによる調査では、対象サイトから500m離れた地点で40dBであり、ニウトウアの居住区中心部で35dBであった。通常の会話時の60dBより小さい値であるため、騒音と認識される範疇からは外すことができる。 回転羽による衛星通信、レーダー、航空機器、地上マイクロ波、TV放送等への影響に対しては、風力発電所の設置位置と信号のいくつかの性質を変更することにより、これらの通信サービスへの干渉の可能性を削減することができる。
	6	地盤沈下	D	D	工事中・供用時：地盤沈下を起こすような作業等は想定されない。
	7	悪臭	D	D	工事中：悪臭を引き起こすような作業はない。 供用時：風力発電施設に悪臭が発生する要因はない。
	8	底質・土砂堆積	D	D	工事中・供用時：底質に影響を与えるような掘削を避けるため、最小限の伐採、掘削となり、底質・土砂堆積に関する影響はない。
自然環境	9	保護区	D	D	工事中・供用時：対象サイト（送電線敷設箇所含む）に関し、鳥類他、動植物の保護区は設置されていない。
	10	生態系・生物相	D	D	工事中・供用時：TPL及びUNZによるEIAにおいて、建設予定地周辺の農地および海岸沿いの森林での動植物に関する調査が実施されており、生態系への影響は低いという結果を得ている。プロジェクトの実施による爬虫類の生態系への影響はほとんどない。渡り鳥の生息地は主にプロジェクト対象サイトから離れた島の南西部に集中しており、飛行コースは建設予定地である北東部から外れている。2年前にNakoro（島の南東部）に建設されたタービンからは、パーストライクに関する被害報告は記録されていない。これらの調査報告から、鳥類に対する影響の可能性は低い。 Tongatapu島には3ヶ所（Kolovai, Vaini, Hufangalupe Beach）でコムモリの生息区が確認されているが、島の南北及び南部にあり、プロジェクトサイトとは別の地域である。従って、コムモリに関する生態系への影響はほとんどない。 プロジェクトサイト周辺には、ヤシ、雑草等が叢生しており、タロイモが栽培されているが、保護が必要とされる貴重植物は存在しないことから、生態系への影響はない。
	11	水象	D	D	工事中・供用時：風力施設の建設が水象、地下水の水質・水量に影響する恐れはない。
	12	地形・地質	D	D	工事中・供用時：大規模な切土や盛土は計画されていないことから、地形・地質への影響はほとんどないと考えられる。
	13	土壌侵食	D	D	工事中・供用時：周囲の緑地を残すことにより土壌侵食が起こらないよう留意して建設する。供用時の土壌侵食は起こらない。
社会環境	14	用地取得・住民移転	B ⁻	D	工事前：建設予定地に住民は住んでいないが、建設予定地は現在農地として国民に貸与されているため、地権者との協議の下、リース契約に基づき補償金が支払われる（先行のステークホルダー協議の際に、住民に対する説明を実施済み）。送電線敷設に際するROW（Right of Way）は、TPLから申請が行われる。 供用時：工事前に補償の手続きを済ませることにより問題は回避される。
	15	少数民族・先住民族 地域紛争等	D	D	工事中・供用時：Tongatapu島は単一民族のみが在住しており、少数民族や先住民族は存在しない。
	16	雇用や生計手段等の 地域経済	B+	B+	工事中：労働者の雇用機会が増える上、何人かのスタッフにとっては風力発電施設のオペレーション技術の習得となる。 供用時：風力発電による電力増加に伴い、ディーゼル燃料による発電を抑えることにつながるため、将来的には電気料金負担の軽減となり、正の影響が期待される。送電線は道路に沿って敷設され、ROWはTPLにより社会インフラ省に申請されるため、住民生活に及ぼす影響はない。
	17	土地利用や 地域資源利用	D	D	工事中・供用時：風力発電施設の建設と供用が、周囲の土地利用や地域資源利用に影響を与える恐れはほとんどない。
	18	水の利用	D	D	工事中：工事由る濁水はほとんど発生しないため、水利用による影響は想定されない。 供用時：稼働時の水利用は発生しないため、水利用による影響はない。
	19	既存の社会インフラや 社会サービス	D	D	工事中：建設候補地一帯は農地であり、一般車両の通行は非常に少ない。建設工事による交通量の増加は2～3台程度であり、渋滞は生じない。 供用時：交通量増加は、稼働時の管理技術者が使用する1～2台の一般車両程度と想定される。
	20	社会関係資本や地域の 意思決定機関等の社会組織	D	D	工事中・供用時：風力発電施設はTPLが運営主体であるため、社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織との関係や影響はない。
	21	被害と便益の偏在	D	D	工事中・供用時：本プロジェクトによる風力発電施設は公共施設であるため、周辺地域に不公平な被害や便益を引き起こす可能性はほとんどないと考えられる（先行のステークホルダー協議において説明済み）。
	22	地域内の利害対立	D	D	工事中・供用時：本プロジェクトでは、島全体に対する電力供給が目的であることから、風力発電施設の建設と供用が地域内の利害対立を引き起こす可能性はほとんどない（先行のステークホルダー協議において了承済み）。
	23	文化遺産	D	D	工事中・供用時：ニウトウアには、ハモンガ・ア・マウイ（Ha' amonga 'a Maui（13世紀初期の古代ポリネシア遺跡））が存在するが、建設候補地からは1km以上離れている上、市街区を挟んで対局に位置しているため、プロジェクトへの影響はない。送電線は当該遺跡を通過しないため敷設による影響はない。
	24	景観	D	D	工事中：事業対象地に配慮すべき特別な景観はない。 供用時：Shadow flicker→羽の回転による光の陰影が生じる可能性があるが、一部の方位に短時間生じる現象であるためほとんど影響がない。また本プロジェクトによる風車は、最寄りの居住区からは見えないため、景観を損なう要素とはならない。
	25	貧困層	D	D	工事中・供用時：貧困層への影響は想定されない。
その他	26	ジェンダー・子どもの権利	D	D	工事中・供用時：ジェンダー、子供の権利への負の影響は想定されない。
	27	健康被害/リスク、 HIV/AIDSを含む感染症	D	D	工事中：建設工事を日中に行い、サイトの清掃を徹底するなど、建設時の配慮を怠らないことにより、影響を最低限に抑えることができる。 供用時：健康被害を及ぼす要素は想定されない。
	28	労働環境 （労働安全を含む）	D	D	工事中：TPLによる労働基準によれば、建設作業は日中に実施され、作業員には安全靴、ヘルメット、安全ベスト、安全メガネが支給され、PPEに従い経験豊富な現場監理人による監視が行われる。工事中は労働者の雇用増加および作業員の技術レベルの向上に寄与する。 供用時：施設の稼働後もTPLを電力の供給事業者として、他の分野、特に建設業界の雇用増加にも寄与するため、負の影響が想定されるような作業はない。
	29	事故	B ⁻	D	工事中：事故に対する配慮が必要となるため、建設現場での定期的な安全管理委員会の開催を徹底するよう指導することで、事故の回避・防止とする。 供用時：運営マニュアルに則した安全管理対策を遵守することにより事故を回避する。
	30	越境の影響、 及び気候変動	D	D	建設予定地は、Tongatapu島東部沿岸部に集約されているため、越境の影響はない。 風力発電による電気使用量の増加により、既存のディーゼル発電による電気使用量が低下するため、燃料消費の削減に伴うCO2量の削減が期待できる。

出典：調査団作成

スコーピングの結果、「大気汚染」、「廃棄物」、「用地取得」、「事故」の4項目を、本協力対象事業

での環境社会配慮上重要な項目として調査対象とすることが妥当と評価された。各環境項目に対する調査項目並びに調査手法を TOR として次表にまとめる。

表 2-21 TOR

影響項目	調査項目	調査手法
大気汚染	・建設用重機の排気ガスによる大気汚染物質排出量	・窒素酸化物の濃度及び浮遊粒子状物質の濃度の状況を予測し、環境の影響程度を評価
廃棄物	・建設廃棄物の処理状況 ・使用済みバッテリーの処理方法	・現地業者へのヒアリングによる処理方法の確認 ・「ト」国廃棄物公社に対するインタビュー ・ゴミ処理場視察
用地取得	・対象サイトの土地権利（貸借関係）の確認 ・用地取得の規模の確認 ・用地取得が発生する場合の補償方法 ・対象サイト周辺の土地利用状況の確認 ・対象サイトの土地利用者の家計・生活状況	・関連法制度及び関連する事例等 ・現地踏査による対象サイト周辺の建物の有無、種類（住居、学校、医療施設等）等の確認 ・現地踏査時のインタビューによる対象サイト周辺の土地利用状況の確認 ・対象サイト利用者（借地名義人）に対するインタビュー
事故	・工事中の影響	・対象サイトまでの道路状況の確認 ・安全対策の確認

出典：調査団作成

2-2-4-1-7 環境社会配慮調査結果

(1) 大気汚染

本協力対象事業では建設用車両としてクレーン及びアジテータの使用が考えられるため、建設機械の排出ガスによる工事中の一時的な大気質の悪化が想定された。このため、本協力対象事業で想定される使用建設機械のうち、大気汚染物質が最も多い組合せとして、クレーン（70t と仮定）1台及びアジテータ（4.4m³ と仮定）2台が同時に現場で稼働すると仮定し、この場合のニウトウア集落に到達する大気汚染物質濃度を概算で求めたところ、Nox（窒素酸化物）：約 0.0023ppm、PM（粒子状物質）：約 0.00013mg/m³ となり、大気質に与える影響はほとんどないと判断された。また、建設候補地は、最も近い居住区域であるニウトウア集落から約 1km の位置にあり、この間のエリアに居住する住民も存在しない。このため、本協力対象事業の実施による大気汚染の影響はほとんどないと判断された。

(2) 廃棄物

建設に伴い、工事中は建設残土および廃材等が発生する。建設業者は、「ト」国廃棄物法（Waste Management Act 2005）に基づき、廃棄物公社（Waste Authority Ltd.、以下、WAL）を通じて MEIDECC の許可申請を行う。建設による産業廃棄物は、一般廃棄物同様、ヴァイニ地区の指定された廃棄物収集場に分別して埋められる。建設残土は、建設業者による別途埋め立て利用、あるいは周辺農地に利用される。本協力対象事業では、系統安定化のための蓄電設備として、リチウムイオンキャパシタ（以下、LIC）を使用する計画としており、この場合、LIC は 20 年ほどで廃棄物処理が必要となる。この処理に関する予算の確保及び適切な廃棄物処理の必要性を TPL は十分認識している。WAL によれば、「ト」国廃棄物法に LIC の処理に対する規定はない。また「ト」国では焼却システムを導入していないため、輸出廃棄以外の全ての廃棄物は、直接またはセメント漬けにして土中に埋設される。「ト」国での常套的な廃棄方法を採用した場合、LIC の正負極の絶縁処置をした上で、フィルムで梱包し、水分に触れない状態で土中に埋設する方法が想定される。他方、焼却を条件とし

た場合、他国に輸出することになるが、産業廃棄物の輸出入には双方国家による協定が必要となるため、現時点での可能性は低い。従って、「ト」国の法規に則り安全性に留意した上で土中に廃棄することが最も現実的である。

現在、LIC ではないが、トンガタプ島で車両等の使用済み鉛蓄電池を回収・処理するリサイクル業者は、GIO Recycling 社のみである。同社が回収したバッテリーは、国内では解体・分解せず、回収した状態のままコンテナごと韓国に海上輸送され、韓国のリサイクル会社により再資源化されている。以前はニュージーランドのリサイクル会社が買い取り、韓国に輸出していたが、「ト」国－韓国間の協定が結ばれ、GIO recycling 社に対する輸出許可が下りたため、現在では直接韓国に輸出している。GIO Recycling 社による現時点での鉛蓄電池買い取り価格は、0.20 TOP（トンガドル：パアング）/kg、1 コンテナあたりの輸送費は2,600US\$である。

(3) 用地取得・住民移転

現在、建設候補地に住宅等の建設物はなく、不法占拠も存在しないことから、住民移転は発生しない。一方、周辺一帯は農地であり、ココヤシやマンゴーなどの高木や、タロイモなどの野菜が散在しており整備されていない状態である。建設候補地一帯は、国王により住民に分譲されており、区画ごとに地権者が登録されている。そのため、これらの用地を使用する場合は、TPL と地権者間との協議の上、TPL から地権者に対して補償金が支払われ、リース契約を結ぶ必要がある。TPL は、これまでに同様の用地取得のプロセスを何度も経験しているため、本協力対象事業のための用地取得に関する影響はほとんどない。

(4) 事故

施設建設にかかる工事車両の台数は少なく、工事対象候補地までの交通量は多くないため、交通事故が起こる可能性は低いと考えられる。他方、建設現場での工事中の作業に伴う事故の発生が考えられるため、安全を重視し、事故防止に配慮する必要がある。

2-2-4-1-8 影響評価

前述の環境社会配慮調査結果に基づき、事業による環境影響を評価し、スコーピング案との影響評価の変化を一覧表にまとめると以下のようになる。

表 2-22 影響評価

分類	No.	影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		調査結果
			工事中	供用時	工事中	供用時	
汚染対策	1	大気汚染	B ⁻	D	D	D	工事中: 工事用建設車両の使用により、一時的な大気質の悪化が想定されたが、建設候補地から住民の居住区までの距離は1km以上離れており、この住区に届く大気汚染物質濃度を概算で算出したが、Nox(窒素酸化物): 約0.0023ppm、PM(粒子状物質): 約0.00013mg/m ³ となり、大気質に与える影響はほとんどないと判断された。 供用時: 工事車両は通行しないため、大気質の悪化は生じない。
	2	廃棄物	B ⁻	B ⁻	D	B ⁻	工事中: 建設残土や廃材は、建設業者によって適切に処理されている。 供用時: 本プロジェクトでは、蓄電設備として、鉛蓄電池及びリチウムイオンキャパシタの併用を前提としている。鉛蓄電池は15~18年、キャパシタは20年ほどで廃棄物処理が必要となるため、適切な廃棄処理が必要となるが、現在、「ト」国のリサイクル会社により韓国に海上輸出され、韓国国内で分解して再資源化されている。一方、リチウムイオンキャパシタはリサイクルできないため、「ト」国廃棄物法に則り土中に廃棄する。
社会環境	3	用地取得/ 住民移転	B ⁻	D	B ⁻	D	建設候補地一帯は、穀物用農地として区画ごとに地権者が登録されているが、住宅等の建設物はなく、ココヤシやマンゴー、野菜、雑草などが混在している。 工事前: 本プロジェクトの建設用地として用地を取得するためには、各地権者とTPLが協議し、双方の合意の元、リース契約が結ばれる。契約の際に、50年間の土地賃借権と引き換えにTPLから地権保有者に対して補償金が支払われる。現在、地権者との交渉がTPLにより進められている。 供用時: リース契約により法的に用地を取得するため問題は生じにくい。生じた場合、TPL内の苦情受付窓口が対応する。
その他	4	事故	B ⁻	D	B ⁻	D	工事中: 事故の可能性が皆無とは言えない。安全管理にかかる留意事項を守り、事故防止に配慮することで、事故を回避することは可能である。施設稼働中の安全管理はTPLにより徹底されている。 供用時: メンテナンスを確実にを行うことにより、事故発生を防止する。

出典: 調査団作成

2-2-4-1-9 緩和策及び緩和策実施のための費用

環境影響評価で、影響が予測されると評価された項目 (B-1) に関しては、負の影響を回避または緩和するための対策を以下のように提案する。

表 2-23 環境影響が予測される項目に対する緩和策

No.	項目	時期	緩和策	担当機関	費用
1	廃棄物	供用後	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電設備として使用された鉛蓄電池の廃棄処理は、「ト」国唯一のリサイクル会社であるGIO Recycling社により韓国に輸出され、再資源化を行う。TPLは、この為の予算を確保しておき、適切な廃棄処理を実行する。リチウムイオンキャパシタは「ト」国の廃棄物公社 (WAL)の規定に従い、WALの承認後廃棄する。 	<ul style="list-style-type: none"> TPL 廃棄物公社 	現時点での鉛蓄電池買い取り価格は、0.20 TOP (トンガドル: パアング) / kg、1コンテナあたりの韓国への輸送費は2,600US\$
2	用地取得	工事前	<ul style="list-style-type: none"> 建設候補地の地権者に対し、工事に関する説明を十分に行う。 土地借用の代替として、TPLと地権者との協議の上、定められた補償金の支払いに関する手続きを行う。 地権者とTPL間でリース契約を結び、契約書を土地計画局 (Department of Lands and Survey) に提出する。 契約書には、借用年数 (通常50年間)、工事中の使用条件、苦情の窓口等、必要な事項を明記する。 	<ul style="list-style-type: none"> TPL 土地・計画局 	借用する土地の面積、土地の市場価格、土地の状況に応じて、TPLの担当者が補償金を算出する。 TPLでは補償金額に関する基準が無い為、地権者との交渉によって最終金額が決定される。
			<ul style="list-style-type: none"> 送電線の敷設のため、プロット図をTPLから土地計画・自然資源省 (Ministry of Lands Survey and Natural Resources) に提出し、ROWに関する承認を得る。 	<ul style="list-style-type: none"> TPL 土地計画・自然資源省 	補償金の発生はない
3	事故	工事中	<ul style="list-style-type: none"> 工事従事者の労働環境に配慮する。 「ト」国の安全基準、天候等を把握した上で、具体的な安全管理体制を構築する。 安全管理集会を定期的に行うことにより、事故に対する工事従事者の意識を高める。 	<ul style="list-style-type: none"> 工事請負業者 	建設費に含まれる

出典: 調査団作成

2-2-4-1-10 モニタリング計画

風力発電施設建設前及び工事中におけるモニタリング計画は、下表のとおりである。緩和策を計

画した環境項目に関しては、以下のモニタリング計画に基づき、工事中及び供用中に定期的にその影響の変化をモニタリングする。用地取得に関するモニタリングは後述する。

表 2-24 モニタリング計画

影響項目	モニタリング項目	地点	頻度	責任機関
廃棄物	建設廃棄物：現場責任者への間取りによる排出量及び廃棄先の確認 鉛バッテリー：最終受け入れ業者による廃棄物受領書の確認 リチウムイオンキャパシタ：廃棄方法の確認	・建設現場 ・業者店舗 ・廃棄物公社	廃棄時	TPL 廃棄物公社
事故	安全管理委員会の実施 建設機材の管理状況 事故の状況	事業対象地	1回/月	工事請負業者

出典：調査団作成

2-2-4-1-11 ステークホルダー協議

本協力対象事業のステークホルダーは、「ト」国政府との電力供給委託契約（Concession Agreement：CA）に基づいて電力供給事業を行っている TPL、風力発電施設建設候補地の地権者及び建設候補地から約 1km 離れたニウトウア地区の住民である。TPL は、2014 年 8 月実施の EIA 及び 2016 年 4 月に「ニ」国により実施された EIA の 2 回に亘り、当該地区住民とのステークホルダー協議を行っている。2014 年の協議では、ニウトウア地区の 43 世帯に対するアンケートを行った結果、42 世帯から支持するという回答を得た。主たる賛成の理由として、施設建設による電力供給量の増加が電力料金の値下げに繋がり、住民生活に貢献する点が挙げられた。2016 年 4 月の NZ による調査では、住民集会の形式を採り、建設候補地の地権者、地区役員、牧師を含む 32 名のニウトウア地区住民、TPL 担当者及び NZ のコンサルタントによる協議が実施された。協議はパワーポイントを用いて、プロジェクトの概要が視覚的に説明されたため、それに対する住民からの質問として、風車の規模、工期、風力発電施設の建設に伴う地域住民の雇用増加の可能性、建設中の住区への影響、建設用地提供の場合の補償金、無風時の状態、ブレードの落下など稼働中の事故、地震やサイクロンによる影響、鳥類への影響の有無、騒音、電気料金の値下げ額などが積極的に挙げられた。このように、対象地区の住民に対する協議は既に 2 回行われており、直近では本調査より 4 か月前に実施された。これに関し、8 月 25 日に TPL と協議した結果、本調査期間中の住民協議は行わず、TPL による最終協議を行うことが確認された。TPL との協議事項は以下のとおりである。

- ・ 調査団が提案した建設候補地の地権者を特定し、職業、家計・生活状況、用地の使用状況（樹木、農産物による利益等）などを確認する。
- ・ 最終住民会議の実施を TPL 主導で行う。その際に、建設候補地の地権者も招致し、プロジェクトの概要、主旨、用地取得の必要を十分理解していただく。
- ・ 用地取得のための必要面積は、調査団から提示された数値となるが、風力量確保のために、風力発電施設周辺の高木は全て伐採する必要がある。地権者には恒久的に植樹しないことを説明した上で、その旨をリース契約に記載する（低木やタロイモのような風力に影響を与えない植物は栽培可能とする）。最終住民集会は、今年の 9 月～10 月の期間に行い、作成された議事録は調査団と共有する。
- ・ 用地取得に必要な補償金に関し、地権者との交渉を行い次期調査までに了承を得る。

- ・ 地権者との交渉により TPL の提示する補償金額が了承された場合、リース契約の手続きを準備する。
- ・ リース契約書には、補償額の支払条件として、将来的に事業に対して異議を唱えないこと、上述の植樹高さ制限を明記し、署名を受領する。
- ・ 施設建設に必要な建築申請には、土地の確保を示すリース契約書、EIA 申請証明書の添付が必要であるため、次期調査までに土地が確約できるように計画立てて手配する。

2-2-4-2 用地取得・住民移転

2-2-4-2-1 用地取得・住民移転の必要性

本協力対象事業の建設候補地は、トンガタプ島北東部の海岸線に位置した農地であり住居地区ではないため、住民移転は発生しない。他方、建設候補地は区画されており、それぞれに借地権者を持つ農地であるため、地権者との交渉を踏まえた用地取得が発生する。土地の一部では低層の雑草の中にココヤシやタロイモが栽培されており、建設開始前の伐採が必要である。既存の送電線との連結に至る新規送電線の敷設は、公共道路に沿って計画され、周辺の建造物に影響を与えないルートを選定するため同影響は生じない。

工事用車両通行のための道路に関しては、「ト」国政府による周辺道路の整備が既に計画されている。本工事の開始時までにはアクセス道路として先行して整備されることになっており、道路のための用地取得は発生しない。

1. 影響エリア：トンガタプ島北東部の 7 区画の農地（その内 5 区画を使用予定）
2. 初期設計代替案：当該地点に施設建設を実施しない
3. 用地取得最小化の方法：必要面積を算出し、工事開始前に地権者に対するリース契約を締結する。送電線は住宅区画を横断しないように計画する。

2-2-4-2-2 用地取得にかかる法的枠組み

国王所有地の一部が国民に分譲されて以来、「ト」国における土地の所有権は、区画ごとに登録された地権者に帰属している。トンガ国憲法（Constitution of Tonga, Revised 1988）により、土地の売買は禁止されているが、土地法（Land Act, 1988 Revised Edition）に則った土地の貸借（リース契約）は認められている。このため、本協力対象事業の建設用地は、建設候補地の地権者と TPL とのリース契約に依り取得される。リース契約は、内閣の審議を受け、MLSNRE の承認後、上限を 99 年とする借用期間を前提に結ばれ、土地計画局により登録される。「ト」国政府は法令上の土地価格を制定していないため、地権者と TPL との間で、本協力対象事業での必要面積に対する補償金の交渉を行う必要がある。隣接した土地の場合でも地権者によって希望補償価格が異なるため、TPL では使用する面積を正確に算出し、その面積あたりの市場価格を参照にしながら交渉を進める。補償金は、工事着手前に TPL から支払われる。本協力対象事業での架空線及び地中線に係る道路使用は、土地法による公共目的に該当するため、土地利用権（Right of Way 以下「ROW」）や補償金は発生しない。

2-2-4-2-3 用地取得の規模・範囲

本協力対象事業の風力発電施設は、図 2-38 に示すように最大 7 区画に亘る土地を利用して建設

される。用地取得の補償対象は、これら7区画の内、取得可能な土地に基づいて計画された風車の位置により最終決定された範囲の土地となる。前述の通り、対象範囲の土地はココヤシ、タロイモ、雑草等が混在する農地であり、積極的に使用されていない状況が現地踏査により確認された。プロジェクトでは5基の風車を設置するため、風車の基礎部及びメンテナンスを考慮した面積を算出し、当該部分の用地取得のための地権者への補償金を確定した上でリース契約を結ぶ。対象となる区画の地権者及び各区画の必要取得面積は以下の通りである。

表 2-25 用地取得面積

対象区画	地権者数(人)	面積(m ²)
A	1	3,032.261
B	1	4,345.035
C	1	4,578.846
D	1	3,364.133
E	1	5,826.452
F	1	2,960.644
G	1	3,927.156
7区画	7	28,034.527

面積：風車基礎部、メンテナンス時の必要面積及び作業用私設道路を含んだ数値

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 2-38 用地取得の範囲

風車間の中心距離 100m として、風車 5 基及び蓄電設備棟を配置した場合、本協力対象事業で想定される用地取得の被影響地権者数は、表 2-25 のとおり対象区画 A～E の地権者である 5 人となる。架空線及び地中線は公道の内側に道なりに敷設されるため、住宅区画は侵害されない。このため農地の横断や住民移転の必要はなく、土地法により電柱位置と線下の土地利用権 (ROW) の取得も不要である。

2-2-4-2-4 補償・支援の具体策

建設候補地は 7 区画全てが農地であるが、現地踏査ではココヤシやタロイモのような収穫可能な農作物はわずかであり、灌木や喬木が混植された草藪がほとんどの区画を占めていた。従って、用地確保後の伐採による農作物の減産による地権者の経済的な影響は低い。用地取得に際して、TPL は、風力発電施設本体の基礎部及びメンテナンスに必要となる面積を算出し、該当地区の土地市場価格及び、現状の土地利用状況に相応した補償金額を設定する。補償金額は、個別に各区画の地権者に提示され、被補償者の現況 (仕事、世帯構成、所得、生活水準等) への損失の有無を確認した上で、交渉により決定される。本協力対象事業では、風力発電に影響を与えることから建設地及び周囲の樹木の伐採が必須となる。このため恒久的に高木の植樹は不可能であるが、伐採により、現状の放置された土地への穀物等の栽培が可能となる。これにより、現状よりも農作物による収入の増加が期待される。

表 2-26 エンタイトルメント・マトリックス

No.	損失	補償の受給者	補償内容	責任機関
1	農地 (耕作地)	地権者 (農民)	TPL の判断に基づき、補償金が各区画の地権者に支払われる。	トンガ・エネルギー ロードマップ実施局 実施機関: TPL
2	穀物			

参照とする「ト」国制度: トンガ国憲法 (Constitution of Tonga, Revised 1988)
土地法 (Land Act, 1988 Revised Edition)

出典: 調査団作成

2-2-4-2-5 苦情処理メカニズム

建設工事の開始前に、ニウトウア地区住民及び建設候補地の地権者に対し、工事に係る安全管理及び質疑応答を中心とした住民協議を行う。工事中及び供用中の苦情や意見は、地区長を通じて実施機関である TPL が窓口となって対応する。また建設中も、TPL は必要に応じて随時住民集会を開催し、問題の早期解決を図る。地権者に対しては、リース契約締結時に、補償金額の受領と引き換えに今後の事業に係る異議を唱えない旨が条件として提示される。TPL 内には顧客サービスカウンターが設置されており、電話、e-mail、手紙などの手段によるリスクや苦情等に対応している。

2-2-4-2-6 実施体制

建設候補地の用地取得に至る一連の手続きは、プロジェクトの実施機関である TPL が行う。TPL はこれまでも、用地取得のための交渉を行った経験があり、経理部門担当者による用地取得の必要性、用地取得による影響の有無、対象用地の現地確認、対象住民への説明・協議、補償規模の査定等の結果に基づき、補償手続きが行われる。工事中、供用中の苦情の窓口は顧客サービスカウンターが行う。用地取得に係る TPL の組織体制は前述の組織図のとおりである。

2-2-4-2-7 実施スケジュール

用地取得にかかる諸手続き（地権者及び土地利用者との協議、補償額決定等）は、工事開始前までに終了していることが望ましい。本計画の工事工程における用地取得の実施スケジュールは、下表のとおりである。

表 2-27 実施スケジュール

月	1				1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
建設候補地の確認	■	■	■	■				
地権者の確定		■	■					
補償規模及び補償金算出		■	■	■				
地権者との交渉			■	■				
住民への概要説明			■	■				
リース契約手続き			■	■				
用地整地					■	■	■	■

出典：調査団作成

2-2-4-2-8 費用と財源

用地取得に係る補償金は、TPLの予算を財源として、各地権者に対してそれぞれが合意した金額が支払われる。補償金額は、建設に利用される土地面積に応じた補償に加え、農作物による収入がある場合は、収入額の削減を考慮した金額が交渉時に提案される。従って施工時に農作物が耕作されていない場合は農作物に対する補償対象にはならない。次表は市場価格を採用した場合の補償金額である。「ト」国土法には、補償金に係る基準が制定されていない為、TPLは土地の現況、市場価格等を元に最終判断をする。

表 2-28 用地取得にかかる補償費用と財源

補償対象 総面積(m ²)	補償金額 (TOP)	補償金	移転費の財源
21,146.73	323,535.682	現在の土地利用状況、現在収穫可能な穀物の有無、市場価格等の条件を鑑みて、TPLが最終判断をする。	TPL

注：TOP：トンガドル（バアング）

出典：調査団作成

表 2-29 用地取得が想定される農地における補償額

対象区画	補償面積 (m ²)	市場土地単価 (TOP/m ²)	補償金額(TOP)	
			TOP	円換算
A	3,032.261	9.848	29,860.400	1,375,967.219
B	4,345.035	9.910	43,060.996	1,984,250.693
C	4,578.846	12.328	56,449.080	2,601,173.611
D	3,364.133	12.386	41,666.972	1,920,014.078
E	5,826.452	12.229	71,254.208	3,283,393.924
F	2,960.644	12.242	36,244.026	1,670,124.715
G	3,927.156	11.459	45,000.000	2,073,600.000
7区画	28,034.527		323,535.682	14,908,524.240

注：TOP：トンガドル（バアング）

（出典TPL）

：為替レートは積算採用レートを使用(1TOP=46.080円)

出典：調査団作成

用地以外の補償として、収穫物に対する補償が加算される。本調査で建設候補地を踏査したところ、対象とする全区画に亘り、生計を維持するための収穫穀物は確認できなかった。このため、対象区画の収穫物による補償は、TPLによる現地踏査の結果を踏まえ、地権者との協議により決定される。

2-2-4-2-9 実施機関によるモニタリング体制、モニタリングフォーム

用地取得に対する補償手続きは、施設建設の前提となるため建設開始前に完了する。用地の代替としての補償金が供用された後も、TPLは地権者に対して定期的に現状での不満の有無を確認する。基本的に TPL が窓口となるが、話し合いでの解決が困難な場合は TERM-C に相談し解決策を講じる。また、リース契約に記した周辺樹木の高さ制限については、風力の確保に影響するため、定期的に確認することが重要である。

表 2-30 モニタリング計画

区画	地権者 氏名	用地 規模(m ²)	施設周辺状況 樹木高さ	コメント(条件・苦情等)	責任 機関
A		3,032.261			TPL
B		4,345.035			TPL
C		4,578.846			TPL
D		3,346.133			TPL
E		5,826.452			TPL
F		2,960.644			TPL
G		3,927.156			TPL

出典：調査団作成

2-2-4-2-10 住民協議

過去の送電設備の拡張や太陽光発電施設の建設に際し、TPLは建設地周辺の住民との協議を行っており、建設用地の取得のために住民の理解が重要であることを十分理解している。本協力対象事業の建設候補地においても、既に2回の住民協議が実施された。直近では、2016年4月に実施された「ニ」国によるEIA調査で、建設候補地の地権者、地区役員、牧師を含む32名のニウトウア地区住民を対象とする協議を行った。また、建設候補地の一部の地権者との協議も行われ、保有地の貸借にかかる補償金についての質疑が寄せられたが、プロジェクトに対する協力が確約された。本調査では、対象とする建設候補地の地権者が不在であったこと及び4か月前にニウトウア地区住民との協議が行われたばかりであることから、調査団の帰国後、再度TPLによる住民協議を実施する。なお、正式な住民協議として、補償手続きは公平かつ円滑に行うよう留意し、当該地域の慣習を尊重しつつ住民に対し十分な説明を行い、意見の公募及び計画の見直しの手順を適切に行なうこととする。

2-3 その他（グローバルイシュー）

(1) 気候変動への対応

風力発電設備の導入に伴う既存ディーゼル発電機の運転時間の短縮により、化石燃料使用量が削減される。これにより、温室効果ガスの排出抑制が期待されることから、本計画は気候変動への適応に寄与する。

(2) 世界リスク指標への対応

「ト」国は世界リスク指標報告書（2014年）の中で、世界で3番目に災害リスクが高い国と報告されており、サイクロンや地震の恒常的な発生と、地震による津波発生リスクが高い環境にある。津波に関しては、マグニチュード9.0の地震が発生した場合に、トンガタプ島の主電源であるポプア発電所が浸水することが想定され、ディーゼル発電機による発電が期待できない。したがって、津波による被害を受けないと想定されるバイニ発電所の太陽光発電施設及び本協力対象事業による風力発電施設が、一時的にトンガタプ島の電力を担うことになり、世界リスク指標への対応に寄与する。

第3章 プロジェクトの内容

第3章 プロジェクトの内容

3-1 プロジェクトの概要

3-1-1 上位目標とプロジェクト目標

石油燃料の輸入が全輸入額の20%を占めている「ト」国では、電力供給の93%以上を、輸入燃料を使用したディーゼル発電に依存している。このため「ト」国は、国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点からも極めて脆弱である。これを受け「ト」国では、温室効果ガスの排出削減とエネルギー安全保障の向上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」という政策目標を2009年に閣議決定した。

係る状況のもと、「ト」国ではこれまで、出力合計2.3MWの太陽光発電施設を整備してきたが、更なる再生可能エネルギーの割合を増加させるため、トンガタブ島に風力発電施設が整備されることを期待している。

したがって本協力対象事業では、風力発電施設及び系統安定化施設を整備することにより、再生可能エネルギーの利用促進、及び電力供給源の多様化を図り、もって「ト」国のエネルギーの安定供給に寄与することを目標とする。

3-1-2 プロジェクトの概要

本協力対象事業は、上記目標を達成するために、ニウトウア地区に風力発電設備1.3MW及び系統安定化装置を設置するとともに、関連する配電設備の新設・増強、通信設備や施設の建設を行うものである。これにより、トンガタブ島の電力供給における再生可能エネルギーの割合が高められるとともに、電力品質の安定化が達成される。

3-2 協力対象事業の概略設計

3-2-1 設計方針

3-2-1-1 基本方針

本協力対象事業は、「ト」国への再生可能エネルギーの安定的導入を目的とし、風力発電設備、蓄電設備及び既存グリッドへの送配電線の接続に係る施設建設・資機材調達を行うものであり、プロジェクト対象地域における系統モデルを構築し、シミュレーションを行い計画の前提条件を検証する。また、本協力対象事業が、2020年までに再生可能エネルギーの割合を50%とすることを目指すTERMに組み込まれていることから、2020年を本協力対象事業の目標年とする。

(1) サイト選定に係る方針

風力発電設備の建設予定地として、「ト」国はトンガタブ島の北東端に位置するニウトウア地区を要請している。また、これまで「ニ」国は、トンガタブ島のニウトウア地区、ラパハ地区で風況調査を行っており、ニウトウア地区の方が、ラパハ地区に比べて風況条件が良いことが明らかになっている。

「ニ」国は、その発電効率の高さから、900kw級の風力発電設備をニウトウア地区に導入する意向を持っており、我が国が導入する予定の風力発電設備の出力が小さいことと、仕様の異なる風力発電設備が混在することの見栄えの点から、日本側に対し、ラパハ地区への風力発電設備導入の打診があった。しかしながら、「ニ」国の風力発電設備の事業スケジュールが未定であること、「ト」国の要請がニウトウア地区であること、また我が国がニウトウア地区に風力発電設備を導入した後も、「ニ」国がニウトウア地区に風力発電設備を建設する敷地を確保できることから、本協力対象事業における建設予定地はニウトウア地区とする。

(2) 資機材輸送に係る方針

1) 輸送ルート

Nuku'alofa 港から本協力対象事業の計画地までの資機材の輸送ルートは、ニウトウア集落まではアスファルト舗装された主要道路、ニウトウア集落から計画地は未舗装道路となる。輸送ルートのうち、Nuku'alofa 港近傍、Hoi 地区近傍は道路分岐があり 2 経路考えられることから、輸送ルートの選定を行った。

【Nuku'alofa 港近傍】

輸送経路としては、Nuku'alofa 港に面する VUNA ロードと、直進する ALAIVAHAMAMA'O ロードが考えられる。TPL 担当者のヒアリングにより、電柱輸送や港からのコンテナ輸送の場合は、架空電線が高く設置されている ALAIVAHAMAMA'O ロードを輸送しているとのことから、本計画では ALAIBAHAMAMA'O ロードを選定することとした。



出典：調査団作成

図 3-1 Nuku'alofa 港近傍のルート案



出典：調査団作成

図 3-2 選定ルート現況

【Hoi 地区近傍】

輸送経路としては、海沿いと内陸へ向かう2経路が考えられる。海沿いルートは輸送延長は長くなるが、両側1車線、幅員5.5m道路である。一方、内陸ルートは、輸送延長は短くなるものの、幅員3.8mであるため工事車両と一般車両の行き違いが困難である。また、工事車両の通行には最低4.0mの空頭が必要となるが、内陸ルートの場合、両路肩の植栽が道路上を覆っている区間が続き、工事車両通行の支障となることが想定される。海沿いルートの場合、道路上を覆っている樹木は2本程度であり、かつ道路空頭は4.5mであるため通行に支障はない。以上より、一般車両走行への影響、工事車両の走行性を考慮し、海沿いルートを選定することとした。



出典：調査団作成

図 3-3 Hoi 地区近傍のルート案



出典：調査団作成

図 3-4 海沿いルート（左）及び内陸ルート（右）

以上より、Nuku' alofa 港から本協力対象事業の計画地までの全ルートは以下の図に示すとおりであり、舗装道路 38.4km、未舗装道路 0.9km、計 39.3km の輸送となる。

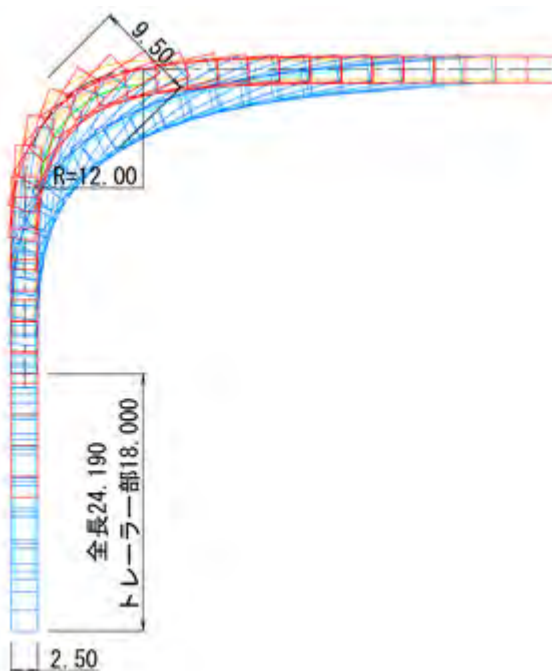


出典：調査団作成

図 3-5 輸送ルート

2) 道路拡幅計画

本計画の資機材の輸送には、タワー、ナセル等の輸送のため 20ft コンテナやブレード輸送のためトレーラー等が使用される。ブレードは1枚 16~17m 程度であり、軌跡図は図に示すとおりである。両側 1 車線の直線道路の輸送は問題ないが、交差点やニウトウア集落を過ぎた未舗装区間では一部、道路の拡幅が必要となる。



出典：調査団作成

図 3-6 ブレード輸送時のトレーラー軌跡図

輸送ルートのうち右左折が必要となる交差点（A、B、C）の現況は下図のとおりである。

交差点 A は片側道路幅員 3.6m、中央分離帯 0.9m が内輪走行に支障となる可能性があるため、ブレード輸送時のみ一時的に、反対車線を走行させ交通規制をかける必要がある。

交差点 B は両側 1 車線の広い道路であり、ラウンドアバウトを採用した交差点である。ラウンドアバウトの中央島は、走行に支障がある場合は乗り上げも可能なよう、高さが低く設計されている。

交差点 C は本計画地近傍の未舗装区間であり、道路幅員 2.7m である、未舗装区間については、交差点部に限らず、直線区間についてもアクセス道路として拡幅が必要である。拡幅断面図を図 3-9 示す。



出典：調査団作成

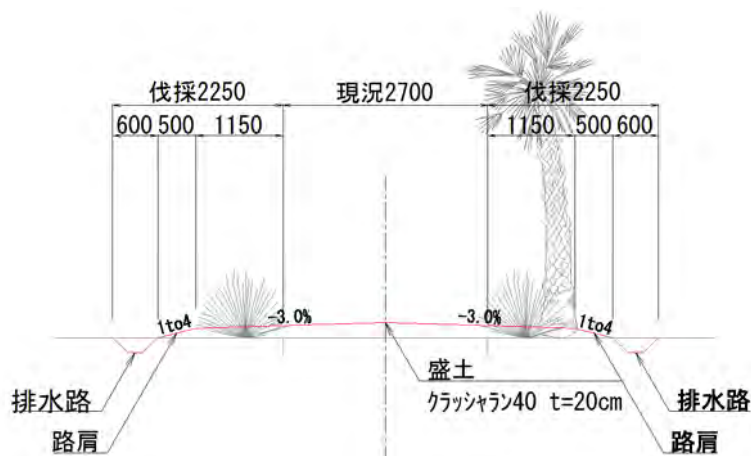
図 3-7 交差点位置図



出典：調査団撮影



図 3-8 交差点 A (左上)、交差点 B (左下) 及び交差点 C (T 字路) (右下)



出典：調査団作成

図 3-9 未舗装区間拡幅断面計画

3-2-1-2 自然環境条件に対する方針

(1) 温度・湿度条件に対する方針

「ト」国は海洋熱帯性気候であり、一年を通じて各月の平均気温はおよそ 22℃から 27℃で年間を通してほぼ一定である。湿度は年間でおおよそ 79%から 86%の間で推移している。本計画で調達される蓄電設備、計装設備、遮断機盤等は屋内に据付けされるため、外気温に対する特別な対策を講じる必要はないが、機器の発熱に対する換気的设计に当たっては、機器の効率的な運転を考慮し、室内温度については 35℃以下とし、また屋外設備については 40℃を超えないよう、設備の機能が確保出来るように配慮する。

(2) 風速に対する方針

1) 風車カテゴリ

世界で使用されている風車の多くは、国際的な技術規格である IEC (International Electrotechnical Commission) 規格などにに基づき設計・製造されており、この中で特に風に関しての要件が設定されているのが IEC61400-1 である。「ト」国の風力発電施設も IEC に準拠することになっている。IEC61400-1 では風車カテゴリが設定されており、設計条件により風車全体の強度計算等が可能になるよう、対応するカテゴリが決定され、風速及び乱流強度が定義される。

表 3-1 風車カテゴリの基本パラメータ

風車カテゴリ	I	II	III	S
V _{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	設計者が規定する数値
A I _{ref} (-)		0.16		
B I _{ref} (-)		0.14		
C I _{ref} (-)		0.12		
この表の値は、ハブ高さにおいて適用する。 V _{ref} : 10分平均基準風速 A : 高乱流カテゴリの場合に選定 B : 中乱流カテゴリの場合に選定 C : 低乱流カテゴリの場合に選定 I _{ref} : 風速が15m/sのときの乱流強度の期待値 (代表値ではない)				

出典：IEC 基準

カテゴリ IA から III C までを標準風車カテゴリと呼び、耐用年数を 20 年以上として設計されるが、特殊な風条件やその他の外部条件、または特別な安全カテゴリが要求される場合には、追加の風車カテゴリであるカテゴリ S を選択し、個々の設計値が独自に設定される。

本協力対象事業では、近年のサイクロンの大型化を考慮し、以下の通り個別に極値風速を設定する。

2) 極値風速の設定 (地上 10m 地点)

通常、風速は地上 10m での観測高さの値で表される。地上 10m での極値風速を設定するに際し、これまでの調査結果を含め、参考となる最大瞬間風速の数値は以下の通りである。

表 3-2 最大瞬間風速の各種数値

参考項目	最大瞬間風速 (m/s)	備考
「ト」国建築基準	70	「ト」国の建築基準として確保する必要のある設計風速の最小値
気象局	78.0	MEIDECCが所管する気象局が建設する観測所の設計風速、サイクロンのカテゴリ-5の最小風速
気象データ (空港観測所)	77.2	「ト」国気象局による3時間ごとの風速観測記録の最大値
サイクロン (実測値)	84.9	実測値として最大値を記録した、サイクロン・ウィンストンの風速 (但し、測定場所はフィジー)

出典：調査団作成

「ト」国建築基準では、建設物の設計風速を許容応力度設計：57m/s、限界状態設計：70m/s と、設計手法ごとに定めている。限界状態設計に適用される設計風速 70m/s は、3 秒平均となる最大瞬間風速を表している。2017 年以降、「ト」国の建築基準は改訂される予定であり、許容応力度設計が今後不採用となる見込みであることから、「ト」国の建築基準による設計風速 (最大瞬間風速) を 70m/s として考える。

一方、「ト」国政府は、MEIDECC が所管する気象局の気象観測所の建設を、トンガタブ島の東方約 20km に位置するエウア島内の空港敷地内に計画しており、サイクロン規模の分類で最大となる、カテゴリ 5 における風速の最小値 78m/s を設計風速としている。これは、「ト」国政府が、サイクロンの脅威に対して強く警戒していること、建築基準で定めた設計風速を最低限確保することはもちろん、対象構造物が重要構造物であると判断した場合には、建築基準以上の風速を柔軟に、かつ個別に設定することを可とすることを意味している。

「ト」国が主要公共施設である気象観測所の建設に際し、サイクロン規模のカテゴリ 5 となる風速 78m/s を採用している状況ではあるが、過去に 70m/s を超えるサイクロンが対象サイトを通じた記録は無い。一方で、「ト」国は風力発電機に対し、近年大型化しているサイクロンにも耐える極値風速での計画を要望し、我が国に対し風車カテゴリ S にて計画することへの要請レターを発出した。したがって本協力対象事業では、極値風速の設定として最も妥当性のある、「ト」国建築基準をベースとした極値風速の設定を行う。具体的には、本協力対象事業における地上 10m での極値風速を「ト」国建築基準に従って 70m/s とし、サイクロン襲来時の風車の位置により、風速の鉛直分布を定義することで地上 10m 以上での極値風速を設定する。

3) 極値風速の設定（鉛直方向の風速分布）

風速の鉛直分布は、通常、以下のウィンドシアの法則によって定義され、標高が高くなるにつれて風速が大きくなる。

$$V(z) = V(z_r) \times \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$V(z) = V(z_r) \times \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \dots\dots\dots (2)$$

ここに、
 $V(z)$: 高さ z における風速
 z : 地上高さ
 z_r : プロファイルを合わせるために用いられる基準高さ
 z_0 : 粗度長
 α : ウィンドシア（又は指数則）の指数

粗度の類別	α
非常に低い粗度（平坦な氷、静かな海）	0.10
低い粗度（草地、低地、何も無い野原）	0.16
平均的な粗度（低木の茂み、まばらな樹木）	0.20
平均的な粗度（村落、分散した家庭）	0.28
高い粗度（高い建物がある町）	0.40

図 3-10 ウィンドシアの法則（公式及び粗度の種別ごとの指数 α ）

図 3-10 の指数 α は、一般にウィンドシアの法則による風速の鉛直分布を算出する際に使用される係数であるが、これらの値が適用できるのは風が定常状態の場合であり、サイクロンのように風況が乱れている状態では、この指数 α を使用して風速の鉛直分布は定義出来ず、サイクロンを考慮した α を別途検討する必要がある。

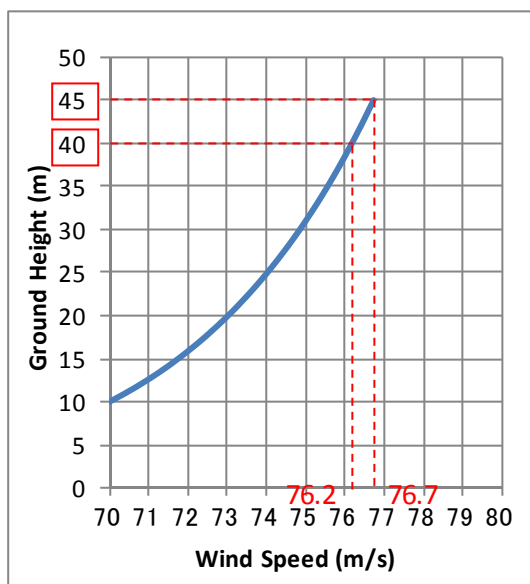
サイクロン時の風速の鉛直分布に伴う指数 α の設定については、米国により 2012 年に研究論文⁵が発表されており、以下の通り記載されている。

78 Ian M. Giammanco, John L. Schroeder and Mark D. Powell					
Table 2. Results of log and power law least-squares fits for a 20 – 160 m surface layer.					
MBL group (ms ⁻¹)	Surface layer depth (m)	25 m bin sample size	R ² -Log	R ² -Power	α
35-39.999	20-160	236	0.996	0.993	0.086
40-44.999	20-160	210	0.994	0.991	0.093
45-49.999	20-160	166	0.993	0.992	0.083
50-54.999	20-160	103	0.989	0.952	0.098
54-59.999	20-160	105	0.989	0.968	0.081
60-64.999	20-160	54	0.992	0.975	0.058
65-69.999	20-160	64	0.992	0.991	0.089
70-74.999	20-160	53	0.962	0.941	0.061

図 3-11 サイクロン時の指数 α （海上）、78 ページ

この研究論文では、調査したサイクロンのデータから、風速の範囲ごとに指数 α が算出されている。鉛直方向の風速分布は、地上 20~160m を対象としており、風速の範囲ごとに指数 α が算出されている。地上 10m での極値風速 70m/s に対する指数 α は、 $\alpha=0.061$ であり、これを基に上空の風速の鉛直分布を算出すると以下の通りとなる。

⁵ 「Observed characteristics of tropical cyclone vertical wind profiles」、専門誌: Wind and Structures An International Journal、2012 年 1 月号、P65~86 に掲載



出典：調査団作成

図 3-12 風速の鉛直分布 ($\alpha=0.061$)

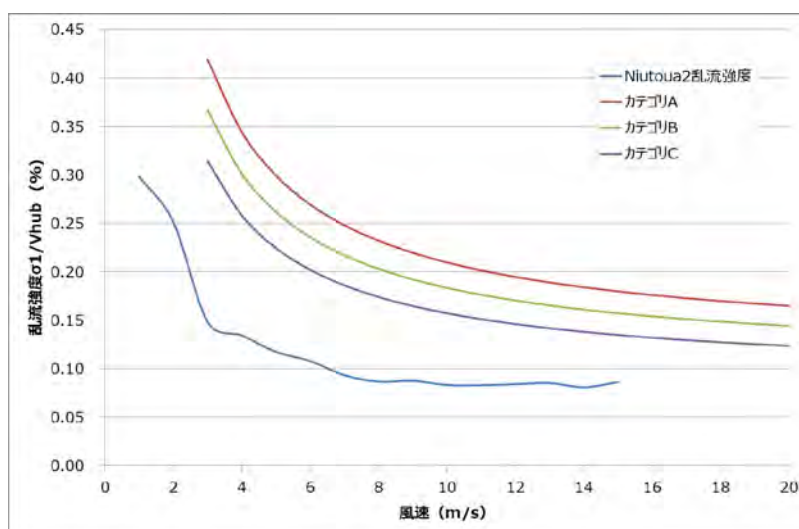
図 3-12 から、地上 10m での極値風速を 70m/s とした場合、標高が上がるにつれて極値風速も大きくなり、地上 40m 地点では極値風速が 76.2m/s、地上 45m 地点では極値風速が 76.7m/s になると計算される。

したがって本協力対象事業では、再現期間 50 年の極値風速 (V_{e50}) として、地上 10m での値を $V_{e50}=70.0\text{m/s}$ と設定する。また、極地風速の鉛直方向の変化は図 3-12 に従うものとし、地上 40m、45m での極値風速をそれぞれ $V_{e50}=76.2\text{m/s}$ 、 76.7m/s とする。このため、風車カテゴリ I を超える極値風速となることから、本協力対象事業で採用する風車はカテゴリ S となる。

なお、日本では、風車カテゴリに関して 2017 年 1 月に JIS の改定が行われ、台風などの強風時を考慮した、風車カテゴリ T が新たに制定された。風車カテゴリ T の 10 分平均基準風速は 57m/s であり、極値風速としては $V_{e50}=79.8\text{m/s}$ となる。風車カテゴリ T と比較した場合、 $V_{e50}=76.2\text{m/s}$ 、 76.7m/s は若干小さくなるものの、これまでの風車カテゴリ I 以上の風速としていることと、「ト」国の建築基準を元に算出した点で妥当と考える。

4) 乱流強度

乱流強度は、風の乱れの程度を示す風速の標準偏差であり、通常時の風況条件における風車の疲労強度を確保する際の設計条件として使用される。下記に標準となる各風車カテゴリの風速ごとの乱流強度、およびニウトウアで実施された風況観測データから算出した乱流強度を示す。



出典：TPL 風況データより調査回作成

図 3-13 各風車カテゴリの基準乱流強度とニウトウアの乱流強度

風況観測データによるニウトウアの乱流強度はそれほど大きくなく、全風速域においてカテゴリ C を下回っており、風の乱れが少ないことを確認した。したがって、乱流強度はカテゴリ C である 0.12 以上を確保する。

(3) 地震に対する方針

「ト」国での設計水平震度は、構造物ごとに採用値を検討する必要があるが、地震をとりまく状況が我が国と類似していることや本協力対象事業に先行して実施されている「マイクログリッドシステム導入計画」の事例から、設計条件として我が国で一般的に採用されている水平震度 0.2G を採用する。

また「ト」国は、想定しうる最大規模の地震をマグニチュード 9.0 として、風車が整備されるニウトウア付近での津波高さを 8~10m としているが、施設建設予定地は標高 13m 以上となっており、津波に対する対策は特に必要ない。

(4) 雷に対する方針

雷対策として、ブレード先端にレセプタ（受雷部）を、ナセルに避雷針を有する風車を選定する。また、接地抵抗を A 種以上（10Ω 以下）とすることで雷を地絡させやすくする。また、雷保護に関しては、日本の雷保護と同一基準である AS/NZS 1768 に従う。ただし、「ト」国の配電線上には雷対策のための架空地線が設けられていない。これは雷自体が少ない地域において行われる対応であり（日本では雷が少ない青森県、岩手県など）、「ト」国も雷が少ないことに起因していると考えられる。

(5) 地盤に対する方針

風力発電設備の建設予定地となるニウトウア地区は、表層約 30cm の風化した火山灰由来のシルト質粘土の下に深さ 2.3m 程度までは石灰岩が風化した状態で存在し、深さ 2.5m 以深では未風化の石灰岩となり、これが基盤岩となっている。「ニ」国が実施した地盤調査の結果、地下 2.5m で N 値 50 が確保出来ることが判明している（地下 4.0m 以深では N 値換算 200 以上）。地下に空洞も確認されず、不同沈下を引き起こすような地盤ではない。したがって本協力対象事業では、地盤に十分

な支持力があるとし、直接基礎による地盤への支持とする。

3-2-1-3 風車の選定に対する方針

「ト」国のような離島で風力発電設備を設置する際の問題点は、施工用重機の調達である。NEDO⁶は、20トン級クレーン以下の重機の活用を推奨し、16トン級クレーンによるジンプール方式による設置を提案しているが、「ト」国で調達できる重機は限られているため、さほど大型の重機を必要としない風力発電設備として、300kW以下の風車が適している。

出力300kW以下の風車には、可倒式、固定式の2タイプがあり、それぞれに利点がある。可倒式風車は傾倒することでサイクロンの強風に耐え、また傾倒してメンテナンスを行うことから、維持管理が容易である。一方、固定式風車は傾倒の必要がないため、サイクロン通過時の強風が収まった後、直ちに発電を再開することが可能である。

可倒式風車、固定式風車、いずれのタイプも島国である「ト」国への導入は可能であり、タイプに応じた風力発電施設の運転・維持管理がなされる必要がある。

3-2-1-4 系統安定化に対する方針

本計画の対象となるトンガタブ島は、ディーゼル発電機を主要電源としており、系統の負荷一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、需要変動だけではなく、再生可能エネルギー電源の出力変動の補償も許容する能力が要求される。本計画では、既存の太陽光発電設備（2.3MW）に加え、新たに風力発電設備を整備することから、ディーゼル発電機の負荷追従能力を上回る出力変動の発生が予想される。したがって、風力発電設備を整備するに当たり、系統安定化を目的とした蓄電設備による変動補償の必要性を検討し対策を講じる。

蓄電設備を要する規模の再生可能エネルギーの導入は、「ト」国産エネルギーの供給の拡大という観点から、化石燃料への依存脱却に対し有効である。しかしながら、蓄電設備は高コストであるため、種類、特性、容量、期待寿命等を勘案し、風力発電システム導入によるディーゼル燃料コスト削減が、蓄電設備の更新費用に対し優位性があるよう計画しなければ、「ト」国のエネルギー安全保障を確立することにはならない。

現状の再生可能エネルギー電源の導入規模、周波数変動の現状、既設ディーゼル発電機の負荷追従性能を前提条件とし、蓄電設備の種類・容量に係る基本方針を以下に示すが、風力発電システムの導入に係る蓄電設備の検討は、風力発電機の短周期及び中周期⁷、それぞれの変動補償を前提に行う。

(1) 風力発電機の短周期変動補償に対する方針

1) 検討手法

系統安定化の短周期変動補償に係る検討は、代数的手法⁸を用いて行う。代数的手法は、我が国の

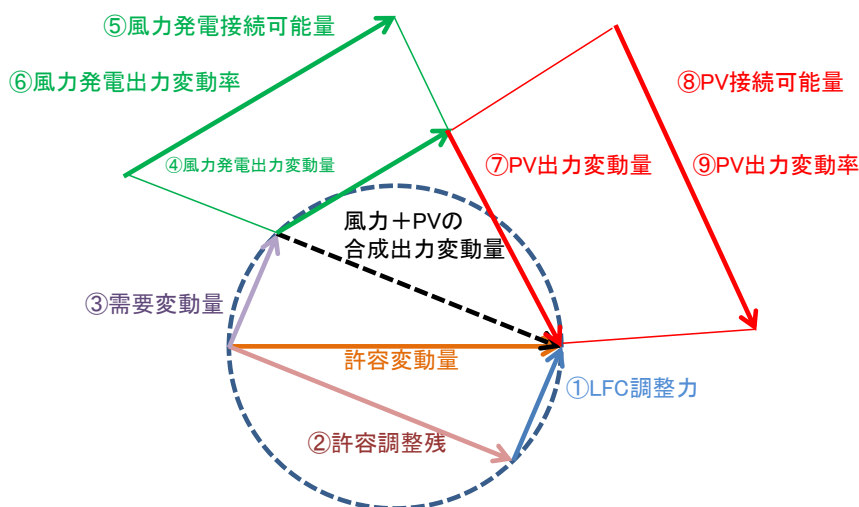
⁶ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

⁷ 短周期変動補償とは、対象周期を数分程度までとして、電圧変動、周波数変動に対して安定化制御をすること。発電機を機械的、電子的に直接制御（自己制御）、もしくは附帯設備等（無効電力補償装置等）の運用によって調整する。

中周期変動補償とは、対象周期を数分から20分程度までとして、系統全体を監視して電圧変動、周波数変動に対して安定化制御をすること。発電機への指令は中央給電指令所からのオンラインフィードバック制御によって行われる。

⁸ 電気学会技術報告第869号に準じた検討方法であり、風力発電の出力変動ならびに負荷変動の実績データと、調整力との関係を数式化して検討する手法である。

風力発電の連系可能量の算定にも用いられており、必要なパラメータを入力することにより、系統への風力発電接続可能量を算出することができる。



出典：沖縄電力「再生可能エネルギー接続可能量の算定結果（試算）について」

図 3-14 代数的手法の概念図

系統容量（最低需要電力）、需要変動量は、TPL の SCADA システムの 15 分間のサンプリングによる実測データから求めて代入する。系統定数は、一般的に 8~12%であるが、DG による離島の電力供給の場合、10%が適当である。許容周波数変動率は、TPL が電力品質管理基準としている EN50160 の周波数変動の管理基準である $\pm 0.5\text{Hz}$ を用いる。

LFC 調整力は、蓄電設備による短周期変動補償に必要な出力容量と置き換えて検討する。トンガタブ島には現在、ポプア地区に 1.3MW、Vaini 地区に 1.0MW の太陽光発電設備が、それぞれ 500kW の蓄電設備と共に連系されており、短周期変動補償がなされている。そのため、本協力対象事業では太陽光発電に伴う短周期の変動補償は必要ないものとして、蓄電設備に必要な出力容量を検討する。

風力発電に伴う短周期の出力変動は、風況データの刻々と変化する値を用いて算出する必要がある。風況データは「二」国がニウトウア地区に設置した風況観測所（地上 40m）の、2015 年から 2016 年にかけて観測されたデータを用いる。各風速の乱流強度は 10 分平均データによる平均風速、平均風向、標準偏差を用いて風速ごとに算出し、風力発電機の各風速における 1 秒毎の出力変動は、空力弾性シミュレーションモデル (FAST) を用いて算出する。シミュレーションに用いる風車は、メーカーにより公表されているパワーカーブ、制御方法、ブレード形状およびブレード重量等を基にしてモデル化する。FAST に当該風車モデルおよび各風速の乱流強度を入力し、風力発電に伴う出力変動量の算出が可能となる。

上記の数値を用いて、代数的手法により蓄電設備の出力容量の検討を行う。

2) 系統安定化設備の選定

風力発電機の出力変動は瞬間瞬間で発生しており、本協力対象事業ではニウトウア地区の末端の送配電線に系統接続して電力供給を行うことから、接続地点周辺の電圧変動を最小限にする必要がある。

日本では、風力発電などの発電施設を電力会社の系統に接続する際に、接続に関する技術要件によって、中周期の変動補償が求められた場合に、蓄電池を併設した出力変動緩和型風力発電システムが導入される。一般的に中周期変動補償を対象とする場合、相当量の蓄電容量が必要となるため、蓄電池として比較的安価である鉛蓄電池が用いられている。しかし、本計画では、短周期変動補償を行うことが目的であり、短周期の場合は充放電回数が多くなることから、それに対応するため、鉛蓄電の公称充放電サイクルではそれを満足することができない。

短周期変動補償において充放電サイクルを増やすためには、充放電深度を浅く設定して運用することも検討されるが、その場合は莫大な蓄電容量を有する蓄電設備となり、単体では比較的安価とされる鉛蓄電池であっても、システム全体としては高価になってしまう。また、その容量および充放電深度に対して、確かな充放電サイクルを示したデータは、公開されていない。そのため、充放電深度を深く設定でき、なおかつ公称充放電サイクルが 10 万回以上の蓄電システムを必要とする本協力対象事業では鉛蓄電池を短周期変動補償に対応する蓄電装置として採用できない。

リチウムイオン電池については、その性能が近年向上しており、ハイブリッド車等に用いられる出力タイプと呼ばれる電池の充放電サイクルは 10 万回に達しているものの、系統安定化の蓄電装置として使用される大容量タイプと呼ばれる電池の充放電回数は 1 万回となっている。本協力対象事業では、不安定な風力発電の出力変動を安定化させるため充放電深度が深くなることと、充放電回数が多くなることが想定される。リチウムイオン電池の充放電サイクルは充放電深度によっても異なり、電池容量を増やすことで寿命サイクル数を増やすことが可能であると言われている。しかしながら、これを証明する実験データは開示されていないのが現状であり、不確定要素が残るリチウムイオン電池を本協力対象事業にて採用することはしない。

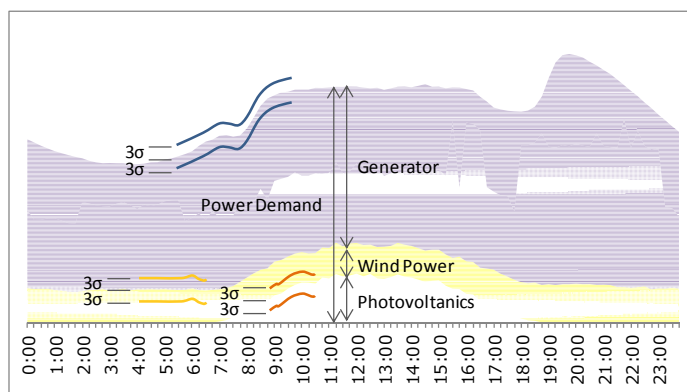
一方、物理電池であるリチウムイオンキャパシタの充放電サイクル数は 10 万サイクル以上であり、風力発電の短周期補償として期待寿命の観点から期待できる。また、既に実施された既存の太陽光発電設備の変動補償にも、短周期変動補償を目的としたリチウムイオンキャパシタを用いており、本協力対象事業の短周期変動補償用の蓄電設備としてリチウムイオンキャパシタを採用する方針とする。

(2) 風力発電機の中周期変動補償に対する方針

1) 基本数値の設定

蓄電設備の中周期変動補償については、過去の需要電力及び既存太陽光発電出力の時系列の記録、過去の風況調査結果に基づいて算出された今回導入する風力発電設備の発電出力の時系列計算値を基に検討する。

需要電力に関しては、2013～2016 年 6 月までの 15 分平均データから、月別に 15 分ごとの平均値と全期間の年間の 15 分ごとの標準偏差 σ を求め、平均値及び平均値 $\pm 2\sigma$ (平均値 $+2\sigma$: 需要電力最大値、平均値 -2σ : 需要電力最小値) の 3 ケースを需要電力のベースとする。この際、「ト」



出典：調査団作成

図 3-15 需要電力と電源種別による発電収支

国の電力使用が平日、休日で異なることから、各ケースに対し平日及び休日の需要電力を算出する。また、月別の15分ごとの需要電力の変化量から標準偏差を算出し、 3σ を負荷変動量として設定する。

太陽光発電出力については、2013～2016年6月までの15分平均データから、月別に15分ごとの平均値を求め、これを発電出力のベースとして蓄電設備を検討する。また、月別の15分ごとの発電出力の変化量から標準偏差を算出し、 3σ を太陽光出力変動量として設定する。

風力発電出力については、ニウトウアで計測された風況データ（2015年4月1日～2016年3月31日）を使用する。風況データを確認すると季節による変化は見られないことから、風況データから月別の15分ごとの発電出力を算出し、その最大値を風力出力モデルとして設定する。また、風力出力変動量についても、月別の15分ごとの発電出力の変化量から標準偏差を算出し、 3σ のうち最大値を風力出力変動量として設定する。

表 3-3 基本数値の設定

項目	設定値	1～12月の各月、午前0時～午後24時までの15分ピッチ						使用データ
		平日			休日			
需要電力	電力	平均値+2 σ	平均値	平均値-2 σ	平均値+2 σ	平均値	平均値-2 σ	TPL実績データ
	負荷変動量	15分ごとの需要電力の変化量に対する3 σ			15分ごとの需要電力の変化量に対する3 σ			
太陽光 発電	発電出力	15分ごとの発電出力の平均値						TPL実績データ
	出力変動量	15分ごとの発電出力の変化量に対する3 σ						
風力発電	発電出力	15分ごとの発電出力の平均値						風況データによる 発電出力計算値
	出力変動量	15分ごとの発電出力の変化量に対する3 σ						
ディーゼル 発電	発電出力	電力(需要電力) - 発電出力(太陽光発電 + 風力発電)						---

出典：調査団作成

上記で算出された各数値を基に、需要電力に対して太陽光発電及び風力発電で賄えない電力をディーゼル発電にて賄うことを前提として以降の検討を行う。

2) ディーゼル発電機の出力と運転台数制御

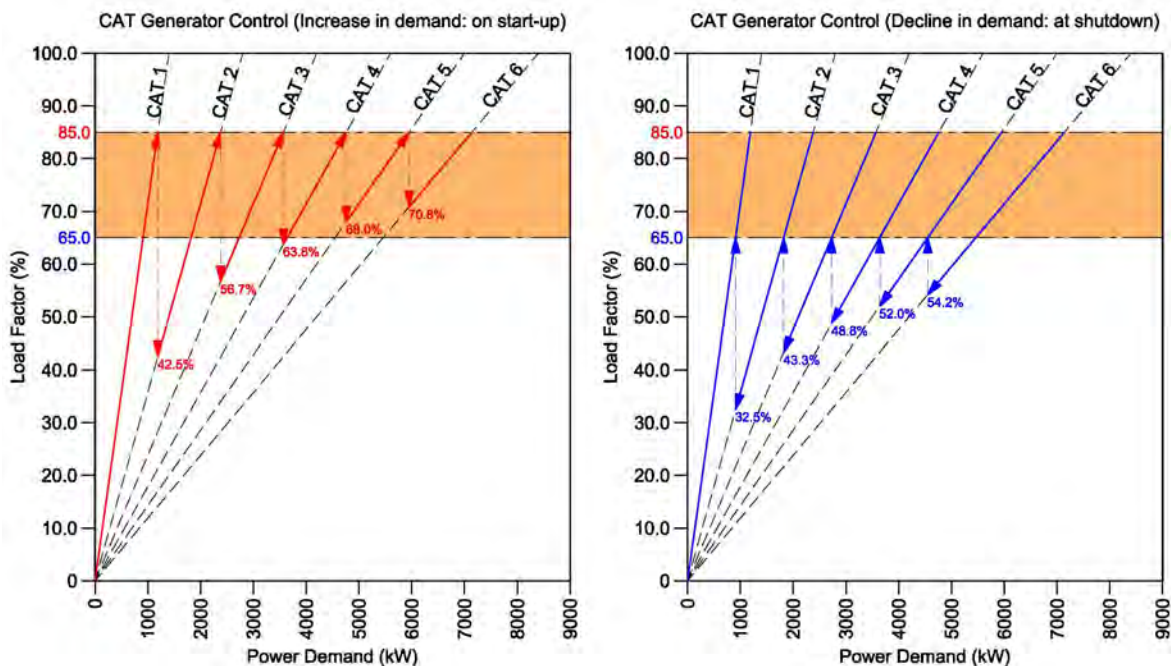
① 通常運転時の運転台数の設定

CAT製ディーゼル発電機の運転台数制御に関して、運転台数追加の起動及び余剰設備の停止は負荷がそれぞれ85%、65%に設定されており、各運転台数時の追加設備の起動信号発信時及び余剰設備の停止信号発信時のディーゼル発電機の合計出力は表3-4、図3-16に示すとおりである。

表 3-4 CATの運転台数の設定値

運転 台数	余剰設備の停止時		追加設備の起動時	
	負荷率	ディーゼル発電機の合計出力	負荷率	ディーゼル発電機の合計出力
1	0.0%	kW	85.0%	1,190 kW
2	32.5%	910 kW	85.0%	2,380 kW
3	43.3%	1,820 kW	85.0%	3,570 kW
4	48.8%	2,730 kW	85.0%	4,760 kW
5	52.0%	3,640 kW	85.0%	5,950 kW
6	54.2%	4,550 kW	85.0%	---

出典：調査団作成



出典：調査団作成

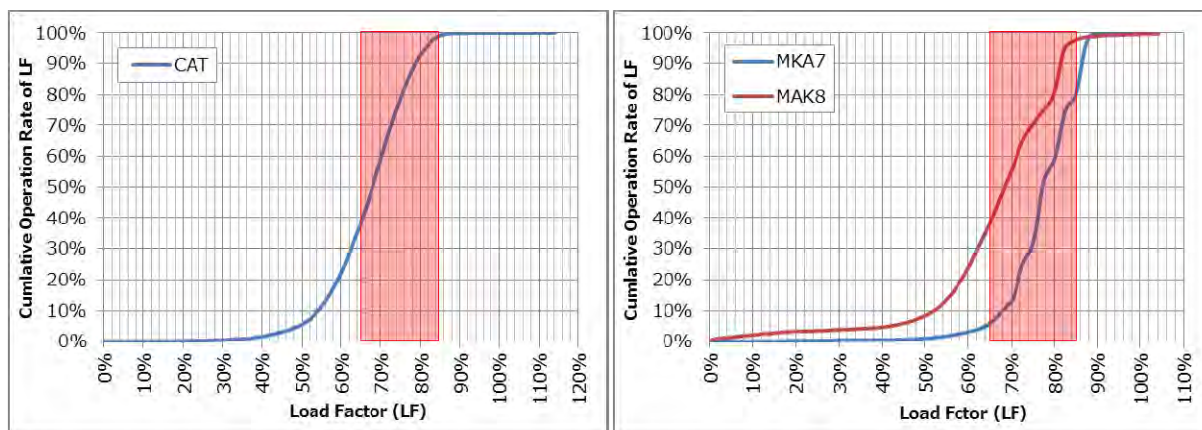
図 3-16 CAT の運転台数制御（左：追機制御、右：停止制御）

中周期の出力変動への対応を検討するために、まず、月別の15分ごとのディーゼル発電機の出力を需要電力の最大値（平均値+2σ）、平均値、最小値（平均値-2σ）から求め、経済的に最適な運転となるMAK及びCATの運転台数及び出力をそれぞれ算出し、ディーゼル発電機運転の基本モデルを設定する。

② 負荷変動量（需要変動量）、太陽光、風力の発電出力変動量に対する対応

CATの6台は、負荷追従変動に対応する運転を担っており、MAKの最適効率（負荷率範囲：65%～85%）が維持できるように、運転中のMAKの発電機負荷率を15分毎に手計算で把握し、MAKの適正な運転台数と負荷を保ちつつ、需要電力の増減に応じてCATの運転台数を集中制御室で手動制御している。また、CATの負荷追従性は、定格容量の5%/秒（70kW/秒）であり、MAKについては1台当り500kW/15分の負荷追従が可能なが確認されているため、稼働中のCAT、MAKについては、運転時の負荷率に対する最適効率の範囲内で出力変動に対応することが可能となる。

過去のCAT、MAKの運転記録から、負荷率の累積稼働率を表した図を以下に示す。CATに関しては、負荷率範囲（65%～85%）を超える運転の割合が僅かであり、MAKではMAK7で15%程度、MAK8で5%程度が85%の負荷を超えて運転されている。これはベースロード電源としてMAK7が優先して使用されているものの、MAK8の追加起動に時間を要することから、MAK7の85%を超える負荷の割合が多くなっていることを表している。このことから、瞬時の負荷追従に対しては、CATによる制御が有効であることが確認できる。



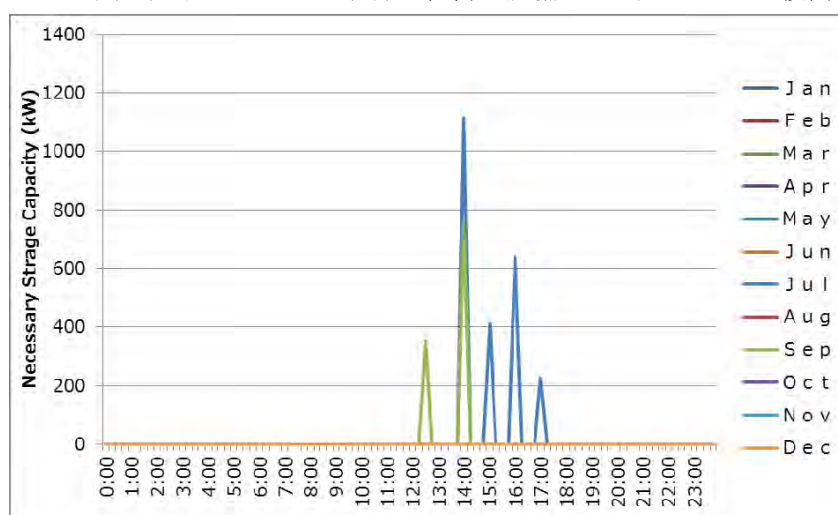
出典：TPL の記録データより調査団作成

図 3-17 負荷率の累積稼働率（左：CAT、右：MAK）

本件では 15 分ごとに CAT 及び MAK の運転を制御することを前提とし、15 分で運転中のディーゼル発電機で対応が可能な範囲を超える出力変動が発生する場合には、負荷追従性能の良い CAT を追加起動（あるいは停止）することで対応することを条件として中周期での蓄電設備の必要性について検討する。ただし、CAT の追加起動、停止に関しては、追加起動・停止の信号は発信されるものの、あくまで TPL 職員が手動で制御するため、やみくもに複数台の発電機の制御を TPL 職員に委ねることは避ける必要がある。したがって、通常のディーゼル発電機の運転台数制御に対し、1 台の追加起動・停止により制御可能な範囲を限度とし、限度を超えた出力変動に対し、中周期の蓄電設備を検討することとする。

③ 中周期での蓄電設備の必要性

上記の条件を基に、需要電力の最大値、平均値、最小値のそれぞれについて、太陽光発電、風力発電の出力及び 3σ の出力変動を加味した場合の、蓄電設備の必要性について検討した。



出典：調査団作成

図 3-18 休日の需要電力の最小値（平均値- 2σ ）に対する蓄電設備の必要性

ディーゼル発電機の出力変動に対する対応力は、稼働するディーゼル発電機の運転台数が少ない時期が小さくなり、この時期に蓄電設備の必要性が高くなる。「ト」国では需要電力が少なくなる 6～10 月に需要電力が小さくなり、ディーゼル発電機の運転台数が少なくなるが、平日モデルと休日

モデルのうち、需要電力が更に小さくなる休日では、一時的に蓄電装置が必要になる時間帯が発生する結果となるものの（図 3-18）、平日では蓄電装置は必要とはならず、CAT の運転台数を制御することで負荷変動量、太陽光発電、風力発電の出力変動に対応が可能となる結果となった。

したがって本件では、中周期に対する蓄電設備は計画しないこととする。図 3-18 から、休日の需要電力が少ない時期は蓄電設備が必要となるが、1年のうち僅かの頻度(0.07%)であることから、この時期には風力発電の出力抑制（発電台数制御）を行うことで対応する。

また、風力発電は太陽光発電と異なり、風速の急激な変化、あるいは強風時の風車の発電性能により出力が 0→100%、100%→0%への急激な変化を示す可能性が常時ある。したがって、風速に乱れが確認された場合、また強風時において急激な発電出力の変化が想定される場合についても、あらかじめ風力発電の出力抑制を行うことで対応することとし、中周期に対する蓄電設備は計画しない。

3-2-1-5 既存グリッドへの接続に対する方針

風力発電システムにより発電された電力は、既存の 11kV 送配電線に接続する方針とする。接続に当たっては、TPL が現在進めている送配電設備の拡張計画により送配電線がリング化される予定であり、必要な送電線や電柱などの資材は 2016 年 12 月で調達済である。工事は 2017 年 6 月末までの予定で実施され、送配電線のリング化が終了するため、本協力対象事業ではリング化を前提とした計画とする。また、将来「ニ」国がニウトウア地区に風力発電設備を整備する可能性があることから、「ニ」国による風力発電設備の整備後においても送配電線が複雑にならないよう、「ニ」国の計画も考慮した送配電設備を計画し、既存グリッドへ接続する。

ニウトウアの末端にある 11kV の送電線は、導体コードが APHIS と呼ばれているアルミ導線であり、その断面積は 26mm²である。この導線の標準状態での許容電流は 199A、自然放熱状態での許容電流は 195A、高温時許容電流は 124A である。

想定する風車の接続について、275kW もしくは 300kW 風車の導入を想定し、電流値を下記式によって算出した結果を下表に示す。

$$I=P/(\sqrt{3}V \cos\theta)$$

ここで、I：電流値[A]、P：出力[W]、V：電圧[V]、cos θ：力率

表 3-5 風力発電設備の最大電流値

定格出力 (kW)	275	300
風車台数 (基)	5	5
連系電圧 (kV)	11	11
力率	1	1
最大電流 (A)	72.3	78.8

出典：調査団作成

想定する風車に関して、275kW 風車の発電機仕様は 2 段誘導発電機＋ソフトスタータ、300kW 風車の発電機仕様は誘導発電機＋逆変換装置（インバータ）であり、ソフトスタータまたは逆変換装置を前提にした場合、システムに大きな影響を与えるだけの電流は発生しない。

結論として、275kW 機および 300kW 機共に出力される電流値は、APHIS 導線の高温時許容電流である 124A を下回っており、送電線の強化を行わなくても接続が可能であることが判明した。ま

た、仮に 300kW 機を 7 基まで接続した場合の最大電流値は 110A となり、この場合でも送電線の強化は必要ない。

ただし、これ以上の風力発電設備の導入が促進されると、ニウトウア地区に接続可能量がなくなるため、ラパハエリアの送電網まで送電線を増強する必要がある。このラパハエリアの 11kV の送電線は、導体コードが FLY と呼ばれているアルミ導線であり、その断面積は 64mm^2 である。この導線の 20°C の風を受けた状態での許容電流は 333A、自然放熱状態での許容電流は 326A、高温時許容電流は 215A である。

ラパハエリアの送電線の許容電流より、ニウトウアエリアから Lahapa エリアまで送電線を増強することを想定した場合、ニウトウアもしくはラパハエリアでの風力発電施設の接続可能量は最大で $4,091\text{kW}$ ($11\text{kV} \times 215\text{A} \times 1.73 = 4,091\text{kW}$) となる。

一方で、短絡時許容電流による電線・ケーブルに必要な断面積を算定すると、日本電線工業規格 (JCS0168) により、短絡時電流を $I=12,500\text{A}$ 、短絡電流の持続時間を $t=0.15$ 秒とした場合、必要な電線・ケーブルの断面積 (A) は、 $A=I\sqrt{t/90}=12,500\sqrt{0.15/90}=53.8\text{mm}^2$ となる。

ニウトウアの末端にある 11kV の送電線は APHIS であり、断面積は 26mm^2 であり、 53.8mm^2 より小さく、このままでは短絡時に発生する瞬間電流に耐えられない。したがって、短絡電流を制限する装置として、11kV の送電線と本協力対象事業で新設するケーブルとの連系点に、電力ヒューズを有する LBS を設置する必要がある。

12kV 対応のヒューズを有する LBS とした場合、ヒューズの動作時間—電流特性より、実効値として短絡時電流 $I=10,000\text{A}$ 以上におけるヒューズの動作時間は、 $t=0.01$ 秒以下となる。この場合に必要な電線・ケーブルの断面積 (A) は $A=I\sqrt{t/90}=12,500\sqrt{0.01/90}=13.9\text{mm}^2$ となり、既存送電線の断面積より小さくなることから、電力ヒューズを用いた LBS を設置することで、既存送電線への影響を防ぐことが可能となる。

なお、本協力対象事業で新設する送電線は、導線コード FLY のアルミ導線にて計画しており、APHIS 導線以上の容量を持つ。

また、風力発電施設に起因する電圧変動は、系統安定化設備による無効電力の補償機能を十分に活用することで対応することが可能であるため、送電線の太線化などによる系統インピーダンスの低減を計る必要はない。

さらに、保護協調に関しては、風力発電施設および系統安定化設備の制御時定数を TPL が定める制定値未満および既存発電施設の設定値未満とすることで、既存の発電所での設定変更は必要ない。

したがって本協力対象事業では、既存グリッドへの接続に関しては、ニウトウア末端の送配電線に接続する方針とし、特に既存送配電線の増強などは行わないものとする。



出典：調査団作成

図 3-19 TPL の系統強化後の送電線図

3-2-1-6 社会経済条件に対する方針

「ト」国国民の多くはキリスト教徒で、クリスマス休暇を除き建設工期等へ影響を与えるような社会習慣はない。本協力対象事業に関する概要について、TPL 及び NZ による EIA 調査時に、ニウトウア住民および建設候補地周辺の農民に対し情報が公開され協議の場が持たれたが、風力発電施設、蓄電設備、送電線等の建設工事の作業開始に当たっては、再度住民に広報し、本計画の実施への理解を高める必要がある。

また、風力発電施設建設候補地周辺は農地であり、住居等の建設物もなく人や家畜の往来はほとんどないが、安全上、部外者の侵入を防ぐために工事区域周囲にフェンスを設置する。

系統連系用送電線は周辺住民の土地利用への影響を最小にするため、土地利用状況も考慮の上、ルートを選定する。

3-2-1-7 建設事情に対する方針

(1) 許認可

1) 土地所有権及び土地使用権

1903 年に制定し 1988 年に改訂された「ト」国土地法 (Land Act Revised Edition) 1988 では、全ての国土は国王の所有物と明記されている。しかしながら、国王は先代から所有地の一部を国民に無償で分譲しており、その土地管理権は政府 (土地計画・自然資源省 (Ministry of Lands Survey and Natural Resources、以下「MLSNRE」) の管轄する土地計画局 (Department of Lands and Survey)) または各村の村長が所管している。一方、国王により貴族に対して世襲の権利とともに与えられた土地は” Tofia” と呼ばれる地所であり、一般の国民がこの土地を借りる場合は、貴族と土地のリース

契約を交わす。このリース契約は、土地登録のため内閣の審議にかけられ、承認後、土地管理局により登記簿登録される。

本協力対象事業は、土地所有権を持つ地権者の所有の区画を使用する。今後の協議により、地権者に対する補償内容、借用期間が確定され、地権者と TPL との間でリース契約が交わされる。リース契約上の借用期間は土地法上最長で 99 年間であり、TPL から MLSNRE に承認申請がなされる。その後、上述の登記手続きを得て、TPL が土地利用権を獲得することになる。架空線及び地中線は公道の両側 1.5m 以内の位置に計画されるが、「ト」国では公共の目的のための道路内の建設物に対する土地利用権は生じないことからいかなる補償金も発生しない。

2) 建築確認申請

木材を利用した簡易住居を除き、建築物を建設する場合は Ministry of Infrastructure に対して建築許可のための申請を提出し、建築許可を取得する必要がある。本協力対象事業では、高さ 40m 程度の風車および述べ床面積約 200m² 程度の蓄電設備棟を建設するため、施設建設に係る建築許可が必要である。Ministry of Infrastructure によると、申請書の提出から建築許可まで、最大で 21 営業日が必要とされているが、通常は提出から 10 営業日程度で許可取得に至っている。この期間内に、Ministry of Infrastructure の他、Ministry of Health、Ministry of Police (Fire Service)、Environment Department、Ministry of Land & Survey に持ち回りで審査が行われる。

建築確認申請には建築一般図面の他に、土地借地権者の承認書、Ministry of Lands, environment, climate change and natural resources が発行する EIA の承認書等を添付する必要がある。

3) 輸入通関及び免税

本件無償協力事業に対しては、両国の間で結ばれる E/N の記載に従って免税が適用される。本協力対象事業で調達する資機材に関する通関及び関税の免税を受けるためには、請負業者は、資機材のスクアロファ港到着時に TPL の調達担当者 (Procurement Officer) を通じて、財務・国家計画省 (Ministry of Finance and National Planning) の援助管理局 (Aid Management Division) に、船荷証券の写し及び資機材リスト等、必要書類を添えて通関及び免税手続き申請書を提出する必要がある。同時に、その写しを歳入省 (Ministry of Revenue) にも提出し、財務・国家計画省により署名が行われる前に両省庁の合意を得なければならない。その後、財務・国家計画省により作成される押印済みの文書と共に、資機材リストを税関に提出することにより、還付方式ではなく、完全免税方式で免税となる。また、骨材等一部の資機材の「ト」国での調達については、調達時は税込価格により調達し、後日、請求書や領収書等の必要書類を援助管理局に提出することで、税金支払い分の還付を受けることができる。

4) 電力施設工事申請

通常、10kW を超えるディーゼルや風力、太陽光発電等の分散型電源を既存系統に接続する際は、TPL に許可申請を行うとともに、そのシステムが AS/NZS 3000 (Electrical Installations) に準拠している必要がある。また、電力工事を実施する際は、系統ベースの監督機関である Electricity Commission (EC) に事前に許可申請を行う。なお、EC は、電気工事の許認可を行うほか、電気工事業者のライセンスの許認可、電気工事の基準策定等も行う。

(2) 技術者、労働者の調達事情

建設工事にかかる技術者や大工、左官工等の技能労働者、また普通作業員等をトンガタブ島で調達することは可能である。しかし、経験のある技術者や技能労働者は人数が限られており、複数の建設業者が熟練技術者を求めるため、建設市場が活況になれば熟練技術者の確保が困難になる、あるいは雇用コストが高騰する可能性がある。日雇いの労働者は、ニウトウアおよびヌクアロファ市街からの送迎で調達が可能である。

(3) 労働条件

「ト」国での一日の作業時間は、8時間が一般的である。また、土曜日、日曜日は休日としており、特に日曜日は「ト」国により不就業日として定められている。したがって、本計画においても週休2日を原則として計画する。

3-2-1-8 現地業者、現地資機材の活用に対する方針

(1) 現地業者の活用について

本協力対象事業の据付工事及び施設建設工事において、建設工事用機材及び労務提供を中心に現地工事会社を活用することを原則とする。しかし、品質管理、工程管理、安全管理、試験調整などのためには、日本から専門の技術者を派遣する必要がある。

(2) 現地資機材の活用について

現地では、砕石、コンクリート用骨材、セメント、鉄筋などの建設資材の調達は可能であるが、砕石、コンクリート用骨材を除き、殆どの資材が輸入品であるため資材単価は高い。砕石、コンクリート用骨材に関しては、現地調達が可能なのは石灰岩であり、現地で生産されるコンクリートにも骨材として石灰岩が使用されている。コンクリート製造業者ごとに使用する骨材の生産拠点が異なるため、建設時において採用するコンクリート強度を確認する必要がある。セメントはフィジー産及びニュージーランド産のポルトランドセメントが流通しており、品質にも問題がない。「ト」国では、一般的にコンクリート製造業者が提供するレディーミクストコンクリートを使用している。コンクリート製造業者は「ニ」国のコンクリート精製基準に則っており、5m³ごとに6つの供試体を採用し7日強度、28日強度を確認している。セメントはラッピングをして保管するなど、品質確保に留意しており、本協力対象事業でこれらのコンクリート業者を活用するのに問題はない。

また、建築用鉄骨、仕上げ材、設備材料、配管材、電気ケーブル等の各機材は主に「ニ」国からの輸入品が流通しているものの十分ではなく、本事業で建設する蓄電設備用建屋に係る建築資材鉄骨、仕上げ材、一部設備材料)は、耐久性、気密性、施工精度等を考慮し、日本からの調達を検討する。

(3) 第三国品の調達について

第三国からの機材の調達にあたっては、その価格、品質、納期、運転開始後の予備品等の調達の容易性、アフターサービス体制、既設設備との整合性などを十分検討することとする。なお、「ト」国の設備・電気関連資機材はその全てが輸入品で、オーストラリア、ニュージーランド等製品が多く使用されている。したがって、本協力対象事業で導入する設備・電気関連資機材については、第三国からの調達を十分検討する。しかしながら、風力発電設備、蓄電設備、及びそれらを制御する

計装設備などについては、設備の運転実績、品質並びに耐久性、また、納入メーカーのアフターサービス体制の充実度、運転維持管理技術の習得度等から、日本製品を導入することが望ましく、「ト」国側も日本製品の採用を強く希望している。

(4) 建築について

「ト」国には、外国資本の建設業者や電気工事会社が複数社あり、「ト」国内での単純労働者、運搬車両、建設重機等の現地調達は比較的容易である。

本計画の蓄電設備用建屋は鉄骨構造であるが、現地では鉄骨構造を経験した技術者は一部に限られることから、日本又は海外からの技術者を派遣し、品質管理、技術指導及び工事監理を行う必要がある。

3-2-1-9 実施機関の維持・管理能力に対する方針

本協力対象事業の風力発電設備の供用開始後の維持管理は、既存設備と同様にトンガ電力公社が実施する。トンガ電力公社は、マイクログリッドシステムを含む太陽光発電システム（出力合計2.3MW）や、既存の低圧配電線に接続されている風力発電設備（出力11kW）の運転及び維持管理を実施しており、一般的な系統連系と再生可能エネルギーに係る技術は把握している。しかし、系統に接続された、風力発電システム及び太陽光発電システムによるマイクログリッドシステムは我が国に於いても実証試験が行われている先駆的技術であるため、システム全体の維持管理については、本邦工事受注業者が工事期間中の初期操作指導（実施訓練、On the Job Training : OJT）と、コンサルタントが実施するソフトコンポーネントを通して技術移転を図ると共に、先方実施機関と納入設備の製造会社との維持管理契約を締結し中長期的な維持管理体制を構築する必要がある。

更にトンガ電力公社の維持管理要員は、風力発電設備の運転技術のみならず日常点検等を含めた予防保全のあり方に関する体系的、理論的知識が不足していることが考えられる。従って本計画の工事期間中に工事受注業者によるOJTの一環として、短期集中的座学研修を実施する。同座学研修では運転管理要員を対象とし、機械及び電気の両面から風力発電設備に関する基礎理論を教育する。更に、供用開始後の予防保全の在り方について提案し、建設された機材・設備のより効果的・効率的な運転が行えるように配慮する。

3-2-1-10 施設・機材等の範囲、グレードの設定に対する方針

上記の諸条件を考慮し、本協力対象事業の資機材の調達並びに据え付けの範囲及び技術レベルは、以下を基本方針として策定する。

(1) 施設・機材等の範囲に対する方針

本協力対象事業で調達する風力発電施設の容量、系統安定化装置で使用する蓄電設備（リチウムイオンキャパシタ）容量およびマイクログリッドコントローラーは、現在（2016年）の電力品質（電圧及び周波数変動）を維持することを基本とし、風力発電施設の運用として効率的で、かつ経済的な運転・維持管理となる設備構成とする。特に系統安定化装置の蓄電設備の出力・容量については、風力発電の出力変動を吸収するのに必要かつ十分な容量を導入する。また、蓄電設備については、短周期対応のリチウムイオンキャパシタの導入を検討し、既存マイクログリッドの動作性能を損なわない容量を確保する。

(2) グレードの設定に対する方針

TPL はこれまで、太陽光発電施設および蓄電設備を含むマイクログリッドを導入したこともあり、それらに関する技術の共有が済んでいる。また TPL が独自に導入した 11kW の可倒式風車の運用状況も問題ないことも確認されている。したがって、本協力対象事業で導入する風力発電施設および系統安定化装置は、OJT およびソフトコンポーネントを通じて技術を補完することで TPL が維持管理をしていくことは十分可能である。各機器の仕様は、この状況を十分考慮した上で、供用開始後の運転・維持管理を実施する TPL の技術レベルを逸脱しない様に留意する。

(3) 建築に対する方針

風車及び基礎、蓄電設備棟などの仕様は、長期的に耐候性、耐久性を確保できる品質のものを選択する。「ト」国の市場規模は小さく、建設市場の状況により使用される資材の原産国が異なり、品質が担保出来ない可能性がある。したがって、コンクリート構造物を除く構造物の建築資材については、日本からの調達を基本とする。

技術的及び経済的に適切な設計とするため、資材の仕様は可能な限り JIS、BS、ACI、ASTM 等の日本規格、国際規格に準拠した標準品を採用し、調達資材の種類を最小限にすることで、施工が容易な構造を目指す。

3-2-1-11 工法/調達方法、工期に係わる方針

本協力対象事業は、日本の無償資金協力のスキームに基づき実施されるため、贈与契約 (G/A) 締結後、必要な工期に当たって調達・据付工事を完了する必要がある。この期間内に完工し、期待される効果を発現させるためには、日本国側工事と「ト」国側負担工事工程の協調が取れ、かつ輸送ルート・輸送方法、期間、諸手続き等に配慮した工程計画を策定する必要がある。

施工/調達する資機材のうち、風車の建設を除き特殊な工事はない。蓄電設備建屋についても、先行案件である「マイクログリッドシステム導入計画」において、日本人技術者の指導のもと「ト」国建設会社が建設に従事しており、問題はない。

日本または第三国から「ト」国までの調達資材の輸送は、海上輸送が主となる。ヌクアロファの荷卸し港からトンガタブ島内のニウトウア地区に位置する本協力対象事業の計画地までは約 35km の陸送となる。陸揚げ港よりニウトウアの集落までは、アスファルト舗装の片側 1 車線の幹線道路が整備されており、比較的状況は良く、道路の重量制限も無いため、陸送には特別な問題はない。ただし、朝晩は若干道路が渋滞することもあるため、トレーラーを使用する等の大型輸送車両による輸送時間は、危険防止対策も含めて、交通警察と協議する必要がある。

ニウトウア集落から計画地までは道路幅員が狭い、あるいは道路が整備されておらず、アクセス道路を整備する必要がある。サイト周辺は将来の区画整理が計画されており、計画に従って TPL がアクセス道路を整備することになる。

3-2-1-12 維持管理に関わる方針

今後の電力需要想定並びに発電施設等の増設計画を踏まえ、風力発電設備の最適な導入容量を検討する。その際、風力発電設備の容量が増加するに伴い、必要となる蓄電設備の容量が増加し、将来の維持管理費用、更新費用を含めたトータルの発電コストが増加する可能性もあることから、経済性の観点から踏まえた最適な導入容量を検討する。この際、昨今の燃料価格低下も鑑み、燃料価格

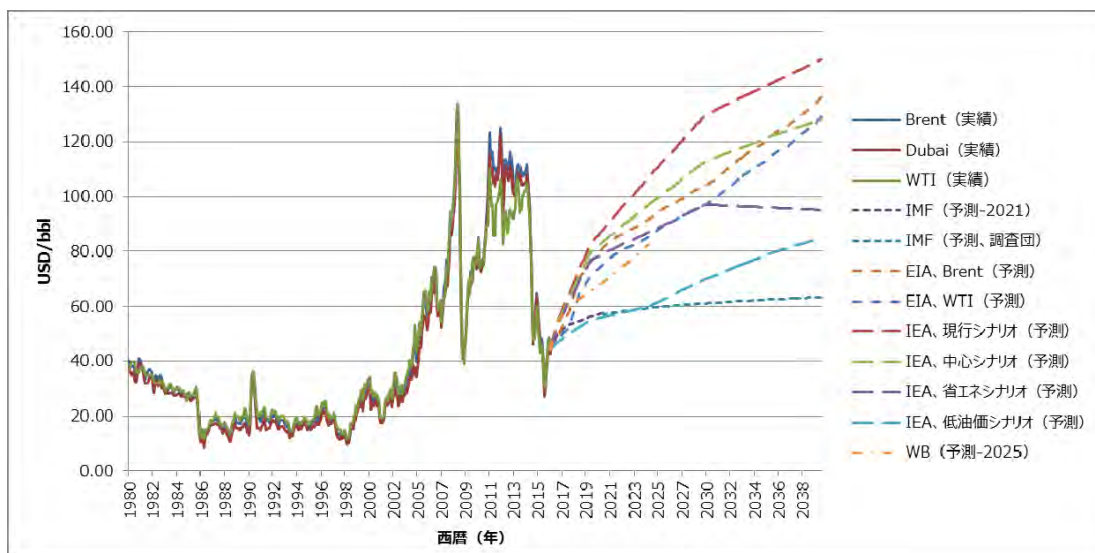
の推移によるディーゼル発電コストの将来予測を行い、風力発電を導入することの妥当性を検証する。以下により、現状では燃料価格が低下することはいずれの機関も想定しておらず、将来予測においては、燃料価格が現状を維持する場合、上昇する場合について複数のパターンを設定する。また、2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーとする「ト」国の計画についても検証する。

(1) ディーゼル油価格の推計

運転経費の内、ディーゼル発電機運転に使用するディーゼル油の将来価格を推計する必要がある。ディーゼル油価格が原油価格に連動していることを踏まえ、推計には、過去の原油価格の実績及び各機関が算出した将来の推計値から、ディーゼル油価格を推計する。

1) 原油価格の将来推計

以下のグラフは、原油価格の過去の実績となる、ブレント、ドバイ、WTIの各推移と、国際通貨基金（IMF）、エネルギー情報局（EIA：米国）、国際エネルギー機関（IEA）、世界銀行（WB）の各機関が公表している、長期原油価格の見通しである。最長で2040年までの推計となっており、IMFの推計は2021年までとなっているため、以降の2040年までの推計は調査団が行った。



出典：調査団作成

図 3-20 過去の原油価格の推移と各機関の将来推計価格

IMFの予測は、2016～2017年にかけて約56%の価格上昇を見込んでいるが、その後2018年にかけては約7%、2020年にかけては年3%、2021年にかけては約2%と、原油価格が収束傾向にあると予測している。調査団はこれを受けて、2040年までの原油価格を推計した。その結果、2040年での原油価格は約63ドルとなる。

EIAの予測は、米国のGDPが年率平均2.4%で成長すると仮定した予測で、2040年にBrent価格が約136ドル、WTI価格が約129ドルになると推計している。

IEAは、①これまでの推計である「現行シナリオ」、②現在の標準的なケースである「中心シナリオ」、③温室効果ガス濃度を450ppmに安定化させたと仮定した、実現には省エネや再生可能エネルギー等に関する技術を各国が積極的に導入することが求められる「省エネシナリオ」、④1980年代の原油価格下落時に、その後15年間にわたって原油価格の低迷が続いたことから、同様の状況が発生すると想定して設定された「低油価シナリオ」の4ケースについて予測している。いずれも現在

と比較して原油価格が上昇しているが、「省エネシナリオ」については2030年以降、原油価格の若干の下落が見られる。

WBについても、2025年までの予測であるが、現在よりも原油価格が上昇するとしている。このように、長期の原油価格の各機関による見通しは様々であるが、全てのシナリオで、石油需要の伸びに従って価格は現在よりも上昇すると考えられている。

2) ディーゼル油価格の将来推計

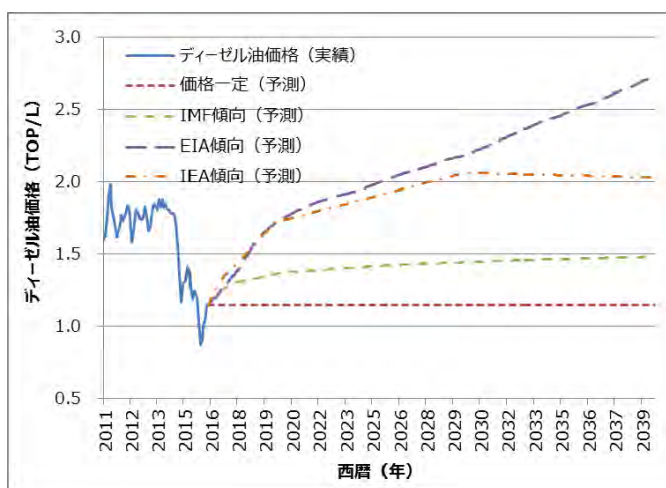
ディーゼル油価格の将来推計をするに当たり、本協力対象事業では価格が原油価格の動きに追随するとして算定する。将来推計のケースとしては、①2016年7月現在の原油価格が続く、②穏やかに原油価格が上昇するとしてIMFに準じる、③一定の割合で経済成長が続くとしてEIA (Brent) に準じる、④地球温暖化の軽減を目指すことで達成が期待されるIEA (省エネシナリオ)、の4ケースを考える。ディーゼル油価格の下落については、原油価格が下落する見通しを立てている機関が現時点で存在しないため、検討の対象から外す。推計の結果を以下に示す。

表 3-6 ディーゼル油価格の将来推計価格

単位：TOP/L

	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
価格一定	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496	1.1496
IMF傾向	1.1496	1.2405	1.3028	1.3261	1.3580	1.4117	1.4427	1.4644	1.4813
EIA傾向	1.1496	1.2163	1.3706	1.5970	1.7085	1.9681	2.1824	2.4528	2.7391
IEA傾向	1.1496	1.2912	1.4328	1.5744	1.7160	1.8888	2.0616	2.0443	2.0270

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 3-21 ディーゼル油価格の将来推計価格

(2) 風力発電設備の維持管理と導入の妥当性の検討

前項で設定したディーゼル油価格の推移を基に、風力発電出力によるディーゼル油の削減効果(削減費用)を算出し、風力発電設備導入の費用対効果及び妥当性を3-5-2以降で検証する。

3-2-2 基本計画

3-2-2-1 計画の前提条件

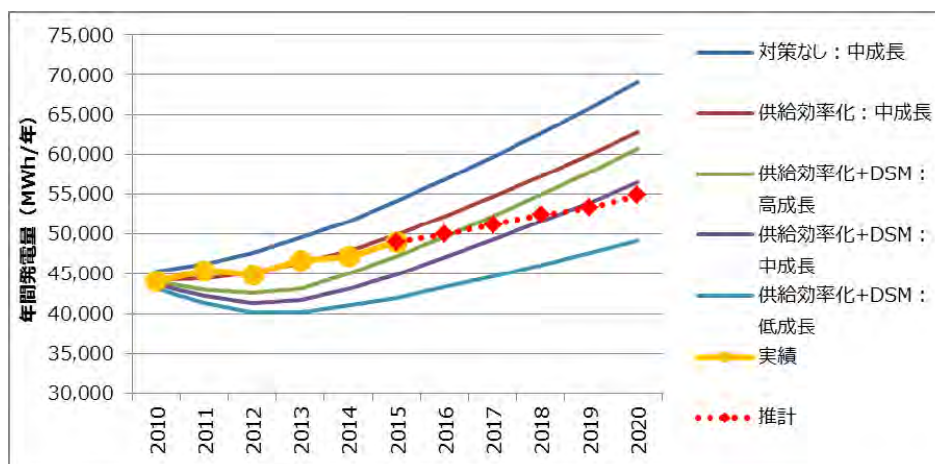
(1) 年間発電量と需要電力

1) 年間発電量

電源開発計画の基礎となる電力需要予測については、トンガタブ島の2010年から2020年までの11年間の年間発電量（MWh）、需要電力（MW）の推計が2010年に世界銀行により行われている。推計は電力供給の効率化及び需要者の消費電力の節減対策（DSM⁹）の程度により以下の5ケースに区分され、それぞれについて推計されている。

- ① 電力供給効率化や DSM 対策無し、中成長
- ② 電力供給効率化対策あり、中成長
- ③ 電力供給効率化及び DSM 対策有り、高成長
- ④ 電力供給効率化及び DSM 対策有り、中成長
- ⑤ 電力供給効率化及び DSM 対策有り、低成長

世界銀行の推計値に、2010年から2015年までの年間発電量の実績値及び実績値から調査団が算出した2020年までの推計値を合わせた図を以下に示す。



出典：調査団作成

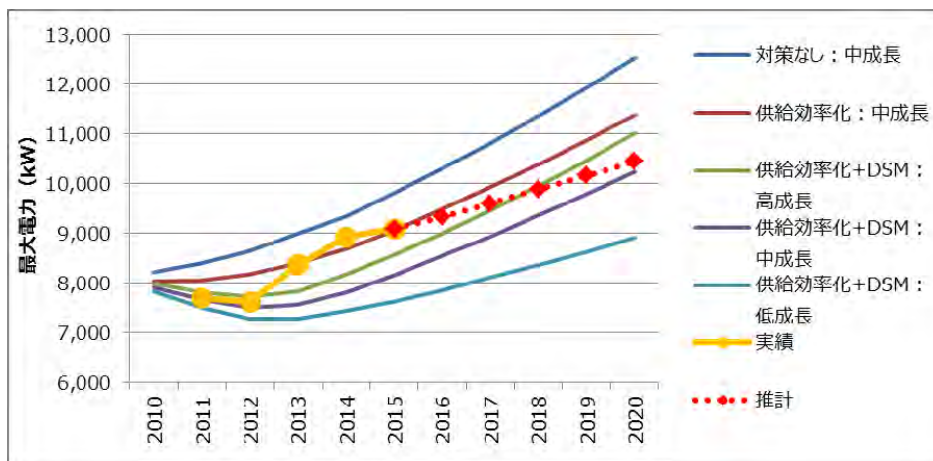
図 3-22 年間発電量の実績と推計

「ト」国ではこれまで、「ニ」国による配電線の高効率化を目的とした配電線の更新や、アジア開発銀行による電力消費節減対策プロジェクトを実施しており、電力供給の効率化と DSM に力を入れてきた。世界銀行の推計値と実績値には数値の乖離はあるが、2016年以降の調査団による推計値は世界銀行の「⑤ 電力供給効率化及び DSM 対策有り、低成長」の変化率と近似しており、数値としては妥当と考える。よって、本協力対象事業では、調査団による推計値を年間発電量の計画値とする。

⁹ Demand Side Management: デマンド-サイド-マネージメント。季節や時間帯による電力需要量平準化のために、電力会社が消費者に働きかける諸活動のこと。

2) 需要電力（最大電力）

世界銀行が推計した5ケースの最大需要電力と、最大需要電力の過去の実績値及び調査団の推計値を示す。需要電力量と同様に、推計値の変化率は世界銀行の推計値である「⑤ 電力供給効率化及び DSM 対策有り、低成長」に近似している。よって、本協力対象事業では調査団による推計値を最大需要電力の計画値とする。

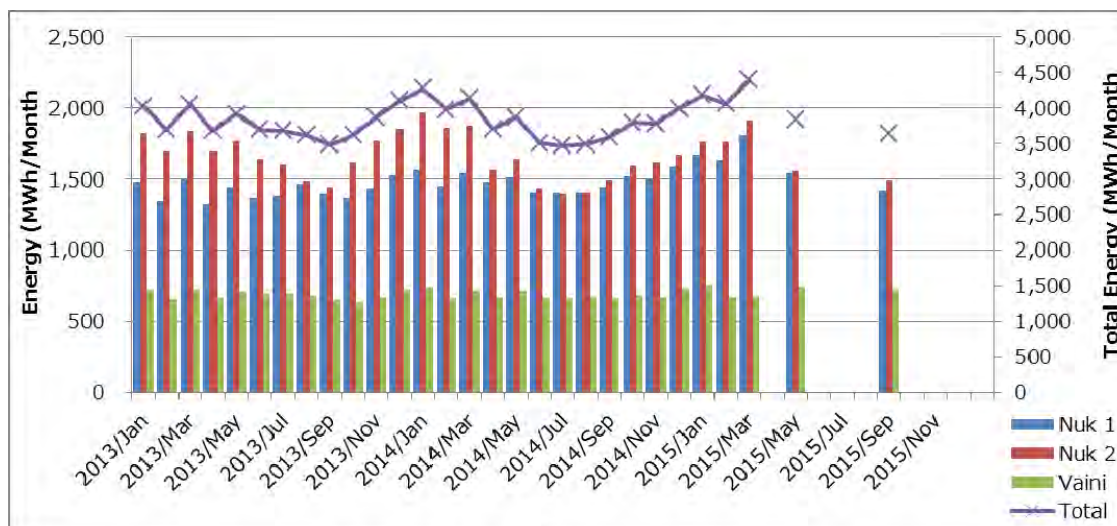


出典：調査団作成

図 3-23 需要電力の実績と推計

(2) 系統別供給電力

「ト」国の電力需要は、日中の気温が高くなる夏季は需要が高くなり、気温が低くなる冬季は需要が低くなる。図 3-24 は、トンガタブ島の3つの系統への電力の供給状況を月別で示したものが、これらデータは2013年に導入されたSCADAシステムで把握することができる。SCADAシステムの不具合によって、2015年の4月からデータの欠損が発生している状況であるが、過去3年（2013～2015年）のデータにより、およそ季節による電力需要の変化は確認ができる。



出典：TPLの記録データより調査団作成

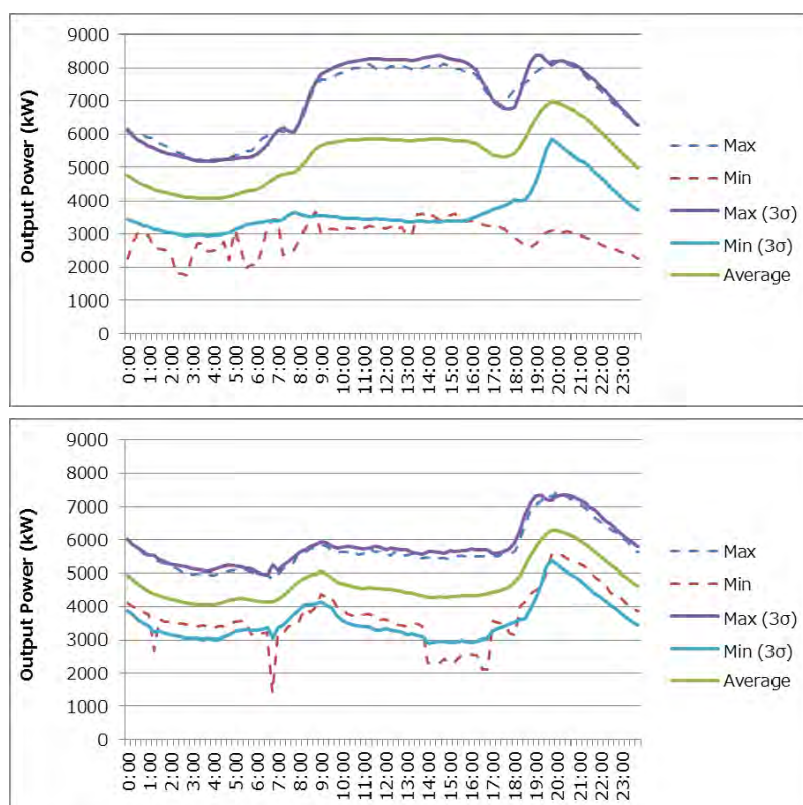
図 3-24 月別・系統別電力供給量

Nuk1 系統はトンガタブ島の西側、Nuk2 系統はトンガタブ島の中心地であるヌクアロファ近辺を

表す。また Vaini 系統はバイニ地区を中心とした、トンガタブ島の南から東側全域である。Nuk2 系統に関しては、島の中心部であることから人口が多いことに加え、官公署や商業施設も集まっているため、電力需要が多く、電力供給量も同時に多くなる。また季節による電力量の変化がはっきりと確認できる。Nuk1 系統については、2014 年 9 月までは月当り電力供給量が 1,500MWh/月を上限とし、季節による変化の割合も Nuk2 系統に比べて小さかったが、2014 年 10 月以降、電力供給量が大きく伸び、Nuk2 系統とさほど電力供給量に差がない。このことから、電力の消費地がトンガタブ島の中心地である Nuk2 系統のエリアに加え、現在では西側にも存在することが示唆される。Vaini 系統に関しては集落が点在しており、トンガタブ島全人口に対するの人口の割合も小さいため、電力供給量も他の 2 系統に比べて少なく、季節変化もさほどははっきりとは見られない。本協力対象事業で整備される風力発電施設は Vaini 系統に属すが、上図から Vaini 系統での電力供給量は平均しておよそ 0.8~1.0MWh である。各系統への電力供給量、風力発電施設の発電量は刻々と変化するものの、風力発電施設で発電される電力のうち、Vaini 系統で消費され以上の電力については、Nuk1 系統及び Nuk2 系統にて消費されることになる。

(3) 日負荷曲線

「ト」国は敬虔なキリスト教徒が多く、日曜日には商業活動が禁じられていることから、電力需要は平日が高く、週末は低くなる傾向がある。また前述のとおり、気温の高い夏季の日中には冷房需要により電力需要が高くなり、気温の低い冬季には日中の電力需要が低い。



出典：TPL の記録データより調査団作成

図 3-25 日負荷曲線（上：平日、下：休日）

上の図は、SCADA データから得られた電力の日負荷曲線である。2013 年 1 月から 2016 年 6 月ま

での平均に、標準偏差 σ に対し $\pm 3\sigma$ をそれぞれ最大電力、最小電力として、平日、休日に対してそれぞれ表したものである。点線で表示されているのは、実測に基づく上記期間の電力の最大値、最小値である。最大値については 3σ の曲線と程度良く一致する。最小値については、電力需要変化の傾向は示しているものの、実測データとの差が確認できる。これは、2016年3月2日の電力需要が一日を通じて低かったことと、ディーゼル発電機の運転台数を変更する際の一時的な電力低下が現れたものであり、平日、休日の実際の最小値の傾向は、 3σ 曲線によく表れている。

既存の系統連系型の再生可能エネルギー発電は、1.3MW及び1.0MWの太陽光発電であり、本協力対象事業で1.3MW以上の風力発電を計画していることから、発電出力に占める再生可能エネルギー割合は、日中に高くなる。中でも、電力需要が低い冬季の日曜日は、再生可能エネルギーの占める割合が最も高くなり、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの変動が電力系統に与える影響が最も大きくなる。

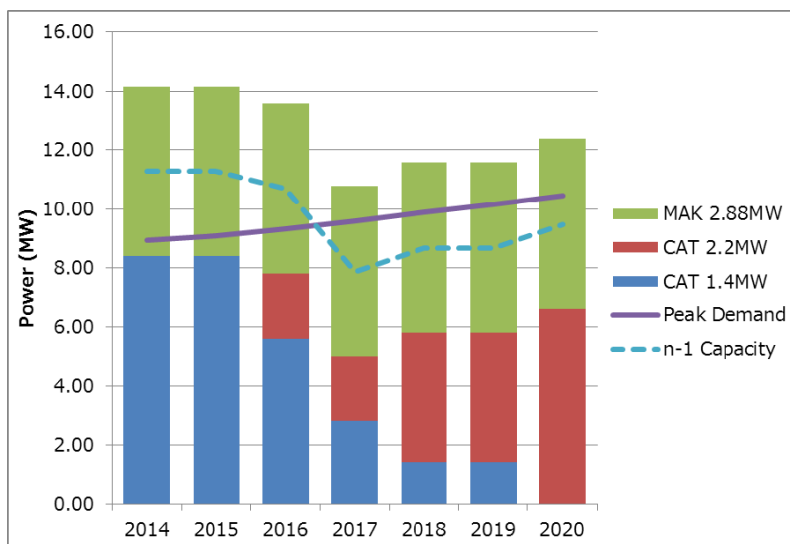
(4) 電源開発計画

TPLの事業計画(BusinessPlan2017-2020)では、単機出力1,400kWの高速ディーゼル発電機(Caterpillar3516B)は2016年以降順次廃止する予定であり、その代替りとして単機容量2,200kWの高速ディーゼル発電機(CaterpillarC175-16)を2016年、2018年、2020年に各1台投入する計画である。TPLの電源開発、廃止計画及び電力需要予測を加味した、2020年までの電力需給バランスを以下に示す。表に記した「n-1容量」とは、設備容量の合計から最大単機容量の発電機1台分を差し引いた発電容量を意味し、事故もしくは点検等で最大容量の発電機が1台停止した場合の供給能力を示す。

表 3-7 トンガタブ電力系統の電力需給バランス

Diesel Generator	Installed Year	Installed Capacity (kW)	Year						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Peak Demand (MW)			8.93	9.09	9.32	9.60	9.88	10.16	10.44
1-1. Growth Rate				1.79%	2.54%	3.02%	2.93%	2.85%	2.77%
2. Power Generation Capacity			15.46	16.46	15.86	15.06	15.86	17.23	18.03
2-1. Diesel Generator			14.16	14.16	13.56	10.76	11.56	11.56	12.36
CAT 1	Caterpillar (3516B)-1	1998	1.40	1.40	1.40	Retire			
CAT 2	Caterpillar (3516B)-2	1998	1.40	1.40	1.40	Retire			
CAT 3	Caterpillar (3516B)-3	1998	1.40	1.40	1.40	1.40	Retire		
CAT 4	Caterpillar (3516B)-4	1998	1.40	1.40	1.40	1.40	Retire		
CAT 5	Caterpillar (3516B)-5	1998	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	Retire	
CAT 6	Caterpillar (3516B)-6	1999	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
MAK 7	MaK (6CM32C)-1	2005	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
MAK 8	MaK (6CM32C)-2	2014	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
---	Caterpillar (C175)-1	2016(Plan)	2.20			2.20	2.20	2.20	2.20
---	Caterpillar (C175)-2	2018(Plan)	2.20					2.20	2.20
---	Caterpillar (C175)-3	2020(Plan)	2.20						2.20
2-2. Renewable Energy			1.30	2.30	2.30	4.30	4.30	5.67	5.67
	Popua Solar	2012	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
	Vaini Solar	2015	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Singyes Solar	2017(Plan)	2.00				2.00	2.00	2.00
	Niutoua wind Power	2019(Plan)	1.37						1.37
3. Firm Generation Capacity (MW)(2.-2.2)			14.16	14.16	13.56	10.76	11.56	11.56	12.36
4. Power Balance (MW)(3.-1.)			5.23	5.07	4.24	1.16	1.68	1.40	1.92
5. Capacity of the largest generator (MW)			2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
6. n-1 capacity (MW)(3.-5.)			11.28	11.28	10.68	7.88	8.68	8.68	9.48
7. Reserve margin (MW)(6.-1.)			2.35	2.19	1.36	-1.72	-1.20	-1.48	-0.96

出典：TPLへの聞き取りを基に調査団が作成



出典：調査団作成

図 3-26 トンガタブ電力系統の電力需給バランス

「ト」国では、表 2-11 に示す再生可能エネルギー発電、省エネルギープロジェクトの計画があるが、現時点では資金源や実現性が不確定であることから、本協力対象事業で対象とする再生可能エネルギー電源は、本計画による風力発電設備に加え、ポプア発電所内及び Vaini 発電所に設置された既設 1.3MW、1.0MW の太陽光発電設備及び中国が計画している 2.0MW の太陽光発電設備に限定する。なお、TPL はトンガタブ電力系統に対し、将来的に更なる太陽光発電、風力発電等の出力変動を伴う再生可能エネルギー電源の導入と共に、出力 3MW、容量 18MWh の蓄電設備の導入も計画しているが、計画が具体的になった際には、TPL は独自に系統解析を実施し、電力品質の維持に必要な蓄電設備を改めて計画する必要がある。

(5) 電力品質の基準

TPL は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。

表 3-8 EN50160 の周波数、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% (49.5~50.5Hz) の範囲が時間率で99.5% -6%/+4% (47~52%) 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%

出典：調査団作成

また、TPL では 2015 年 5 月頃まで明確な系統連系要件を有していなかった。しかし、今後は我が国をはじめ、各国の支援による再生可能エネルギーの増加や、独立系発電事業者 (IPP) の参入も見込まれることから、現在、系統連系要件のうち電力品質基準、FRT 要件¹⁰、接続する発電設備の要求事項の検討および IPP に対する設置要件等の整備が行われているところである。検討されてい

¹⁰ 事故時運転継続要件、電圧変動、周波数変動が発生し、配電線に接続されている需要者への電力品質の低下を防止するための条件設定

る電力品質の基準は下表の通りである。

表 3-9 電力品質の基準

項目	設定値	理由
周波数		
UF1	47.5Hz、5秒以内	G7-G8 (MAK) およびMaama Mai太陽光発電施設のUFのトリップ条件
UF2	45Hz、4.5秒以内	Maama Mai太陽光発電施設のUFのトリップ条件
OF1	52.5Hz、5秒以内	G1-G6 (CAT) , G7-G8 (MAK) ディーゼル発電機およびMaama Mai太陽光発電のOFのトリップ条件
OF2	55Hz、3秒以内	G1-G6 (CAT) ディーゼル発電機のOFのトリップ条件
通常運転周波数域	49.25-50.75Hz	TPL電力協議会制定 (2008年7月25日)
電圧		
11kV OV	1.1 pu、3秒以内	G1-G6 (CAT) のOVのトリップ条件
11kV UV	0.85 pu、5秒以内	G1-G6 (CAT) のUVのトリップ条件
11kV 連続UV	0.9 pu以下	TPL電力協議会制定 (2008年7月25日)
240V OV	1.1 pu	TPL電力協議会制定 (2008年7月25日)
240V UV (郊外)	0.85 pu、15分	
240V UV (市街地)	0.9 pu	TPL電力協議会制定 (2008年7月25日)
11kV 過渡OV	2 pu	AS/NZS61000.2.14: 2009
240V 過渡OV	1kV	AS/NZS61000.2.14: 2009
11kV 最大電圧フッカー	3%以上の瞬間電圧変動が1日に4回以上もしくは1.5%の瞬間電圧変動が1時間に1回以上発生しないこと。	AS/NZS61000.3.7: 2012
11kV 最大電圧不平衡	3%	IEC61000-2-12
安定度		
11kV 振動安定度	振動の振幅は5Hzごとに半減すること。	
11kV 電圧安定度	偶発的な電圧低下の場合、電圧は1秒間で0.8 puおよび7秒間で0.9 puに復帰させる。	
高調波		
11kV	AS/NZS61000.-.6: 2012, 表2参照	

出典：TPL

また、IPP 等への設置要件は下記の通り規定される予定であり、2016年9月に TPL 電力協議会の承認を受けている。本協力対象事業もこの要件に準拠する必要がある。

●設置要件

- ・発電施設の設置は、資格を有する電気工事業者が行うこと。
- ・インバータは FRT 機能を有し、190V までの電圧でも発電を維持すること。
- ・インバータは系統電圧の制限に応じること。
- ・4kW 以上の発電システムは 3 相のバランスをとること。
- ・最大電圧は公称電圧 240V の 10%以内とする。
- ・逆電力保護ルーの設置の有無は TPL から要求される。
- ・電気設備 (配電ルール) は AS / NZS 3000 に基づくこと。
- ・太陽光発電 (PV) の設置と安全性要件は AS / NZS 5033 に基づくこと。
- ・構造設計基準 (風要件) は AS / NZS 1170.2 に基づくこと。

- ・建屋内に設置された二次電池については AS 3011 に基づくこと。
- ・建物内での二次電池の設置と保守点検は AS 2676 に基づくこと。

●系統要件：

- ・インバータを介した発電設備の系統接続は AS 4777 に基づくこと。
- ・雷保護については AS /N/ZS 1768 に基づくこと。
- ・標準電圧は AS 60038 に基づくこと。
- ・EMC 要件は AS / N/ZS 61000 に基づくこと。
- ・1 kV AC を超える変電所、高電圧の設置は AS 2067 に基づくこと。

●PV モジュール要件：

- ・太陽電池モジュールの安全適格性確認は IEC 61730 に基づくこと。
- ・太陽電池モジュールの塩霧腐食試験は IEC 61701 に基づくこと。

●風車要件：

- ・小形風車の設計要件（65kW 以下）は IEC 61400-2 に基づくこと。
- ・風車の設計要件（65kW 超）は IEC 61400-1 に基づくこと。

本協力対象事業では、1.3MW 以上の風力発電施設および系統安定化設備を導入するが、TPL の電力品質管理基準を順守し、現状の電力品質を維持することを、システム検討の前提条件とする。

(6) 導入する風力発電システム及び蓄電設備の種類・容量

1) 導入する風力発電システムの条件

風力発電機の条件として、以下を満たす風車について候補とする。

表 3-10 風力発電システムの条件

出力	風車5基で1.3MW以上を確保すること
極値風速	常時では各風車が選定した風車カテゴリによりIEC61400-1に則って設計され、かつ、以下の各高さにおける風速に耐えること 地上10m：70.0m/s 地上40m：76.2m/s 地上45m：76.7m/s
乱流強度	0.12以上を確保すること
設計水平震度	0.2G以上を確保すること

出典：調査団作成

① 候補となる風車の仕様・性能

候補となる風車のうち、可倒式風車は日本の製造会社が製作している、風車本体にフランスのベルニエ社製を採用したものである。同型機が沖縄に導入されており、軽故障については日本の製造会社で対応が可能である。極値風速は傾倒時の 85m/s である。

可倒式風車は、サイクロン発生のアナウンスの後、風速が 15m/s になった時点で傾倒の準備を始め、風速 25m/s になるまでに傾倒作業を終了する必要がある。過去のサイクロンの記録では、風速が 15m/s から 25m/s に変化するまで最短で 7 時間を要しており、7 時間で傾倒作業が終了する作業体制を組むことが求められる。

通常の定期的なメンテナンスは年2回の頻度で行われ、傾倒した状態で点検される。特に大型の重機は必要なく、容易にメンテナンスが可能である。大型の部品交換が必要となる重故障時には、傾倒したうえで25t程度のクレーンが必要となるが、場合によっては、クレーン付トラックを複数台準備することで、故障の対応が可能なる場合もある。

固定式風車に関しては、極値風速を満たす風車が開発中であり、現時点では完成していない。したがって、固定式風車を前提とした計画は本報告書では行わないが、本計画の実施段階で風車が完成し、表3-10で要求する仕様を満たすことが確認されれば、候補として採用を検討する。

開発中の固定式風車は、極地風速が91.26m/sであり、風車の製造は日本の風車製造会社が行うが、設計はドイツの設計会社が行っている。風車の性能としては所定の機能を果たし、開発が完了すれば候補として問題はない。

通常の定期的なメンテナンスは年2回の頻度で行われ、特に重機は必要なく、容易にメンテナンスが可能である。ただし、建設時及び大型の部品交換が必要となる重故障時には、60tクラスのクレーンの調達が必要となり、大型クレーンの調達が困難な「ト」国では、重故障の際には交換部材と共に大型クレーンを調達する必要があり、可倒式風車に比べて万一の故障時の重機の調達・輸送に係る費用が別途必要となる。

② 可倒式風車、固定式風車の発電量の比較

2015年4月から2016年3月までの1年間の風況調査結果に基づいた、可倒式風車、固定式風車の発電量をシミュレートした結果を以下に示す。シミュレートにあたっては、年間の風車が停止する割合から稼働率を算出し、稼働率を加味し発電量を計算する。

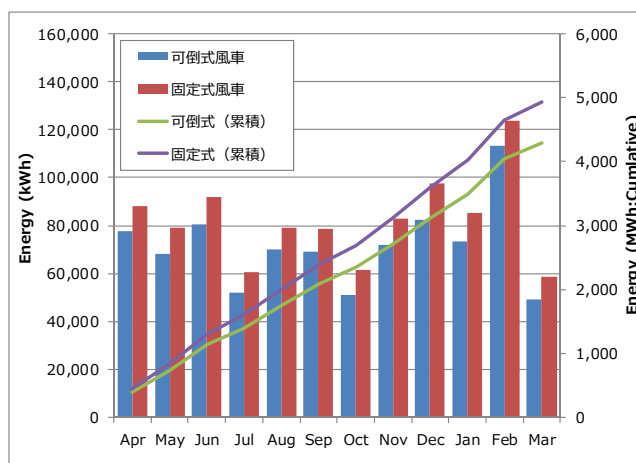
表 3-11 風車の稼働率

可倒式風車					
項目	稼働停止期間		総停止時間	年間の停止割合 (時間比)	備考
	回数	日数			
メンテナンス	2	9	432	4.9%	
稼働調整	---	4	24	0.3%	一日当たりの作業時間：6時間
サイクロン	3	5	360	4.1%	
計			816	9.3%	稼働率：100%-9.3%=90.7%
固定式風車					
項目	稼働停止期間		総停止時間	年間の停止割合 (時間比)	備考
	回数	日数			
メンテナンス	2	9	432	4.9%	
稼働調整	---	4	24	0.3%	一日当たりの作業時間：6時間
サイクロン	3		18	0.2%	一回当たりの停止時間：6時間
計			474	5.4%	稼働率：100%-5.4%=94.6%

出典：調査団作成

風車の出力及び発電のカットイン風速（発電開始風速）、カットアウト風速（発電停止風速）の違いにより、発電量としては固定式風車の方が大きくなる。本件では風車5基で1.3MW以上の風力発電設備の導入を目指しているが、最大出力としては可倒式風車（出力275kW/基）が1.375MW、固定式風車（出力300kW/基）は1.5MWとなり、固定式風車の方が最大出力は高くなる。

年月	発電量 (kWh/月/基)				
	可倒式風車 (275kW)		固定式風車 (300kW)		
	発電量	稼働率考慮	発電量	稼働率考慮	
2015	Apr	85,808	77,815	93,086	88,049
	May	75,383	68,361	83,542	79,022
	Jun	88,963	80,676	97,171	91,913
	Jul	57,232	51,901	64,242	60,766
	Aug	77,240	70,045	83,763	79,231
	Sep	76,259	69,155	83,108	78,611
	Oct	56,292	51,048	65,213	61,684
	Nov	79,306	71,919	87,674	82,930
	Dec	90,683	82,236	103,256	97,669
	2016	Jan	80,854	73,322	90,250
Feb	125,100	113,447	130,694	123,622	
Mar	54,057	49,022	61,962	58,609	
合計 (kWh/年/基)	947,177	858,947	1,043,962	987,474	
5基換算 (kWh/年)	4,735,885	4,294,734	5,219,811	4,937,369	
出力1kW当りの発電量 (kWh/kW/年)	---	3,123	---	3,292	



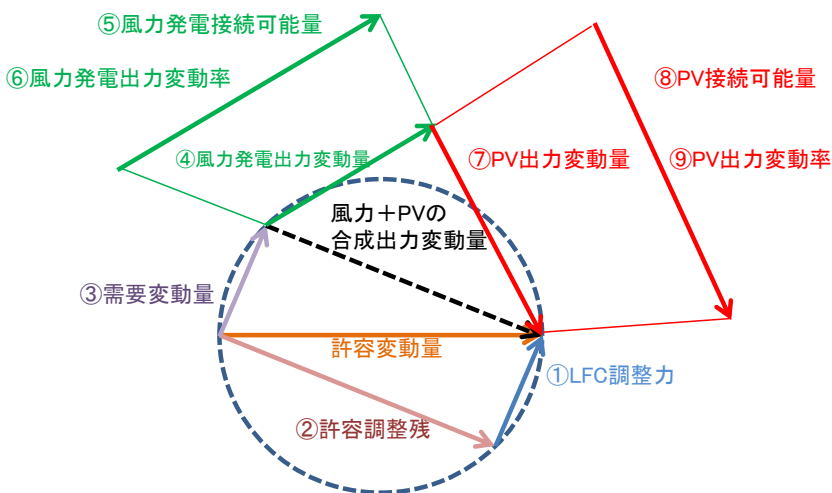
出典：調査団作成

図 3-27 風車による発電量比較 (単基、5 基累積)

また、風車の稼働率の違いにより、年間の発電量も固定式風車の方が多く、風車出力 1kW 当りの年間の発電量も固定式風車が多くなる。

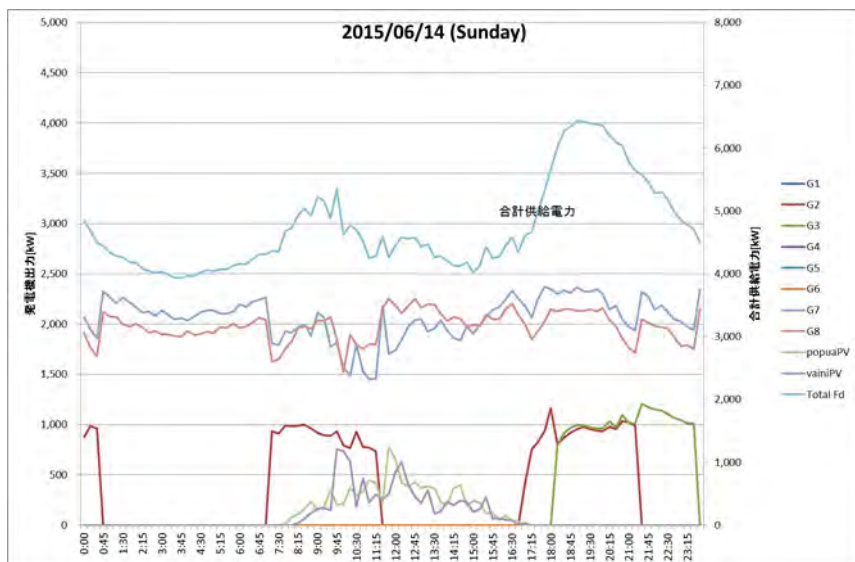
2) 導入する系統安定化設備 (蓄電設備) の条件

前述のとおり、系統安定化設備 (蓄電設備) に係る検討は、以下の代数的手法を用いて行う。



出典：沖縄電力「再生可能エネルギー接続可能量の算定結果 (試算) について」

図 3-28 代数的手法のベクトル図



出典：TPL の記録データより調査図作成

図 3-29 休日の電力供給実績

需要変動量としては、需要電力が最も低下する 2015 年 6 月 14 日（冬季の日曜日）の値を参照し、約 4,000kW とする。この値を示すのは、最も低下する午前 3 時頃及びその次に低下する午後 3 時頃である。午後 3 時頃は、太陽光発電からの出力もあるため、ディーゼル発電機は MAK のみが稼働し、MAK2 台の調整力のみでコントロールされていた。太陽光発電に関しては、短周期変動が既にリチウムイオンキャパシタの導入で補償されているため、本協力対象事業での短周期の変動補償を考慮する際は、PV の短周期変動を考慮する必要はない。

系統定数は、一般的に 8～12%であるが、ディーゼル発電機による離島の電力供給であることを考慮し、10%を採用する。許容周波数変動率は、TPL が電力品質管理基準としている EN50160 の周波数変動の管理基準である ±0.5Hz を採用する。

許容調整残は、系統容量、系統定数および許容周波数変動率から算出される。

短周期の風力発電機の出力変動は、風況データの 10 分平均データによる乱流強度及び各風速における 1 秒毎の出力変動を可倒式風車を対象として FAST により算出した。FAST のシミュレーションに用いる風車は、風車製造メーカーにより公表されているパワーカーブ、制御方法、ブレード形状およびブレード重量等を基にしてモデル化し、解析時間は 1200 秒（解析開始 600 秒を除外）、乱流モデルは IEC61400-1 Ed.3 にある Kaimal モデルを使用し、解析時間刻みは 5ms とした。

FAST によるシミュレーションの結果、風力発電機一基あたりの出力変動が風速 11m/s で最大 105kW になることが確認された。したがって風力発電出力変動率は 38%となる。

風力発電出力変動量は、LFC 調整力、許容調整残および需要変動量を用いて算出される。ここで算出された風力発電出力変動量に対して、FAST によるシミュレーションの結果から得られた風力発電出力変動率を掛け合わせ、風力発電接続可能量が算出される。

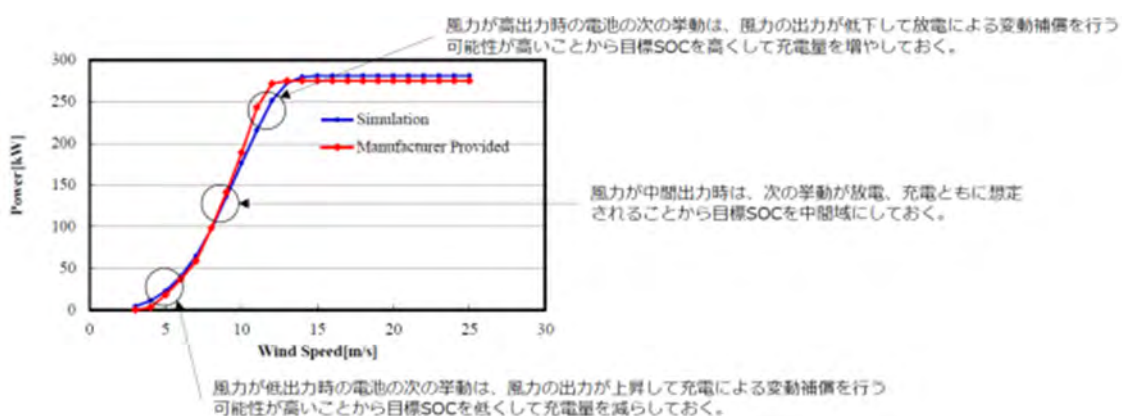
導入する風力発電施設の設備容量を 1,375kW とした場合、その容量を許容するために必要な LFC 調整力（この場合、系統安定化装置の PCS 容量）は以下から 530kW となる。

表 3-12 代数的手法による短周期の LFC 調整力の算出結果

系統容量	P	2500 kW
系統定数	γ	10%
許容周波数変動率	ΔF	0.5 Hz
① LFC調整力=LiC調整力		530 kW
② 許容調整残	R	125 kW
需要変動率		5.7%
③ 需要変動量		142.5 kW
⑦ PV出力変動量		0 kW
PV定格出力		2300 kW
⑨ PV出力変動率		0%
1基あたり風力発電出力変動量		105 kW
1基あたり風力発電定格出力		275 kW
④ 風力発電出力変動量		526 kW
⑥ 風力発電出力変動率		38%
⑤ 風力発電接続可能量		1376 kW

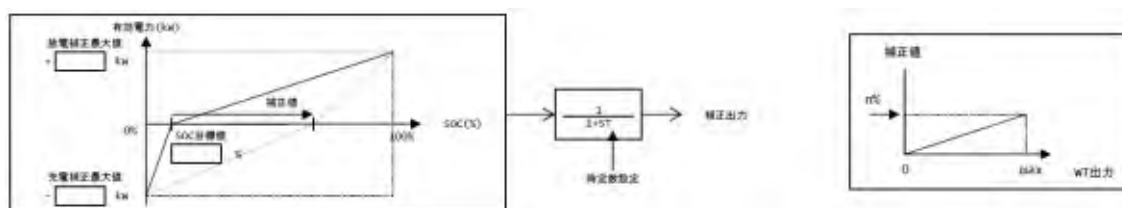
出典：TPL の記録データより調査団作成

一方、風力発電機の短周期変動補償は蓄電設備の充電率（State of Charge : SOC）の変化によって行われるが、放電により蓄電量が減少した際には、系統に大きな影響を与えないよう小さな電力で長時間かけて目標値に戻す必要がある。風車からの出力変動は絶えず変化し、蓄電設備は充電および放電の両方に対応必要があるため、蓄電設備の容量は、SOC50%の状態を初期状態とすることが望ましい。各風速における SOC の目標設定の概念および制御ロジックの概略について下図に示す。



出典：調査団作成

図 3-30 各風速における目標 SOC の設定



出典：調査団作成

図 3-31 SOC 制御ロジックの概略

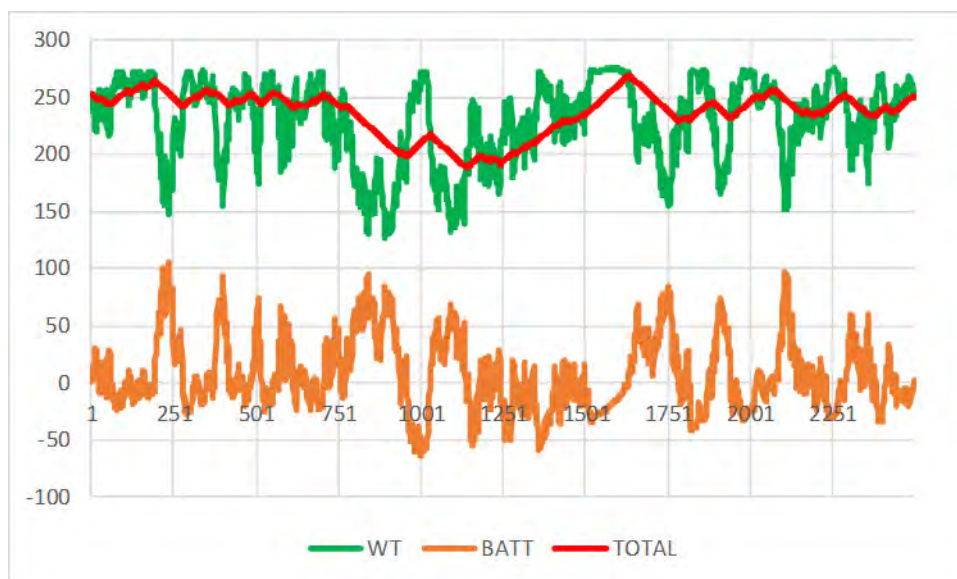
各風速における風力発電機 1 基あたりに必要な短周期変動補償量の蓄電装置容量の結果を下表に

示す。この結果、11m/s の時、最大放電出力が 105kW、最大放電容量が 1.24kWh 必要であることが確認された。風力発電機を 5 基設置した場合、PCS 容量は 525kW 以上が必要となり、代数的手法により確認された 530kW とほぼ一致する。また、蓄電容量は SOC を 50%とした場合 12.5kWh 以上が必要となり、下図に示すとおり、風力発電機の出力変動に併せて充放電サイクル数がきわめて多い結果となった。

表 3-13 風力発電機 1 機あたりに必要になる PCS 容量および蓄電装置容量

風速	出力 [kW]		容量 [kWh]	
	放電最大	充電最大	放電最大	充電最大
3	0.52	-1.11	0.0001	-0.0003
4	8.45	-8.09	0.0048	-0.0153
5	15.87	-13.36	0.0545	-0.0183
6	27.37	-29.57	0.1013	-0.0567
7	36.91	-50.42	0.1187	-0.2306
8	59.82	-65.03	0.4327	-0.1745
9	81.94	-85.09	0.6326	-0.1708
10	98.48	-81.71	0.8388	-0.0719
11	105.14	-62.03	1.2425	-0.0337
12	85.57	-42.89	0.7961	0.0000
13	59.36	-21.86	0.2649	0.0000
14	22.57	-7.14	0.0391	0.0000
15	7.30	-3.01	0.0032	0.0000
16	1.39	-0.71	0.0004	0.0000
17	0.00	0.00	0.0000	0.0000
18	0.00	0.00	0.0000	0.0000
19	0.00	0.00	0.0000	0.0000
20	0.00	0.00	0.0000	0.0000
21	0.00	0.00	0.0000	0.0000
22	0.00	0.00	0.0000	0.0000
23	0.00	0.00	0.0000	0.0000
24	0.00	0.00	0.0000	0.0000
25	0.00	0.00	0.0000	0.0000

出典：TPL の記録データより調査団作成



出典：TPL の記録データより調査団作成

図 3-32 風速 11m/s の時の風車の変動出力および蓄電装置の充放電出力

したがって、先の方針で示した通り、短周期変動補償用の蓄電装置には充放電サイクル数が 10 万回

以上を確保できるリチウムイオンキャパシタとする。

(7) 風力発電設備供用開始後のディーゼル発電機の運用等

1) 既設のディーゼル発電機の本計画実施以降の運用方法

本協力対象事業では、中周期変動補償としての蓄電設備を整備しないことから、中周期における需要電力の変動量、既存太陽光発電の発電変動量、本件で導入する風力発電の電力変動量に対しては、既存のディーゼル発電機の負荷追従能力に依存する必要がある。

既述の通り、既設のディーゼル発電機のガバナの負荷追従能力が十分に高速であることは判明しており、出力変動に対するディーゼル発電機の対応としては、稼働中のディーゼル発電機の負荷追従能力に頼ることを原則とし、足りない場合はCATを1台追加起動して負荷追従能力を確保することを基本とする。

先の3-2-1-4(2)の検討では、この条件でも冬季(7月、9月)の休日の午後に過負荷となり、負荷を軽減するための対応が必要な状況となっている。この対応としては、中周期の変動補償に対応する蓄電設備を導入することが確実ではあるが、年間で過負荷となる頻度のごく僅かであることを考慮すると、蓄電設備導入の費用対効果としての効果は期待できないため、我が国の無償資金協力として導入は出来ない。一方、TPLは今後増加する再生可能エネルギー設備の効率的な運用を目指して長周期に対応する18MWhの蓄電設備の導入を計画している。この設備は、需要電力が少なく、今後増加が見込まれる太陽光発電の出力が増加する休日の日中において、ディーゼル発電機が過度な軽負荷になることを回避するためにディーゼル発電機の負荷を維持すること、またディーゼル発電機の運転台数を確保することによって予備力を確保すること、さらに負荷率の増大によるディーゼル発電機の発電効率を向上させること目的に導入が計画されている施設であり、日中に蓄電された電力は需要電力が増加する夕方から夜間にかけて放電するタイムシフト方式を採用する予定である。長周期に対応する蓄電設備が整備されれば、中周期に対応する蓄電設備の導入は必要ではなく、この点からも本協力対象事業においては短周期変動補償のみを考慮した蓄電設備の整備で問題は無い。

したがって本件では、中周期で過負荷となる状況時には、ディーゼル発電機の運用と共に、風力発電機の運転台数を制御して出力を一時的に減少させ、風力発電の出力変動を小さくすることで対応する。

表 3-14 ディーゼル発電機 (CAT、MAK) の運転制御による出力

運転台数	ディーゼル発電機負荷率 (×100%、上段：最小、下段：最大)								CAT出力 (kW)	MAK出力 (kW)	総出力 (kW)
	CAT						MAK1				
	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4	CAT5	CAT6	MAK1	MAK2			
CAT:1	0.65								910		910
	0.85								1260		1260
CAT:2	0.65	0.65							1680		1680
	0.85	0.85							2520		2520
CAT:3	0.65	0.65	0.65						2520		2520
	0.85	0.85	0.85						3696		3696
CAT:2	0.65	0.65						0.65	1820	1872	3692
MAK:1	0.84	0.84						0.78	2352	2252	4604
CAT:3	0.65	0.65	0.65					0.65	2730	1872	4602
MAK:1	0.78	0.78	0.78					0.78	3276	2238	5514
CAT:4	0.65	0.65	0.65	0.65				0.65	3640	1872	5512
MAK:1	0.77	0.77	0.77	0.77				0.75	4315	2160	6475
CAT:3	0.65	0.65	0.65					0.65	2730	3744	6474
MAK:2	0.75	0.74	0.70					0.75	3066	4320	7386
CAT:4	0.65	0.65	0.65	0.65				0.65	3640	3744	7384
MAK:2	0.70	0.71	0.71	0.72				0.75	3974	4320	8294
CAT:5	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65			0.65	4550	3744	8294
MAK:2	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70			0.75	4900	4306	9206
CAT:6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65		0.65	5460	3744	9204
MAK:2	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85		0.85	7140	4896	12036

出典：調査団作成

上表は、ディーゼル発電機である CAT 及び MAK の運転台数と負荷率による出力範囲を示したものである。出力が 3.692kW 未満の場合は、MAK1 台による単独運転も考えられるが、MAK の出力範囲 (1.872kW : 負荷率 65%、2.448kW : 負荷率 85%) を考慮すると、CAT を複数台稼働させること広い範囲で出力変動に対応することが可能である。したがって、ディーゼル発電機の出力が 3.692kW 未満で長時間継続することが想定される場合は、CAT のみの運転で対応することで風力発電の出力変動に対応する。

風力発電の出力変動幅が大きい場合は、風力発電機が定格出力で発電する最大風速となるカットアウトの場合であり、それが一斉に全基で発生する時である。可倒式風車の場合は風速 20m/s がカットアウト風速であり、風速が 20m/s を超えると 1.375kW の出力がゼロになる。したがって、これに対応するためディーゼル発電機は 1.375kW 分の出力を短時間で上昇させる必要があり、稼働中のディーゼル発電機の負荷追従能力、あるいは CAT を 1 台追加起動させる必要がある。しかし、CAT の再起動には 5 分程度の準備時間が必要であるため、風力発電機が一斉にカットアウトすることを予測する必要がある。しかし、風況を予測することは困難であり、ディーゼル発電機の運用で対応可能な範囲であれば問題ないが、短時間でその判断をすることも難しいため、風力発電の出力制御により対応する。

3-2-2-2 全体施設計画

(1) 設計条件

本協力対象事業の規模、仕様の策定に当たり、前述の諸条件を検討した結果、下記設計条件を設定する。

1) 気象・自然条件

- ① 設計温度：40 °C
- ② 設計相対湿度 (結露がないこと)：最大 85 %
- ③ 極値風速：70.0m/s (地上 10m)、76.2m/s (地上 40m)、76.7m/s (地上 45m)

- ④ 降雨量：年間平均 2,300 mm
- ⑤ 塩分付着密度：0.5 mg/cm²
- ⑥ 地震力：水平方向 0.2 G
- ⑦ 地耐力：100 kN/m²（ニュトウア）

2) 適用規格

- ① 日本工業規格（JIS）：工業製品全般に適用する。
- ② 電気学会電気規格調査会標準規格（JEC）：電気製品全般に適用する。
- ③ 日本電機工業会標準規格（JEM）：電気製品全般に適用する。
- ④ 日本電線工業会規格（JCS）：電線、ケーブル類に適用する。
- ⑤ 電気設備に関する技術基準：電気工事全般に適用する。
- ⑥ 国際電気標準会議規格（IEC）：電気製品全般に適用する。特に風力発電機に適応する。
- ⑦ 国際標準化機構（ISO）：電気・機械製品全般に適用する。

3) 使用単位

原則として国際単位系（SI ユニット）を使用する。

(2) 施設配置計画

設備容量 1.3MW 以上の風力発電施設および 530kW の系統安定化設備は、トンガタブ島の北東部であるニュトウアに配置する。当該用地については、土地所有者である住民と TPL 間で、賃貸借契約を締結するために交渉がなされているところである。併せて、搬入路や送電線の敷設に必要な道路は既存の道路計画に基づいた道路を利用し、搬入路及び送電線のルートもこの道路線形にて整備される。

先方実施機関である TPL の負担により樹木伐採及び計画地を更地にし、その後、風力発電施設の基礎工事あるいはアンカー敷設に必要なボーリング調査を行った後に、風力発電施設の設置工事を行う。

系統安定化設備となる、マイクログリッド制御装置、蓄電設備、蓄電設備用 PCS および風力発電施設からの高圧遮断器等の電気設備は、ニュトウア計画対象地区に電気設備用建屋を新設し、高圧トランスなどの一部設備以外は建屋内に設置する。

本計画で導入するリチウムイオンキャパシタ等の蓄電設備の期待寿命を確保するためには、設置する建屋内の適切な温度管理が不可欠である。本計画で整備された機材・設備等の機能が損なわれた場合、目的とするディーゼル発電機の燃料消費の削減効果にも影響し、事業の自立持続性の観点からも影響が大きいことが予測されるため、上記の電気設備用建屋内には空調設備を設置する。

また、風力発電機を制御するための SCADA システムは、メインシステムをニュトウアに新設される電気設備用建屋内に、サブシステムをポプア発電所の集中制御室内に設置し、データ管理システムも、ニュトウアの電気設備用建屋内およびポプア発電所内に設置する。

3-2-2-3 基本計画の概要

前述の基本設計方針および設計基準、施設配置計画を踏まえた本計画の概要は、以下の通りである。

(1) 風力発電設備の仕様

1) 極値風速

本協力対象事業で採用する風車は、近年のサイクロン規模の大型化を考慮してカテゴリ S とし、「ト」国建築基準をベースに地上からの高さごとに極値風速を設定する。基準となる地上 10m の極値風速を 70.0m/s、上空の風速鉛直分布により、地上 40m、45m 地点での極値風速をそれぞれ 76.2m/s、76.7m/s と設定する。

2) 発電出力

上記の極値風速に耐えられる設計がなされている風車は、現時点では可倒式風車に限られ、一基あたりの定格出力が 275kW である。要請である 1.3MW 以上の定格出力を確保するためには、最低 5 基の風力発電機が必要である。したがって導入する風力発電機は 5 基以上とする。風力発電施設の定格出力は 1.3MW 以上とするが、可倒式風力発電機の場合は発電出力は $275\text{kW} \times 5 \text{ 台} = 1.375\text{MW}$ となる。

3) タワー形式

可倒式風車は、サイクロン発生時にタワーを傾倒させる構造であり、これにより極値風速 85m/s に耐えられるよう設計されているため、本協力対象事業での候補とする。

一方、現在 90m/s を超える極値風速の風力発電機が開発中である。この風車は固定式であるが、上記極値風速に係る仕様を満たせば、本件ではタワー形式を可倒式、固定式いずれにも限定しない。一方、地上 40m で実施された風況調査の結果から、乱流強度が可倒式、固定式、いずれの設計値よりも小さいことが判明していることから、タワー高さについては風車製造会社の標準仕様とする。

(2) 系統安定化設備（蓄電設備）の仕様

1) 蓄電設備の仕様

蓄電設備の種類、容量は TPL の運転維持管理費用に大きく影響することに留意し、選定する必要がある。

電気自動車やハイブリッド自動車用の蓄電設備としては、リチウムイオン電池等が採用されているが、大容量を要する電力用に供する場合、リチウムイオンキャパシタ、電気二重層キャパシタ、鉛蓄電池、NaS 電池等が機能、費用を考慮し一般的である。

本計画における、短周期変動の補償を目的とする用途においては、鉛蓄電池、NaS 電池等、電力貯蔵（ピークシフト、再生可能エネルギー電源のスケジュール運転等）を主な用途とする電池を選定した場合、瞬間的な充放電容量を確保するため、必要容量が著しく大きくなる。また、解体寿命サイクル数も 3,000 回～4,000 回程度である。一方、リチウムイオンキャパシタ、電気二重層キャパシタといった物理電池は、瞬間出力が確保できるうえ、期待寿命サイクル数も 10 万サイクル程度が期待され、鉛蓄電池、NaS 電池等の化学電池に比べ交換費用面で大幅に改善する。

したがって、本計画の蓄電設備は短周期変動の補償への活用であることに留意し、キャパシタ型の蓄電設備を採用するものとし、本件においては、太陽光発電施設の蓄電設備で導入実績のあるリチウムイオンキャパシタを採用する。

2) 蓄電装置出力及び PCS 容量

本件で採用する蓄電装置であるリチウムイオンキャパシタの出力に関しては、前記の通り、代数的手法により検討を行った結果から、530kW とする。また、PCS 容量に関しては、蓄電装置出力、PCS の単体容量 (500kVA) 及び無効電力補償の観点から、500kVA×2 台とする。

3) 蓄電設備容量

蓄電設備容量については、系統の周波数変動を現状の水準に維持できる容量とするためには、蓄電設備は充電および放電の両方に対応必要があるため、蓄電設備の容量は、SOC50%の状態を初期状態とする必要がある。この結果、風力発電機による出力変動を安定化させるためには 12.5kWh が必要となり、PCS との接続の観点から 7kWh×2 系列とし、合計 14kWh の容量を確保する。

(3) 蓄電設備棟

1) 平面計画

本協力対象事業で採用する蓄電設備はリチウムイオンキャパシタであり、特に計装設備と区別して別室にする必要性もないため、設置後のメンテナンスを考慮し、離隔距離を確保することに留意して計画する。

2) 断面計画

蓄電装置、計装設備等、設置する機材の支障のない高さを設定する。また、機材の据付時や将来の更新時の搬出入に十分な建具高さを確保する。

3) 構造計画

蓄電設備棟の構造は、現地での施工の容易さ及び工期短縮を考慮し、先行して実施された「マイクログリッドシステム導入計画」と同様の、鉄骨構造を採用する。

4) 設備計画

①電力計画

一次側電源は発電所内の変圧盤により受電し、変圧盤から先の二次側設備を計画する。

②照明計画

TPL の既存施設と同等の照度を確保するための照明器具を配置する。また、消耗品・交換部品の調達が容易となるよう、照明器具は現地で調達が可能な蛍光灯とする。

③通信設備

携帯電話が普及しているため、棟内の電話配線は計画しない。

④空調・換気設備

リチウムイオンキャパシタの性能劣化を防止するため、キャパシタ格納部に空調機を整備する。各給排気口には防虫網を設け、電気系統への虫の侵入を防ぐ。

⑤給排水設備

給排水設備は特に計画しない。

⑥消防設備

既存施設と同様に現地で一般的に使用している粉末消火器を設置する。

5) 仕上げ表

蓄電設備棟の仕上げ計画を以下に示す。

表 3-15 蓄電設備棟 仕上げ表

部位	仕上げ	備考
外部仕上げ		
屋根	ガルバニウム鋼板 t=0.8mm	耐候性に配慮し、ガルバニウム鋼板とする。
外壁	ガルバニウム鋼板 t=0.5mm	耐候性に配慮し、ガルバニウム鋼板とする。
建具	鋼製建具 t=1.6以上	地震が起きた際に避難路の確保ができるよう、耐震枠仕様のものを使用する。
基礎・立ち上がり	鉄筋コンクリート造 モルタル刷毛引き仕上げ	
樋	溶融亜鉛メッキ鋼製 またはPVCパイプ製	耐候性に配慮し、ステンレス製または溶融亜鉛メッキ鋼製の樋を設置する。
内部仕上げ		
床	厚膜型エポキシ樹脂系塗床	高耐久の塗床とする。
壁	ガルバニウム鋼板 t=0.5mm	
天井	グラスウールt=50敷き込みの上 不燃シート貼り	屋根からの熱橋を考慮し、厚さ50mmのグラスウール敷き込みを行う。

出典：調査団作成

(4) 高圧配電線網への系統接続

1) 既設高圧配電線との接続箇所

既存高圧送配電線網との接続箇所は、風力発電所に最も近い Niutoua 地区とする。

2) 電線路の概要

風力発電所から Liku ロードに至る区間は、道幅が狭く樹高の高い樹木が繁茂している。高圧配電線と樹木等の接触による配電線事故防止のため、電線路は本協力対象事業にて先方実施機関が整備する資器材搬入及び保守用道路に管路を埋設し、埋設管路中に配線する地中配線方式とする。

また、Liku ロード到達地点に地中線路立ち上がり柱を設置し、既存送配電線との連携地点である Niutoua 地区内の Taufa'ahau ロードとの交差点までは、Liku ロード沿いに東南側に木製支持物を約 45m 毎に建植し、架空配線方式とする。Liku ロードは道幅も広く、道路の両側は開けており、高圧配電線と樹木等の接触事故の可能性が低いことから、建設費が安く保守点検も容易となる。

3) 既存高圧送配電線との接続箇所

既存高圧送配電線との接続点は、Niutoua 地区内の Liku ロードと Taufa'ahau ロードとの交差点近傍の既存高圧送配電線支持柱とする。また、短絡時電流への対策として、接続地点に電力ヒューズ (100A) を有する LBS を設置して、新設線を接続する。

4) 通信線

①通信線の選定

Popua 発電所から Niutoua の風力発電設備を結ぶ有効な通信線が存在しないため、新たに通信線を架設し、風力発電設備の監視・制御用高速 LAN(イーサネット)環境を構築する。Popua 発電所から Niutoua の風力発電設備までの距離は約 39km であり、この長距離区間において安定したネットワークを構築するため、光ファイバーケーブルを通信線として採用する。光ファイバーケーブルは、電磁波やノイズの影響を受けにくいいため、安定した通信を確保できる利点も備えている。

②光ファイバーケーブル線種

長距離伝送に使用する光ファイバーケーブルの線種には、マルチモードとシングルモードとがあるが、マルチモード光ファイバーケーブル（コア径 50 μ m）の最大伝送距離は 550m 程度と短く、シングルモード光ファイバーケーブル（コア径 8 μ m）を使用すると 50km 程度まで伝送可能となるため、本協力対象事業においてはシングルモード光ファイバーケーブルを選択する。

③光ファイバーケーブル芯数

本協力対象事業の光ファイバーケーブル LAN では、上り用に 1 芯と下り用に 1 芯、あわせて 2 芯を用いて全二重通信を行う方式を計画している。必要な回線数は、予備回線を含めて 6 回線であり、光ファイバーケーブル心数は 6 回線を収容するため 12 芯とする。

④架線方式

光ファイバーケーブル架線方法には自己支持型、メッセンジャーワイヤー吊り型があるが、自己支持型光ファイバーケーブルを長距離、多径間に渡り延線し、架線を行うには専用の延線機資材を大量に必要とする。本協力対象事業では、通常使用する比較的少ない機材で施工でき、架線後の保守性が良く、既設マイクログリッドの光ファイバーケーブル架線においても採用されているメッセンジャーワイヤー吊り型の一種であるスパイラルハンガー方式を採用する。

⑤地中区間保護管の選定

一部、地中に光ファイバーケーブルを配線する必要がある場合は、保護管を設ける。保護管はケーブル外径の約 1.5 倍以上とする必要がある。本協力対象事業では、光ファイバーケーブルの直径を約 10mm とした場合の直上サイズである、30mm の FEP 管（難燃性波付硬質ポリエチレン管 FEP/N30）を採用する。

(5) 主要機器の概略仕様

本協力対象事業で調達・据付ける主要機材の概略仕様を下記に示す。

表 3-16 主要機材の概略仕様

番号	主要機器名・項目	概略仕様	数量
0.	風力発電施設		
(1)	風力発電機	カットイン風速：3.6m/s 以下 カットアウト風速：20.0m/s 以上 風車カテゴリ：S クラス 乱流強度：B 以上 低圧出力電圧-周波数：400V-50Hz 高圧出力電圧-周波数：11kV-50Hz ナセル高さ：38m 以上	5 式
(2)	風車制御 SCADA	風車の監視および運転指令を与える。	2 式
1.	1.3MW 風力用系統安定化設備		
1.1	マイクログリッド制御設備		
(1)	マイクログリッド制御盤	風力発電出力の安定化および発電機との協調運転を行う。状態や警報の表示、運転指示および各種設定を行う。 型式：屋内設置金属閉鎖盤	1 式
(2)	マイクログリッド制御盤（ポビア発電所） および計測機器	ポビア発電所での各種計測・監視状況の取得およびポビア発電所での情報表示、運転指示および各種設定を行う。	1 式

番号	主要機器名・項目	概略仕様	数量
(3)	データ管理システム	計測データを1秒周期で記録・表示する。	1式
(4)	気象計測装置（風速計、風向計）	ニウトウアサイトの風速、風向を観測する（地上10m）。	1式
1.2	系統安定化設備システム		
(1)	蓄電設備	種類：リチウムイオンキャパシタ 用途：サイクルユース用 容量：LiC：14kWh以上（7kWh×2） 内部抵抗：19mΩ以下	1式
(2)	蓄電設備収納盤	型式：屋内設置用金属閉鎖盤	1式
(3)	蓄電設備接続盤	PCSと蓄電装置を接続する。 型式：屋内設置用金属閉鎖盤 開閉器：MCCB	2式
(4)	双方向パワーコンディショナ	制御装置の指令に基づき、蓄電装置への充電、蓄電装置からの放電を行う。また、容量の範囲内で無効電力制御を行う。 容量：500kVA 型式：屋内設置用金属閉鎖盤 主回路方式：高周波PWM 絶縁方式：商用周波絶縁トランス方式 冷却方式：強制空冷 定格電力変換効率：93%以上 制御機能：自動起動・停止、ソフトスタート、自動電圧調子、入出力過電流調整、出力調整 系統連系保護機能：OVR、UVR、OFR、UFR 単独運転検出：能動式及び受動式	2式
(5)	連系用変圧器	形式：屋外油入自冷式、エレファントダクト付き 容量：AC500kVA、三相、50Hz 電圧：11kV/PCS交流電圧	2式
(6)	直流電源装置	11kV開閉設備、PCS、その他に電源を供給する。 入力：AC210V三相 出力：DC110V 型式：屋内設置用金属閉鎖盤 蓄電設備：全閉密封型鉛蓄電池 蓄電容量：12時間以上の停電時間に耐えること。	1式
1.3	所内用電源盤	所内負荷に必要な容量のトランス等および開閉器を内蔵すること。 型式：屋内設置用金属閉鎖盤(屋外に主所内変圧器設置) 開閉器：MCCBもしくはACB 入力：AC11kV三相 出力：AC210V三相、AC100V単相	1式
1.4	11kV開閉設備	型式：屋内設置用金属閉鎖盤 フィード数：9 開閉基：遮断機引出型（VCB） 定格電圧：11kV以上 保護リレー、計測装置、電力量計等を含む。	1式
2.	11kV系統連系用開閉設備		
(1)	系統連系用開閉設備	定格電圧：11kV三相 開閉器：PASまたはLBS	1式
(2)	電力線	<地中部> ケーブル：TCT 11kV 50mm ² マンホール：6箇所 配線方式：FEP/N100 <架空部> ケーブル：HV XLPE NMS ABC HDPE,	1式

番号	主要機器名・項目	概略仕様	数量
		11kV70mm ² 高圧電柱(10~12m) : 9本 配線方式 : 自己支持方式	
3.	光ネットワークシステム		
(1)	光ネットワークシステム	ニウトウアサイトからポプア発電所情報を取得/ポプア 発電所に情報表示を行うための光ネットワークを構築 する。 併せて、風車の制御/監視 SCADA 用の PC を接続 するための LAN ハブをニウトウアサイトおよびポプア発 電所に構築する。 通信線 : 光ファイバーケーブル (シングルモード×12 芯) 配線方式 : FEP/N30 (地中部) 、 スパイラルハンガー方式 (架空部)	1 式

出典 : 調査団作成

3-2-3 概略設計図

本計画における概略設計図は、次頁のとおりである。

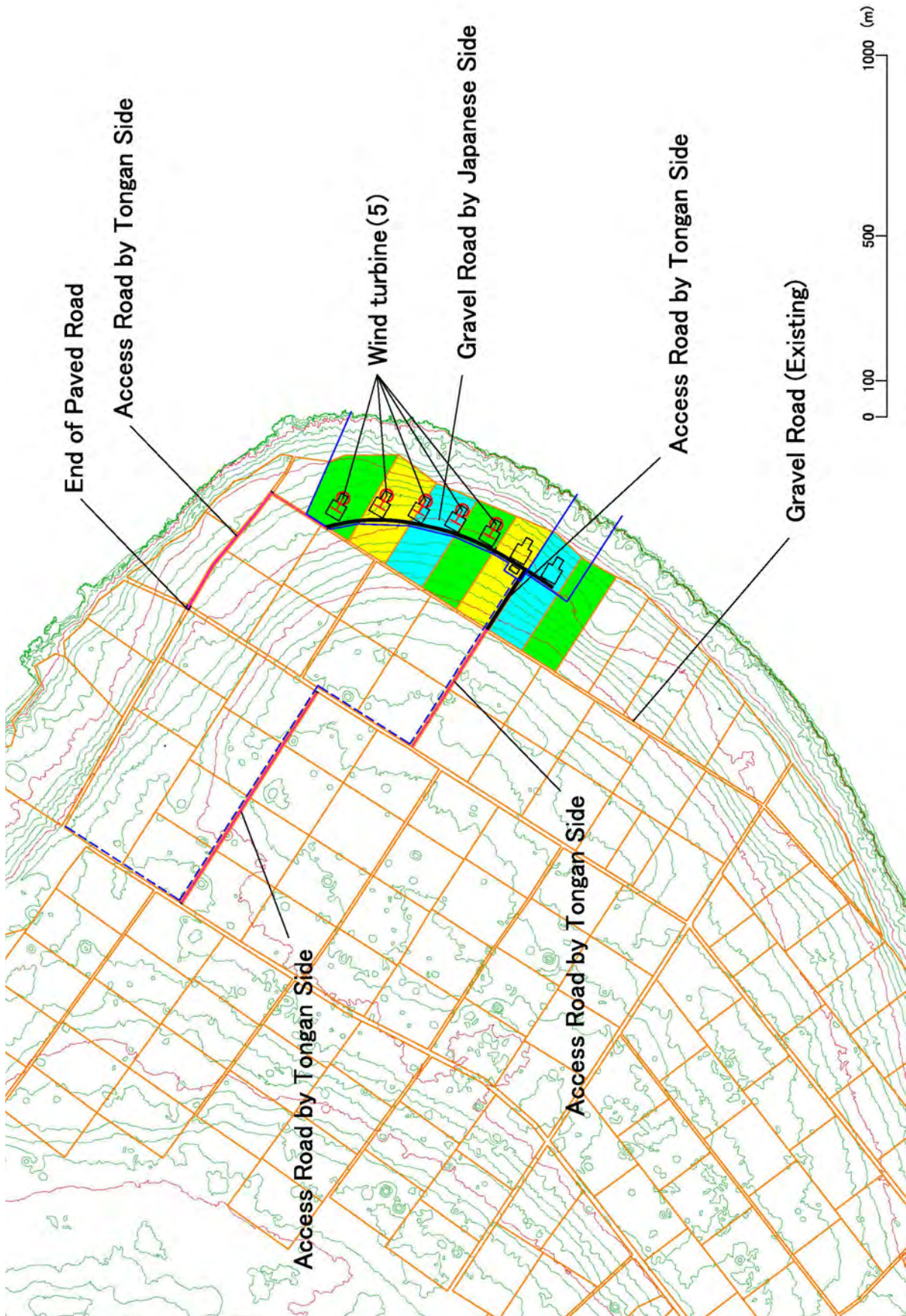


図 3-33 全体システム構成図

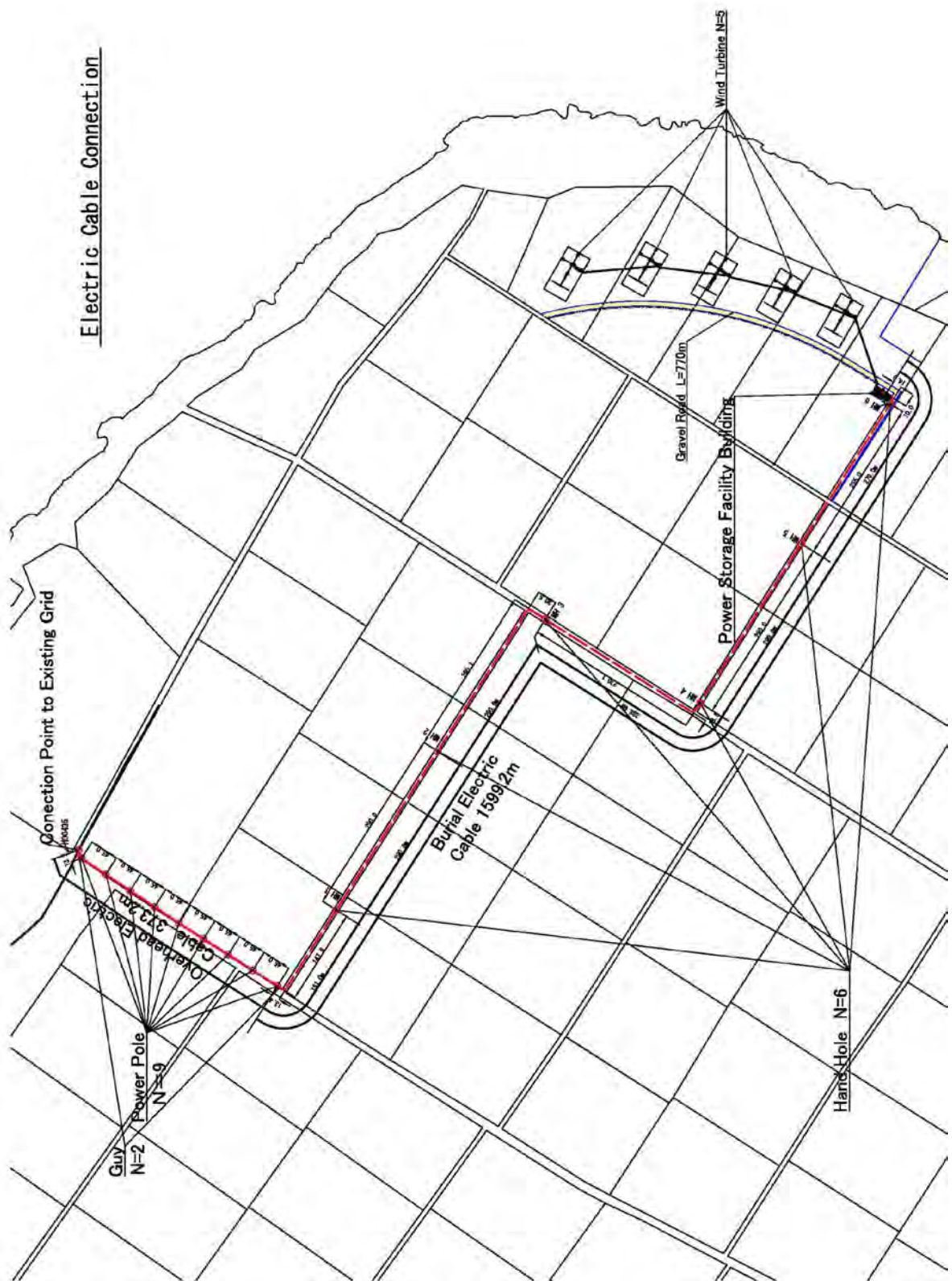


図 3-34 機器配置図

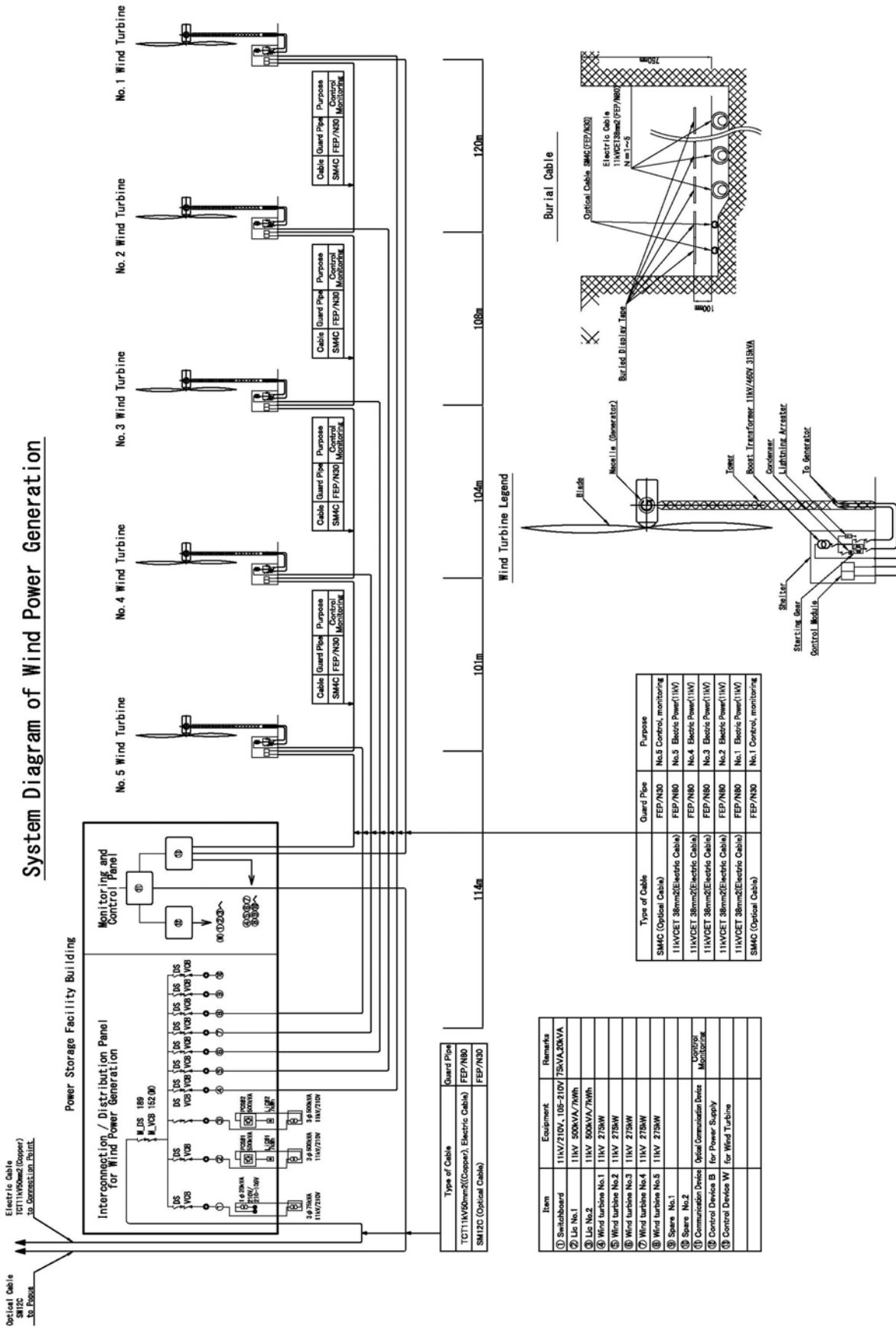


図 3-35 配電系統図

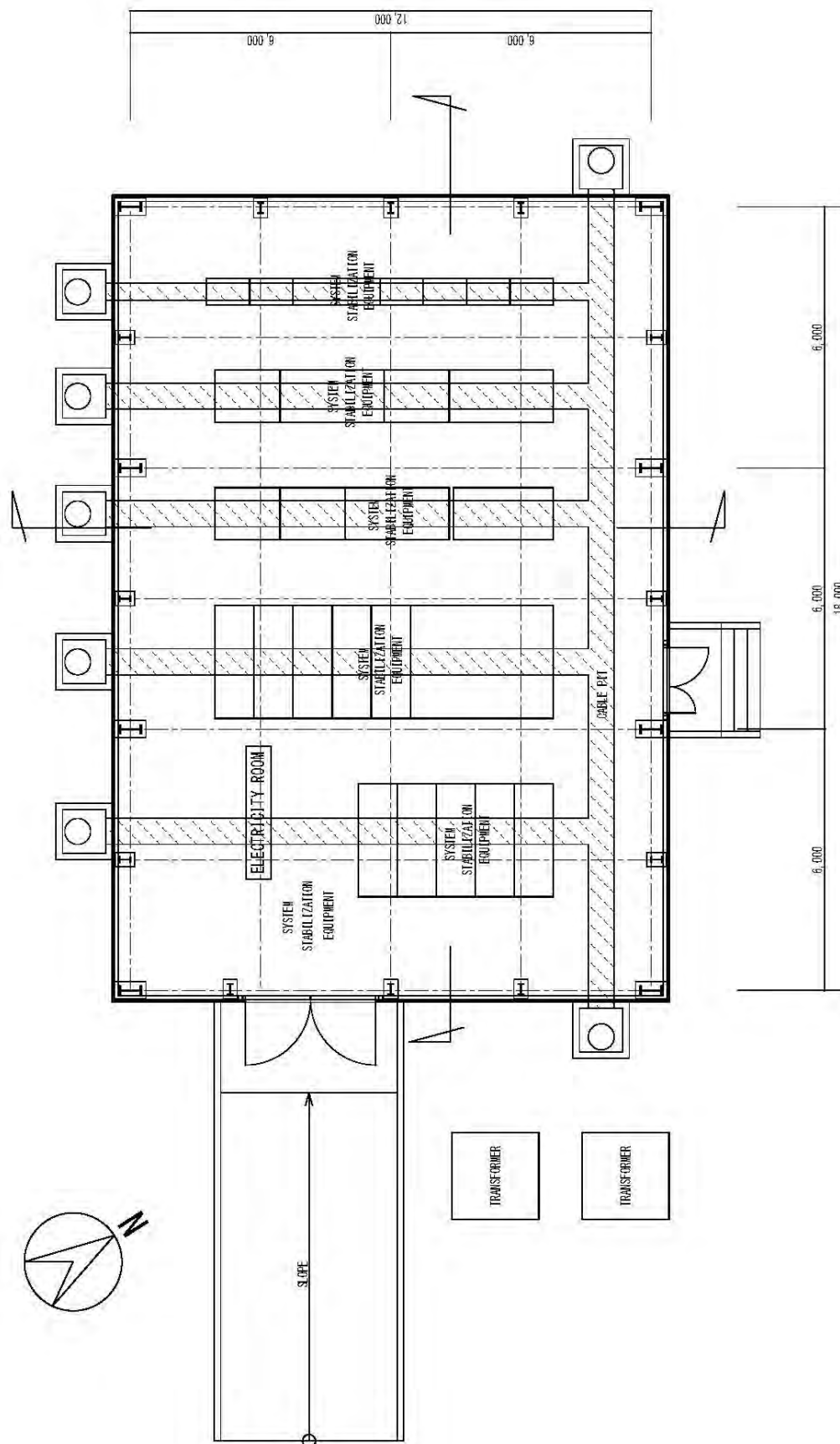


図 3-37 蓄電設備建屋平面図

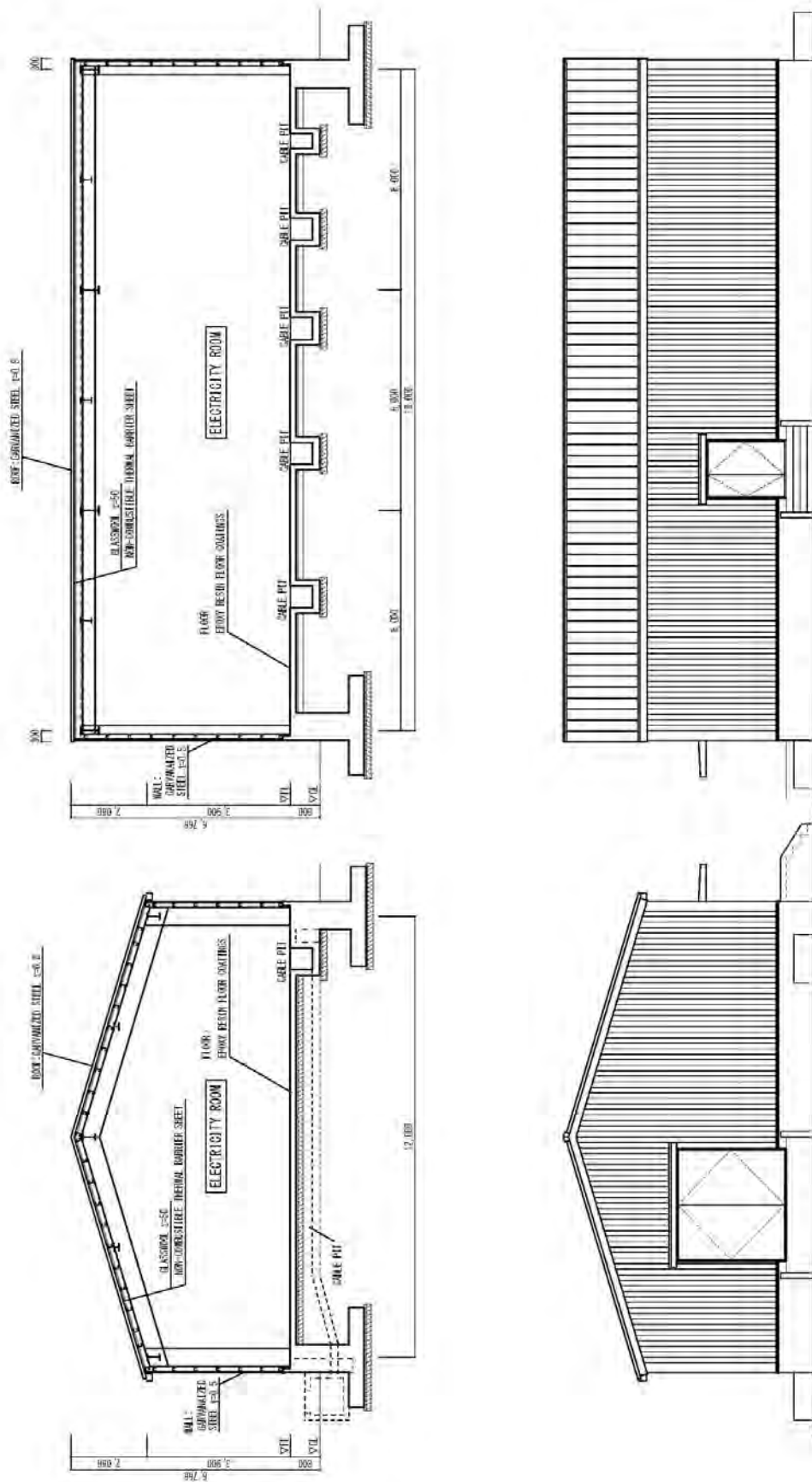


図 3-38 蓄電設備棟構造図

Route Plan of Communication Line



図 3-39 光ケーブル配置図

3-2-4 施工計画／調達計画

3-2-4-1 施工方針／調達方針

本協力対象事業は、我が国の無償資金協力の枠組みに従って実施されるため、我が国政府により事業実施の承認がなされ、両国政府による交換公文（E/N）及びJICA（国際協力機構）と「ト」国との贈与契約（G/A）が取り交わされた後に実施に移される。以下に本協力対象事業を実施に移す場合の基本事項及び特に配慮を要する点を示す。

(1) 事業実施主体

「ト」国側の本協力対象事業実施の実施機関は、トンガ電力公社（TPL）である。TPLにおける実施部門は、本協力対象事業を遂行し、当該設備完成後は、本計画で整備された設備・施設の運転維持管理を担う必要がある。また、本協力対象事業を円滑に進めるために、TPLは、日本のコンサルタント及び請負業者と密接な連絡及び協議を行い、本協力対象事業を担当する責任者を選任する必要がある。

選任されたTPLの本協力対象事業の責任者は、本協力対象事業に関係するTPL職員及び関係機関、並びに関係する地域の住民等に対して、本協力対象事業の内容を十分に説明・理解させ、本協力対象事業の実施に対し協力するように啓発する必要がある。

(2) コンサルタント

本協力対象事業の機材調達・据付工事を実施するため、JICAより「ト」国側に推薦された日本国法人のコンサルタントが、TPLと設計監理業務契約を締結し、本協力対象事業に係わる実施設計と調達及び据付工事の監理業務を行う。また、同コンサルタントは入札図書を作成すると共に、事業実施主体であるTPLに対し、入札実施業務を代行する。

(3) 請負業者

我が国の無償資金協力の枠組みに従って、一般公開入札により「ト」国側から選定された日本国法人の請負業者が、本協力対象事業の資機材調達及び据付工事を実施する。請負業者は本協力対象事業の完成後も、引続きスペアパーツの供給、故障時の対応等のアフターサービスが必要と考えられるため、当該資機材及び設備の引渡し後の連絡体制についても、十分に配慮する必要がある。

(4) 技術者派遣の必要性

本協力対象事業は、最大発電容量1.3 MW以上の風力発電設備と関連する機材、蓄電設備（建屋含む）、既存電力設備との協調運用を図るための光ケーブルの布設、並びにSCADAの追加工事であり、複数の工事班により執り行われるため、お互いに調整のとれた施工が必要である。また、それら各種工事の多くは並行して実施されることになり、工程、品質、出来形及び安全管理のため、工事全体を一貫して管理・指導出来る現場主任を日本から派遣することが不可欠である。

3-2-4-2 施工上／調達上の留意事項

(1) アクセス条件

荷揚げ港であるヌクアロファ港から本協力対象事業の計画地であるニウトウア集落までの区間は舗装道路が整備されているが、ニウトウア集落から計画地までは道路が整備されていないためアクセス道路を新設する必要がある。また、風車のブレードやタワー等の長尺物を運搬する際には、荷揚げ港から計画地までの全区間において必要に応じてコーナー部の拡幅や標識、電柱等の障害物の移設を検討する必要がある。また、港、道路等の改修工事が計画されている場合は、資機材の輸送に影響を与えることも考えられるため、これらの工事予定を考慮して工程を計画する必要がある。

(2) 施工上の留意点

風車の設置予定地において、「ニ」国の調査報告書により地下 2.5m 前後に石灰岩の基盤岩が存在し、地耐力は十分であることを確認しているが（N 値換算：50 以上）、可倒式風車を選定する場合、1 基当たり 5 本のアンカーにて風車を固定するため、全てのアンカーの設置場所について基盤の周辺摩擦力の確認を目的とした標準貫入試験を実施する。

工事車両の搬入搬出道路については、風力発電設備搬入用のトレーラーやタワー据付用の大型クレーン等工事用車両の搬入搬出について、道路幅、勾配、カーブや重量制限等十分な検討をする。

配電盤、キュービクル据付工事、電気工事、外構工事等は時期が重なって工事が行われることがあるので、工事工程の計画段階から各工事の調整を十分ににする。

(3) 資機材の調達国について

本協力対象事業で調達される機材は、配電線、配管等の副資材も含めて、「ト」国内での生産は行われておらず、全て輸入に頼っており現地調達はできない。従って本協力対象事業で調達される資機材は原則として、砕石、コンクリート用資材（セメント、砂、骨材）を除く全てを日本又は第三国から調達するものとする。また、2019 年に首都ヌクアロファにてパシフィックゲームズの開催が予定されており、競技関連施設の整備のため建設資材の不足や価格高騰が予想される。したがって、資機材の調達については現地の状況を十分に考慮する必要がある。

(4) 安全対策について

本協力対象事業の対象地域は治安上の問題が少ない地域であるが、工事期間中の資機材の盗難防止及び工事関係者の安全確保等には留意する必要がある。このため、必要に応じて「ト」国側に対して安全対策上必要な措置を講じるよう依頼することは勿論であるが、日本側の契約者も、資機材置き場に仮設工事の一部としてフェンスを設置し、警備員を配置する等の安全対策を考慮することとする。また、風車は巨大な建築物なので組立・据付工事では機器の取り扱い、強風、降雨、落雷等の対策を講じ、重量物の運搬や吊上げ作業では特に注意し、危険な作業を行わない。風車はそもそも風の強い箇所に建設するため、過去数年の風況データや官公庁発表のレーダ等の情報をもとに作業可能な作業時間を予測することが重要となる。

(5) 免税措置について

本件無償協力事業に対しては、両国の間で結ばれる E/N の記載に従って免税が適用される。本協力対象事業で調達する資機材に関する通関及び関税の免税を受けるためには、請負業者は、資機材

のヌクアロファ港到着時に TPL の調達担当者 (Procurement Officer) を通じて、財務・国家計画省 (Ministry of Finance and National Planning) の援助管理局 (Aid Management Division) に、船荷証券の写し及び資機材リスト等、必要書類を添えて通関及び免税手続き申請書を提出する必要がある。同時に、その写しを歳入省 (Ministry of Revenue) にも提出し、財務・国家計画省により署名が行われる前に両省庁の合意を得なければならない。その後、財務・国家計画省により作成される押印済みの文書と共に、資機材リストを税関に提出することにより、還付方式ではなく、完全免税方式で免税となる。また、砕石、コンクリート用資材等、一部の資機材の「ト」国での調達については、調達時は税込価格により調達し、後日、請求書や領収書等の必要書類を援助管理局に提出することで、税金支払い分の還付を受けることができる。

(6) 輸送について

通常、「ト」国への海上輸送資機材については、唯一の国際港であるヌクアロファ港にて通関手続きが行われる。前述のように関税は免税となるものの、荷役取扱手数料については、本協力対象事業の海上輸送費の一部として計上する必要がある。風車のブレードやタワー等の長尺物に対しては、ヌクアロファ港からプロジェクト対象地までの国内輸送について、コーナー部の道路幅員や標識、電柱等の障害物について十分留意し輸送計画を立てる必要が有る。また、ヌクアロファ港には、重量物を吊上げ可能なクレーン設備が無い場合、施工業者は、クレーン付き輸送船、移動式クレーン設備等、吊上げ設備を別途確保する必要がある。なお、日本国からの調達機材の輸送には、長期間の海上輸送、港の荷揚げ、本計画地までの内陸輸送並びに保管に充分耐え得る梱包方法を採用する。

(7) 資機材調達上の留意事項

現地の施工業者は、本計画の規模・仕様に見合う施工能力があると判断されるため、邦人技術者の管理のもとで、本計画に積極的に活用する。

本計画に必要な資機材は、コスト比較によってより安価な現地調達の採用を基本とする。しかしながら、現地調達が不可能な資機材、また、品質及び流通に問題があり一定期間内に入手が困難な資機材については、日本から調達する。

3-2-4-3 施工区分／調達・据付区分

本計画が実施された場合、日本側と「ト」国側との施工負担は、表 3-17 のとおり区分される。

表 3-17 日本及び「ト」国側の施工負担区分

No	業務内容	日本国側	「ト」国側
1	銀行取極めに基づく手数料		
	(1) 支払授權書 (AP) の発行		○
	(2) 上記銀行手続きにかかる諸費用		○
2	環境社会配慮上の手続き		○
3	敷地の確保、樹木撤去、整地、障害物の撤去		○
4	建築許可の取得		○
5	機材調達		
	(1) 風力発電設備 (風車及び支持タワー)	○	
	(2) 系統安定化設備 (蓄電池、データ管理システム)	○	
	(3) 制御装置	○	
	(4) 電気設備資材	○	
	(5) 予備品及び維持管理用資材	○	
	(6) 蓄電設備棟	○	
	(7) フェンス		○
	(8) 街灯	○	
	(9) トイレ		○
	(10) 守衛小屋		○
6	インフラストラクチャー		
	(1) 電力		
	① 系統連系手続き		○
	② 送電線及び附帯設備の整備	○	
	③ 回路遮断器、変圧器、敷地内配線	○	
	(2) 給排水		
	① 敷地内の給水施設		○
	② 敷地内の排水施設		○
	(3) 道路		
	① 敷地内道路の整備	○	
	② 敷地外道路、アクセス道路の整備		○
	(4) 家具・備品		○
7	輸送・通関手続き		
	(1) 海上輸送	○	
	(2) 荷揚げ港における通関業務、免税措置		○
	(3) 荷揚げ港からプロジェクトサイトまでの輸送	○	
8	免税手続き (関税、付加価値税等)		○
9	本業務関係者の出入国・滞在に必要な許認可、手続き及びその費用		○
10	プロジェクト機材の適正利用		○
11	無償資金協力に含まれない関連業務にかかる費用の負担		○

出典：調査団作成

3-2-4-4 施工監理計画／調達監理計画

我が国の無償資金協力制度に基づき、コンサルタントは協力準備調査で行った概略設計の趣旨を踏まえ、実施設計業務・施工監理／調達監理業務について一貫したプロジェクトチームを編成し、円滑な業務実施を図る。コンサルタントは施工監理／調達監理段階において、本協力対象事業対象地に最低限1人の技術者を駐在させ、工程管理、品質管理及び安全管理を実施する。更に、必要に応じて、国内で製作される資機材の工場検査及び出荷前検査に国内の専門家が立会い、資機材の現地搬入後のトラブル発生を未然に防ぐように監理を行う。

(1) 施工監理／調達監理の基本方針

コンサルタントは、本工事が所定の工期内に完成するよう資機材の調達及び工事の進捗を監理し、契約書に示された品質、出来形及び資機材の納期を確保すると共に、現場での工事が安全に実施されるように、請負業者を監理・指導することを基本方針とする。全体行程を遵守するためには、各々のコンポーネントの行程計画に沿って、所定の期間内に機材調達／据付工事を完了させることが重要である。また全体行程の円滑な進行のために不可欠な「ト」国側の負担事項の進捗についても随時把握することが重要である。監理内容は、資機材調達、仮設工事、基礎工事、躯体工事、設備工事、内装工事と多岐に亘る。そのため、コンサルタントは相手国側実施機関、建築・設備・インフラ関係諸官庁、周辺住民等及び施工業者との連携・協力によって、調達監理を円滑に実施する。以下に主要な施工監理上の留意点を示す。

1) 工程管理

請負業者が契約書に示された納期を守るために、契約時に計画した実施工程、及びその実際の進捗状況との比較を各月または各週に行い、工程遅延が予測される場合は、請負業者に対し注意を促すと共に、その対策案の提出と実施を求め、契約工期内に工事及び資機材の納入が完了する様に指導を行う。計画工程と進捗状況の比較は主として以下の項目による。

- ① 工事出来高確認（資機材工場製作出来高を含む）
- ② 資機材搬入実績確認（風車、蓄電設備資機材等）
- ③ 仮設工事及び建設機械準備状況の確認
- ④ 技術者、技能工、労務者等の歩掛と実数の確認

2) 安全管理

請負業者の責任者と協議、協力し、施工／調達期間中の現場での労働災害及び、第三者に対する事故を未然に防止するための安全管理を行う。現場での安全管理に関する留意点は以下のとおりである。

- ① 安全管理規定の制定と管理者の選任
- ② 定期的な安全管理会議の開催
- ③ 建設機械類の定期点検の実施による災害の防止
- ④ 工事用車両、建設機械等の運行ルートの設定と徐行運転の徹底
- ⑤ 労務者に対する福利厚生対策と休日取得の励行

(2) 施工監督者

工事請負業者は工事契約に基づき、施設建設工事並びに機材据付工事を実施するに当たり、「ト」国現地の施工業者を、下請け契約を結ぶことにより雇用することになる。従って、建設期間中の工程監理、品質管理、安全管理を下請けの業者にも徹底させるため、請負業者は海外での類似業務経験を持つ技術者を現地に派遣し、下請け業者の管理を行わせる必要がある。

3-2-4-5 品質管理計画

コンサルタントの施工監理要員は、本協力対象事業で調達される資機材の品質並びにそれらの施

工・据付出来形が、契約図書（技術仕様書、設計図等）に示された品質・出来形に合致しているか下記の項目に基づき監理・照査を実施する。品質・出来形の確保が危ぶまれる時は、請負業者に訂正、変更、修正を求める。

- ① 資機材の製作図及び仕様書の照査
- ② 資機材の工場検査立会い又は工場検査結果報告書の照査
- ③ 梱包・輸送及び現地仮置き方法の照査
- ④ 資機材の施工図及び据付要領書の照査
- ⑤ 資機材に係る工場及び現場における試運転・調整・検査要領書の照査
- ⑥ 資機材の現場据付工事の監理と試運転・調整・検査の立会い
- ⑦ 機材製作図・施工図と現場出来形の照査
- ⑧ 竣工図の照査

(1) コンクリート

1) コンクリート配合

施工に先立ち、材料試験に合格した材料を使用し、呼び強度別に示方配合計画を立てた上でコンクリート試験練りを実施し、呼び強度毎のコンクリート配合を決定する。示方配合にあたっては、それぞれの呼び強度に対する目標強度を設定し、試験練り供試体の圧縮強度平均が目標強度を上回り、かつ、設定したスランプの許容範囲内であるコンクリート配合を示方配合とする。目標強度の設定は、呼び強度に予想される標準偏差（ばらつき）等を上乗せした値とする。

コンクリート圧縮試験は、コンサルタント確認のうえで生コンクリート製造業者の試験室、もしくは現場で実施する。供試体は、打設毎かつ打設 100m³ 以内に一回の割合で現場にて採取し、養生する。一回あたりに採取する供試体の本数は、6 本とし、内 3 本を 1 週間強度測定用、残りの 3 本を 4 週強度測定用とする。

2) コンクリート製造

対象となるトンガタブ島には、生コンクリート製造業社が複数社存在し、生コンクリートを製造業者から購入することが可能である。したがって、全てのコンクリートは生コンクリート製造業者から調達し、現場まで運搬後使用する。

3) スランプテスト

スランプテストは、コンクリート打設毎に実施する。なお、スランプテストの許容範囲は、規定値の $\pm 2.5\text{cm}$ とする。

4) コンクリート圧縮試験

コンクリート圧縮試験は、コンクリートプラント会社内の試験室で実施する。供試体は、打設毎かつ打設 100m³ 以内に一回の割合で採取する。一回あたりの供試体の本数は、3 本とする。

(2) 鉄筋

鉄筋の材料強度を確認するため、鉄筋径ごとに鉄筋の引張り試験を実施する。

(3) 骨材

コンクリートに使用される骨材が所定の品質を有していることを確認するため、細骨材及び粗骨材に対して骨材試験を実施する。なお、「ト」国で使用されているコンクリート用骨材は全てが石灰岩であるものの、必要なコンクリート強度が確保できることを確認している。したがって、本協力対象事業においても石灰岩を骨材として使用する。

(4) 地耐力及びアンカーの周面摩擦力

風車の設置予定地において、「ニ」国の調査報告書により地下 2.5m 前後に石灰岩の基盤岩が存在し、地耐力は十分であることを確認しているが（N 値換算：50 以上）、可倒式風車を選定する場合、風車をアンカーにて固定するため、全てのアンカーの設置場所について基盤の周辺摩擦力の確認を目的とした標準貫入試験を実施する。

3-2-4-6 資機材等調達計画

(1) 工事用資機材

本協力対象事業の資機材調達先を表 3-18 に示す。風力発電設備、系統安定化設備については、相互のシステムインテグレーションを図り、設計、システム構築を行う必要があるため、原産国は日本国とする。また、原産国を日本国製とした場合、風力発電機については固定式風車の開発が待たれるものの、同設備、システムを製造しているメーカは複数あるので、競争性は確保される。尚、運転実績、納入メーカのアフターサービス体制の充実度から、「ト」国側も本計画での日本製調達を強く希望している。また、殆どの建設用資機材についても「ト」国で製造・製作されていないため、日本または第三国より調達とする。ただし、建設用資材の一部（碎石、砂等）は「ト」国の市場で購入可能であるため、現地調達を行う方針とする。以上から、本協力対象事業で調達される資機材は、原則として生コンクリート、セメント及びコンクリート用骨材を除く全てを日本から調達するものとする。

表 3-18 建設用資機材の調達先

資機材	調達先		
	「ト」国	日本国	第三国
(主要機材)			
1 風車		○	
2 系統安定化設備（蓄電池）		○	
3 計装設備、変圧器		○	
4 電設資材		○	
5 予備品及び維持管理用資材		○	
(建設工事資機材)			
1 生コンクリート	○		
2 セメント	○		
3 骨材（砂、砂利）	○		
4 鉄筋		○	
5 鉄骨		○	
6 内外装材、建具		○	
7 空調設備		○	
8 照明設備		○	
9 一般電気工事用ケーブル		○	

出典：調査団作成

(2) 工事用機械

バックホウ、タンパ、コンクリート練り混ぜ機等の一般建設機械は、現地リースが可能であるため、日本からの輸送費や供用日数等を考慮し、より安価である現地リースとする。ただし、風力発電設備搬入用のトレーラー車やブレード、ナセル等据付用の大型クレーン車等は、規格によっては「ト」国で現地調達できないため、日本または第三国より調達する。

(3) 輸送梱包計画

日本からの海上輸送にはおよそ1ヵ月間を要する。Queen Salote Wharf 港から計画地までは約35kmであり、港での諸手続き（通常約2日間）を経て陸送される。したがって、輸送梱包計画の策定においては、これらの所要日数を十分考慮する。

3-2-4-7 初期操作指導・運用指導等計画

本協力対象事業で整備される風力発電設備（1.3MW以上）、蓄電設備（リチウムイオンキャパシタ500kW）、データ管理システムは比較的大型な設備であり、運転開始後の円滑な運用を図るために、工事及び試運転の後に実施する初期操作指導・運用指導を日本の受注業者が以下の通り行う。

(1) 初期操作指導

本協力対象事業で調達・据付される設備・資機材の運転・維持管理技術を、試運転の後の初期操作指導としてTPL職員に指導する。

TPLは、これまで導入された太陽光発電設備の運転・維持管理を行っており、系統連系された太陽光発電設備の運転・維持管理技術は保有している。また、我が国が導入した蓄電設備とマイクログリッドシステムについても運転・維持管理を行っていることから、これらの基本的な運転・維持管理技術は有している。しかし、系統連系されたMW級の風力発電設備の導入は初めてであることと、本協力対象事業で導入する蓄電設備、データ管理システムの運転・維持管理については、改めて必要な初期操作指導を実施する必要がある。

したがって、据付工事及び試運転期間中に製造会社から派遣される技術者によって、引き続き「ト」国側技術者に対して本計画で整備されるシステム全般につき運転・維持管理技術の実習訓練を実施する。

また、維持管理作業に必要不可欠な各種計器の操作方法についても訓練を実施し、調達機材の効果的な運用を確保する計画内容とする。

1) 実習訓練の実施期間と実施場所

- ▶ 座学：約1週間（試運転の後に「ト」国にて実施）
- ▶ 現場実習：約3週間（試運転の後に「ト」国にて実施）

2) インストラクター

日本の当該工事請負業者が納入する風力発電設備と蓄電設備の製造会社から派遣される機材据付、試運転・調整技術者をインストラクターとする。

3) 研修員

実習訓練を受講する「ト」国側研修員は、当該発電設備運転開始後に、直接、運転・維持管理業

務に携わる TPL の運転管理員及び維持管理要員とし、下記要員が実習訓練を受講する。従って、本計画の「ト」国側実施機関である TPL は、発電設備の試運転が終了するまでに、具体的に研修員を任命するものとする。

－総括技術者：1名

－運転管理要員：

電気技術者：1名

機械技術者：1名

電気技能者：2名

機械技能者：2名

小計：6名

－保守要員：

電気技術者：1名

機械技術者：1名

電気技能者：2名

機械技能者：3名

小計：7名

合計：13名

4) 研修内容

初期操作指導は座学のみでなく、現場での実地訓練を基本とする。風力発電設備及び蓄電設備を運転・維持管理するには、現場の機械技術者、電気技術者がこれら設備に関して十分な知識を持たねばならない。

本協力対象事業により整備される施設は、大きく分けて風力発電設備、蓄電設備、データ管理システムの三つのシステムから構成され、その役割、システム構成及び電気的特性を中心に初期操作指導を行う。

TPL は既に太陽光発電に伴うマイクログリッドを含む系統安定化設備の基本は習得している。しかし本件は風力発電設備であり、系統安定化設備についても個別にシステム背系されたものであるため、初期操作指導については改めて基礎から順に行う。

3-2-4-8 ソフトコンポーネント計画

3-2-4-8-1 ソフトコンポーネントを計画する背景

「ト」国は、島嶼国という地理的な条件から、電力供給の大部分を、輸入燃料を使用したディーゼル発電に依存している。このため「ト」国は、国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点から極めて脆弱な状況である。これを打開するため、「ト」国は温室効果ガスの排出削減とエネルギー安全保障の向上という二つの命題に対処し、「2020年までに電力供給の50%を再生可能エネルギーで賄う」という政策目標を「トンガ・エネルギーロードマップ 2010-2020」(Tonga Energy Road Map : TERM) として策定した。

『トンガ国風力発電所整備計画』は、「ト」国トンガタブ島の北東部に位置するニウトウア地区を対象サイトとして、系統連系型の風力発電設備(出力 1.3MW 以上)及び系統の安定化を目的とした蓄電設備(充放電制御システムを含む)の供与を行う。本計画書は、関連する資機材の調達に際

し、実施機関となるトンガ電力公社（Tonga Power Limited：TPL）に対して、再生可能エネルギーを利用した安定した電力供給と化石燃料の削減を目指して、既存の電力設備に風力発電所を加えた施設運営及び維持管理体制を整備するためのソフトコンポーネントによる技術支援を行うものである。

(1) 「ト」国の電力施設の運営・維持管理状況

トンガタブ島では、2012年にニュージーランド（以下、「ニ」国）の支援による出力1.3MWの系統連系型太陽光発電設備が整備されたものの、運転開始から5年間は「ニ」国の民間企業に運転維持管理が委託された結果、TPLに太陽光発電設備の運転・維持管理技術が蓄積されていない状況であった。

これを受けて、更なる再生可能エネルギーの導入と太陽光発電設備の運転・維持管理技術の向上を目的に、我が国無償資金協力による「マイクログリッドシステム導入計画」が実施された。最大出力1.0MWの太陽光発電設備、容量1.0MWの蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等の整備（SCADAシステムを含む）と共に、ソフトコンポーネントによる太陽光発電設備の運転・維持管理技術の向上が図られ、「ト」国のディーゼル発電の割合は93%に減少している。

風力発電設備に関しては、TPLは独自に小型の可倒式風力発電設備（11kW）を導入しており、出力が小さいため蓄電設備を介さず、直接低圧配電網に連系している。また、サイクロンの襲来が予測された時には、TPL職員が傾倒作業を行うべく、人員の配置および運用体制が整備されている。

(2) ソフトコンポーネントを実施する背景

本無償資金協力において、現時点で導入候補となる風力発電機は、可倒式風車及び固定式風車である。可倒式風車は、サイクロン発生後の風速が15m/sを超えた時点で風車の傾倒を開始し、風速25m/sまでに傾倒を終了させなければならない。したがって、関係機関との連携によりサイクロンの風速変化を随時把握し、作業スタッフの集合及び現場への急行、そして傾倒終了までの作業を短時間に行う必要がある。また固定式風車の場合、サイクロン襲来時も風車の向きを方向制御する必要があり、そのための電力が必要となる。したがって、方向制御のための非常用電源となる自家発電機が稼働するか、関係機関からの連絡により現地にて確認する必要がある。

本無償資金協力では、風力発電設備の出力変動に伴う既存電力システムの周波数や電圧変動を可能な限り抑制するため、蓄電設備及び充放電制御システムの導入を計画しており、短周期変動補償としてリチウムイオンキャパシタを採用したシステムを導入する。先の「マイクログリッドシステム導入計画」でも、短周期の変動補償としてリチウムイオンキャパシタが導入されており、TPLに対してリチウムイオンキャパシタの保守点検、維持管理に係る技術移転がなされてきた。しかし、本計画により1.3MW以上の風力発電機を導入することから、再生可能エネルギーの割合が増加し、自然条件により常に変化する再生可能エネルギーの出力に対応するためには、既存のディーゼル発電機の発電出力も細かく制御する必要がある。このため、風力発電設備及び蓄電設備の更なる運転・維持管理の支援に加え、既存のディーゼル発電機と連携した運転制御に係る施設の運転・維持管理の支援が必要である。そこで、本ソフトコンポーネントでは、プロジェクト開始時の円滑な立ち上がりを支援することと、本無償資金協力事業で調達される機材が持続的に運転・維持管理されることを目的とし、実施機関となるTPLの発電部門、配電部門を対象として、風力発電施設および蓄電装置の運転・保守点検・維持管理業務、そしてディーゼル発電機の運転制御に関する技術移転を実施する。また、風力発電施設の導入後の系統運用手法、風力発電の出力変動に起因する停電への対

応などについて、必要な技術移転を行う。

本協力対象事業において整備される風力発電設備は、TPLによる運営・維持管理が主体となる内容及び規模で計画する。導入される機材が効率的、効果的に運用されるためには必要なTPLの体制を整えられなければならない。したがって、これらを補うべくソフトコンポーネントを計画する必要がある。

なお、ソフトコンポーネントの実施にあたり、風力発電施設の運用・操作、指示系統を確立し、安全に風力発電施設を運転・維持していく必要性から、TPLにより風力発電施設の運営・維持管理を行っていくための体制が確立されることが前提となる。

課題1：中型風力発電施設の運用実績

TPLは11kWの小型風力発電施設をトンガタブ島内に導入し運用している。この風力発電機は可倒式であるが、設置されている風車は1基であり、出力も小さいため、系統安定化設備を介さず直接配電系統に接続されている。したがって、TPLとして系統安定化設備を備えたMW級の風力発電施設を導入するのは今回が初めてとなる。

既存の小型風力発電施設は、気象局からのサイクロン情報に従ってTPLが傾倒作業を行っており、関係機関との連携も含めた一定の作業フローは確立されている。しかし、本無償資金協力では5基の風力発電施設の導入が想定されており、サイクロン襲来時の風力発電機の制御のためには、TPL内での新たな人材の配置と共に関係機関と連携した作業フローの再構築が必要となる。

また、風力発電は太陽光発電と比べ、原則24時間発電するため、再生可能エネルギーとしての発電効率は高いが、頻度は少ないものの風速によっては出力が0%から100%、あるいは100%から0%と、急激な出力変動を生じる場合がある。したがって、系統の周波数及び電圧を安定させるために、風力発電設備の出力特性を十分把握し、系統に与える影響を最小限とする運転技術を習得することが必要である。

課題2：太陽光発電及び風力発電の同時稼働に伴う制御経験

本協力対象事業による風力発電設備の導入により、トンガタブ島の再生可能エネルギーは太陽発電と風力発電となり、これにディーゼル発電による制御を加えたハイブリッド型となる。また、再生可能エネルギーの発電出力に占める割合が10%を超え、系統に与える影響も無視できなくなることから、需要電力の変化と再生可能エネルギーの出力変動に従って、既存ディーゼル発電機の出力をこれまで以上に精度よく制御する必要がある。特に強風時やサイクロン発生時など、風力発電の出力を停止するカットアウト風速に近い風速の場合、風車の発電停止による急激な風力発電の出力低下が生じる可能性がある。この場合、ディーゼル発電機への負荷を低減するため、事前に風力発電の運転台数を制限するなど、系統の電圧及び周波数を安定させるために適切に制御する必要がある。

なお、以降の項目については、可倒式風車、固定式風車、いずれの場合にも共通する事項として計画する。

3-2-4-8-2 ソフトコンポーネントの目標

本ソフトコンポーネントの目標は以下の通りとする。これら目標が達成されることにより、無償資金協力の効果が持続的に発現することが期待される。

目標1：サイクロン発生時の風力発電施設の運転・維持管理が円滑に行われる。

目標2：太陽光発電及び風力発電の稼働状況による系統の不安定化を防ぐために、ディーゼル発電を含む全発電施設の適切な出力制御が行われる。

3-2-4-8-3 ソフトコンポーネントの成果

運営・維持管理体制の強化にかかる本ソフトコンポーネント完了時に達成される成果を以下のとおり設定する。

成果1-1：関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される

成果2-1：データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる

成果2-2：データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる

3-2-4-8-4 成果達成度の確認方法

TPLがその責任を果たし、プロジェクトの円滑な立ち上げに必要な技術や体制の整備状況を確認するため、本ソフトコンポーネントの指標と達成度の確認方法を以下のとおり設定する。

表 3-19 成果達成度

No.	成果	達成度の確認項目	達成度の確認方法（案）
成果1-1	関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される	関係機関からの連絡後、所定の時間内に専門スタッフが集合・準備・移動し、必要な作業を連携して行うことが理解されたか	講義レポート、演習レポート、作業手順マニュアル
成果2-1	データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる	既存のSCADAと共に、データ管理システムによる需要電力の把握により、風力発電の運転制御が適切に行われたか	講義レポート、演習レポート 運転制御マニュアル（案）
成果2-2	データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる	需要電力、太陽光発電、風力発電の各出力を把握し、ディーゼル発電機の運転台数変更による運転制御が適切に行われたか	講義レポート、演習レポート 運転制御マニュアル（案）

出典：調査団作成

3-2-4-8-5 ソフトコンポーネントの活動（投入計画）

(1) 活動区分

設定した成果を達成するため、各成果に対し以下の活動を投入する。

成果1-1	関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される	⇒ 活動1	: 関係機関への作業体制の周知と連携
成果2-1	データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる	⇒ 活動2	: 既存発電施設の運用の説明
		活動3	: 運転制御マニュアル（案）の策定
成果2-2	データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる	⇒ 活動4	: 系統の需給状態の説明
		活動5	: 運転制御マニュアル（案）の策定

(2) 活動内容

- 1) 成果1-1：関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される

活動1：関係機関への作業体制の周知と連携

「ト」国でサイクロン情報を取り扱っているのは、「ト」国の気象・エネルギー・情報・災害管理・

環境・気候変動・通信省 (Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment Climate Change, and Communications : MEIDECC) が所管する気象局のトンガタプ島のファアモツ国際空港内にある気象観測所 (Tonga Meteorological & Coast Radio Services) である。サイクロン襲来時の風力発電機への対応は、可倒式風車、固定式風車で異なるものの、TPL 単独ではなく、MEIDECC 及び気象局との協力体制を構築し、協同で実施することが必要である。

風力発電機のサイクロン襲来時の対応は、MEIDECC を通じて気象局よりサイクロン情報が TPL に連絡され、TPL がニウトウアの風力発電施設内に設置された風速計の風速データを監視することによって行われる。したがって、MEIDECC 及び気象局との協力体制を構築することは重要な要素であり、これら関係機関が本プロジェクトによる風力発電施設の運用について理解することが重要である。したがって、TPL 及び関係機関に対し、サイクロン襲来時の行動スケジュールを周知させるとともに、TPL と関係機関の連携についても説明する。

2) 成果 2-1 : データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる

活動 2 : 既存発電施設の運用の説明

本協力対象事業で計画する系統安定化設備は、リチウムイオンキャパシタを利用した短周期変動補償に対応した蓄電設備であり、中周期となる 10~15 分間の風力発電の出力変動に対しては、既存のディーゼル発電機の負荷変動能力及び運転台数制御により対応する必要がある。このため、TPL の専門スタッフへの講義及び演習に先立ち、過去の既存発電施設 (ディーゼル発電及び太陽光発電) の運用状況及び需要電力の推移を確認し、想定される需要電力に対して、本協力対象事業による風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動を予測し、風力発電施設の制御について検討する必要がある。このため、これら過去のデータ解析及び風力発電施設の制御モデルの作成を国内にて実施する。

その後、TPL の専門スタッフに対し、風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動予測に係る講義を行う。

活動 3 : 運転制御マニュアル (案) (風車) の策定

活動 2 による既存発電施設の挙動予測に係る講義及び演習の後、必要な風力発電施設の運転制御に係る講義及び演習を行う。現時点で考え得る事態としては、強風時に風車がカットアウトし、出力が 100% から 0% に急激に減少する場合への対応である。この場合、短周期変動補償として期待可能な時間は 1 分程度であり、電力の負荷追従変動に対応する高速エンジンを持つ CAT 製ディーゼル発電機の追加起動に約 5 分を要することを考えると、1.3MW 以上となる風力発電出力の急激な減少は、ディーゼル発電機に対して高負荷な状態となり、稼働中のディーゼル発電機の調整力および CAT 製ディーゼル発電機の追機では対処できない可能性が高い。その場合、ディーゼル発電機の調整力残を把握して、運転可能な風力発電機の数量以外を停止させる台数制御を設定する必要がある。

この風力発電施設の運転制御に関し、講義及び演習を行い、TPL の専門スタッフが、本邦コンサルタントの監修を受けながら「運転制御マニュアル (案)」のうち、風車に係る分を作成し、以下の活動 5 で作成されるディーゼル発電機の制御に係る分と合わせて「運転制御マニュアル (案)」を策定する。

3) 成果 2-2 : データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる

活動 4 : 系統の需給状態の説明

本協力対象事業は、風力発電施設及び系統安定化設備の導入が目的ではあるが、既存の系統に接

続することから、系統に与える影響を考慮しながら風力発電機の運転制御だけではなく、既存発電施設の運転制御についても検討すると共に、既存発電施設の運転について必要な対策を講じる必要がある。したがって、電力系統運用の基礎理論に係る講義と共に、再生可能エネルギーの増加に伴う連系要件に係る講義についても実施する。

さらに、系統監視により各フィーダーの需要電力変動を把握し、過去の記録との比較による需要電力予測、また再生可能エネルギーの発電出力からディーゼル発電機の運用に係る講義を実施し、発電施設全体の運用に係るマニュアルの作成をトラブルシューティング（想定したディーゼル発電機の運用で系統電圧、周波数に影響が出た場合の対応等）と共に整備する。

活動5：DG 運転制御マニュアル（案）の策定

活動4で検討される発電施設全体の運用条件に対して、需要電力の変動及び再生可能エネルギーの出力変動に対応して安定した電力を供給することになる、ディーゼル発電機の運転・制御に係る講義を実施する。トラブルシューティングに係る講義・演習と共に、必要となるディーゼル発電機出力に見合った運転台数の設定、時間ごとのディーゼル発電機の運転形態など、TPLの専門スタッフが、本邦コンサルタントの監修を受けながら「運転制御マニュアル（案）」のうち、ディーゼル発電機に係る分を作成し、上記の課題4で作成される風車の制御に係る分と合わせて「運転制御マニュアル（案）」を策定する。

3-2-4-8-6 ソフトコンポーネントの実施リソースの調達方法

本ソフトコンポーネントにおける活動に必要な実施リソースは、以下のとおりである。

(1) 本邦コンサルタント

前述の各活動を実施するにあたり、本邦コンサルタントが準備、指示、取り纏め、報告を担当し、計画全体の管理を行う。そのうえで、先方実施機関であるTPLが風力発電施設、系統安定化設備およびデータ管理システムの運転・維持管理方法を詳細に理解し、風力発電システムを稼働させるために必要な技術を移転する。また、新たに導入される風力発電設備と既存の発電施設（ディーゼル発電機、太陽光発電施設）が連系された送配電システムを安定的に運用するための技術も移転する。想定するコンサルタントは、技術指導者1（系統解析、風車制御）、指導技術者2（系統連系、ディーゼル発電機）の2名であり、「ト」国に派遣し、必要な技術移転を行う。なお、活動1に関しては、現地到着後に活動2と並行して実施する。

ソフトコンポーネントは、短期間でこれらの活動を行い、活動内容及び活動結果を取りまとめる必要があるため、「ト」国でのプロジェクト経験があり、風力発電に係る知見と共に、ソフトコンポーネントの経験がある人材が必要である。このため、プロジェクト実施設計時の契約コンサルタントからの調達が適していると判断する。

表 3-20 本邦コンサルタントの調達

名称	格付	派遣期間	渡航回数	作業内容
指導技術者1 (系統解析、風車制御)	3号	国内21日 現地24日	1回	活動1. 関係機関への作業体制の周知と連携 (1) 関係機関 (MEIDECC、気象局) との協力体制の構築 (2) サイクロン情報の入手手段、サイクロン対応時の体制確立 活動2. 既存発電施設の運用の説明 (1) 既存発電施設の運用状況の確認 (2) 風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動予測 (3) 既存発電施設の挙動予測に係る講義及び演習 活動3. 風車運転制御マニュアル (案) の策定 (1) 既存発電施設の挙動予測に基づいた風力発電施設の運転制御に係る演習 (2) 運転制御マニュアル (案) (風車) の策定
技術指導者2 (系統連系、ディーゼル発電機)	3号	現地24日	1回	活動4. 系統の需給状態の説明 (1) 電力系統運用の基礎理論に係る講義 (2) 再生可能エネルギーの増加に伴う連系要件および検討事項に係る講義 活動5. DG運転制御マニュアル (案) の策定 (1) 系統監視およびディーゼル発電機運転に係る講義・演習 (2) トラブルシューティングに係る講義・演習 (3) 運転制御マニュアル (案) (DG) の策定

出典：調査団作成

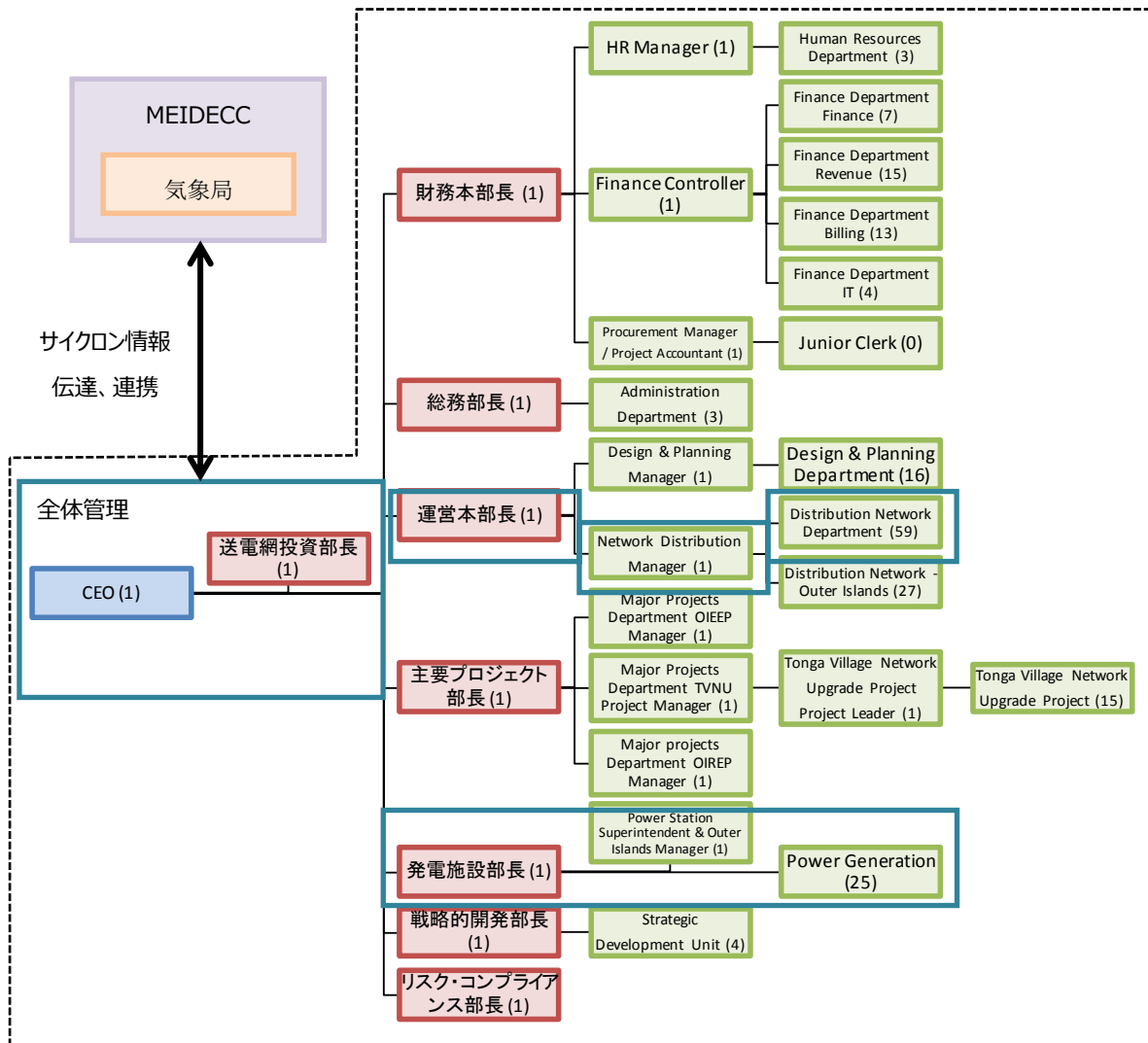
(2) 先方対象機関

1) TPL

「ト」国側の投入として、ソフトコンポーネントの受け皿となる TPL 受講者の任命とソフトコンポーネントへの参加が必要となる。具体的には、以下の□で囲まれた部署および担当者を対象として、コンサルタントが技術移転等を実施する。

2) 関係機関 (MEIDECC 及び気象局)

サイクロン発生時の風力発電施設の傾倒一復旧作業に関しては、MEIDECC 及び気象局からのサイクロン情報が重要となり、これら関係機関との協力体制のもとに作業を実施することが必要である。



出典：調査団作成

図 3-40 先方対象機関の実施体制

以下に、想定する活動ごとの対象者及びソフトコンポーネントへの参加人数を示す。

表 3-21 活動ごとの対象者

活動	対象部署、関係機関	参加人数
1. 関係機関への作業体制の周知と連携	MEI DECC	2
	気象局	2
	TPL (送電網投資部)	1
	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
2. 既存発電施設の運用の説明	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
3. 運転制御マニュアル (案) の策定	TPL (発電施設部)	4
4. 系統の需給状態の説明	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
5. 運転制御マニュアル (案) の策定	TPL (発電施設部)	4

出典：調査団作成

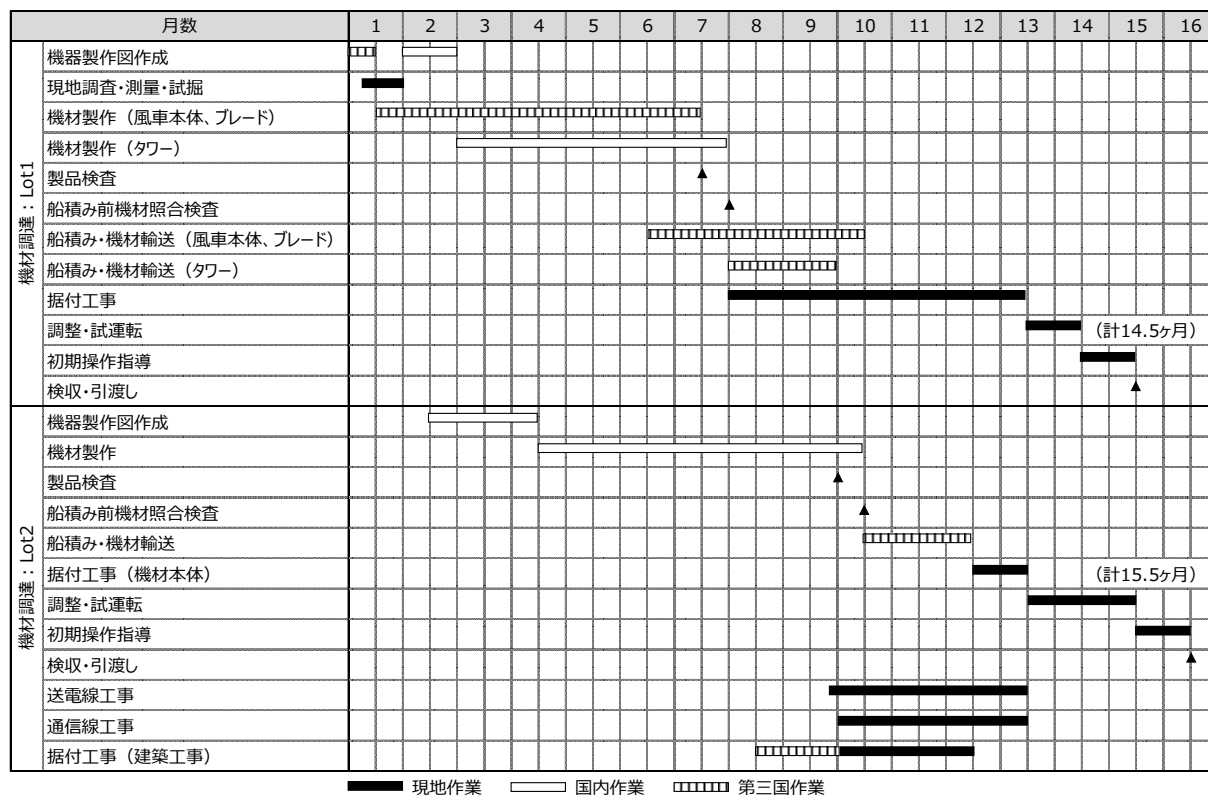
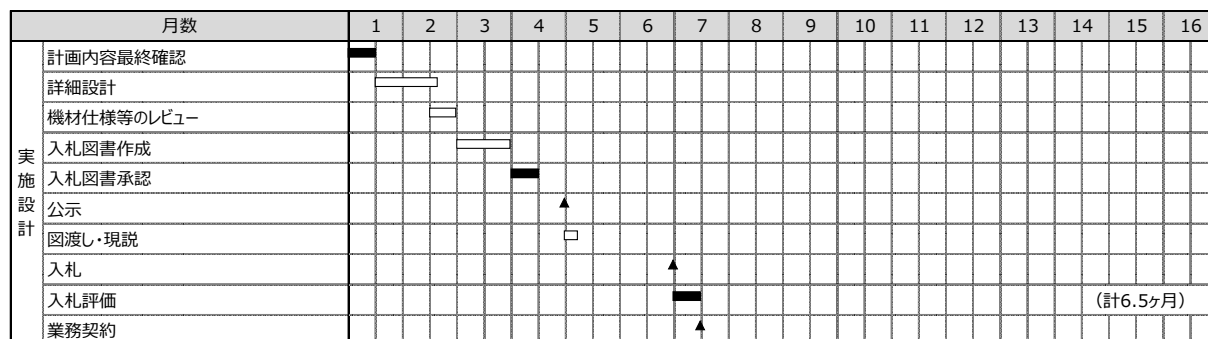
積されたデータにより、需要電力、太陽光発電出力、風力発電出力ごとのディーゼル発電機の効率的な運転制御が事前に予測可能となり、再生可能エネルギーの利用が安定的に行われるようになる。

なお、関係者の移動交通費、日当、宿泊費等、先方実施機関において当該年度予算が計上されていない場合、現地演習等の開催が困難になることが考えられる。したがって、プロジェクトの工程を鑑みた先方実施機関の事前予算申請が重要となる。

3-2-4-9 実施工程

我が国政府により本協力対象事業の実施が承認された後、両国間で交換公文（E/N）が取り交わされ、我が国の無償資金協力制度に基づき、本協力対象事業が開始される。本協力対象事業は大きく、①実施設計、②調達業者選定（入札図書作成・入札公示・入札・入札評価・契約）、③資機材調達の3段階からなる。表 3-24 に事業実施工程表を示す。

表 3-24 事業実施工程表



出典：調査団作成

3-3 相手国側分担事業の概要

(1) 銀行取極めにかかる手数料の確保

本計画の実施において、先方実施機関である TPL（または指定された当局）は、銀行取極めに基づき、日本国内の銀行に「ト」国政府名義の勘定を開設する必要がある。その際に、銀行取極めを締結した銀行に対して、支払い授権書の通知手数料及び支払い手数料を負担することになる。したがって、TPL は、本計画にかかる各種支払い業務が滞らないよう、銀行取極めにかかる手数料を早期に確保する必要がある。

(2) 免税の手続き

本計画は無償資金協力の枠組みで実施されるため、調達される生産物及び役務のうち、邦人及び第三人に対する関税、内国税及びその他の財政課徴金は免除されることになる。免税については、「ト」国における同様の無償資金協力案件での実績から、先方実施機関によって十分対応可能と判断する。しかしながら、事前準備の遅れから免税手続きに遅延が生じる可能性もあり、早い段階から関係省庁を含めて十分情報を共有し、対応を推し進める必要がある。免税の手続きは、財務省が窓口となり、TPL と共に対応する。

(3) 建設用地の確保

本計画では、風力発電機施設及び系統安定化設備の建設予定地を新たに確保する。TPL は、建設予定地の借地権者と早期に連絡を取り、補償等の手続きを行う必要がある。また、建設予定地となる用地は樹木等が繁茂しており、TPL は樹木の伐開と共に、建設予定地の整地を行う必要がある。

(4) アクセス道路の確保

対象となるニウトウア地区は既存の舗装道路、未舗装道路が整備されているものの、建設予定地までのアクセスは現状では不可能であり、アクセス道路の整備が必要になる。「ト」国は、道路計画に基づいた未整備の道路用地を確保しており、未整備の道路用地を TPL が整備することでアクセス道路を確保する必要がある。また、建設予定地へは、借地権者の土地を通行する必要があり、借地権者の土地に関しては、建設予定地の手前までを TPL が道路を整備する必要がある。

(5) 建設資機材の保管場所の確保

本計画では風力発電設備、系統安定化設備、及び蓄電設備棟の資機材を現地まで輸送する。資機材は容量が大きく、建設工事及び機材の据付工事には一定の施工期間が必要となるため、資機材を一時的に保管する場所の確保が必要となる。

(6) フェンスの建設

風力発電施設及び系統安定化設備への近隣住民や家畜の侵入を防ぐため、鋼製の周辺防護柵が必要になる。本計画において、防護柵の施工は協力対象外であるため、TPL が必要な策を施工する必要がある。工事期間中の建設は、本計画の作業進捗に支障を与える可能性があるため、施設の試運転時または運転開始前に建設することが望ましい。したがって TPL は、事前に鋼製防護柵の建設費用を計上し、直ちに建設に着手する必要がある。

(7) ソフトコンポーネント参加にかかる職員の確保

風力発電施設の運転・維持管理能力の強化を図るソフトコンポーネントは、TPL を対象に実施する。したがって TPL は、本計画への参加を最優先とする職員及び職員に係る必要な経費を確保する必要がある。

(8) その他

その他、「ト」国側の分担事業の概要は以下のとおりである。

- ① 本計画に必要な情報及びデータの提供
- ② 資機材の港における迅速な荷下ろし措置と、通関手続きの実施
- ③ 資機材及び派遣された日本人に対する便宜供与
- ④ 日本国の無償資金協力に含まれず、本計画の実施に必要な全ての費用の負担
- ⑤ 建設工事、据付工事期間中の工事確認と資機材の品質検査への立会い
- ⑥ 日本国の無償資金協力で建設・調達された施設・機材の適切な使用と維持管理の実施
- ⑦ 環境モニタリングの実施
- ⑧ 工事事務所、仮設用地の無償提供。
- ⑨ 機材納入会社とのメンテナンス契約及び予備品の購入費用の負担（竣工後 1 年以降）

3-4 プロジェクトの運営・維持管理計画

3-4-1 基本方針

本協力対象事業で導入する風力発電施設で最も維持管理が重要な設備は、風力発電機とその変動を安定化させる系統安定化設備であり、その維持管理に当たっては日常の需要の変化に即応して、安定的に電力を供給するために設備の運転・維持管理（Operation and maintenance : O&M）及び設備環境の保全が不可欠である。

当該風力発電設備、系統安定化設備が持つ性能及び機能を維持し、継続した電力供給を行うためには、本計画で整備される各設備、並びに既設のディーゼル発電設備の信頼性、安全性及び効率性の向上を柱とした適切な予防保全と維持管理の実施が必要である。

本協力対象事業においては、「ト」国は上記基本事項を常に念頭におき、工事期間中に日本の請負業者により派遣される専門技術者による初期操作指導、並びにコンサルタントによるソフトコンポーネントを通じて移転される O&M 技術と作成されたマニュアルにしたがって事業完了後の運転・維持管理を実施する必要がある。

更に当該風力発電施設及び系統安定化設備に関しては、我が国でも最新技術であり、普及実績も少ないため、「ト」国側は本計画の瑕疵期間（機材引渡後 1 年間）が終わった後、数年間は機材納入業者と維持管理契約を締結し、適切な維持管理を行うことが望ましい。

3-4-2 運営・維持管理体制

本協力対象事業の実施体制は、整備・建設される機材・施設の維持管理を TPL が行うこととなる。

本協力対象事業で調達される風力発電設備、系統安定化設備の運転・維持管理を担当するのは、TPL の発電施設部である。トンガ電力公社の発電施設部には、「ニ」国やオーストラリアの大学を卒業した技術者が在籍し、他の大洋州の国々と比較して技術レベルは高い。既設のディーゼル発電機及び太陽光発電施設の運転・維持管理を問題なく行っており、大きなトラブルも発生していない。ディーゼルエンジンの潤滑油交換周期、オーバーホールの周期を厳密に守っており、計画的な維持管理が行われている。

「ト」国では、これまで太陽光発電及びマイクログリッドの導入に伴い、系統安定化設備の運転・維持管理技術を習得しているが、本協力対象事業で導入する MW 級の風力発電施設は、TPL にとって初めて取り扱う設備となる。既存の太陽光発電設備のうち、「ニ」国が導入した施設について TPL は、当該設備の建設を担当した「ニ」国の Meridian Energy 社との間で Asset Management Contract を締結し、同設備の保証期間を 2017 年までとしている。本協力対象事業においてもこれと同様に、瑕疵担保期間終了後も一定期間の保証延長が可能となるよう、TPL と日本の製造メーカーとの間で「設備管理契約」を取り交わすことが推奨される。

上述の通りトンガ電力公社の技術水準は比較的高いため、本協力対象事業の初期操作・運用操作指導、並びにソフトコンポーネントによって運転・維持管理技術の移転を行えば、本協力対象事業で調達される機材の運転・維持管理は問題なく行われるものと判断される。

3-4-3 定期点検項目

3-4-3-1 点検項目

(1) 風力発電機の標準的な点検項目

風力発電機を継続して使用するためには、日常の保守、点検が欠かせない。また、定期点検として導入後最初の 3 か月目及び 6 ヶ月ごとに風力発電機の回転部、振動等を受ける部分及び電気部品を中心とした点検を行う必要がある。日常の点検は目視によって間接的に行われるが、定期点検は各部の増し締め、潤滑油の塗布等、工具を直接用いて部品の状態を確認する。

日常的に実施する標準的な点検内容は、下記の通りである。

- ① ブレードの変形はないか
- ② タワーやナセルのブレ、異常振動がないか
- ③ その他の外観の異常はないか
- ④ 配電線、プラグの損傷および発煙、異臭はないか
- ⑤ 取り付けねじ、ナット類のゆるみがないか
- ⑥ コントローラ等の表示が正常であるか

定期点検の際に実施する標準的な点検は、下記の通りである。

- ① 外観目視点検
- ② 配線、電気部品確認
- ③ 各部増し締め
- ④ ギアボックス確認
- ⑤ ヨー稼働部確認
- ⑥ 油圧部品確認

- ⑦ 潤滑油塗布、注入
- ⑧ ブレーキ状態確認
- ⑨ 発電機、モータ等絶縁抵抗測定
- ⑩ 制御動作確認
- ⑪ 異常音確認
- ⑫ 表示内容確認
- ⑬ 各種データ確認

表 3-25 風力発電機の標準的な定期点検内容

点検項目	点検方法		判断基準・対応方法	工具など
外観目視点検	本体	ブレード・ナセルの汚れ	砂などの微小固形物の付着がない	目視、双眼鏡など
		ブレード・ナセルの傷	ひび割れがある場合は交換	
		風車部の風向対面状態	塗装のはげは問題なし、破損の場合は交換	
		振動状態の確認	定常状態で大きな振動がない	
	タワー	ブレード・ヨー部の汚れ	油漏れがない	
		本体部のさび、傷の状態	表面だけ変色している程度	
		基礎締結部およびアンカーのさび	表面だけ変色している程度	
制御部	アンカーボルト等の増し締め	緩みがないこと	目視	
	機器、配線の変色	配線の焦げ、部品の変色がないこと		
	異臭の有無	変色と合わせて発生したか確認		
配線、電気部品確認	発電機部の末端処理に異常確認		末端の絶縁処理を行う	目視、絶縁テープ
	タワー部の端子部の配線のねじれ確認		端子部に2回転以上のねじれがないこと	目視、指定工具
	制御部の接続状態確認		端子部に緩みがないこと	
	風向計の出力確認		正対位置の信号になっているか	
	風速計の出力確認		適正な信号が出力されているか	
	位置センサーの出力確認		適正な信号が出力されているか、ズレている場合は調整	
	スプリングの確認		ブラシの摩耗がないか	
各部増し締め	ブレードの取り付け部、根元の増し締め		緩みがないこと無いく、指定された適正トルクにて締め付けること	各部指定工具
	端子台部の増し締め			
	タワー基礎部、アンカー部の増し締め			
	本体取り付け部、各部品の取り付け部の増し締め 制御装置の増し締め			
ギアボックス確認	軸受け部の異音確認		異音発生時はベアリング交換	目視
	シールの確認		オイル漏れが発生していないこと	
	オイル状態の確認		オイルサンプルより成分分析	
	オイル交換		成分分析により判断、フィルターも同時交換のこと	
	オイル量の調整		適正量を補充する	
油圧部品確認	ロータ部タンク		オイル量および圧を適正值に調整	目視、ゲージ
	ピッチアクチュエータ		オイル漏れが発生していないこと	
	ナセル部タンク		オイル量および圧を適正值に調整	
潤滑油塗布、注入	主軸		定期的に注入	グリースガン
	発電機軸受け			
	ギアボックス軸受け			
	ブレード軸受け			
	ヨー機構部		定期的に塗布	
ブレーキ状態確認	ブレーキロータ		過熱具合、滑りの有無の確認	目視、指定工具
	ブレーキシュー		油漏れがないこと	
	ブレーキパッド		遊び、摩耗が少ないこと、大きければ交換	
発電機・モータ等絶縁抵抗測定	発電機		3MΩ以上	絶縁抵抗計
	ヨーモータ			
	配線経路部			
	制御機器		1MΩ以上	
制御動作確認	ピッチ制御		PLC手動動作確認	目視
	ヨー制御			
	ブレーキ制御			
異常音確認	ハブ部		ひび割れのような音がないこと	目視、聴覚
	ギアボックス低速側		ロータ回転時に雑音がないこと	
	ギアボックス高速側		高周波ノイズがないこと	
	タワー振動		導入当初と比較	
表示内容確認	SCADA		異常信号がないこと	目視
	制御盤			
各種データ確認	発電出力（電圧、電流、周波数）		定期的なデータ採取	SCADA
	発電電力量			
	風向・風速			

出典：調査団作成

この他、風車ごとに風車製造会社から指定された点検チェック項目が運転マニュアル等により提供され、チェック項目に従って指定された期間で日常点検および定期点検を実施しなければならない。また、不具合を発見した場合には、運転マニュアル等に従って対処する必要がある。

(2) 系統安定化設備等の電気設備の標準的な点検項目

系統安定化設備（及びマイクログリッドシステム等）を含む電気設備を継続して使用するためには、風力発電機同様、日常の保守、点検が不可欠となる。運転管理者が実施する点検には大きく分けて下記の3つに分類される。本計画で調達、据付が行われる系統安定化設備および電気設備は TPL が維持管理することになるため、以下に示す日常点検、定期点検及び予備品の購入は TPL が主体となって実施する必要がある。以下に分類された3つの点検項目を示す。

- ① 機器の異常音等を人間の五感により毎日点検する“巡視点検”
- ② 機器の発熱、ボルト等の締付状態、絶縁物の表面汚損状態等、巡視点検では出来ない蓄電設備の点検となる“普通点検”
- ③ インターロック機構等の機能点検及び計器類の精度維持を実施する“精密点検”

通常、電気設備の普通点検は1～2年に1度、精密点検は4年に1度程度の頻度で実施されるが、マイクログリッドコントローラー、蓄電設備、遮断器盤、分電盤等に内蔵されているヒューズ、計器、リレー等の性能劣化、絶縁性能の劣化、接点の摩耗並びに特性が変化する部品は、普通点検及び精密点検時に、部品の特性と使用頻度を確認した上で、適宜交換することが望ましい。

表 3-26 系統安定化設備および電気設備の標準的な点検内容

点検項目	点検内容	巡視点検	普通点検	精密点検
設備外観	開閉表示器、開閉表示灯の表示状況	○	○	
	異常音、異常臭の発生の有無	○	○	
	端子部の過熱変色の有無	○	○	
	ブッシング、碍管の亀裂、破損の有無及び汚損状況	○	○	
	設置ケース、架台等の発錆状況	○	○	
	温度異常の有無（温度計）	○	○	
	ブッシング端子の締付け状況(機械的チェック)	○	○	
操作装置 及び 制御盤	各種計器の表示状況	○	○	
	動作回数計の指示		○	○
	操作函、盤内の湿潤、錆の発生の有無及び汚損の状況		○	○
	給油、清掃状況		○	○
	配線の端子締付け状況	○	○	○
	開閉表示の状態確認		○	○
	漏気、漏油の有無		○	○
	操作前後の圧力確認（空気圧等）		○	○
	動作計の動作確認		○	○
	スプリングの発錆、変形、損傷の有無（手入れ）	○	○	○
	各締付け部ピン類の異常の有無		○	○
補助開閉器、継電器の点検（手入れ）		○	○	
直流制御電源の点検	○			
測定・試験	絶縁抵抗の測定		○	○
	接触抵抗の測定			○
	ヒータ断線の有無		○	○
	継電器動作試験		○	○

出典：調査団作成

3-4-3-2 日常点検記録ノートの作成と保管

運転管理者は、上記の各項目を点検したあと、点検結果を記録し保管する。記録を残すことにより、各機器の異変を早期に把握することが可能になる。更に、巡視点検時に下記の運転状況を記録し、風力発電機と系統安定化設備に係る運転状況を日々確認、チェックする。

- ① 風向・風速と風力発電機の発電量チェック
- ② ディーゼル発電設備稼働状況
- ③ 蓄電設備稼働状況
- ④ 系統電圧、系統周波数

これらの項目を確認することにより、運転管理者は風力発電機、風車制御 PLC、系統安定化設備等の不具合に関し一元的に監視することが出来、異常がが発生した場合の異変を早期に感知できることになる。

3-4-3-3 測定と安全対策

風力発電施設および系統安定化設備に係る運転管理者及び作業者は、点検作業を行う前に以下の安全対策を実施する。

(1) 安全対策

作業者は、作業開始前に安全対策（服装及び感電対策）を遵守し、下記の点を守る必要がある。

- ① 服装
 - ヘルメット、作業服、安全靴の着用
- ② 感電防止
 - a) 絶縁手袋等を着用
 - b) 絶縁処理された工具を使用
 - c) 雨天時は作業をしない。

(2) 絶縁抵抗測定

各機器の絶縁抵抗試験を実施する。施設建設、据付終了後の運転開始前、定期点検時、又は事故時不良箇所の特定のため、修復したあとに絶縁抵抗を測定する。絶縁抵抗を測定したら抵抗値を記録しておく。

(3) 接地抵抗測定

ニウトウアサイトの接地抵抗は、日本の接地基準の A 種接地（高圧または特別高圧の機器外箱の接地等：10Ω以下）以下とする。

接地抵抗値は、定期点検時に接地抵抗測定器にて測定し、10 Ω以下であることを確認する。

3-4-4 予備品購入計画

風力発電機は回転機械であるため、稼働部の摩耗に対する油脂類、フィルターの交換および油脂類が使用できないスリップリング部のブラシ交換が必要である。

系統安定化設備および電気設備等は、内部に稼働部分が存在しないので基本的にメンテナンス・

フリーのシステムである。磨耗、摩擦などによる故障はないが、インバータを使用しているため半導体の故障が発生する可能性がある。運転初期に半導体の欠陥は現れるので、初期不良がなければ問題なく稼動すると考えられる。ただし天災、人災による故障、長時間の使用による劣化や損耗がないとはいえない。そのため、システムの稼働に関わる機器を予備品として準備する必要がある。

3-4-4-1 機材の取替周期と点検内容

本計画で供与される機材は、経年と共に劣化し、やがて機能を果たさなくなる。風力発電機は部材の摩耗、亀裂等および絶縁抵抗の測定によって、その状態を把握することは可能であるが、電気設備他の多くの機材では劣化の状況を判断することは難しい。システムの信頼性を保つためには予防保全の考え方から、故障に至る前に部品を交換する方法がある。参考として以下に主要機器の推奨取替周期と点検内容を示す。

表 3-27 主要機材の取替周期と点検内容

部品種類	推奨取替周期	点検方法
風力発電機		
本体	15年～20年	目視等
制御PLC	15年～20年	動作不良
変圧器	20年以上	温度上昇
系統安定化設備および附帯設備		
パワーコンディショナ	10年～15年	動作不良
冷却ファン	10年以上	風量・回転音の変化
ヒューズ	7年または5万時間	溶断
制御PLC	15年～20年	動作不良、性能低下
蓄電設備	15年～20年	動作不良、性能低下
空調機	10年～15年	動作不良
変圧器	20年以上	温度上昇
遮断機	10年～15年	動作不良
配管・配線・ケーブル	10年～15年	劣化

出典：調査団作成

3-4-4-2 予備品の調達計画

本協力対象事業の風力発電機に係る消耗品は、主に回転機械部分に使用する油脂類、フィルターおよびブラシ等であり、これらは事前に用意しておくことが望ましい。特にブラシ類の摩耗はシステムの機能停止を引き起こすため、常備しておく必要がある。

系統安定化設備の主要機材の破損や故障は、システムの機能停止を引き起こす要因となる。機器のトラブル発生時には、速やかに修理または故障機材の取替えを行うことが望ましく、交換用の機材が保管されていれば迅速にシステムの復旧が行える。しかし、高価な部品や大量の部品の保管はコスト高となるので、機材の特性、経済性、システムの復旧に要する時間などを考慮して、交換部品の種類と数量を設定する必要がある。以下に、本計画で調達する風力発電機の消耗品、交換部品の種類と数量、及び系統安定化設備の交換部品の種類と数量を示す。

表 3-28 風力発電機（可倒式）の消耗品、交換部品

機材の種類	個数
スリップリングブラシ 通信	100
スリップリングブラシ 動力	30
ブレーキパッド	10
ピッチ油圧オイル 20L	15
ギアボックスオイル 20L	15
傾倒装置作動油 20L	5
傾倒装置オイル 4L	4
ワイヤー用グリース 1箱（400g×20本）	15
軸受グリース 1箱（400g×20本）	10
シリコングリース	4
傾倒装置作動油フィルター	2
傾倒装オイルフィルター	4
傾倒装置エアフィルター	2

出典：調査団作成

表 3-29 系統安定化設備の交換部品

機材の種類	個数
PCS用冷却ファン	2
PCS用電磁接触器	2
PCS用表示パネル	2
PCS用リレーユニット	2
PCS用電解コンデンサ	2
PCS用ヒューズ	2
PCS用制御電源	1
マイクログリッド制御盤用小型電池	1
マイクログリッド制御盤用表示・操作パネル	1
マイクログリッド制御盤用制御電源	1
マイクログリッド制御盤用冷却ファン	1
リチウムイオンキャパシタ	1直列分
PLCソフトウェアメンテナンス用PC	1
メンテナンス用ツール	1

出典：調査団作成

3-5 プロジェクトの概略事業費

3-5-1 協力対象事業の概略事業費

本協力対象事業を我が国の無償資金協力により実施する場合、先に示した我が国と「ト」国との施工負担区分に基づく双方の経費内訳は、以下に示す積算条件において、次のとおりと見積もられる。但し、ここに示す概略事業費は暫定値であり、必ずしも交換公文上の供与限度額を示すものではなく、協力対象事業の実施が検討される時点において更に精査される。

(1) 日本側負担経費

日本側の負担経費は、表 3-30 のとおり見積もられる。

表 3-30 日本側負担経費

概略事業費： 円

費目		概略事業費（百万円）	
機材調達	風力発電施設一式 （風力発電機、系統安定化設備等）		
据付工事	風力発電機、系統安定化設備、建屋等		
実施設計・調達監視、ソフトコンポーネント			

出典：調査団作成

(2) 「ト」国側負担経費

「ト」国側の負担経費は、表 3-31 のとおり見積もられる。

表 3-31 「ト」国側負担経費

トンガ側負担経費：1,811,100TOP（87.17百万円）

費目	金額（TOP）	金額（百万円）
用地取得	243,000	11.70
伐開	903,000	43.46
サイト周囲のフェンス及び門	65,000	3.13
アクセス道路整備	492,000	23.68
警備員小屋	8,000	0.39
トイレ建設	5,600	0.27
給水工事及び排水工事	62,000	2.98
備品の調達（家具・什器含む）	500	0.02
銀行取極めに係る手数料（想定）	32,000	1.54
合計	1,811,100	87.17

出典：調査団作成

(3) 積算条件

1) 積算時点

積算時点は、2016年9月とする。

2) 為替交換レート

為替交換レートは、以下のとおりである。

1 USD=104.59 円

1 Euro=117.17 円

1 TOP=48.13 円

3) 施工期間

施工期間は、実施工程に示したとおり、15.5ヶ月である。

4) その他

概算事業費の積算は、日本政府の無償資金協力の制度を踏まえて行った。

3-5-2 運営・維持管理費（事業収支）

3-5-2-1 運営・維持管理費（事業収支）の緒元

運営・維持管理費（事業収支）の検討は、TPL が会計年度に基づいて決算処理をしていることから、TPL の事業収支に本協力対象事業の計画を組み込むことで行う。TPL は以下の通り、「ト」国全体を対象とした 2026 年までの事業収支予測を策定していることから、検討項目はこれに倣い、本協力対象事業の計画に従ってトンガタブ島における各項目の金額を見直し、目標年次である 2020 年および 2040 年までの TPL の体制を考慮して、適切な事業収支計画を検討する。

表 3-32 TPL による事業収支予測（「ト」国全体、2026 年まで）

単位：1,000TOP

西暦	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年
収入										
燃料費	12,900	13,200	13,600	13,900	14,200	14,500	14,900	15,200	15,600	16,000
再生可能エネルギー削減分	-1,900	-1,900	-3,200	-3,200	-3,200	-3,200	-3,200	-3,200	-3,200	-3,200
実燃料費	11,000	11,300	10,400	10,700	11,000	11,300	11,700	12,000	12,400	12,800
非燃料費	22,100	22,100	22,700	23,200	23,700	24,300	24,900	25,500	26,100	26,700
その他収入	3,700	3,700	3,700	3,700	3,800	3,800	3,800	3,900	3,900	3,900
収入計	36,800	37,100	36,800	37,600	38,500	39,400	40,400	41,400	42,400	43,400
支出										
燃料費	11,000	11,300	10,400	10,700	11,000	11,300	11,700	12,000	12,400	12,800
再生可能エネルギー管理費	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
燃料費以外支出										
維持修繕費	2,200	1,900	2,000	1,900	1,800	2,100	1,700	1,800	1,800	1,800
職員給与	4,500	4,600	4,600	4,700	4,900	5,000	5,000	5,100	5,100	5,200
資材費	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
施設管理費	1,900	2,000	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100	2,200	2,200
一般管理費	3,700	3,600	3,600	3,700	3,600	3,600	3,700	3,700	3,800	3,700
貸倒引当金	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
燃料費以外支出計	12,800	12,600	12,800	12,900	12,900	13,400	13,100	13,300	13,500	13,500
支出計	23,900	24,000	23,300	23,700	24,000	24,800	24,900	25,400	26,000	26,400
減価償却及び営業外費用										
金利・税金・償却前利益	12,900	13,100	13,500	13,900	14,500	14,600	15,500	16,000	16,400	17,000
減価償却費	6,900	7,400	7,900	8,200	8,700	9,100	9,400	9,800	10,300	10,800
支払利息	1,200	1,200	1,200	1,100	900	700	600	400	200	200
税引前純利益	4,800	4,500	4,400	4,600	4,900	4,800	5,500	5,800	5,900	6,000
所得税	1,200	1,100	1,100	1,200	1,200	1,200	1,400	1,400	1,500	1,500
税引後純利益	3,600	3,400	3,300	3,400	3,700	3,600	4,100	4,400	4,400	4,500
配当引当金	1,200	1,200	1,200	1,200	1,300	1,300	1,500	1,500	1,500	1,600
内部留保	2,400	2,200	2,100	2,200	2,400	2,300	2,600	2,900	2,900	2,900

出典：TPL「Business Plan 2017-2020」

(1) 収入項目

TPL は、収入を燃料費、非燃料費及びその他収入に分類しているが、燃料費及び非燃料費は電気

料金の内訳となっていることから、本件では収入を電気料金収入とその他収入の2項目として算出する。

1) 電気料金収入

電気料金は、需要電力量に電気料金単価を乗ずることで算出する。電気料金の単価に関しては、以下の燃料費に示す通り、将来のディーゼル燃料の単価を4ケースの推計値に基づき算出することから、ケースごとに燃料費を設定する。

2) その他収入

TPL の試算では、2026 年まで漸増しており、この傾向が 2040 年まで継続すると想定して計上する。

(2) 支出項目

1) 燃料費

燃料費は、将来の発電量の推計に基づき、ディーゼル発電機の出力に必要なディーゼル燃料の費用を計上する。ディーゼル燃料の単価は、3-2-1-12 (1) 2) で算出した4ケースの燃料単価の将来推計に基づき、ケースごとに燃料費を計上する。

2) 再生可能エネルギー管理費

再生可能エネルギー管理費は、再生可能エネルギー施設に常駐する守衛の委託費が主であり、TPL の推計値である 100,000TOP/年（対象：「ト」国全体）が 2040 年まで継続するとして計上する。

3) 維持修繕費

維持修繕費は発電施設の定期的なメンテナンスに伴う部品の交換及び故障時の修繕費用であり、2026 年までは TPL の推計値を用いる。2026 年以降については、2026 年までは金額にばらつきがある中で減少傾向を示しているものの、継続して減少傾向を示すことは想定しにくい。したがって、安全側を見て 2040 年までの維持管理費としては 2026 年の値を計上する。

4) 職員給与

職員給与は 2026 年まではほぼ一定の割合で増加しており、この傾向は 2040 年まで続くと想定することが望ましい。したがって、2026 年までの増加率に従い経費が増加すると想定して 2040 年までの職員給与を計上する。

5) 資材費

資材費に関しても、TPL の 2026 年までの推計はほぼ一定の割合で増加している。したがって、2026 年までの増加率に従い 2040 年までの資材費を計上する。

6) 施設管理費

施設管理費は発電施設の運転に係る間接費用である。TPL の 2026 年までの試算ではほぼ一定の割合で増加しているため、2026 年までの増加率に従い 2040 年までの施設管理費を計上する。

7) 一般管理費

一般管理費に関しては、TPL の 2026 年までの推計値にばらつきがある中、漸増しており、この傾向が 2040 年まで継続すると想定して計上する。

8) 貸倒引当金

貸倒引当金は、TPL の推計値である 100,000TOP/年（対象：「ト」国全体）が 2040 年まで継続するとして計上する。

(3) 減価償却及び営業外費用

1) 減価償却費

減価償却費に関しては、TPL の既存施設の償却費用に加え、本件で導入する系統安定化設備を含む風力発電施設の減価償却費を加算することで計上する。

2) 支払利息

TPL の試算では、2026 年まで減少を続け、2026 年で 200,000TOP/年（対象：「ト」国全体）の費用となっている。2040 年まで 200,000TOP/年（対象：「ト」国全体）であると想定して計上する。

3) 所得税

税引前純利益に対して 25%を計上する。

4) 配当引当金

2026 年までの傾向としては、税引後純利益に対して約 35%を配当引当金として計上しており、2026 年以降についても税引後純利益の 35%を配当引当金として計上する。

5) 内部留保

税引後純利益から配当引当金を差し引いた残額を内部留保として計上する。

3-5-2-2 運営・維持管理費（事業収支）の算出

事業収支の算出においては、対象をトンガタブ島として計算する。前記の表 3-32 は TPL 全体の事業収支であり、TPL が発電を行っているトンガタブ島以外の 3 島（ババウ、ハーパイ、エウア）も含んでいる。本調査は、対象地をトンガタブ島としていることから、事業収支算定の対象をトンガタブ島に限定する。

3-5-2-2-1 発電量及び需要電力量

(1) 「ト」国全体の発電量、需要電力量

TPL が運営している「ト」国全体の、2020 年及び 2040 年までの年間の発電量及び需要電力量を以下の通り設定する。需要電力については 2010 年から 2015 年までの過去の実績に基づく推計により算出する。発電量に関しては、エネルギー損失率を 2020 までは TPL による推計値を使用し、2040 年までは 2020 年のエネルギー損失率が継続するとの仮定により算出している。

表 3-33 2040年までの発電量及び需要電力量予測（「ト」国全体）

項目		2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
発電量	MWh/年：実績	51,845	53,160	52,391	53,313	54,561	55,405					
	MWh/年：推計						55,405	60,808	67,733	74,659	81,584	88,509
需要電力量	MWh/年：実績	42,625	44,566	44,731	46,388	47,818	49,165					
	MWh/年：推計						49,165	55,335	61,637	67,939	74,241	80,543
エネルギー損失	MWh/年	9,220	8,593	7,661	6,925	6,743	6,239	5,473	6,096	6,719	7,343	7,966
損失率	%	17.78%	16.17%	14.62%	12.99%	12.36%	11.26%	9.00%	9.00%	9.00%	9.00%	9.00%

出典：調査団作成

(2) トンガタブ島の発電量、需要電力量

運営・維持管理費の算出にあたり、本計画の目標年である2020年および2040年までの、トンガタブ島における年間の需要電力量及び発電量を表3-34のとおり設定した。設定値については3-2-2-1に基づく推計による。なお、発電量の算出に関しては、2020年までのエネルギー損失率をTPLによる推計値を用いて算出し、2040年までは2020年のエネルギー損失率が継続するとの仮定により算出している。

表 3-34 2040年までの発電量及び需要電力量予測（トンガタブ島）

項目		2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
発電量	MWh/年：実績	44,068	45,398	44,939	46,720	47,139	49,004					
	MWh/年：推計						49,004	54,833	62,222	69,611	77,000	84,389
需要電力量	MWh/年：実績	36,615	38,346	38,765	41,123	41,425	43,756					
	MWh/年：推計						43,756	50,140	56,897	63,653	70,410	77,166
エネルギー損失	MWh/年	7,453	7,052	6,174	5,596	5,714	5,248	4,693	5,326	5,958	6,590	7,223
損失率	%	16.91%	15.53%	13.74%	11.98%	12.12%	10.71%	8.56%	8.56%	8.56%	8.56%	8.56%

出典：調査団作成

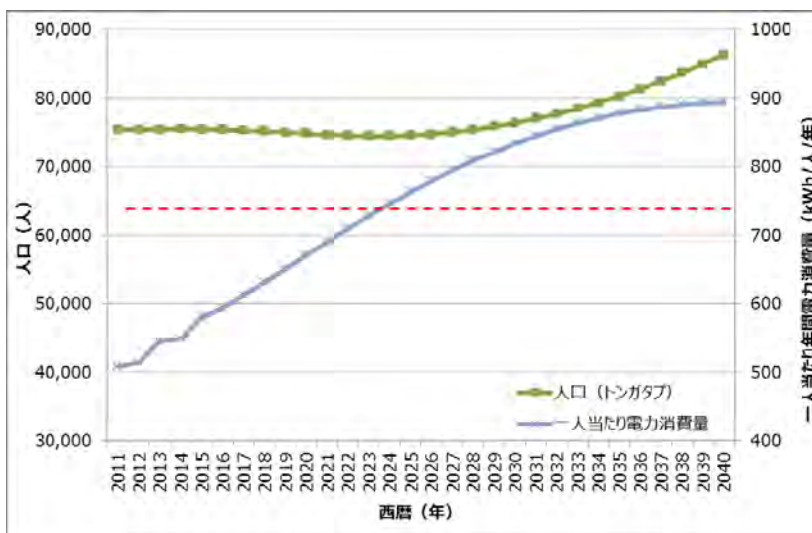
(3) 将来人口推計及び一人当たり年間電力消費量

2040年までの需要電力量の推移の妥当性を、「ト」国の将来人口から一人当たりの年間電力消費量を算出し、世界銀行が算出している一人当たり年間電力消費量との比較により確認する。将来人口については、「ト」国が2011年に実施した国勢調査に基づく人口の推計値（「ト」国による推計値は2031年まで）を利用し、2032年から2040年までの将来人口は、「ト」国による2031年までの推計値を基に調査団が推計した値を使用する。なお、「ト」国の人口の推計値は全国を対象としているため、トンガタブ島の人口については2011年の実測値に基づく人口の割合により算出した。

表 3-35 将来人口と一人当たり年間電力消費量

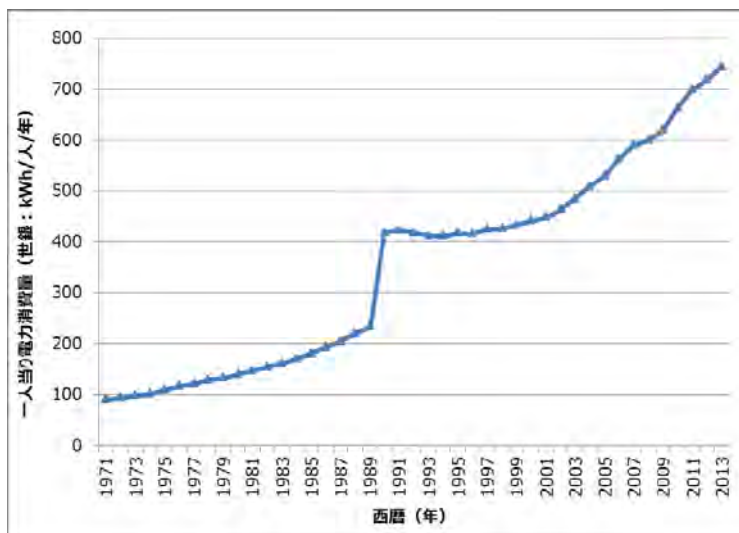
項目	単位	実績					推計				
		2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
人口（全体）	人	103,252	103,219	103,302	103,321	103,283	102,430	102,089	104,535	109,908	118,207
人口（トンガタブ）	人	75,416	75,392	75,453	75,466	75,439	74,816	74,567	76,353	80,278	86,339
発電量（トンガタブ）	MWh/年	45,398	44,939	46,720	47,139	49,004	54,833	62,222	69,611	77,000	84,389
需要電力量（トンガタブ）	MWh/年	38,346	38,765	41,123	41,425	43,756	50,140	56,897	63,653	70,410	77,166
1人当り電力消費量	kWh/人/年	508	514	545	549	580	670	763	834	877	894

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 3-41 将来人口と一人当たり電力消費量



出典：調査団作成

図 3-42 世銀による低中所得国の電力消費量の推移

世界銀行によれば、「ト」国の所得別国別分類は低中所得国 (Lower middle income) に該当し、2013年時点の低中所得国の一人当たり年間電力消費量は 745kWh/人/年となっている。「ト」国の一人当たり年間電力消費量は 2015 年時点で 580kWh/人/年に留まっており、近年の年間需要電力量が増加傾向にあることを加味すると、世界銀行による値までは電力量が増加する可能性は十分にある。また、世界銀行による電力消費量の値は過去より増加し続けていることから、今後も増加する可能性が高く、調査団の推計による「ト」の一人当たり電力消費量の増加率は 2030 年以降は鈍化しており、数値としては控えめであると考えられる。したがって、先の需要電力量、発電量の予測値についても妥当性はあると判断し、これら値を使用して以降の運営・維持管理費算出の基本データとする。

3-5-2-2-2 収入内訳

(1) 電気料金収入

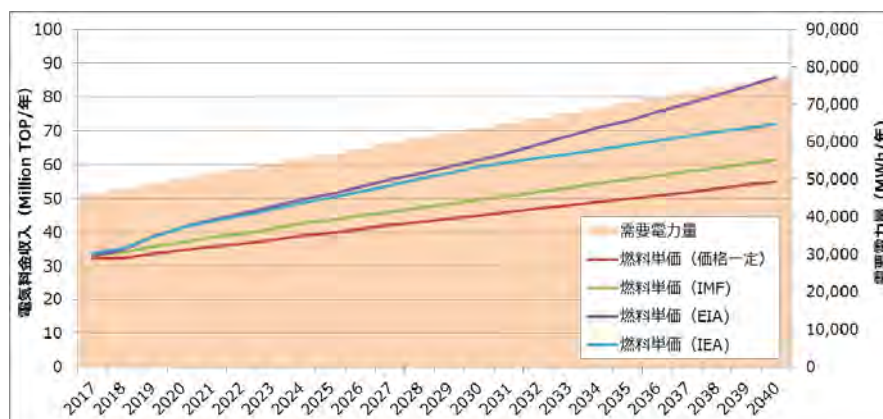
電気料金収入については、以下の各支出項目、諸費用、内部留保資金の確保が可能となる金額を、期待値として算出する。算出された金額の妥当性については、後述する 3-5-3 により確認する。なお、電気料金収入については、要となるディーゼル燃料の将来単価が4 ケースに設定されていることから、ケースごとに必要となる電気料金収入を算出する。

計算結果を以下に示す。

表 3-36 電気料金収入

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2030年	2035年	2040年
需要電力量 MWh/年	46,086	47,438	48,789	50,140	51,492	52,843	54,194	55,546	56,897	63,653	70,410	77,166
燃料単価 (価格一定) 1,000TOP/年	32,129	32,148	33,547	34,537	35,612	36,592	37,589	38,946	39,929	44,905	49,901	54,892
燃料単価 (IMF) 1,000TOP/年	33,098	33,835	35,622	37,065	38,512	39,602	40,829	42,404	43,598	49,556	55,486	61,396
燃料単価 (EIA) 1,000TOP/年	32,840	34,582	38,805	41,315	43,591	45,586	47,407	49,521	51,386	61,294	73,019	86,062
燃料単価 (IEA) 1,000TOP/年	33,639	35,267	38,540	41,405	43,125	44,774	46,467	48,545	50,276	59,376	65,772	72,098

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 3-43 電気料金収入

(2) その他収入

2026 年までの増加傾向に従い、以下の通り設定する。トンガタブ島のその他収入は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-37 その他収入

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	3,700,000	3,700,000	3,700,000	3,700,000	3,800,000	3,800,000	3,800,000	3,900,000	3,900,000	3,900,000			
全体推計値 (調査団)										3,900,000	4,022,000	4,158,000	4,295,000
トンガタブ島推計値	3,307,581	3,323,314	3,338,313	3,352,630	3,457,290	3,470,726	3,483,589	3,587,913	3,600,047	3,611,694	3,768,264	3,943,406	4,114,915

単位：TOP

出典：調査団作成

3-5-2-2-3 支出内訳

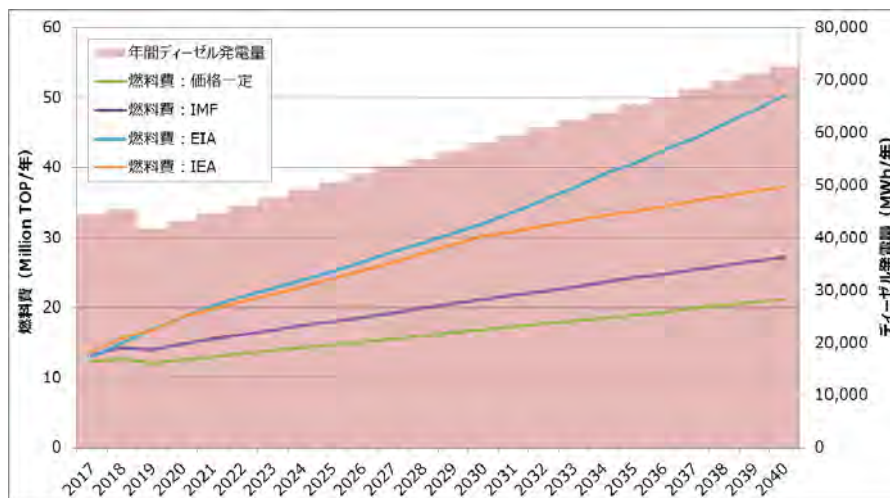
(1) 燃料費

燃料費は、先に算出した4 ケースの燃料単価の将来推計に基づき、ディーゼル発電機による発電量に乗じてケースごとに算出する。

表 3-38 燃料費

項目		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2030年	2035年	2040年	
年間ディーゼル発電量		MWh/年	44,268	45,492	41,689	43,166	44,644	46,122	47,600	49,078	50,555	57,944	65,333	72,722
kWh当り燃料消費量		L/kWh	0.241	0.242	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253	0.253
燃料消費量		kl/年	10,667	11,015	10,554	10,928	11,302	11,676	12,051	12,425	12,799	14,669	16,540	18,411
ディーゼル 単価	価格一定	TOP/L	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
	IMF	TOP/L	1.240	1.303	1.326	1.358	1.382	1.383	1.394	1.403	1.412	1.443	1.464	1.481
	EIA	TOP/L	1.216	1.371	1.597	1.709	1.788	1.848	1.891	1.926	1.968	2.182	2.453	2.739
	IEA	TOP/L	1.291	1.433	1.574	1.716	1.751	1.785	1.820	1.854	1.889	2.062	2.044	2.027
燃料費	価格一定	TOP	12,262,664	12,662,829	12,132,962	12,563,053	12,993,144	13,423,235	13,853,326	14,283,417	14,713,508	16,863,964	19,014,420	21,164,875
	IMF	TOP	13,232,135	14,350,602	13,996,134	14,840,998	15,614,575	16,153,565	16,800,423	17,437,565	18,067,801	21,163,735	24,221,848	27,270,830
	EIA	TOP	12,973,882	15,097,348	16,854,492	18,671,013	20,206,513	21,580,252	22,782,616	23,928,240	25,188,814	32,015,030	40,569,620	50,429,164
	IEA	TOP	13,772,982	15,782,038	16,615,993	18,752,315	19,784,894	20,843,332	21,927,630	23,037,786	24,173,800	30,241,758	33,812,314	37,318,222

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 3-44 ディーゼル発電機による年間発電量及びケースごとの燃料費

(2) 再生可能エネルギー管理費

トンガタブ島での管理費用を、TPL 全体の費用となる 100,000TOP/年を需要電力量の比率により算出する。

表 3-39 再生可能エネルギー管理費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
全体推計値 (調査団)										1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
トンガタブ島推計値	893,941	898,193	902,247	906,116	909,813	913,349	916,734	919,978	923,089	926,075	936,913	948,390	958,071

単位：TOP

出典：調査団作成

(3) 維持修繕費

維持修繕費に関し、2026 年までは TPL の推計値を用い、2026 年以降については 2026 年の値を計上する。トンガタブ島の維持修繕費は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-40 維持修繕費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	2,200,000	1,900,000	2,000,000	1,900,000	1,800,000	2,100,000	1,700,000	1,800,000	1,800,000	1,800,000			
全体推計値 (調査団)										1,800,000	1,800,000	1,800,000	1,800,000
トンガタブ島推計値	1,966,670	1,706,567	1,804,494	1,721,621	1,637,664	1,918,033	1,558,448	1,655,960	1,661,560	1,666,936	1,686,443	1,707,102	1,724,528

単位：TOP

出典：調査団作成

(4) 職員給与

2026年までの増加傾向に従い、以下の通り設定する。トンガタブ島のその他収入は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-41 職員給与

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	4,500,000	4,600,000	4,600,000	4,700,000	4,900,000	5,000,000	5,000,000	5,100,000	5,100,000	5,200,000			
全体推計値 (調査団)										5,200,000	5,555,000	5,958,000	6,361,000
トンガタブ島推計値	4,022,733	4,131,687	4,150,336	4,258,746	4,458,084	4,566,745	4,583,670	4,691,887	4,707,753	4,815,592	5,204,551	5,650,508	6,094,290

単位：TOP

出典：調査団作成

(5) 資材費

2026年までの増加傾向に従い、以下の通り設定する。トンガタブ島のその他収入は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-42 資材費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	400,000	400,000	400,000	400,000	400,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000			
全体推計値 (調査団)										500,000	579,000	655,000	730,000
トンガタブ島推計値	357,576	359,277	360,899	362,446	363,925	456,674	458,367	459,989	461,544	463,038	542,473	621,195	699,392

単位：TOP

出典：調査団作成

(6) 施設管理費

2026年までの増加傾向に従い、以下の通り設定する。トンガタブ島のその他収入は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-43 施設管理費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	1,900,000	2,000,000	2,100,000	2,100,000	2,100,000	2,100,000	2,100,000	2,100,000	2,200,000	2,200,000			
全体推計値 (調査団)										2,200,000	2,301,000	2,425,000	2,550,000
トンガタブ島推計値	1,698,487	1,796,386	1,894,718	1,902,844	1,910,608	1,918,033	1,925,142	1,931,953	2,030,796	2,037,366	2,155,837	2,299,846	2,443,081

単位：TOP

出典：調査団作成

(7) 一般管理費

2026年までの増加傾向に従い、以下の通り設定する。トンガタブ島のその他収入は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-44 一般管理費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	3,700,000	3,600,000	3,600,000	3,700,000	3,600,000	3,600,000	3,700,000	3,700,000	3,800,000	3,700,000			
全体推計値 (調査団)										3,700,000	3,768,000	3,825,000	3,883,000
トンガタブ島推計値	3,307,581	3,233,495	3,248,089	3,352,630	3,275,327	3,288,056	3,391,916	3,403,918	3,507,738	3,426,479	3,530,288	3,627,592	3,720,190

単位：TOP

出典：調査団作成

(8) 貸倒引当金

トンガタブ島での貸倒引当金を、TPL 全体の費用となる 100,000TOP/年を需要電力量の比率により算出する。

表 3-45 貸倒引当金

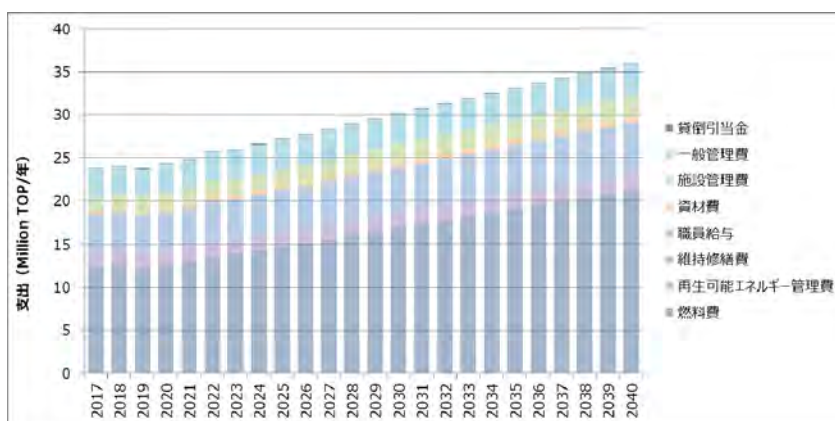
	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	/	/	/
全体推計値 (調査団)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100,000	100,000	100,000	100,000
トンガタブ島推計値	89,394	89,819	90,225	90,612	90,981	91,335	91,673	91,998	92,309	92,608	93,691	94,839	95,807

単位：TOP

出典：調査団作成

(9) 事業総支出 (総支出)

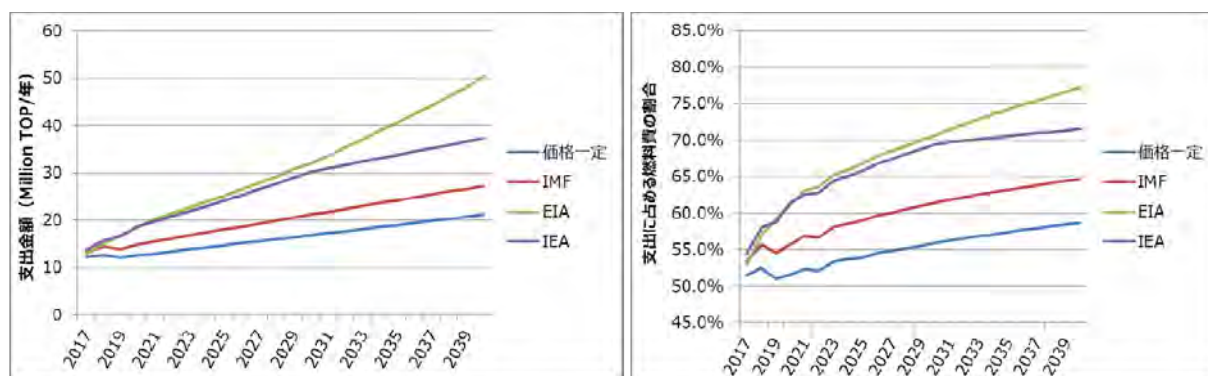
前項までに算出した各項目の推移に基づき、事業総支出を算出する。



出典：調査団作成

図 3-45 事業支出 (燃料価格一定の場合)

図 3-45 はディーゼル単価が 2040 年までほぼ一定で推移する場合を示したものである。需要電力量の増加に伴いディーゼル発電機による出力の割合が増加するため、燃料消費量も増加し、2017 年で約 52%であった支出に占める燃料費の割合が、2040 年には約 59%になる。



出典：調査団作成

図 3-46 ケースごとの燃料費と事業総支出に占める割合

図 3-46 はケースごとに設定したディーゼル単価に基づいた燃料費と燃料費の事業総支出に占める割合を表したものである。将来のディーゼル単価の変動如何によって、例えば EIA に基づく推移にてディーゼル単価が変動した場合には、燃料費の事業総支出に占める割合が最大で約 77%まで上昇することになる。

3-5-2-2-4 減価償却及び営業外費用

(1) 減価償却費

1) 既存施設 (TPL 推計)

減価償却費のうち既存の施設に係る分については、TPL の推計値を基に 2040 年まで推計し、トンガタブ島分は、需要電力量の比率により算出する。

表 3-46 減価償却費

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	6,900,000	7,400,000	7,900,000	8,200,000	8,700,000	9,100,000	9,400,000	9,800,000	10,300,000	10,800,000			
全体推計値 (調査団)										10,800,000	12,399,000	14,487,000	16,575,000
トンガタブ島推計値	6,168,191	6,646,628	7,127,750	7,430,152	7,915,374	8,311,476	8,617,300	9,015,782	9,507,816	10,001,613	11,616,783	13,739,326	15,880,028

単位：TOP

出典：調査団作成

2) 風力発電施設

減価償却費のうち、本件で導入する風力発電施設に係る分について、本来であれば本件の事業費に基づき、施設の耐用年数を考慮して減価償却費を算出する必要がある。しかし、本調査における検討では、導入する風力発電施設の将来の更新費用として、風力発電によるディーゼル燃料の削減分を充当するものと仮定し、ディーゼル単価推移のケースごとに本件で導入が可能な事業費を把握することを念頭に置く。したがって、減価償却費として風力発電出力に伴う燃料費の削減分を減価償却費として算出する。

表 3-47 減価償却費 (風力発電施設)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2030年	2035年	2040年
風力発電量 MWh/年	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736	4,736
風力発電による燃料削減量 kL/年	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199	1,199
燃料削減費 (価格一定) TOP/年	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322	1,378,322
燃料削減費 (IMF) TOP/年	1,589,981	1,628,241	1,656,406	1,658,678	1,671,541	1,682,692	1,692,544	1,729,751	1,755,800	1,775,961
燃料削減費 (EIA) TOP/年	1,914,695	2,048,441	2,143,522	2,215,900	2,266,733	2,309,029	2,359,621	2,616,647	2,940,822	3,284,104
燃料削減費 (IEA) TOP/年	1,887,601	2,057,361	2,098,796	2,140,232	2,181,667	2,223,102	2,264,537	2,471,714	2,450,996	2,430,279

出典：調査団作成

(2) 支払利息

トンガタブ島での支払利息を、需要電力量の比率により以下のとおり算出する。

表 3-48 支払利息

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	1,200,000	1,200,000	1,200,000	1,100,000	900,000	700,000	600,000	400,000	200,000	200,000			
全体推計値 (調査団)										200,000	200,000	200,000	200,000
トンガタブ島推計値	1,072,729	1,077,832	1,082,696	996,728	818,832	639,344	550,040	367,991	184,618	185,215	187,383	189,678	191,614

単位：TOP

出典：調査団作成

(3) 所得税及び配当引当金

所得税は税引前純利益に対して 25%、配当引当金は税引後利益に対して 35% として以下の通り計上する。

表 3-49 所得税及び配当引当金

単位：TOP

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2030年	2035年	2040年
税引前純利益	4,400,939	4,053,383	3,886,602	4,089,140	4,479,080	4,309,134	4,889,248	5,472,688	5,491,196	5,573,431	5,641,705	5,699,294
所得税（25%）	1,100,235	1,013,346	971,650	1,022,285	1,119,770	1,077,283	1,222,312	1,368,172	1,372,799	1,393,358	1,410,426	1,424,824
税引後純利益	3,300,704	3,040,038	2,914,951	3,066,855	3,359,310	3,231,850	3,666,936	4,104,516	4,118,397	4,180,073	4,231,278	4,274,471
配当引当金（35%）	1,155,247	1,064,013	1,020,233	1,073,399	1,175,758	1,131,148	1,283,428	1,436,581	1,441,439	1,463,026	1,480,947	1,496,065

出典：調査団作成

(4) 内部留保

TPL の事業収支予測では、2026 年までの年度ごとに期待する内部留保を算出しており、本調査においてもこの金額を確保することを前提で内部留保金額を設定する。2026 年以降については、2026 年時の金額を維持することとし、需要電力量の比率によりトンガタブ島分として相当する金額を算出する。

表 3-50 内部留保金額

単位：TOP

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2030年	2035年	2040年
全体推計値 (TPL)	2,400,000	2,200,000	2,100,000	2,200,000	2,400,000	2,300,000	2,600,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000			
全体推計値 (調査団)										2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000
トンガタブ島推計値	2,145,458	1,976,024	1,894,718	1,993,456	2,183,551	2,100,703	2,383,509	2,667,936	2,676,958	2,685,618	2,717,047	2,750,331	2,778,406

出典：調査団作成

3-5-3 運営・維持管理費（事業収支計画）の比較・検討

3-5-3-1-1 事業収支計画の妥当性

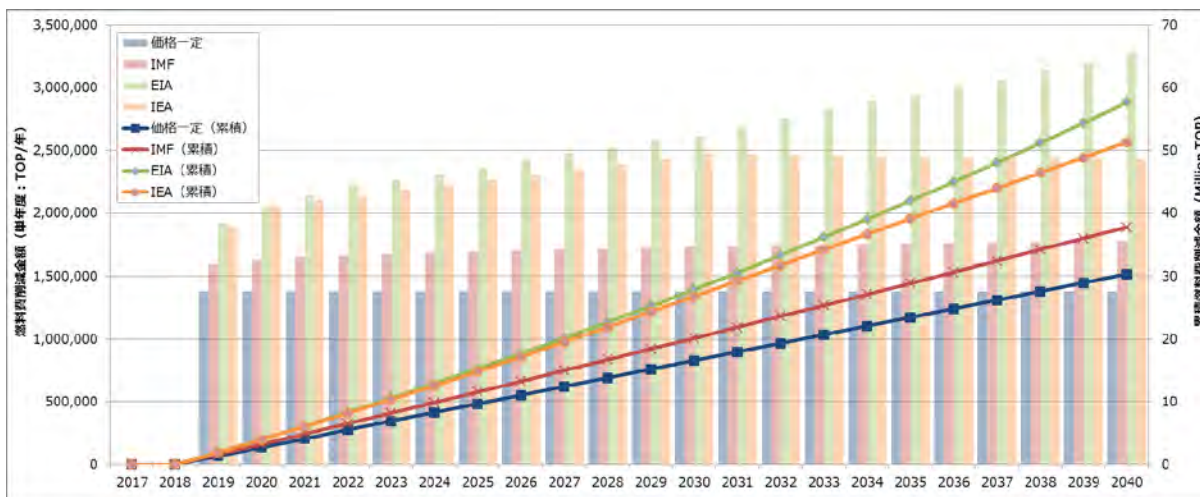
(1) 風力発電施設の減価償却費

前項までの検討では、TPL の事業運営に支障がないことを前提として、必要な経費を予測し 2040 年までの事業収支計画を検討した。事業収支計画では、本件で導入する風力発電施設の減価償却費も見込んでいるが、風力発電施設は我が国の無償資金協力にて整備されるため、風力発電施設に係る減価償却費は TPL の経理上、実際の支出金額としては発生しない。ただし、TPL は今後、風力発電施設を運営していく必要性から、検討により算出した減価償却費は、将来において耐用年数を迎える風力発電施設の更新時費用として確保されるべき予算となる。

3-5-3-1-2 風力発電の更新を見据えた事業規模

本件における風力発電の事業規模を考えた場合、前述のとおり導入後の適切な時期に TPL が自身の予算で更新費用を確保し、施設の更新を行う必要がある。

本件では、その更新費用を風量発電によるディーゼル燃料の削減分を充当するとの前提で検討をしたが、風力発電施設の耐用年数を 20 年として、更新予定年までにどの程度の燃料費の削減が可能になるか、以下に示す。



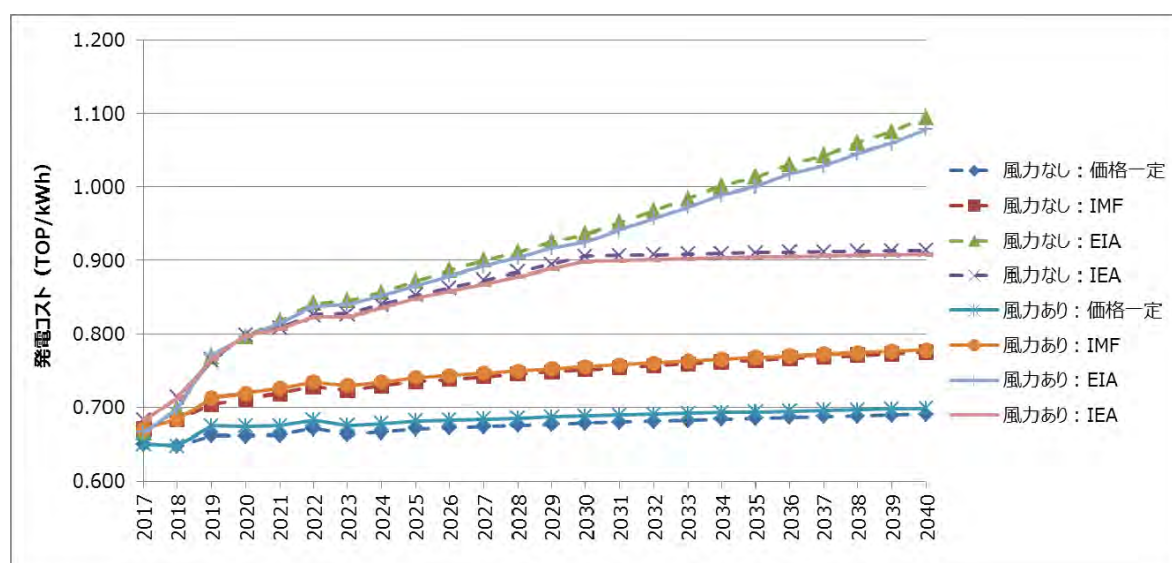
出典：調査団作成

図 3-47 風力発電による燃料費削減金額と累積金額

風力発電の稼働を2019年の開始と想定して、20年後となる2039年時点での風力発電による燃料費の累積削減金額を確認すると、図3-47からディーゼル単価が現在のまま推移した場合、約29百万TOP（約14億円）となる。また、ディーゼル単価が今後上昇する想定では、IMF推計：約36百万TOP（約17億円）、EIA推計：約54百万TOP（約26億円）、IEA推計：約49百万TOP（約24億円）となる。TPLが今後ディーゼル燃料費用の削減分を施設更新費用として確保することを前提に発電事業を運営することで、施設の更新により、2039年以降についても風力発電施設を継続的に運用することが可能となる。

3-5-3-1-3 風力発電施設導入に伴う想定される発電コストの推移

風力発電施設の導入に伴う、発電コストの変化を以下に示す。発電コストの算定においては、資本コスト、運転維持コスト、燃料コストを考慮し、風力発電施設を導入した場合と、導入しない場合の比較を行った。



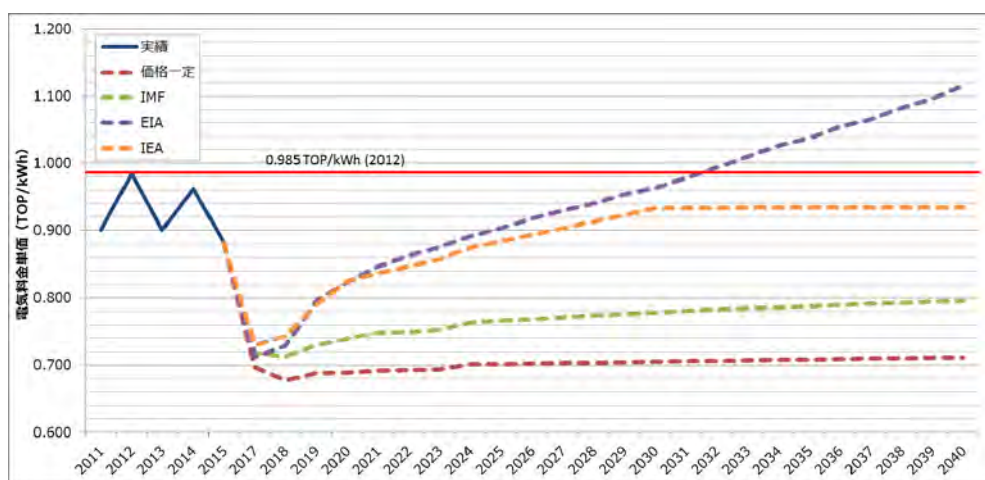
出典：調査団作成

図 3-48 将来の発電コストの推定

ディーゼル単価が現在のまま推移した場合、発電コストとしては風力発電を建設すると約0.01TOP/kWh（約0.48円/kWh）高くなる状態が更新時期まで続く。また、ディーゼル単価が今後上昇する想定では、IMF推計では発電コストはほぼ同程度となり、EIA推計では約0.02TOP/kWh（約0.96円/kWh）、IEA推計では約0.01TOP/kWh（約0.48円/kWh）と、ディーゼル単価が高くなるほど、風力発電を導入した場合の発電コストが、導入しない場合に比べて発電コストが低くなり、風力発電施設を導入することに対する効果が発現されることになる。

3-5-3-1-4 電気料金の設定

適切な時期に施設の更新が行われるためには、更新に必要な費用が担保されることが必要であり、事業収支計画で算出した電気料金収入が確保されなければならない。したがって、電気料金の設定と共に、電気料金が徴収可能な範囲に収まっているか確認する。



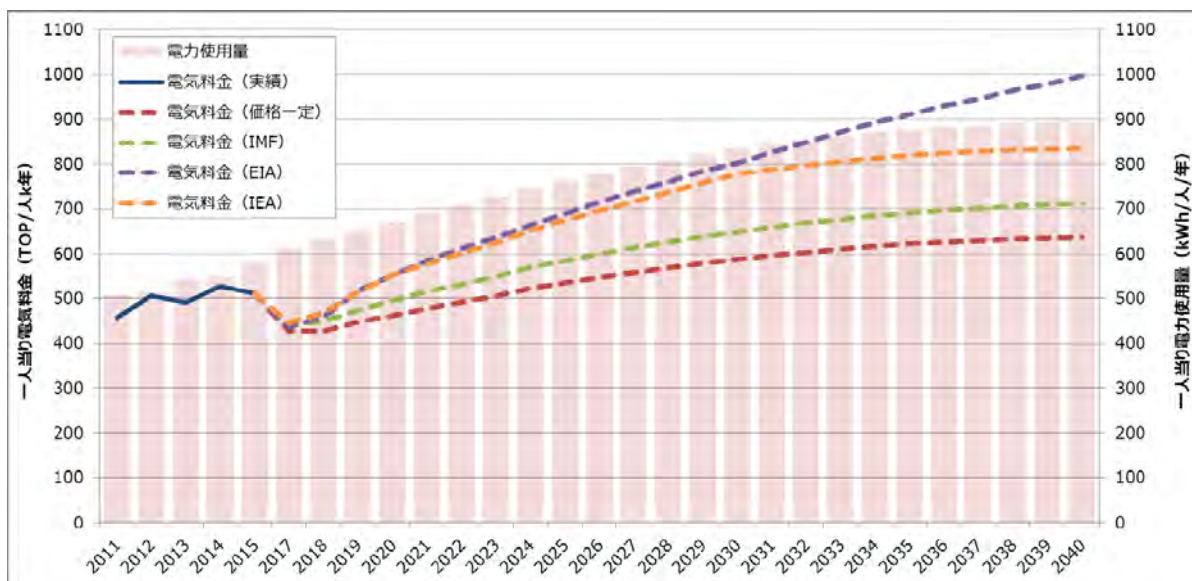
出典：調査団作成

図 3-49 電気料金単価の推移

図 3-49 はケースごとの電気料金収入から算出した、電気料金単価の推移を表したものである。過去の実績から、電気料金単価の最大値は2012年の0.985TOP/kWhであり、EIA推計による電気料金単価以外は、いずれも2040年までに電気料金単価の実績最大値を超えることはなく、料金設定としてはTPLが十分に設定可能な範囲であると考えられる。

3-5-3-1-5 需要者の支払い可能な電気料金

以下の図は、これまで算出した将来の電力消費量に基づき、年間の一人当たり電力使用量及び一人当たり電気料金の推移を表したものである。一人当たり電気料金については、ディーゼル単価の将来推計に基づき、ケースごとに算出している。

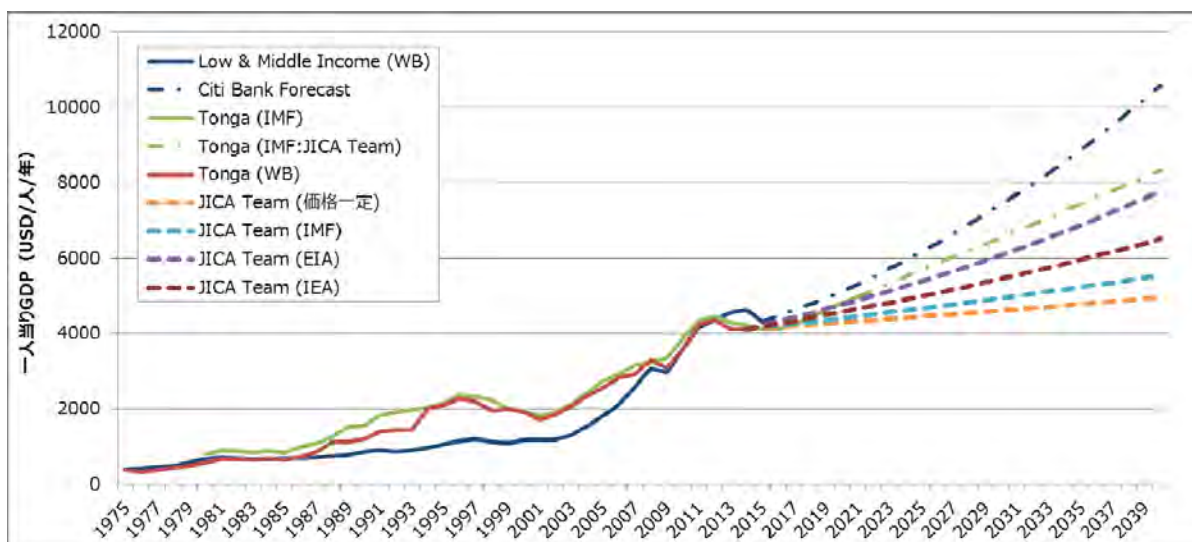


出典：調査団作成

図 3-50 一人当り電力使用量及び電気料金支払額

推計される将来の電力消費量の増加に伴い、一人当り電力使用量も増加するため、一人当り電気料金については、ディーゼル単価を一定とした場合でも増加し、2040年で約640TOP/人/年と、2011年から2015年までの最大値である527.8TOP/人/年（2014年値）の約1.2倍となる。一人当り電気料金が最大となるEIA推計に基づくディーゼル単価の場合は、一人当り電気料金が約1000TOP/人/年となり、実績の最大値に対して約1.9倍と現状に比べて支払額が倍近くまで増加する。

これら各ケースによる電気料金の推移に対して、将来に亘り「ト」国民による支払い可否の可能性を以下により検証する。



出典：調査団作成

図 3-51 一人当りGDPの実績及び将来推計

図 3-51 は過去の「ト」国の GDP の変遷（World Bank、IMF）と World Bank の分類区分である「Low & Middle Income」の GDP の変遷に、将来推計を重ねたものである。将来推計としては「Low & Middle Income」による GDP 及び IMF による「ト」国の GDP の推計に併せて、2040年に過去の「ト」国

の一人当り GDP に対する電気料金の割合の最大値 (5.9%、2014 年) に到達すると仮定した場合の、ディーゼル単価のケースごとの将来推計に基づく一人当り GDP の変遷を推計したものである。

表 3-51 一人当り GDP の増加率の推計

GDP推計の分類	2010-2020	2020-2030	2030-2040	備考
Low & Middle Income (World Bank)	3.500%	3.800%	3.600%	Citi Bank による全世界を対象にした推計値を使用
「ト」国 (IMF)	1.036%	2.787%	2.136%	2021年まではIMFの推計値を採用、以降はIMFの推計値に基づき、調査団が推計
ディーゼル単価：価格一定	0.718%			2040年の一人当り電気料金の一人当りGDPに占める割合が、実績値で最大となる2014年の5.9%になる場合のGDPを調査団が推計
ディーゼル単価：IMF	1.153%			
ディーゼル単価：EIA	2.476%			
ディーゼル単価：IEA	1.780%			

出典：調査団作成

図 3-51 に基づく一人当り GDP の増加率を表 3-51 に示したが、ディーゼル価格のケースのうち、EIA に基づく GDP の増加率 (2.476%) のみが、GDP 増加率の IMF 推計を超えるものの、他の 3 ケースはいずれも IMF 推計による GDP 増加率を下回っており、GDP 増加率の推計としては妥当であると判断できる。また、GDP の推計値に関しては、4 ケースのいずれもが IMF の GDP 推計値を下回っている。今後の「ト」国経済の動向にもよるが、今後の世界経済の成長が少なくとも IMF 推計を下回らない限り、本計画で設定した電気料金単価及び電気料金に対し、需要者の電気料金の負担割合は現状と比べてさほど変化はなく、支払は可能であると考えられる。

第4章 プロジェクトの評価

第4章 プロジェクトの評価

4-1 事業実施のための前提条件

プロジェクトの円滑な事業実施にあたり、「ト」国側が対応すべき前提条件は、表 4-1 のとおりである。「ト」国側によって、適切なタイミングで確実に実施されることが重要である。

表 4-1 事業実施のための前提条件

項目	実施時期
サイト及びインフラの整備	
建設用地（風力発電施設、アクセス道路、送電線）の確保	G/A 締結後 1 か月以内
建設用地（風力発電施設、送電線）の伐開、整地	入札公示前まで
アクセス道路の整備	入札公示前まで
建設資材、調達機材の保管場所の確保	建設工事、据付工事開始前まで
風力発電施設周囲のフェンスの設置	運転開始前まで
許認可	
建築確認申請	入札公示前まで
プロジェクトモニタリングレポートの提出	入札図書作成前まで
便宜供与	
銀行取極めに係る手続き	G/A 締結後 1 か月以内
免税措置及び通関手続き	適宜
運営・維持管理体制	
協力対象施設・運営・維持管理体制の確保	ソフトコンポーネント開始時まで
ソフトコンポーネント参加にかかる TPL 職員の確保	ソフトコンポーネント開始時まで

出典：調査団作成

4-2 プロジェクト全体計画達成のために必要な相手方投入（負担）事項

(1) 適切な電気料金設定と再生可能エネルギーの開発計画の推進

本計画で整備される風力発電施設が TPL によって持続的に運営・維持管理されるためには、今後のディーゼル燃料単価の推移及び事業収支に合わせた、適切な電気料金の改定が随時必要となる。

特に本協力対象事業の実施により、ディーゼル燃料及び燃料費用は削減されるものの、風力発電施設の定期的なメンテナンス及び耐用年数が経過した際の施設の更新等が必要となり、当該費用の確保のためにも、適切に電気料金が設定されることは重要である。

また、本協力対象事業では、短周期変動補償に対する蓄電設備を計画しているが、現状よりも既存ディーゼル発電機をよりシビアに制御することが必要となる。ディーゼル発電機の負荷追従能力では、既存の太陽光発電施設及び本協力対象事業による風力発電機の出力変動に対応するのが限界であり、本協力対象事業以降に更なる再生可能エネルギーを導入する場合には、中周期あるいは長周期による系統安定化と蓄電設備を考慮することが必要となる。

幸い、TPL の再生可能エネルギー開発計画では、長周期対応の蓄電設備（出力 3MW、容量 18MWh）を導入することが計画されており、「ト」国のエネルギーの安全保障及び安定した電力供給の実現のために、開発計画を今後も推進していくことが必要である。

(2) 環境影響に対するモニタリング

本計画の実施によって、風力発電所建設予定地であるニウトウアにおいて環境に及ぼす影響は少ないと評価されている。しかしながら、特に施工期間中に生じる一時的な用地取得、土地の浸食、大気汚染・粉じん被害、騒音・振動被害については、TPL が定期的にモニタリングを行うと共に、本邦施工業者に対し、これら緩和策の実施を積極的に促す必要がある。

4-3 外部条件

事業実施のための外部条件は、以下のとおりである。

- ▶ 「ト」国においてエネルギーの安全保障に係る方針に変更がない。
- ▶ TPL の再生可能エネルギーの導入方針に変更がない。

4-4 プロジェクトの評価

4-4-1 妥当性

無償資金協力による本計画の実施は、以下の観点から妥当と判断される。

- ▶ 本計画は、「ト」国最大の島であるトンガタブ島を対象としており、「ト」国国民の約 73%となる 75,416 人（2011 年国勢調査）を対象としており、相当数の国民が裨益対象となる。
- ▶ 島国である「ト」国は、発電の大部分を輸入燃料によるディーゼル発電に頼っており、温室効果ガスの排出削減とエネルギーの安全保障の向上の観点から、本計画の実施によって自国による再生可能エネルギーを生み出すことが可能となるため、エネルギーの安定供給に大きく寄与する。
- ▶ TPL は再生可能エネルギーの需要電力量に対する割合を 50%にまで上昇させる目標を掲げており、本計画の実施はこの目標達成に寄与する。
- ▶ TPL はこれまでに再生可能エネルギーとして太陽光発電施設を導入しており、ディーゼル発電機の運用と共に施設の修繕、運転・維持管理にかかる経験と高い技術力を有している。MW 級の風力発電の導入は本協力対象事業が初めてとなるが、系統安定化についても既存システムに準じて計画しており、TPL による持続的な運営・維持管理が期待できる。
- ▶ 本計画は「ト」国の国民生活の基幹となる電力供給施設であり、無償資金協力の枠組みに合致する。
- ▶ 本計画の実施により、大気汚染、廃棄物、用地取得、事故の環境影響が予測されるが、緩和策を実施することで環境影響を最小限に抑えることが出来ると評価されている。

4-4-2 有効性

(1) 定量的効果

本協力対象事業に期待される定量的効果を次表に示す。風力発電電力量は再生可能エネルギー発電量の増加と見なすことができ、ディーゼル発電による燃料の炊き減らしに寄与する。また再生可能エネルギーの需要電力に対する割合が増加すること、さらには化石燃料の削減に伴い、温室効果

ガスの排出抑制を通じた気候変動の緩和にも資する。

表 4-2 本計画実施後の定量的効果

成果指標	2016年（基準値）	2022年（運転開始3年後）
風力発電電力量（発電端側）	0 MWh/年	約 4,296 MWh/年
設備利用率	0 %	35.7 %
稼働率	0 %	90.7 %
ディーゼル燃料の削減	0 kL/年 0 TOP/年	1,079 kL/年 (IMF 推計) 1,492,810 TOP/年
再生可能エネルギーの割合	7.42 %（太陽光） 0 %（風力）	6.42 %（太陽光） 7.32 %（風力）
温室効果ガスの削減量	0 t CO ₂ /年	2,903 t CO ₂ /年

出典：調査団作成

1) 風力発電電力量

風況観測のデータ（2015年4月～2016年3月）より、1年間に発電可能な電力量は4,736MWh/年である。本協力対象事業では稼働率を以下の通り90.7%とし、風力発電機による年間発電量（発電端側）を4,296MWh/年とする。

2) 設備利用率

風力発電施設の出力を1.375MWとした場合、設備利用率は以下の計算により求まる。

$$4,296\text{MWh/年} \div (1.375\text{MW} \times 24\text{h} \times 365\text{日}) = 35.7\%$$

3) 稼働率

3-2-2-1 (6) にて記載の通り、本協力対象事業における稼働率を90.7%と設定する。

4) ディーゼル燃料の削減

TPLの試算によれば、ディーゼル発電機のkWh当り燃料消費量は0.253L/kWhである。したがって、風力発電電力量である4,262MWh/年にkWh当り燃料消費量を乗じ、ディーゼル燃料の削減量としては1,079kL/年となる。また、IMF推計に基づく1L当たりのディーゼル燃料の単価は1.383TOP/Lであることから、2022年時のディーゼル燃料削減額は1,492,810TOP/年となる。

5) 再生可能エネルギーの割合

2016年時の、トンガタブ島における再生可能エネルギーを含む総発電量は49,962MWh/年であり、このうちポプア発電所（太陽光）、Vaini発電所（太陽光）の太陽光発電量は2,095MWh/年、1,612MWh/年である。したがって、2016年時の再生可能エネルギー（太陽光）の総発電量に占める割合は7.42%と計算される。

また2022年時においては、総発電量57,789MWh/年に対して、ポプア発電所（太陽光）は2,095MWh/年、Vaini発電所（太陽光）1,612MWh/年の発電量となり、太陽光発電の総発電量に占める割合は6.42%となる。風力発電については、発電量が4,262MWh/年となることから、総発電量に対する割合は7.32%となる。

6) 温室効果ガスの削減量

温室効果ガスの削減量は、風力発電による年間の発電量 4,262MWh/年に対し、温室効果ガスの排出量が 0.681tCO₂/MWh であることから、2,903tCO₂/年となる。

(2) 定性的効果

本計画の実施によって期待される定性的効果は、以下のとおりである。

- ▶ 電力供給源の多様化
- ▶ エネルギーの安定供給

以上の内容より、本計画実施の妥当性は高く、また有効性が見込まれると判断される。

資 料

1. 調査団員・氏名
2. 調査行程
3. 関係者（面会者）リスト
4. 討議議事録（M/D）
5. ソフトコンポーネント計画書
6. 参考資料
7. その他の資料・情報

資 料

A1. 調査団員・氏名.....	1
A2. 調査行程.....	3
A3. 関係者（面会者）リスト.....	5
A4. 討議議事録（M/D）.....	7
A5. ソフトコンポーネント計画書.....	81
A6. 参考資料.....	91
A7. その他の資料.....	95

資料 1. 調査団員・氏名

A1. 調査団員・氏名

(1) 第一次現地調査 (2016年7月3日～2016年7月19日)

	氏名	担当	所属
1	相良 冬木	団長	国際協力機構 産業開発・公共政策部 資源・エネルギーグループ 第一チーム課長
2	川俣 大和	協力企画 1	国際協力機構 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
3	中川 祐実	協力企画 2	国際協力機構 東南アジア・大洋州部 東南アジア第六・大洋州課
4	篠田 健司	業務主任	国際航業株式会社
5	西沢 良史	副業務主任／風力発電システム／系統安定化	株式会社東洋設計
6	中井 俊介	業務調整 (自社負担)	国際航業株式会社

(2) 第二次現地調査 (2016年8月14日～2016年9月7日)

	氏名	担当	所属
1	篠田 健司	業務主任	国際航業株式会社
2	西沢 良史	副業務主任／風力発電システム／系統安定化	株式会社東洋設計
3	石井 完	送配電設備計画	株式会社オギノ建工
4	阿部 武司	機材計画	国際航業株式会社
5	加藤 修子	施設計画／自然条件	株式会社東洋設計
6	鈴木 鉄也	調達計画／積算	国際航業株式会社
7	笠井 いずみ	環境社会配慮	国際航業株式会社
8	伊藤 廣明	系統分析・系統モニタリング	株式会社東洋設計
9	瀬谷 健太郎	業務調整 (自社負担)	国際航業株式会社

(3) 第三次現地調査 (2017年1月6日～2017年1月15日)

	氏名	担当	所属
1	小林 広幸	団長	国際協力機構 産業開発・公共政策部 次長
2	川俣 大和	協力企画	国際協力機構 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
3	篠田 健司	業務主任	国際航業株式会社
4	西沢 良史	副業務主任／風力発電システム／系統安定化	株式会社東洋設計
5	鈴木 鉄也	調達計画／積算	国際航業株式会社

資料 2. 調査行程

A2. 調査行程

(1) 第一次現地調査 (2016年7月3日～2016年7月19日)

日 順	官団員			コンサルタント団員		
	団長	協力企画1	協力企画2	業務主任	副業務主任/ 風力発電システム/系 統安定化	業務調整 (自社負担)
	相良 冬木 Huyuki Sagara	川俣 大和 Yamato Kawamoto	中川 祐美 Yumi NAKAGAWA	篠田 健司 Kenji SHINODA	西沢 良史 Yoshifumi NISHIZAWA	中井 俊介 Shunsuke NAKAI
7月3日	日			NRT→AKL	NRT→AKL	NRT→AKL
7月4日	月			AKL→TBU	AKL→TBU	AKL→TBU
7月5日	火			実施機関協議	実施機関協議	実施機関協議
7月6日	水			現地視察	現地視察、騒音測定	現地視察
7月7日	木			実施機関協議	DG発電所状況確認	調査補助・業務調整
7月8日	金		NRT→AKL	関係機関表敬	関係機関表敬	関係機関表敬
7月9日	土		AKL→TBU	AKL→TBU	採石場確認、資料整理	採石場確認、資料整理
7月10日	日	NRT→AKL	団内打合せ	団内打合せ	資料整理、団内打合せ	資料整理、団内打合せ
7月11日	月	AKL→TBU	ミニッツ協議	ミニッツ協議	ミニッツ協議	実施機関資料収集
7月12日	火	ミニッツ協議	ミニッツ協議	ミニッツ協議	ミニッツ協議	実施機関資料収集
7月13日	水	現場視察	現場視察	現場視察	現場視察	SCADAデータ収集
7月14日	木	ミニッツ署名、TBU→AKL	ミニッツ署名	ミニッツ署名	ミニッツ署名	港湾道路踏査
7月15日	金	AKL→NRT	TBU→AKL	TBU→AKL	実施機関との協議	インビータンスマップ確認
7月16日	土		AKL→DXB→CAI	AKL→NRT	TBU→AKL	TBU→AKL
7月17日	日				AKL→WLG	AKL→WLG
7月18日	月				NZでの協議、WLG→AKL	NZでの協議、WLG→AKL
7月19日	火				AKL→NRT	AKL→NRT

NRT: Narita (Tokyo), AKL: Auckland, TBU: Nukualofa (Fua'amotu International Airport), WLG: Wellington

(2) 第二次現地調査 (2016年8月14日～2016年9月7日)

日 順	コンサルタント団員				
	業務主任	副業務主任/ 風力発電システム/系 統安定化	送配電 設備計画	機材計画	施設計画/ 自然条件
	篠田 健司 Kenji SHINODA	西沢 良史 Yoshifumi NISHIZAWA	石井 完 Tamotsu ISHII	阿部 武司 Takeshi ABE	加藤 修子 Syuuko KATO
8月14日	日	NRT→AKL	NRT→AKL	NRT→AKL	
8月15日	月	AKL→TBU	AKL→TBU	AKL→TBU	
8月16日	火	実施機関協議・現地踏査	実施機関協議・現地踏査	実施機関協議・現地踏査	
8月17日	水	現地視察	DG・PV稼働解析	現地視察	
8月18日	木	制度・規制調査	蓄電設備調査	配電系統調査	
8月19日	金	制度・規制調査	DG・PV稼働解析	蓄電設備調査	NRT→AKL
8月20日	土	資料整理	風車挙動 (短周期) 解析	設置サイト、輸送路踏査	AKL→TBU
8月21日	日	資料整理	蓄電設備 (短周期) 検討	資料整理	資料整理
8月22日	月	施設計画・調査	DG・PV稼働解析	施設計画・調査	現地視察、JICA表敬
8月23日	火	施設計画・調査	Vaini PVデータ収集	施設計画・調査	本邦業者、TPLヒアリング
8月24日	水	施設計画・調査	蓄電設備 (中周期) 検討	施設計画・調査	現地業者ヒアリング
8月25日	木	基本計画策定	DG・PV稼働解析	概略設計図作成	税関ヒアリング、MOIヒアリング
8月26日	金	基本計画策定	風力発電量予測	概略設計図作成	機材計画策定
8月27日	土	資料整理	輸送路踏査、資料整理	資料整理	資料整理
8月28日	日	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
8月29日	月	基本計画策定	系統モニタリングデータ回収	概略設計図作成	バイネ発電所視察
8月30日	火	基本計画策定	DG・PV稼働状況整理	概略設計図作成	機材計画策定
8月31日	水	実施機関協議	マイクログリッドデータ整理	現場調査	機材計画策定
9月1日	木	実施機関協議	系統解析条件整理	現場調査	機材計画策定
9月2日	金	実施機関協議	電力品質整理	実施機関協議	機材計画策定
9月3日	土	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
9月4日	日	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
9月5日	月	実施機関協議	既存設備・系統資料整理	現場調査	資料整理
9月6日	火	TBU→AKL	系統解析、TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL
9月7日	水	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT

日 順	コンサルタント団員				
	調達計画/ 積算	環境社会配慮	系統分析・ 系統モニタリング	業務調整 (自社負担)	
	鈴木 鉄也 Tetsuya SUZUKI	笠井 いずみ Izumi KASAI	伊藤 廣明 Hiroaki ITO	瀬谷 健太郎 Kentaro SEYA	
8月14日	日	NRT→AKL	NRT→AKL		NRT→AKL
8月15日	月	AKL→TBU	AKL→TBU		AKL→TBU
8月16日	火	実施機関協議・現地踏査	実施機関協議・現地踏査		実施機関協議・現地踏査
8月17日	水	現地視察	現地視察		現地視察
8月18日	木	配電系統調査	制度・規制調査		調査補助・業務調整
8月19日	金	蓄電設備調査	制度・規制調査	NRT→AKL	調査補助・業務調整
8月20日	土	資料整理	資料整理	AKL→TBU	資料整理
8月21日	日	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
8月22日	月	資機材調達計画	環境社会配慮調査	現地視察	現地視察
8月23日	火	資機材調達計画	環境社会配慮調査	配電系統調査	調査補助・業務調整
8月24日	水	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
8月25日	木	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
8月26日	金	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
8月27日	土	資料整理	資料整理	輸送路踏査、資料整理	資料整理
8月28日	日	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
8月29日	月	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
8月30日	火	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
8月31日	水	見積り徴収	環境社会配慮調査	系統モニタリング	調査補助・業務調整
9月1日	木	見積り徴収	環境社会配慮調査	マイクログリッド分析	調査補助・業務調整
9月2日	金	見積り徴収	環境社会配慮調査	マイクログリッド分析	調査補助・業務調整
9月3日	土	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
9月4日	日	資料整理	資料整理	資料整理	資料整理
9月5日	月	見積り徴収	環境社会配慮調査	マイクログリッド分析	調査補助・業務調整
9月6日	火	TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL
9月7日	水	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT

(2) 第三次現地調査 (2017年1月6日～2017年1月15日)

日 順	官団員		コンサルタント団員			
	団長	協力企画	業務主任	副業務主任/ 風力発電システム/系 統安定化	調達計画/ 積算	
	小林 広幸 Hiroyuki KOBAYASHI	川俣 大和 Yamato Kawamoto	篠田 健司 Kenji SHINODA	西沢 良史 Yoshifumi NISHIZAWA	鈴木 鉄也 Tetsuya SUZUKI	
1月6日	金			NRT→AKL	NRT→AKL	NRT→AKL
1月7日	土			AKL→TBU	AKL→TBU	AKL→TBU
1月8日	日		NRT→AKL	資料整理	資料整理	資料整理
1月9日	月	NRT→AKL	AKL→TBU	報告書(案)説明	報告書(案)説明	報告書(案)説明
1月10日	火	AKL→TBU	ミニッツ協議	ミニッツ協議	報告書(案)説明	報告書(案)説明
1月11日	水	ミニッツ協議	ミニッツ協議	用地取得状況確認	リング化進捗確認	建築基準確認
1月12日	木	現場視察	現場視察	光ケーブル路線確認	中国PV計画調査	建築基準確認
1月13日	金	ミニッツ署名	ミニッツ署名	ミニッツ署名	ミニッツ署名	ミニッツ署名
1月14日	土	TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL	TBU→AKL
1月15日	日	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT	AKL→NRT

資料 3. 関係者（面会者）リスト

A3. 関係者（面会者）リスト

(1) Tonga Power Limited (TPL)

Mr. Carl Sanft	Chairman
Mr. Rober Matthews	CEO
Mr. Steven Esau	General Manager of Finance
Mr. Setitaia Chen	General Manager of Operations
Mr. Simon Wilson	Major Projects Manager
Ms. Sosefina Maileseni	Risk Compliance Manager
Mr. Nikolas Fonua	Strategic Development Manager
Ms. Andrea Talia'uli	Strategic Development Manager
Mr. Finau Katoanga	Business Development Engineer
Mr. Murray Sheerin	Power Generation Manager
Mr. Ernest	Power Generation Engineer
Ms. Jane Guttenbeil	In Charge of EIA

(2) Ministry of Environment, Energy, Climate Change, Disaster Management, Meteorology, Information and Communications (MEIDECC)

Mr. Hon Siaosi Sovaloni	Deputy Prime Minister / Minister of MEIDECC
Mr. Paula Mau	CEO
Mr. Ofa Fa'anunu	A/CEO / Director of National Meteorological Service
Mr. Kakau Foliaki	Principal Energy Planner
Ms. Winnie Veikoso	Principle Assistant Secretary
Ms. Selu Finaulahi	Climate Officer of National Meteorological Service

(3) TERM-IU

Mr. Tuoky Vala	Major Projects Manager
----------------	------------------------

(4) Ministry of Public Enterprise (MPE)

Mr. Sione Alauola	CEO
Mr. Finau Moa	A/CEO
Mr. Sione Utaiaiu	Principal Finance Analyst
Mr. Feleti Vaka	Program Officer

(5) Ministry of Finance and National Planning

Mr. Tatafu Moeaki	CEO
Ms. Balwyn Fa'otusia	CEO

(6) Ministry of Infrastructure

Mr. Pesalili F Tu'iano	A/CEO for Infrastructure
Mr. Fotu Veikune	Chief Architect

(7) Ministry of Revenue & Customs

Mr. Heiloni Latu Customs Officer, Ports Authority Tonga

(8) Waste Authority LTD

Ms. Sonia Chirgwin Solid Waste/Sanitation Specialist

(9) New Zealand

Mr. Ray Brown AECOM: Associate Director-Distribution, Transmission & Renewables

Mr. Blair Walter Aurecon: Renewable Energy Leader

Mr. Keith Scoles Infratec: Technical Manager

Mr. Mansoor Ali Shah Infratec: Power System & SCADA Engineer

(10) 在トンガ日本大使館

Mr. Yukio Numata Ambassador

Mr. Tetsumi Murata Counselor

Ms. Hitomi Obata Second Secretary,
Chief of Political and Economic Section, Aid Coordinator,

Mr. Kenji Niwa Professional Investigator

(11) 独立行政法人国際協力機構トンガ支所

Mr. Hiroshi Kikawa Chief Representative

Mr. Shinji Yoshiura Chief Representative

Mr. Shoichi Iwata Representative

資料 4. 討議議事録 (M/D)

A4. 討議議事録 (M/D)

(1) 署名済み討議議事録 (第一次現地調査)

**Minutes of Discussions
on the Preparatory Survey for
the Project for Installation of Wind Power Generation System in the Kingdom of Tonga**

In response to the request from the Government of Kingdom of Tonga (hereinafter referred to as "Tonga"), Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA"), in consultation with the Government of Japan, decided to conduct a Preparatory Survey for the Project for Installation of Wind Power Generation System (hereinafter referred to as "the Project").

JICA sent the Preparatory Survey Team for the outline design (hereinafter referred to as "the Team") to Tonga, headed by Mr. Fuyuki Sagara, Director, Team 1, Energy and Mining Group, Industry Development and Public Policy Department, JICA, and is scheduled to stay in the country from 4 to 16 July, 2016.

The Team held a series of discussions with the officials concerned of the Government of Tonga and conducted a field survey in the Project area. In the course of the discussions, both sides have confirmed the main items described in the attached sheets. The Team will proceed to further works and prepare the Preparatory Survey Report.

Nuku'alofa, 14 June, 2016

相良 冬木

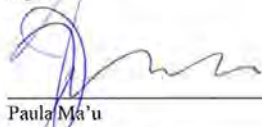
Fuyuki Sagara

Leader

Preparatory Survey Team

Japan International Cooperation Agency

Japan



Paula Ma'u

Chief Executive Officer

Ministry of Meteorology, Energy, Information,
Disaster Management, Environment, Climate
Change and Communication (MEIDECC)
The Kingdom of Tonga




Tatafu Moeaki

Chief Executive Officer

Ministry of Finance and National Planning

The Kingdom of Tonga


 (STEVEN ESAH CFO)

for Robert Matthews

Chief Executive Officer

Tonga Power Limited

The Kingdom of Tonga



Stone 'Akauzola

Chief Executive Officer

Ministry of Public Enterprises

The Kingdom of Tonga

ATTACHEMENT

1. Objective of the Project
The objective of the Project is to improve sustainability of power supply in Tongatapu Island by introducing renewable energy sources for power generation through installation of wind power generation system and grid stabilization system, thereby contributing to economic development of Tonga.
2. Title of the Preparatory Survey
Both sides confirmed the title of the Preparatory Survey as “the Preparatory Survey for the Project for Installation of Wind Power Generation System”.
3. Project Site
Both sides confirmed that the site of the Project is “Niuatoua” for wind generation system and eastern district for related distribution network facilities, which is shown in Annex 1.
4. Line Agencies and Executing Agency
Both sides confirmed the line agencies and executing agency as follows:
 - 4-1. The line agencies are Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Climate Change and Communication (hereinafter referred to as “MEIDCC”) and Ministry of Public Enterprises, which would be the agencies to supervise the executing agency.
 - 4-2. The executing agency is Tonga Power Limited (hereinafter referred to as “TPL”). The executing agency shall coordinate with all the relevant agencies to ensure smooth implementation of the Project and ensure that the undertakings are taken by relevant agencies properly and on time. The organization charts are shown in Annex 2.
5. Items requested by the Government of Tonga
 - 5-1. As a result of discussions, both sides confirmed that the items requested by the Government of Tonga are as follows:
 - Installation of Wind Turbines
 - Grid Stabilization System
 - Installation of Network Facilities
 - Training for operation and maintenance of installed equipment and systems, and power grid system control
 - 5-2. The Team took note that Tongan side requested to analyze technical limitation, financial limitation, impact on the tariff, achievement of renewable energy target to determine optimal capacity of wind turbines.
 - 5-3. JICA will assess the appropriateness of the above requested items through the survey and will report findings to the Government of Japan. The final components of the Project would be decided by the Government of Japan.
6. Japanese Grant Scheme
 - 6-1. The Tongan side understood the Japanese Grant Scheme and its procedures as described in Annex 3 and Annex 4, and necessary measures to be taken by the Government of Tonga.
 - 6-2. The Tongan side understood to take the necessary measures, as described in Annex 6, for smooth implementation of the Project, as a condition for the Japanese Grant to be implemented. The detailed contents of the Annex 6 will be worked out during the survey and shall be agreed no later than by the Explanation of the Draft Preparatory Survey Report.
The contents of Annex 6 will be used to determine the following:
 - (1) The scope of the Project.
 - (2) The timing of the Project implementation.

Handwritten mark



(3) Timing and possibility of budget allocation.

Contents of Annex 6 will be updated as the Preparatory Survey progresses, and will finally be the Attachment to the Grant Agreement.

7. Schedule of the Survey

7-1. The Team will proceed with further survey in Tonga in August, 2016.

7-2. JICA will prepare a draft Preparatory Survey Report in English and dispatch a mission to Tonga in order to explain its contents around December 2016.

7-3. If the contents of the draft Preparatory Survey Report is accepted in principle and the undertakings are fully agreed by the Tongan side, JICA will complete the final report in English and send it to Tonga around April 2017.

7-4. The above schedule is tentative and subject to change. The Team took note that Tongan side requested to shorten the schedule of the survey because of the renewable energy target for 2020.

8. Environmental and Social Considerations

8-1. The Tongan side confirmed to give due environmental and social considerations during implementation of the Project, and after completion of the Project, in accordance with the JICA Guidelines for Environmental and Social Considerations (April, 2010).

8-2. The Project is categorized as "B" under the JICA guidelines for environmental and social considerations April 2010, because the project area is not located in a sensitive area, nor has sensitive characteristics, nor falls into sensitive sectors and its potential adverse impacts on the environment are not likely to be significant. The Tongan side has already conducted the necessary procedures in Tonga concerning the environmental assessment (including Environmental Impact Assessment (EIA), etc.) and make EIA report of the Project. The Team will fully examine the EIA report and the addendum undertaken through New Zealand feasibility study in accordance with the JICA guidelines, and necessary measures such as "Stakeholder Meeting" should be conducted by Tongan side during this preparatory survey.

8-3 Both sides agreed that JICA guidelines require stakeholder meetings targeting all those who are potentially affected by the Project.

8-4 Tongan side confirmed to take the necessary measures to secure the lands for the Project site.

9. Other Relevant Issues

9-1. Prioritizing contents of the project

The Team explained that items that requested from Tonga, mentioned in 5-1, will be studied and made prioritizing from the viewpoints of its urgency and effectiveness contribution to stable power supply in Tongatapu Island.

9-2. Design for Extreme Wind Speed

Both side agreed that the design for extreme wind speed will be determined taking into consideration of the actual records of cyclone.

9-3. Design for Capacity of Grid Stabilization System

Both side agreed that the optimal capacity of grid stabilization system to stabilize power voltage and frequency for wind power generation system will be adopted.

9-4. Connecting signal cables from the existing solar PV system

Tongan side confirmed to obtain approval to connect signal cables and/or install radio communication from the project site in Niutoua to the Vaini Power Station, in order to send its generation conditions to the existing micro-grid controller.

9-5. Undertakings of the Tongan side

Both sides confirmed and highlighted that the following matters are included in the Undertakings of the Tongan side in the Annex 6.

1) Securing the land of the project site for the wind turbine system including grid stabilization systems and power conditioners, and distribution lines, etc.

2) Construction of access road outside the project site

14-A

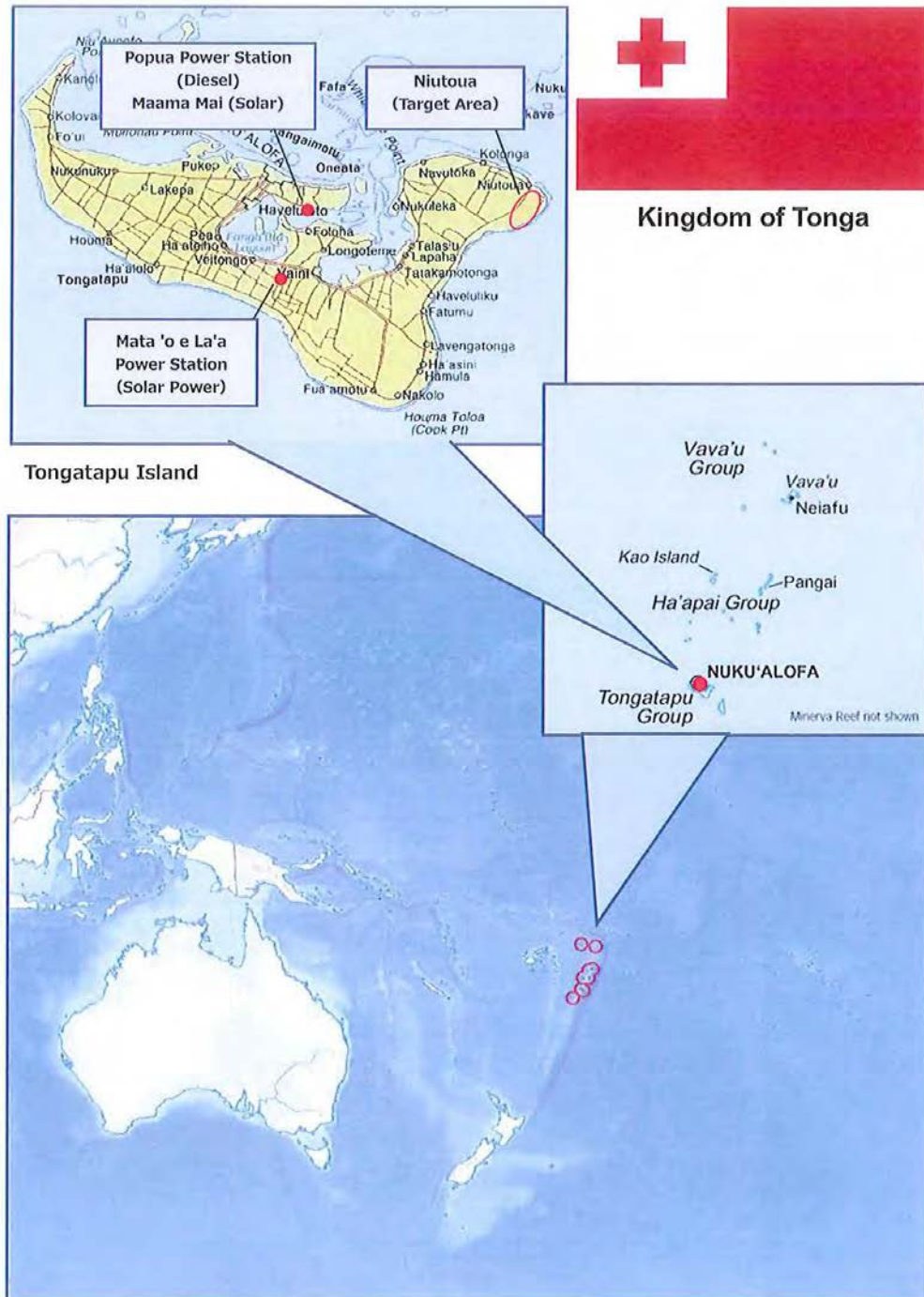
- 3) Construction of fence around the project site, as necessary
- 4) Replacement and proper disposal of the Power Storage Systems
- 9-6. Coordination with other countries and/or development partners
 - Both sides confirmed the following matters;
 - 1) The Team will fully utilize the feasibility study conducted by the government of New Zealand. Both side confirmed that TPL will make the necessary coordination with New Zealand government for finalizing the scope of the Project.
 - 2) There will be no other duplication of facilities and equipment between those requested to JICA and those requested to other countries and/or development partners.

- Annex 1 Project Site
- Annex 2 Organization Chart of TPL
- Annex 3 Japanese Grant
- Annex 4 Flow Chart of Japanese Grant Procedures
- Annex 5 Financial Flow of Japanese Grant
- Annex 6 Major Undertakings to be taken by Each Government
- Annex 7 Project Monitoring Report (template)

7/11

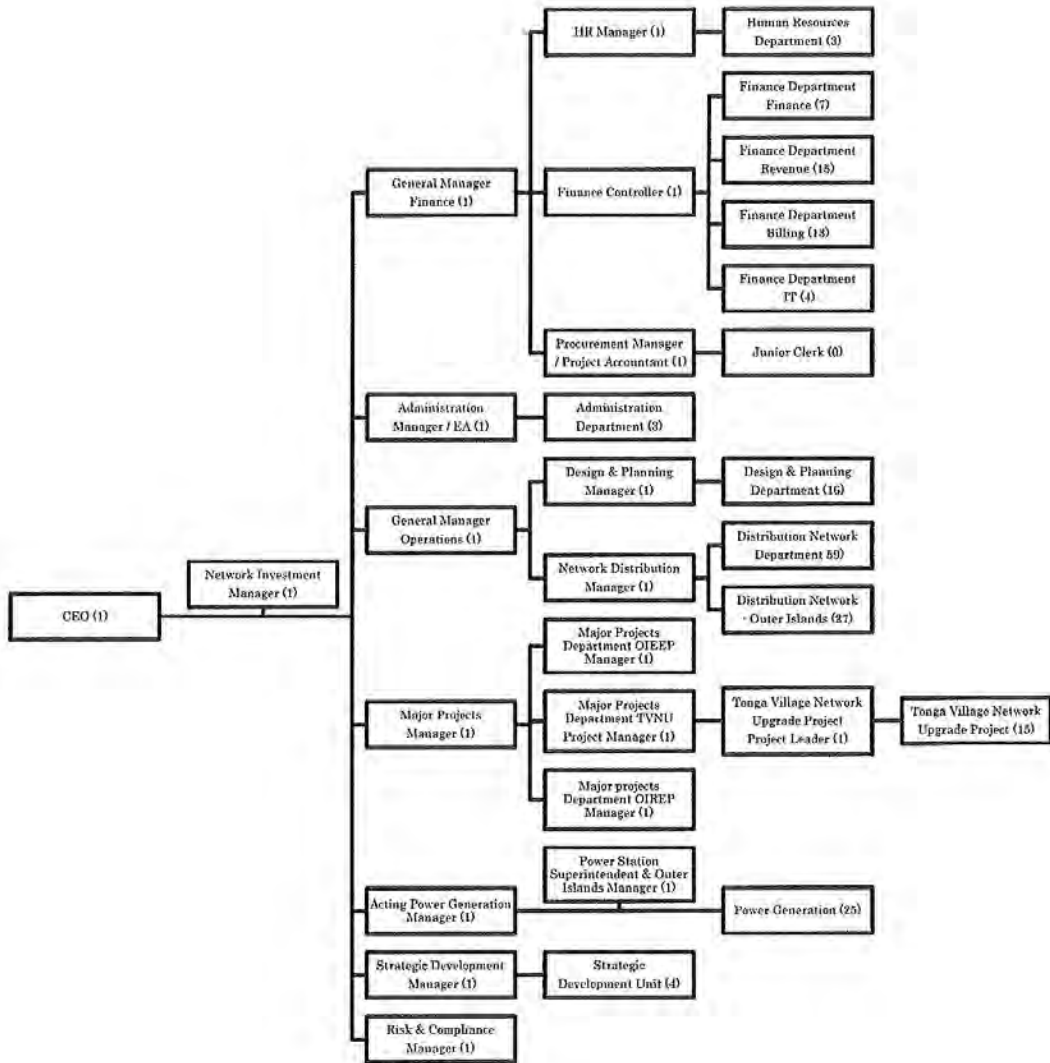


Annex 1



PA

Annex 2



JA

[Handwritten signatures]

Annex 3

JAPANESE GRANT

The Japanese Grant (hereinafter referred to as the "Grant") is non-reimbursable fund provided to a recipient country to procure the facilities, equipment and services (engineering services and transportation of the products, etc.) for its economic and social development in accordance with the relevant laws and regulations of Japan. The Grant is not supplied through the donation of materials as such.

Based on a JICA law which was entered into effect on October 1, 2008 and the decision of the GOJ, JICA has become the executing agency of the Japanese Grant for Projects for construction of facilities, purchase of equipment, etc.

1. Grant Procedures

The Grant is supplied through following procedures:

- Preparatory Survey
 - The Survey conducted by JICA
- Appraisal & Approval
 - Appraisal by the GOJ and JICA, and Approval by the Japanese Cabinet
- Authority for Determining Implementation
 - The Notes exchanged between the GOJ and a recipient country
- Grant Agreement (hereinafter referred to as "the G/A")
 - Agreement concluded between JICA and a recipient country
- Implementation
 - Implementation of the Project on the basis of the G/A

2. Preparatory Survey**(1) Contents of the Survey**

The aim of the preparatory Survey is to provide a basic document necessary for the appraisal of the Project made by the GOJ and JICA. The contents of the Survey are as follows:

- Confirmation of the background, objectives, and benefits of the Project and also institutional capacity of relevant agencies of the recipient country necessary for the implementation of the Project.
- Evaluation of the appropriateness of the Project to be implemented under the Grant Scheme from a technical, financial, social and economic point of view.
- Confirmation of items agreed between both parties concerning the basic concept of the Project.
- Preparation of an outline design of the Project.
- Estimation of costs of the Project.

FD

The contents of the original request by the recipient country are not necessarily approved in their initial form as the contents of the Grant project. The Outline Design of the Project is confirmed based on the guidelines of the Japanese Grant scheme.

JICA requests the Government of the recipient country to take whatever measures necessary to achieve its self-reliance in the implementation of the Project. Such measures must be guaranteed even though they may fall outside of the jurisdiction of the organization of the recipient country which actually implements the Project. Therefore, the implementation of the Project is confirmed by all relevant organizations of the recipient country based on the Minutes of Discussions.

(2) Selection of Consultants

For smooth implementation of the Survey, JICA employs (a) consulting firm(s). JICA selects (a) firm(s) based on proposals submitted by interested firms.

(3) Result of the Survey

JICA reviews the Report on the results of the Survey and recommends the GOJ to appraise the implementation of the Project after confirming the appropriateness of the Project.

3. Japanese Grant Scheme

(1) The E/N and the G/A

After the Project is approved by the Cabinet of Japan, the Exchange of Notes(hereinafter referred to as "the E/N") will be signed between the GOJ and the Government of the recipient country to make a pledge for assistance, which is followed by the conclusion of the G/A between JICA and the Government of the recipient country to define the necessary articles, in accordance with the E/N, to implement the Project, such as payment conditions, responsibilities of the Government of the recipient country, and procurement conditions.

(2) Selection of Consultants

In order to maintain technical consistency, the consulting firm(s) which conducted the Survey will be recommended by JICA to the recipient country to continue to work on the Project's implementation after the E/N and G/A.

(3) Eligible source country

Under the Grant, in principle, Japanese products and services including transport or those of the recipient country are to be purchased. The Grant may be used for the purchase of the products or services of a third country, if necessary, taking into account the quality, competitiveness and economic rationality of products and services necessary for achieving the objective of the Project. However, the prime contractors, namely, constructing and procurement firms, and the prime consulting firm are limited to "Japanese nationals", in principle.

(4) Necessity of "Verification"

The Government of the recipient country or its designated authority will conclude contracts denominated in Japanese yen with Japanese nationals, in principle. Those contracts shall be verified by JICA. This "Verification" is deemed necessary to fulfill accountability to Japanese taxpayers.

(5) Major undertakings to be taken by the Government of the Recipient Country

Handwritten signature or mark.

Handwritten signatures or marks.

In the implementation of the Grant Project, the recipient country is required to undertake such necessary measures as Annex. The Japanese Government requests the Government of the recipient country to exempt all customs duties, internal taxes and other fiscal levies such as VAT, commercial tax, income tax, corporate tax, resident tax, fuel tax, but not limited, which may be imposed in the recipient country with respect to the supply of the products and services under the verified contract, since the Grant fund comes from the Japanese taxpayers.

(6) "Proper Use"

The Government of the recipient country is required to maintain and use properly and effectively the facilities constructed and the equipment purchased under the Grant, to assign staff necessary for this operation and maintenance and to bear all the expenses other than those covered by the Grant.

(7) "Export and Re-export"

The products purchased under the Grant should not be exported or re-exported from the recipient country.

(8) Banking Arrangements (B/A)

a) The Government of the recipient country or its designated authority should open an account under the name of the Government of the recipient country in a bank in Japan (hereinafter referred to as "the Bank"), in principle. JICA will execute the Grant by making payments in Japanese yen to cover the obligations incurred by the Government of the recipient country or its designated authority under the Verified Contracts.

b) The payments will be made when payment requests are presented by the Bank to JICA under an Authorization to Pay (A/P) issued by the Government of the recipient country or its designated authority.

(9) Authorization to Pay (A/P)

The Government of the recipient country should bear an advising commission of an Authorization to Pay and payment commissions paid to the Bank.

(10) Environmental and Social Considerations

The Government of the recipient country must carefully consider environmental and social impacts by the Project and must comply with the environmental regulations of the recipient country and JICA Guidelines for Environmental and Social Consideration (April, 2010).

(11) Monitoring

The Government of the recipient country must take their initiative to carefully monitor the progress of the Project in order to ensure its smooth implementation as part of their responsibility in the G/A, and must regularly report to JICA about its status by using the Project Monitoring Report (PMR).

(12) Safety Measures

The Government of the recipient country must ensure that the safety is highly observed during the implementation of the Project.

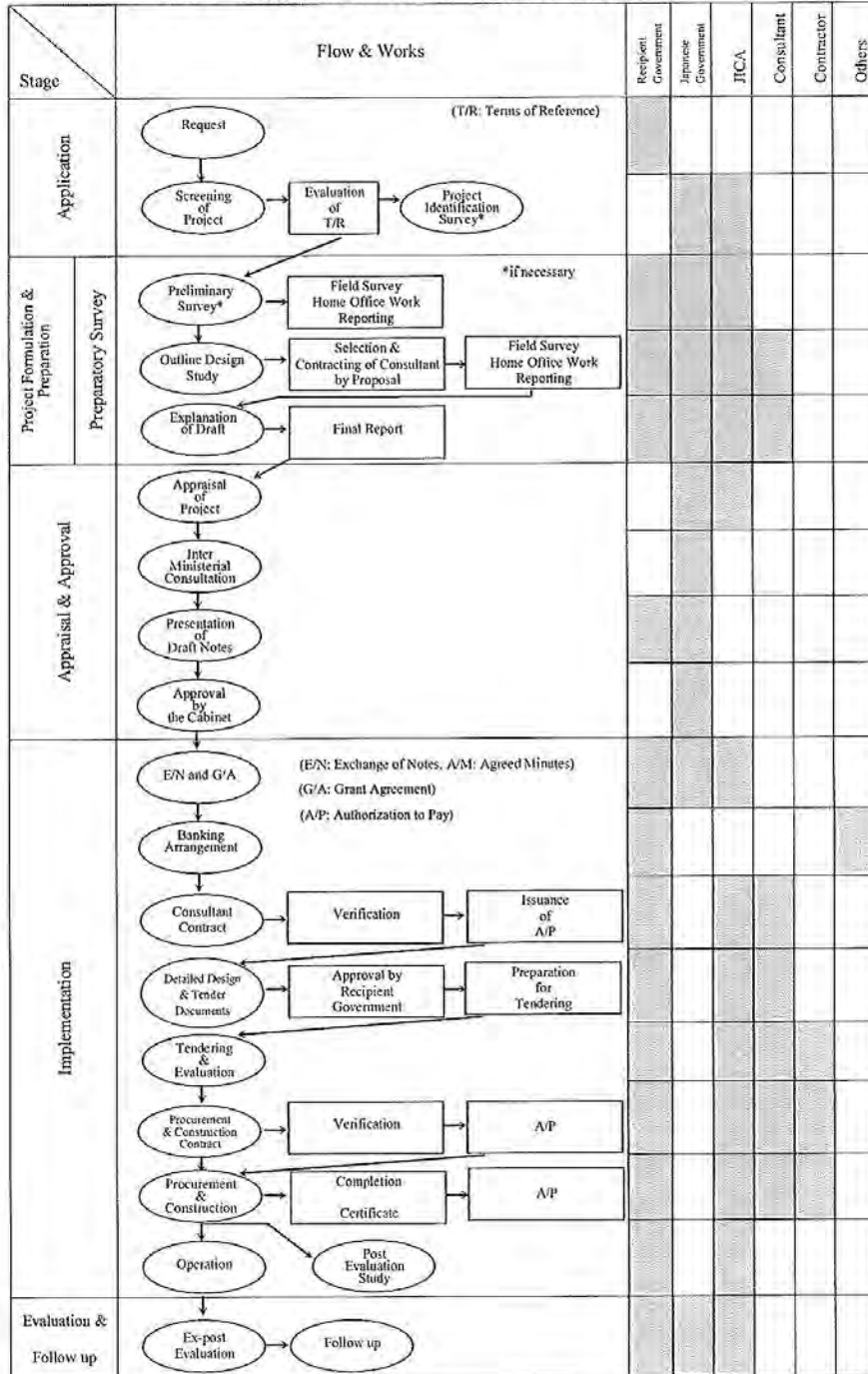
3-11

end



Annex 4

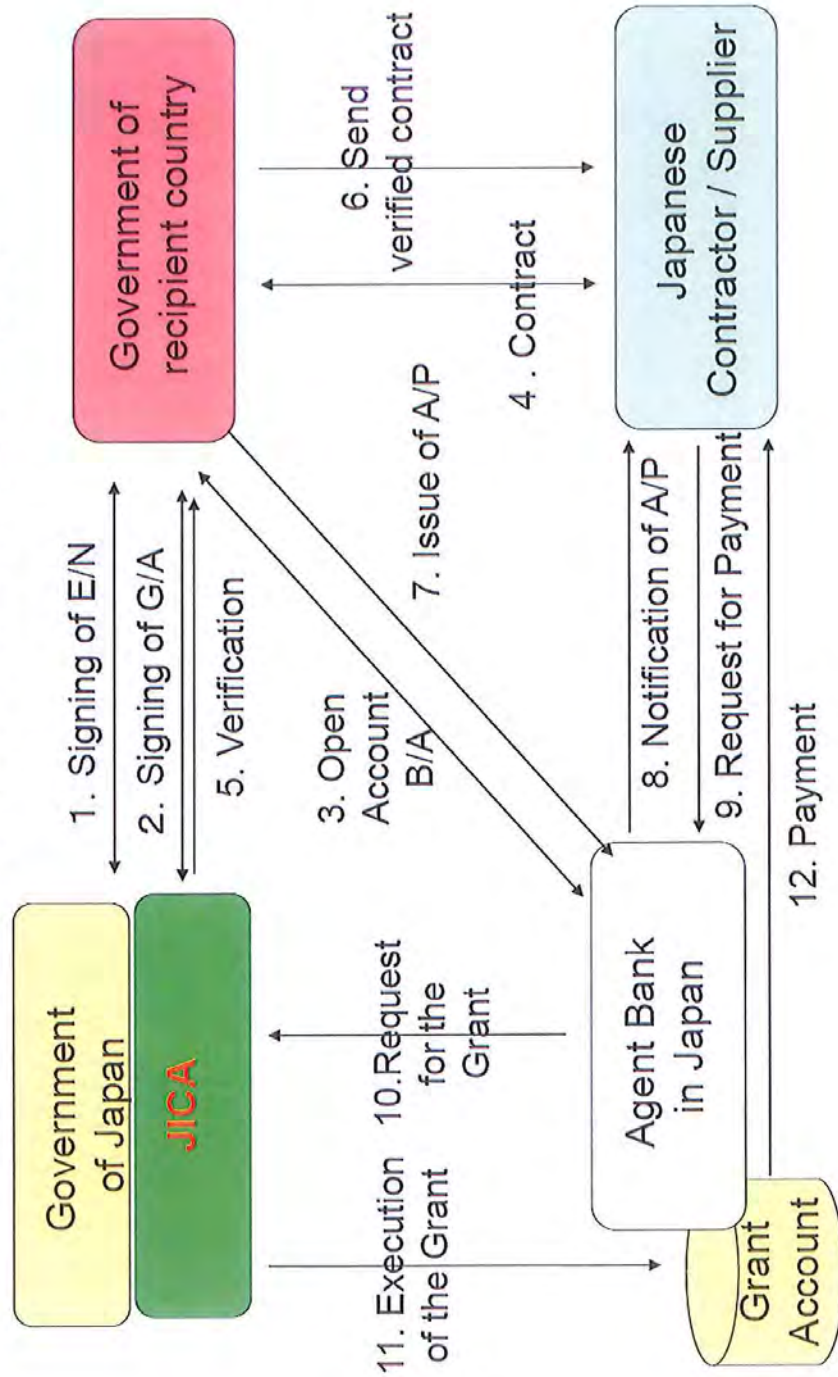
FLOW CHART OF JAPANESE GRANT PROCEDURES



手印

Annex 5

Financial Flow of Grant Aid (A/P Type)



FA

(Handwritten signatures and initials)

Annex 6

Major Undertakings to be taken by Each Government
<To be covered by Government of Tonga>

1. Before the Tender

NO	Items	Deadline	In charge	Cost	Ref.
1	To open Bank Account (Banking Arrangement (B/A))	within 1 month after G/A	TPL		
2	To approve IEE/EIA	within 1 month after G/A	TPL MEIDCC		
3	To implement EIA including stakeholder meeting for all those who possibly affected by the Project	before start of the construction	TPL MEIDCC		
4	To secure the following lands for 1) project sites for wind turbine and storage system 2) access road outside of the project site 3) distribution line	before notice of the tender document	TPL		
5	To obtain the planning, zoning, building permit	before notice of the tender document	TPL		
6	To clear, level and reclaim the following sites 1) project sites for wind turbine and stabilization system (batteries) 2) access road (outside the project site) 3) right of way of distribution line	before notice of the tender document	TPL		
7	To construct access road for materials transportation	before notice of the tender document	TPL		

2. During the Project Implementation

NO	Items	Deadline	In charge	Cost	Ref.
1	To bear the following commissions to a bank of Japan for the banking services based upon the B/A				
	1) Advising commission of A/P	within 1 month after the signing of the contract	TPL MOFNP		
	2) Payment commission for A/P	every payment	TPL MOFNP		
2	To ensure prompt unloading and customs clearance at the port of disembarkation in recipient country				
	1) Tax exemption and customs clearance of the products at the port of disembarkation	during the Project	TPL MOFNP		
	2) Internal transportation from the port of disembarkation to the project site	during the Project	TPL MOFNP		
3	To accord Japanese nationals and/or physical persons of third countries whose services may be required in connection with the supply of the products and the services under the verified contract such facilities as may be necessary for their entry into the recipient country and stay therein for the performance of their work	during the Project	TPL		

T-0

4	To ensure that customs duties, internal taxes and other fiscal levies which may be imposed in the country of the Recipient with respect to the purchase of the Products and/or the Services be exempted; Such customs duties, internal taxes and other fiscal levies mentioned above include VAT, commercial tax, income tax and corporate tax of Japanese nationals, resident tax, fuel tax, but not limited, which may be imposed in the recipient country with respect to the supply of the products and services under the verified contract	during the Project	TPL MOFNP		
5	To bear all the expenses, other than those to be borne by the Grant Aid, necessary for construction of the facilities as well as for the transportation and installation of the equipment	during the Project	TPL		
6	To submit Project Monitoring Report	during the Project	TPL		
7	To fence around the site for security as necessary	3 months before completion of the construction	TPL		
8	To implement Environmental Management Plan (EMP) and Environmental Monitoring Plan (EMoP) of the Project	during the construction	TPL		
9	To submit results of environmental monitoring to JICA, by using the monitoring form, on a quarterly basis as a part of Project Monitoring Report	during the construction	TPL		

3. After the Project

NO	Items	Deadline	In charge	Cost	Ref.
1	To maintain and use properly and effectively the facilities constructed and equipment provided under the Grant Aid 1) Allocation of maintenance cost 2) Operation and maintenance structure 3) Routine check/Periodic inspection	After completion of the construction	TPL		
2	To implement EMP and EMoP	for a period based on EMP and EMoP	TPL		
	To submit results of environmental monitoring to JICA, by using the monitoring form, semiannually - The period of environmental monitoring may be extended if any significant negative impacts on the environment are found. The extension of environmental monitoring will be decided based on the agreement between <i>Implementation Agency of Tonga</i> and JICA.	for three years after the Project	TPL		

(B/A: Banking Arrangement, A/P: Authorization to pay, N/A: Not Applicable)

JH

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

Annex 6

Major Undertakings to be taken by Each Government
 <To be covered by Japanese Grant>

No	Items	Deadline	Cost Estimated (Million Japanese Yen)*
1	To install wind power generation system and related facilities		XX.XX
	1) Marine transportation of the products from Japan to the recipient country		
	2) Internal transportation from the port of disembarkation to the project site		
	3) To install facilities		
	4) To provide equipment with installation related facilities and commissioning		
	5) Temporarily fence and gate during the construction		
	6) Roads within the project site		
7	Installation of equipment for connection to existing distribution grid		
2	To provide soft component for operation and maintenance of provided products, facilities and equipment		
3	To implement detailed design, tender support and construction supervision (Consultant)		
4	Contingencies		YY.YY
	Total		ww.ww
			ZZ.ZZ

* The cost estimates are provisional. This is subject to the approval of the Government of Japan.

FD

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Annex 7

<p><u>Project Monitoring Report</u> on <u>The Project for Installation of Wind Power Generation System</u> <u>Grant Agreement No. XXXXXXXX</u> 20XX, Month</p>

Organization Information

1) Authority (Signer of the G/A)	Person in Charge _____ (Division) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____
Executing Agency	Person in Charge _____ (Division) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____
Line Agency	Person in Charge _____ (Division) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____

Outline of Grant Agreement:

Source of Finance	Government of Japan: Not exceeding JPY _____ mil. Government of (_____): _____
Project Title	
E/N	Signed date: Duration:
G/A	Signed date: Duration:

7/11

15

1: Project Description

1-1 Project Objective

--

1-2 Necessity and Priority of the Project

- Consistency with development policy, sector plan, national/regional development plans and demand of target group and the recipient country.

--

1-3 Effectiveness and the indicators
- Effectiveness by the project

Quantitative Effect (Operation and Effect indicators)		
Indicators	Original (Yr)	Target (Yr)
Qualitative Effect		

2: Project Implementation

2-1 Project Scope

Table 2-1-1a: Comparison of Original and Actual Location

Location	Original: (M/D)	Actual: (PMR)
	Attachment(s):Map	Attachment(s):Map

Table 2-1-1b: Comparison of Original and Actual Scope

Items	Original	Actual
(M/D)	(M/D)	(PMR)

FA

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

'Soft component' shall be included in 'Items'.		Please state not only the most updated schedule but also other past revisions chronologically. All change of design shall be recorded regardless of its degree.
--	--	--

(Sample)Table 2-1-1b: Comparison of Original and Actual Scope

Items	Original	Actual
1. Upgrading of the Kukum Highway	length 20km, single lane (3.47m*2), path(1.25m*2) Concrete Pavement 200mm (motor lane only)	length 20km, single lane (3.47m*2), path(1.00m*2) Concrete Pavement 200mm (motor lane only)
2. Replacement of Old Mataniko Bridge	Bridge length 40m, Width 9.5m, path(1.00m*2), compound steel box-girder bridge, Inverted T type-abutment spread foundation	Ditto

(Sample)Table 2-1-1b: Comparison of Original and Actual Scope

Items	Original	Actual
1. Outpatient Department	RC, Double Storey Ground floor: Consultation room 6 Reception Satellite Lab. Pharmacy, etc 1 st floor: Consultation room 5 Dental Clinic 2	RC, Double Storey Ground floor: Consultation room 5 ditto
2. Operation Theatre, Casualty Unit, Maternity Ward	RC, Double Storey Ground Floor: Operation room 2 Casualty Unit 1 st Floor: Maternity Ward 50 beds	ditto Maternity Ward 60 beds

(Sample)Table 2-1-1b: Comparison of Original and Actual Scope

Items	Original	Actual
1. Primary and Secondary Surveillance Radars at Chittagong Int'l Airport	i) OSR/SSR 1 set ii) RDP 1 set iii) VHF Transmitters 2 sets	Ditto
2. Access Control System for Dhaka Int'l Airport	1 set	Ditto

Fid

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

3. Doppler VOR/DME at Saidpur Airport	1 set	Ditto
4. Aerodrome Simulator for Civil Aviation Training Center	1 set	Ditto
5. Baggage Inspection System for Dhaka Int'l Airport	i) Hold Baggage Xray Inspectin system 7sets ii) Hold Baggage Explosive Trace Detecting System 7sets iii) Cabin Baggage Xray Inspection System 2sets	Ditto
6. Airport Fire Fighting Vehicles for Dhaka Int'l Airport	2 sets	3 sets

2-1-2 Reason(s) for the modification if there have been any.

(PMR)

2-2 Implementation Schedule

2-2-1 Implementation Schedule

Table 2-2-1: Comparison of Original and Actual Schedule

Items	Original		Actual
	DOD	G/A	
[M/D]	(M/D)		(PMR) As of (Date of Revision)
'Soft component' shall be stated in the column of 'Items'.			Please state not only the most updated schedule but also other past revisions chronologically.
Project Completion Date*			

*Project Completion was defined as _____ at the time of G/A.

(Sample)Table 2-2-1: Comparison of Original and Actual Schedule

Items	Original		Actual
	DOD	G/A	
Cabinet Approval	11/2015	18	

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

E/N	12/2015	1/2016	24/1/2016
G/A	12/2015	1/2016	24/1/2016 Amended 13/3/2017
Detailed Design	12/2015-4/2016	1/2016-5/2016	1/2016-5/2016
Tender Notice	5/2016	5/2016	1/6/2016
Tender	6/2016	6/2016	15/7/2016
(Lot1) Construction Period	7/2016-11/2018	7/2016-11/2018	8/8/2016-30/11/2018
(Lot2) Installation of Equipment	7/2016-6/2018	7/2016-6/2018	6/8/2016-30/6/2017
Project Completion Date	11/2018	11/2018	30/11/2018
Defect Liability Period	11/2019	11/2019	30/11/2019

*Project Completion was defined as Check-out of Construction work at the time of G/A.

2-2-2 Reasons for any changes of the schedule, and their effects on the project.

--

2-3 Undertakings by each Government

2-3-1 Major Undertakings
See Attachment 2.

2-3-2 Activities
See Attachment 3.

2-3-3 Report on RD
See Attachment 4.

2-4 Project Cost

2-4-1 Project Cost

Table 2-4-1a Comparison of Original and Actual Cost by the Government of Japan

(Confidential until the Tender)

Items	Cost (Million Yen)			
	Original	Actual	Original	Actual
Construction	'Soft component' shall be included in 'Items'.			Please state not only the most
Facilities				
(or				

字印

19

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

Equipment)				updated schedule but also other past revisions chronologically.
Consulting Services	- Detailed design -Procurement Management -Construction Supervision			
Total				

Note: 1) Date of estimation:
 2) Exchange rate: 1 US Dollar = Yen

Table 2-4-1b Comparison of Original and Actual Cost by the Government of XX

Items			Cost (Million USD)	
	Original	Actual	Original	Actual
				Please state not only the most updated schedule but also other past revisions chronologically.

Fd

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Total		
-------	--	--

Note: 1) Date of estimation:
2) Exchange rate: 1 US Dollar = (local currency)

(Sample)Table 2-4-1a Comparison of Original and Actual Cost by the Government
of Japan

(Confidential until the Tender)

Items	Cost (Million Yen)			
	Original	Actual	Original ^{1),2)}	Actual
Construction Facilities	1. Outpatient Department 2. Operation Theatre, Casualty Unit, Maternity Ward	Ditto Ditto	1,169.5	1,035.0
Equipment	1) Primary and Secondary Surveillance Radars at Chittagong Int'l Airport 2) Access Control System for Dhaka Int'l Airport 3) Doppler VOR/DME at Saidpur Airport 4) Aerodrome Simulator for Civil Aviation Training Center 5) Baggage Inspection System for Dhaka Int'l Airport 6) Airport Fire Fighting Vehicles for Dhaka Int'l Airport	Ditto	2,374.6	2,110.0
Consulting Services	- Detailed design - Procurement Management - Construction Supervision - Soft Component	Ditto	0.87	0.87
Total			3544.97	3145.87

Note: 1) Date of estimation: October, 2014
2) Exchange rate: 1 US Dollar = 99.93 Yen

FA

21

(Sample)Table 2-4-1b Comparison of Original and Actual Cost by the Government
of Bangladesh

Items			Cost (1,000 Taka)	
	Original	Actual	Original ^{1,2)}	Actual
Dhaka International Airport	Modification of software of existing Rader Data Processing System	Ditto	8,000	9,240
	Provision of a partition, lighting, air conditioning and electric power supply at transfer hold baggage check point	Ditto	5,000	2,453
	Replacement of five doors in the international passenger terminal building	Ditto	4,000	5,340
Chittagong Int'l Airport	Preparation of the radar site including felling of trees, clearing and grabbing	Ditto	5,000	3,400
Total			22,000	20,433

Note: 1) Date of estimation: October, 2014

2) Exchange rate: 1 US Dollar = 0.887 Bangladesh Taka (local currency)

2-4-2 Reason(s) for the wide gap between the original and actual, if there have been any, the remedies you have taken, and their results.

(PMR)

2-5 Organizations for Implementation

2-5-1 Executing Agency:

- Organization's role, financial position, capacity, cost recovery etc,
- Organization Chart including the unit in charge of the implementation and number of employees.

PA

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Original: (M/D)
Actual, if changed: (PMR)

2-6 Environmental and Social Impacts

- The results of environmental monitoring as attached in Attachment 5 in accordance with Schedule 4 of the Grant Agreement.
- The results of social monitoring as attached in Attachment 5 in accordance with Schedule 4 of the Grant Agreement.
- Information on the disclosed results of environmental and social monitoring to local stakeholders, whenever applicable.

3: Operation and Maintenance (O&M)

3-1 O&M and Management

- Organization chart of O&M
- Operational and maintenance system (structure and the number, qualification and skill of staff or other conditions necessary to maintain the outputs and benefits of the project soundly, such as manuals, facilities and equipment for maintenance, and spare part stocks etc)

Original: (M/D)
Actual: (PMR)

3-2 O&M Cost and Budget

- The actual annual O&M cost for the duration of the project up to today, as well as the annual O&M budget.

Original: (M/D)

11

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

4: Precautions (Risk Management)

- Risks and issues, if any, which may affect the project implementation, outcome, sustainability and planned countermeasures to be adapted are below.

Original Issues and Countermeasure(s): (M/D)	
Potential Project Risks	Assessment
1.	Probability: H/M/L
(Description of Risk)	Impact: H/M/L
	Analysis of Probability and Impact:
	Mitigation Measures:
	Action during the Implementation:
	Contingency Plan (if applicable):
2.	Probability: H/M/L
(Description of Risk)	Impact: H/M/L
	Analysis of Probability and Impact:
	Mitigation Measures:
	Action during the Implementation:
	Contingency Plan (if applicable):
3.	Probability: H/M/L
(Description of Risk)	Impact: H/M/L
	Analysis of Probability and Impact:
	Mitigation Measures:

7/10

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

	Action during the Implementation:
	Contingency Plan (if applicable):
Actual issues and Countermeasure(s) (PMR)	

5: Evaluation at Project Completion and Monitoring Plan

5-1 Overall evaluation

Please describe your overall evaluation on the project.

5-2 Lessons Learnt and Recommendations

Please raise any lessons learned from the project experience, which might be valuable for the future assistance or similar type of projects, as well as any recommendations, which might be beneficial for better realization of the project effect, impact and assurance of sustainability.

5-3 Monitoring Plan for the Indicators for Post-Evaluation

Please describe monitoring methods, section(s)/department(s) in charge of monitoring, frequency, the term to monitor the indicators stipulated in 1-3.

3/10

G/A NO. XXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY



印

26



G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Attachment

1. Project Location Map
2. Undertakings to be taken by each Government
3. Monthly Report
4. Report on RD
5. Environmental Monitoring Form / Social Monitoring Form
6. Monitoring sheet on price of specified materials (Quarterly)
7. Report on Proportion of Procurement (Recipient Country, Japan and Third Countries)
(Final Report Only)

JA

27



Monitoring sheet on price of specified materials

1. Initial Conditions (Confirmed)

Items of Specified Materials	Initial Volume A	Initial Unit Price (¥) B	Initial total Price C=A x B	1% of Contract Price D	Condition of payment	
					Price (Decreased) E=C-D	Price (Increased) F=C+D
Item 1	● ● t	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
Item 2	● ● t	● ●	● ●	● ●		
Item 3						
Item 4						
Item 5						

2. Monitoring of the Unit Price of Specified Materials

(1) Method of Monitoring : ● ●

(2) Result of the Monitoring Survey on Unit Price for each specified materials

Items of Specified Materials	Monitoring Survey on Unit Price for each specified materials					
	1st month, 2015	2nd month, 2015	3rd month, 2015	4th	5th	6th
Item 1	●	●	●			
Item 2						
Item 3						
Item 4						
Item 5						

(3) Summary of Discussion with Contractor (if necessary)

- - -




Report on Proportion of Procurement (Recipient Country, Japan and Third Countries)

(Actual Expenditure by Construction and Equipment each)

	Domestic Procurement (Recipient Country) A	Foreign Procurement (Japan) B	Foreign Procurement (Third Countries) C	Total D
Construction Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Direct Construction Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
others	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Equipment Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Design and Supervision Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Total	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	

7-11

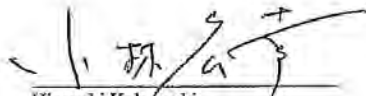
(2) 署名済み討議議事録 (第三次現地調査)

**Minutes of Discussions
on the Preparatory Survey for the Project for
Installation of Wind Power Generation System in the Kingdom of Tonga (Explanation on Draft
Preparatory Survey Report)**

With reference to the minutes of discussions signed between Tonga Power Limited (hereinafter referred to as "TPL"), Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment, Climate Change and Communication (hereinafter referred to as "MEIDECC"), Ministry of Public Enterprises (hereinafter referred to as "MPE") and Ministry of Finance and National Planning and the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") on July 14, 2016 and in response to the request from the Government of Kingdom of Tonga (hereinafter referred to as "Tonga") dated August 7, 2014, JICA dispatched the Preparatory Survey Team (hereinafter referred to as "the Team") for the explanation of Draft Preparatory Survey Report (hereinafter referred to as "the Draft Report") for the Project for installation of wind power generation system (hereinafter referred to as "the Project"), headed by Mr. Hiroyuki Kobayashi, Deputy Director General, Industry Development and Public Policy Department, JICA from January 9 to January 13, 2017.

As a result of the discussions, both sides agreed on the main items described in the attached sheets.

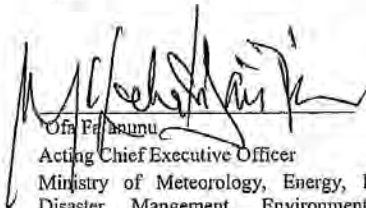
Nuku'alofa, January 13, 2017



Hiroyuki Kobayashi
Leader
Preparatory Survey Team
Japan International Cooperation Agency
Japan



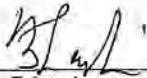
Robert Matthews
Chief Executive Officer
Tonga Power Limited
The Kingdom of Tonga



Ofa Fa'asunu
Acting Chief Executive Officer
Ministry of Meteorology, Energy, Information,
Disaster Management, Environment, Climate
Change and Communication
The Kingdom of Tonga



Finau Moa
Acting Chief Executive Officer
Ministry of Public Enterprises
The Kingdom of Tonga



Balwyn Fa'otusia
Chief Executive Officer
Ministry of Finance and National Planning
The Kingdom of Tonga

ATTACHEMENT

1. Objective of the Project
The objective of the Project is to introducing renewable energy and diverse the power supply sources by installation of wind power generation system and grid stabilization system in Tongatapu Island, thereby contributing to stable energy supply.
2. Title of the Preparatory Survey
Both sides confirmed the title of the Preparatory Survey as "the Preparatory Survey for the Project for Installation of Wind Power Generation System".
3. Project site
Both sides confirmed that the site of the Project is in "Niutoua", which is shown in Annex 1.
4. Responsible authority for the Project
Both sides confirmed the authorities responsible for the Project are as follows:
 - 4-1. The Executing Agency for the Project is the Ministry of Finance and National Planning, and Implementing Agency for the Project is TPL. The Executing Agency and Implementing Agency shall coordinate with all the relevant authorities to ensure smooth implementation of the Project and ensure that the undertakings for the Project shall be taken care by relevant authorities properly and on time. The organization charts of TPL are shown in Annex 2.
5. Contents of the Draft Report
After the explanation of the contents of the Draft Report by the Team, the Tongan side agreed to its contents.
6. Cost estimate
Both sides confirmed that the cost estimate described in the Draft Report is provisional and will be examined further by the Government of Japan for its approval.
Both sides confirmed that the cost estimate including the contingency described in the Draft Report is provisional and will be examined further by the Government of Japan for its approval. The contingency would cover the additional cost against natural disaster, unexpected natural conditions, etc.
7. Confidentiality of the cost estimate and technical specifications
Both sides confirmed that the cost estimate and technical specifications in the Draft Report should never be duplicated or disclosed to any third parties until all the contracts under the Project are concluded.
8. Timeline for the project implementation
The Team explained to the Tongan side that the expected timeline for the project implementation is as attached in Annex 3.
9. Expected outcomes and indicators
Both sides agreed that key indicators for expected outcomes are as follows. The Tongan side will be responsible for the achievement of agreed key indicators targeted in year 2022 and shall monitor the progress based on those indicators.






[Quantitative indicators]

Indicators	Standard value (Actual values in 2016)	Target value (2022) (After three years of project completion)
Power generation by wind turbine	0 MWh/year	4,296 MWh/year
Load factor	0%	35.70%
Availability factor	0%	90.70%
Reduction of diesel oil	0 kL/year	1,079 kL/year
	0 TOP/year	1,492,810 TOP/year
Ratio of renewable energy	7.42 % (photovoltaics)	6.42 % (photovoltaics)
	0 % (wind generation)	7.32 % (wind generation)
Greenhouse gas reduction	0 t CO ₂ /year	2,903 t CO ₂ /year

[Qualitative indicators]

Stable energy supply

10. Technical assistance ("Soft Component" of the Project)

Considering the sustainable operation and maintenance of the products and services granted through the Project, soft component is planned under the Project. The Tongan side confirmed to deploy necessary number of counterparts who are appropriate and competent in terms of its purpose of the technical assistance as described in the Draft Report.

11. Undertakings of the Project

Both sides confirmed the undertakings of the Project as described in Annex 4. With regard to exemption of customs duties, internal taxes and other fiscal levies as stipulated in 2. 4 of Annex 4, both sides confirmed that such customs duties, internal taxes and other fiscal levies include VAT, commercial tax, income tax and corporate tax, which shall be clarified in the bid documents by the Executing Agency during the implementation stage of the Project.

The Tongan side assured to take the necessary measures and coordination including allocation of the necessary budget which are preconditions of implementation of the Project. It is further agreed that the costs are indicative at Outline Design level. More accurate costs will be calculated at the Detailed Design stage.

Both sides also confirmed that the Annex 4 will be used as an attachment of G/A.

12. Monitoring during the implementation

The Project will be monitored by the Executing Agency and reported to JICA by using the form of Project Monitoring Report (PMR) attached as Annex 5. The timing of submission of the PMR is described in Annex 4.

13. Project completion

Both sides confirmed that the project completes when all the facilities constructed and equipment procured by the grant are in operation. The completion of the Project will be reported to JICA promptly, but in any event not later than six months after completion of the Project.

14. Ex-Post Evaluation

JICA will conduct ex-post evaluation after three (3) years from the project completion, in principle, with respect to five evaluation criteria (Relevance, Effectiveness, Efficiency, Impact, and Sustainability). The result of the evaluation will be publicized. The Tongan side is required to provide

necessary support for the data collection.

15. Items and measures to be considered for the smooth implementation of the Project
Both sides confirmed the items and measures to be considered for the smooth implementation of the Project as follows.
- 15-1 Operation and Maintenance
Both sides confirmed that TPL will secure adequate human resources for daily and periodical maintenance, mainly from distribution network department.
- 15-2 Mid-Long Term Service Agreement
JICA recommended TPL for concluding mid-long term service agreement with the manufacturer for maintenance and trouble shooting, because 300 kW scale wind turbine system will be the first time in Tonga.
- 15-3 Strengthening of Grid Network
JICA recommended TPL for strengthening their grid network in the Tongatapu island in order to stabilize the grid system by the time when the wind turbines start of operation.
- 15-4 Land Acquisition
Land acquisition will be one of the important conditions for starting the tender process. TPL agreed that land acquisition will be done within 1 month after G/A is signed described as Annex 4.
16. Schedule of the Study
JICA will finalize the Preparatory Survey Report based on the confirmed items. The report will be sent to the Tongan side around May, 2017.
17. Environmental and Social Considerations
- 17-1 General Issues
- 17-1-1 Environmental Guidelines and Environmental Category
The Team explained that 'JICA Guidelines for Environmental and Social Considerations (April 2010)' (hereinafter referred to as "the Guidelines") is applicable for the Project. The Project is categorized as B because the Project is not located in a sensitive area, nor has sensitive characteristics, nor falls into sensitive sectors under the JICA guidelines for environmental and social considerations (April 2010), and its potential adverse impacts on the environment are not likely to be significant.
- 17-1-2 Environmental Checklist
The environmental and social considerations including major impacts and mitigation measures for the Project are summarized in the Environmental Checklist attached as Annex 7. Both sides confirmed that in case of major modification of the content of the Environmental Checklist, the Tongan side shall submit the modified version to JICA in a timely manner.
- 17-2 Environmental Issues
- 17-2-1 Environmental Impact Assessment (EIA)
Both sides confirmed the EIA report has been approved by MEIDECC in July 2014.
The Tongan side agreed JICA's disclosure of provided EIA report on its website.
- 17-2-2 Environmental Management Plan and Environmental Monitoring Plan
Both sides confirmed Environmental Management Plan (EMP) and Environmental Monitoring Plan (EMoP) of the Project is as Annex 7, respectively. Both side agreed that environmental mitigation measures and monitoring shall be conducted based on the EMP and EMoP, which may be updated during the detailed design stage.

7

JW
BF M.

17-3 Social Issues

17-3-1 Land Acquisition

Both sides confirmed the around 2.8 ha of land would be acquired and 7 people would be affected due to the implementation of the Project.

Such land acquisition shall be implemented based on the Abbreviated Resettlement Action Plan (RAP) as Annex 8 which was prepared in line with the Guidelines and authorized by the Tongan side within one month after G/A.

17-4 Environmental and Social Monitoring

17-4-1 Environmental Monitoring

Both sides agreed that the Tongan side will submit results of environmental monitoring to JICA with PMR by using the monitoring form attached as Annex 9. The timing of submission of the monitoring form is described in Annex 4.

17-4-2 Social Monitoring

Both sides confirmed that the Tongan side will implement social monitoring about land acquisition and resettlement plan proposed in the RAP. The Tongan side and the Team agreed that TPL will submit results of social monitoring to JICA with PMR by using the monitoring form attached as Annex 9.

17-4-3 Information Disclosure of Monitoring Results

Both sides confirmed that the Tongan side will disclose results of environmental and social monitoring to local stakeholders through their website.

The Tongan side agreed JICA will disclose results of environmental and social monitoring submitted by the Tongan side as the monitoring forms attached as Annex 9 on its website.

18. Other Relevant Issues

18-1 Disclosure of Information

Both sides confirmed that the Preparatory Survey Report from which project cost is excluded will be disclosed to the public after completion of the Preparatory Survey. The comprehensive report including the project cost will be disclosed to the public after all the contracts under the Project are concluded.

18-2 Policy on Class of Wind Turbine and Maximum Wind Speed

Tongan side requested JICA that the class of wind turbines under International Electrotechnical Commission (IEC) should be "Class S" which can endure the size of current cyclones.

Based on the Tongan request, the class of wind turbine and maximum wind speed will be proposed detail during the detailed design stage. The final draft of specification will be also proposed considering the competitiveness of bidding.

In addition, JICA recommended TPL that "S class" would be considered for the specification not only for this project but also all other future wind power project in Tonga in the view of recent trend of cyclone occurred.

18-3 Other Renewable Energy Project

Both sides confirmed that a IPP solar power project (installed capacity: 2MW) at Matatua is underway, and JICA requested TPL to take necessary action for grid stabilization in the Tongatapu Island such as installing batteries.

Annex 1 Project Site

Annex 2 Organization Chart

Annex 3 Project Implementation Schedule

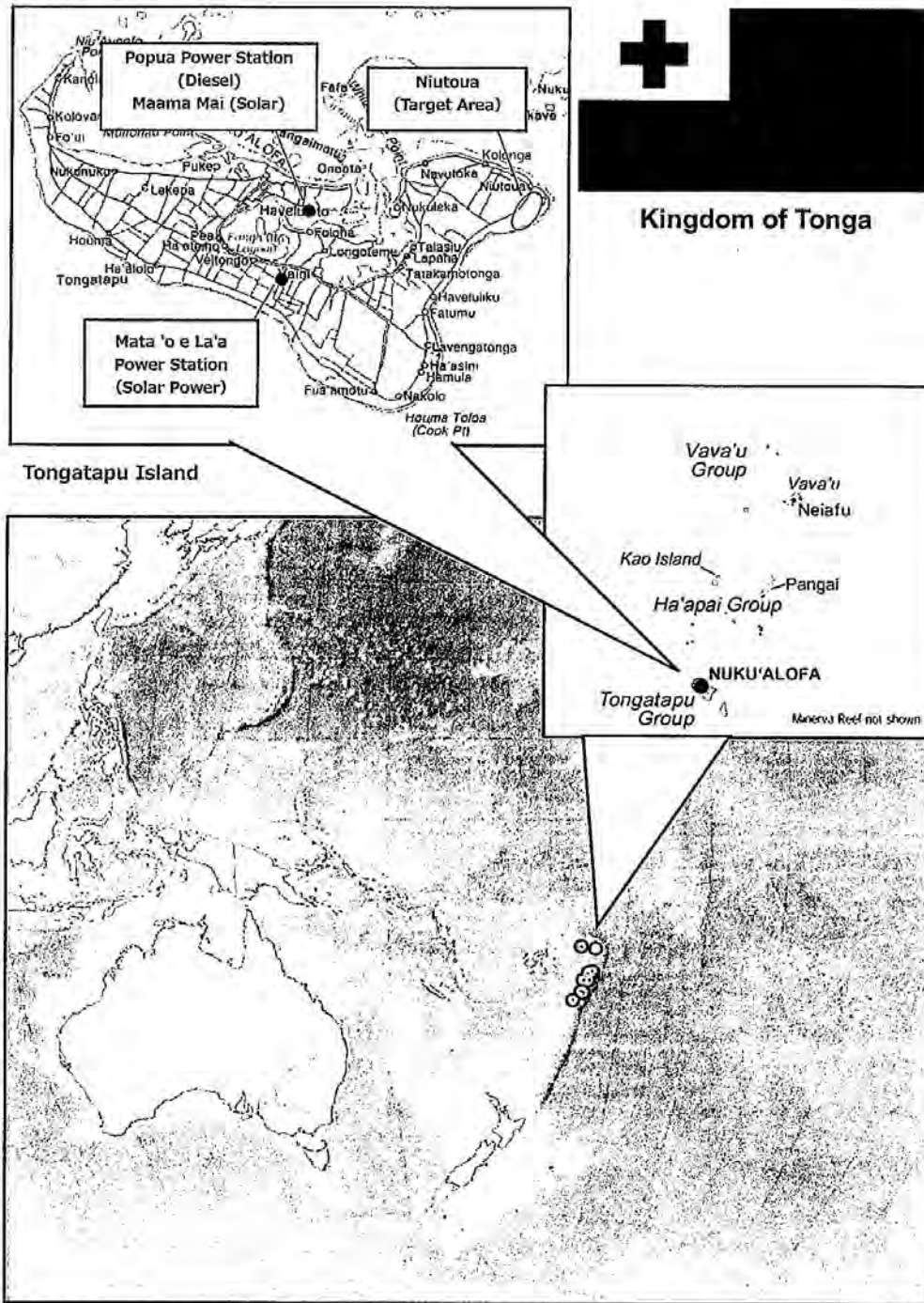


- Annex 4 Major Undertakings to be taken by the Government of Tonga
- Annex 5 Project Monitoring Report (template)
- Annex 6 Environmental Check List
- Annex 7 Environmental Management Plan/Environmental Monitoring Plan
- Annex 8 Abbreviated Resettlement Action Plan
- Annex 9 Environmental and Social Monitoring Form

青

on. R
B M.

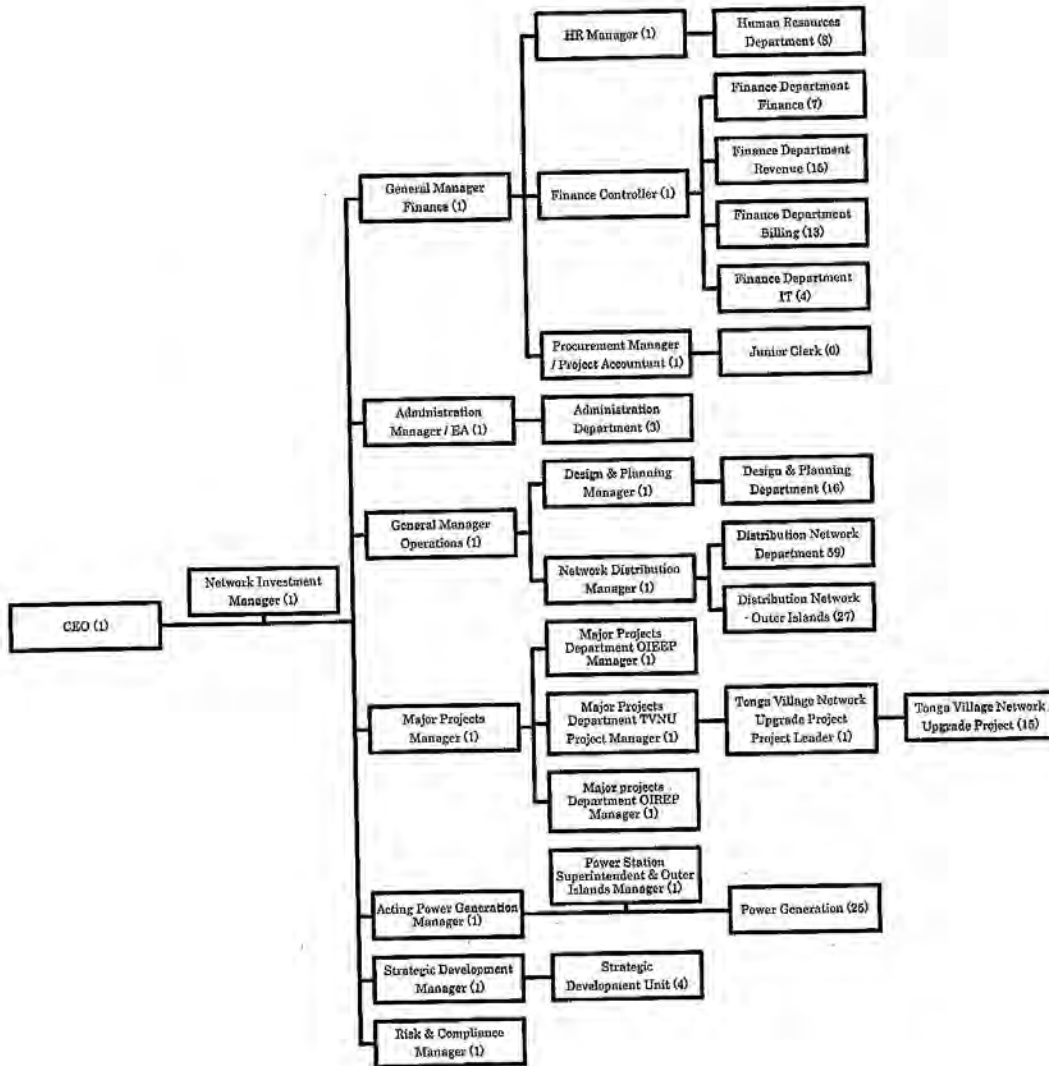
Annex 1 Project Site



[Handwritten mark]

[Handwritten initials: JM, BA, M.]

Annex 2 Organization Chart



[Handwritten mark]

[Handwritten initials: DM, M, and others]

Annex 4 Major Undertakings to be taken by the Government of Tonga

Major Undertakings to be taken by the Government of Tonga

1. Specific obligations of the Government of Tonga which will not be funded with the Grant

(1) Before the Tender

NO	Items	Deadline	In charge	Cost	Ref.
1	To open Bank Account (Banking Arrangement (B/A))	within 1 month after G/A	TPL MOFNP	32,000 TOP	
2	To approve IEE/EIA (Conditions of approval should be fulfilled, if any) and secure the necessary budget for implementation.	Done	TPL MEIDCC		
3	To secure the necessary budget and implement land acquisition, and compensation with full replacement cost in accordance with RAP	till land acquisition and resettlement complete	TPL MEIDCC		
4	To secure the following lands for 1) project sites for wind turbine and storage system 2) access road outside of the project site 3) distribution line	within 1 month after G/A	TPL	143,000 TOP	
5	To implement RAP, and to submit the monitoring results to JICA	within 1 month after G/A	TPL		
5	To obtain the planning, zoning, building permit	before notice of the tender document	TPL		
6	To clear, level and reclaim the following sites 1) project sites for wind turbine and stabilization system (batteries) 2) access road (outside the project site) 3) right of way of distribution line	before notice of the tender document	TPL	903,000 TOP	
7	To construct access road for materials transportation	before notice of the tender document	TPL	492,000 TOP	
8	To submit Project Monitoring Report (with the result of Detail Design)	before preparation of bidding documents	TPL		

(2) During the Project Implementation

NO	Items	Deadline	In charge	Estimated Cost	Ref.
1	To issue A/P to a bank in Japan (the Agent Bank) for the payment to the Supplier(s)	within 1 month after the signing of the contract(s)	TPL		
2	To bear the following commissions to a bank in Japan for the banking services based upon the B/A				
	1) Advising commission of A/P	within 1 month after the signing of the contract(s)	TPL		
	2) Payment commission for A/P	every payment	TPL/MOF NP		
3	To ensure prompt unloading and customs clearance at ports of disembarkation in recipient country and to assist the Supplier(s) with internal transportation therein	during the Project	TPL/NOF NP		
4	To accord Japanese nationals and/or physical persons of third countries whose services may be required in connection with the supply of the products and the services such facilities as may be necessary for their entry into the country of the Recipient and stay therein for the	during the Project	TPL		

	performance of their work				
5	To ensure that customs duties, internal taxes and other fiscal levies which may be imposed in the country of the Recipient with respect to the purchase of the products and/or the services be exempted;	during the Project	TPL		
6	To bear all the expenses, other than those covered by the Grant, necessary for the implementation of the Project	during the Project	TPL		
7	To submit Project Monitoring Report after each work under the contract(s) such as shipping, hand over, installation and operational training	within one month after completion of each work	TPL		
	1) To submit Project Monitoring Report (final)	within one month after signing of Certificate of Completion for the works under the contract(s)	TPL		
8	To submit a report concerning completion of the Project	within six months after completion of the Project	TPL		
9	To take necessary measure for safety construction - traffic control - rope off	during the construction	TPL		
10	To implement EMP and EMoP	during the construction	TPL		
11	To submit results of environmental monitoring to JICA, by using the monitoring form, on a quarterly basis as a part of Project Monitoring Report	during the construction	TPL		
12	To implement RAP	for a period based on livelihood restoration program	TPL		
13	To implement social monitoring, and to submit the monitoring results to JICA, by using the monitoring form, on a quarterly basis as a part of Project Monitoring Report	- until the end of livelihood restoration program (In case that livelihood restoration program is provided) - for two years after land acquisition and resettlement complete (In case that livelihood restoration program is not provided)	TPL		

(3) After the Project

NO	Items	Deadline	In charge	Estimated Cost	Ref.
----	-------	----------	-----------	----------------	------

[Handwritten mark]

[Handwritten initials]

[Handwritten initials]

[Handwritten initials]

1	To implement EMP and EMOp	for a period based on EMP and EMOp	TPL		
2	To submit results of environmental monitoring to JICA, by using the monitoring form, semiannually - The period of environmental monitoring may be extended if any significant negative impacts on the environment are found. The extension of environmental monitoring will be decided based on the agreement between TPL and JICA.	for three years after the Project	TPL		
3	To maintain and use properly and effectively the facilities constructed and equipment provided under the Grant Aid 1) Allocation of maintenance cost 2) Operation and maintenance structure 3) Routine check/Periodic inspection	After completion of the construction	TPL		

5

JW PD
SH M.

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

2. Other obligations of the Government of Tonga funded with the Grant

NO	Items	Deadline (project completion)	Amount (Million Japanese Yen)*
1	To install wind power generation system and related facilities	July 2019	/
	1) To conduct the following transportation		
	a) Marin transportation of the products from Japan and/or third countries to the recipient country b) Internal transportation from the port of disembarkation to the project site		
	2) To provide equipment with installation and commissioning		
	3) To construct roads within the project site		
2	To implement detailed design, bidding support and procurement supervision (Consulting Service)		
	Total		

*The Amount is provisional. This is subject to the approval of the Government of Japan.

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Annex 5 Project Monitoring Report (template)



Annex 5

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Project Monitoring Report
on
The Project for installation of wind power generation system
Grant Agreement No. XXXXXXXX
20XX, Month

Organizational Information

Signer of the G/A (Recipient)	Person in Charge(Designation) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____
Executing Agency	Person in Charge(Designation) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____
Line Ministry	Person in Charge(Designation) _____ Contacts Address: _____ Phone/FAX: _____ Email: _____

General Information:

Project Title	The Project for installation of wind power generation system
E/N	Signed date: Duration:
G/A	Signed date: Duration:
Source Finance of	Government of Japan: Not exceeding JPY _____ mil. Government of (_____): _____

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

1: Project Description

1-1 Project Objective

This project will procure the 1.3 MW wind power generation system in Niutoua, including system stabilization system, connection of electric cable to existing grid, and optical cable, to achieve the energy security by increasing of the ratio of renewable energy in Tonga and ensuring the quality of electric power.

1-2 Project Rationale

- Higher-level objectives to which the project contributes (national/regional/sectoral policies and strategies)
- Situation of the target groups to which the project addresses

- Higher-level objectives
Achieving 50% electricity generation from renewable energy generation by 2020 in order to achieve the government Tonga Energy Road Map (TERM) objective and significant tariff reductions.

- Situation of the target groups
Tonga Power Limited (TPL), the implementing agency of the Project, has totally 210 staff. Although sales and profits are up and down every few years, overall sales are steadily rising. In addition, gross profit is the highest in 2015. Operating profit is also maintaining high level. TPL posted net income from fiscal year of 2009 and secured profit of about 2 million TOP in recent years.

1-3 Indicators for measurement of "Effectiveness"

Quantitative indicators to measure the attainment of project objectives		
Indicators	Original (Yr 2016)	Target (Yr 2022)
Power generation by wind turbine	0 MWh/Yr	4,296 MWh/Yr
Load factor	0 %	35.7%
Availability factor	0 %	90.7%
Reduction of diesel oil	0 kL/Yr 0 TOP/Yr	1,079 kL/Yr 1,492,810 TOP/Yr
Ratio of renewable energy	7.42 % (photovoltaics) 0 % (wind generation)	6.42 % (photovoltaics) 7.32 % (wind generation)
Greenhouse gas reduction	0 tCO ₂ /Yr	2,903 tCO ₂ /Yr
Qualitative indicators to measure the attainment of project objectives		
Diversification of source for power supply		
Stable supply of energy		

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

2: Details of the Project

2-1 Location

Components	Original <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual
1. Wind power generation system	Niutoua, Tongatapu Island	

2-2 Scope of the work

Components	Original* <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual*
1. Wind turbine	275kW x 5 unit = 1.375MW	
2. System stabilization system	Type: lithium-ion capacitor (Lic) Use: for cycle use Capacity: 14 kWh or more (7kWhx2)	
3. Electric cable	Connection to existing grid at Niutoua	
4. Optical cable	Connection between wind power station at Niutoua and Popua power station	

Reasons for modification of scope (if any).

(PMR)

2-3 Implementation Schedule

Items	Original		Actual
	<i>(proposed in the outline design)</i>	<i>(at the time of signing the Grant Agreement)</i>	
1. Detailed design			
Field Work	May, 2017		
Analysis and design	May to June, 2017		
Review of Equipments	June, 2017		
Preparation of tender documents	July, 2017		
Approval of tender documents	August, 2017		
Public notice	September, 2017		
Distribution of tender documents	September, 2017		
Tender opening	November, 2017		
Tender evaluation	November, 2017		
Contract signing	November, 2017		
2. Lot 1 (wind turbine)			
Drawing of equipments	December 2017 to January 2018		
Site study, survey and test drilling	December 2017		

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Manufacturing (wind turbine)	December 2017 to June 2018		
Manufacturing (Tower)	February 2018 to June 2018		
Product inspection Equipment	June 2018		
Inspection before shipping	July 2018		
Shipping, transport (wind turbine)	May 2018 to September 2018		
Shipping, transport (tower)	July 2018 to September 2018		
Installation	July 2018 to December 2018		
Adjustment, trial operation	December 2018 to January 2019		
Operation guidance	January 2019 to February 2019		
Acceptance inspection, handover	February 2019		
3. Lot 2 (system stabilization system and cables)			
Drawing of equipments	January 2018 to March 2018		
Manufacturing of Equipment	March 2018 to September 2018		
Product inspection Equipment	September 2018		
Inspection before shipping	September 2018		
Shipping, transport	September 2018 to November 2018		
Installation	November 2018 to December 2018		
Adjustment, trial operation	December 2018 to February 2019		
Operation guidance	February 2019 to March 2019		
Acceptance inspection, handover	March 2019		
Construction of transmission line	August 2018 to December 2018		
Construction of communication line	September 2018 to December 2018		
Building work	July 2018 to November 2018		

Reasons for any changes of the schedule, and their effects on the project (if any)

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

2-4 Obligations by the Recipient
2-4-1 Progress of Specific Obligations
 See Attachment 2.

2-4-2 Activities
 See Attachment 3.

2-4-3 Report on RD
 See Attachment 11.

2-5 Project Cost

2-5-1 Cost borne by the Grant(Confidential until the Bidding)

Components			Cost (Million Yen)	
	Original <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual <i>(in case of any modification)</i>	Original ^{1),2)} <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual
	I.			
Total				

Note: 1) Date of estimation;
 2) Exchange rate: 1 US Dollar = Yen

2-5-2 Cost borne by the Recipient

Components			Cost (1,000 TOP)	
	Original <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual <i>(in case of any modification)</i>	Original ^{1),2)} <i>(proposed in the outline design)</i>	Actual
	1. Site acquisition		243,000	
	2. Ground leveling, cutting tree		903,000	
	3. Fence and gate		65,000	

G/A NO. XXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

4. Access road		492,000	
5. Guard station		8,000	
6. Lavatory		5,600	
7. Water supply and drainage		62,000	
8. Procurement of fixtures		500	
9. Commission related to B/A (assumption)		32,000	
		1,811,100	

Note: 1) Date of estimation:
 2) Exchange rate: 1 US Dollar =

Reasons for the remarkable gaps between the original and actual cost, and the countermeasures (if any)

(PMR)

2-6 Executing Agency

- Organization's role, financial position, capacity, cost recovery etc,
- Organization Chart including the unit in charge of the implementation and number of employees.

<p>Original (at the time of outline design)</p> <p>name: Toga Power Limited (TPL)</p> <p>role: power supply to all of country</p> <p>financial situation: soundness</p> <p>institutional and organizational arrangement (organogram): Business Plan 2017 - 2020</p> <p>human resources (number and ability of staff): 210</p>
<p>Actual (PMR)</p>

2-7 Environmental and Social Impacts

- The results of environmental monitoring based on Attachment 5 (in accordance with Schedule 4 of the Grant Agreement).
- The results of social monitoring based on in Attachment 5 (in accordance with Schedule 4 of the Grant Agreement).
- Disclosed information related to results of environmental and social monitoring to local stakeholders (whenever applicable).

3: Operation and Maintenance (O&M)

- 3-1 Physical Arrangement**
- Plan for O&M (number and skills of the staff in the responsible division or section, availability of manuals and guidelines, availability of spareparts, etc.)

<p>Original (at the time of outline design)</p> <p>TPL is operating power stations (diesel, PV) in whole countries, is maintaining those facilities by cooperation with manufactures of diesel generator and PV, and TPL has accumulated experience and gotten knowlaege and skills. Therefore, Japan recommended that TPL had better conclude mid-long term service agreement with the manufacturer for maintenance and trouble shooting, because 300 kW scale wind turbine system will be the first time in Tonga.</p>
<p>Actual (PMR)</p>

- 3-2 Budgetary Arrangement**
- Required O&M cost and actual budget allocation for O&M

<p>Original (at the time of outline design)</p> <p>365,000TOP/Year for O&M of wind turbine</p>
<p>Actual (PMR)</p>

4: Potential Risks and Mitigation Measures

- Potential risks which may affect the project implementation, attainment of objectives, sustainability
- Mitigation measures corresponding to the potential risks

Assessment of Potential Risks (at the time of outline design)

Potential Risks	Assessment
1. Renewable Energy Project funded by China	Probability: High/Moderate/Low
	Impact: High/Moderate/Low
	Analysis of Probability and Impact: Voltage instability, large-scale blackout in whole of Tongatapu Island
	Mitigation Measures:

G/A NO. XXXXXXXX
 PMR prepared on DD/MM/YY

	Grid stabilization in the Tongatapu Island such as installing batteries
	Action required during the implementation stage:
	Installation of storage batteries, power limitation of PV funded by China
	Contingency Plan (if applicable):
2. (Description of Risk)	Probability: High/Moderate/Low
	Impact: High/Moderate/Low
	Analysis of Probability and Impact:
	Mitigation Measures:
	Action required during the implementation stage:
	Contingency Plan (if applicable):
3. (Description of Risk)	Probability: High/Moderate/Low
	Impact: High/Moderate/Low
	Analysis of Probability and Impact:
	Mitigation Measures:
	Action required during the implementation stage:
	Contingency Plan (if applicable):
Actual Situation and Countermeasures	
(PMR)	

5: Evaluation and Monitoring Plan (after the work completion)

子

BH

Handwritten signatures and initials.

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

5-1 Overall evaluation

Please describe your overall evaluation on the project.

5-2 Lessons Learnt and Recommendations

Please raise any lessons learned from the project experience, which might be valuable for the future assistance or similar type of projects, as well as any recommendations, which might be beneficial for better realization of the project effect, impact and assurance of sustainability.

5-3 Monitoring Plan of the Indicators for Post-Evaluation

Please describe monitoring methods, section(s)/department(s) in charge of monitoring, frequency, the term to monitor the indicators stipulated in 1-3.

G/A NO. XXXXXXXX
PMR prepared on DD/MM/YY

Attachment

1. Project Location Map
2. Specific obligations of the Recipient which will not be funded with the Grant
3. Monthly Report submitted by the Consultant
- Appendix - Photocopy of Contractor's Progress Report (if any)
 - Consultant Member List
 - Contractor's Main Staff List
4. Check list for the Contract (including Record of Amendment of the Contract/ Agreement and Schedule of Payment)
5. Environmental Monitoring Form / Social Monitoring Form
6. Monitoring sheet on price of specified materials (Quarterly)
7. Report on Proportion of Procurement (Recipient Country, Japan and Third Countries) (PMR (final) only)
8. Pictures (by JPEG style by CD-R) (PMR (final) only)
9. Equipment List (PMR (final) only)
10. Drawing (PMR (final) only)
11. Report on RD (After project)

Attachment 6

Monitoring sheet on price of specified materials

1. Initial Conditions (Confirmed)

Items of Specified Materials	Initial Volume A	Initial Unit Price (¥) B	Initial total Price C=A x B	1% of Contract Price D	Condition of payment Price	
					(Decreased) E=C-D	(Increased) F=C+D
Item 1	●●t	●	●	●	●	●
Item 2	●●t	●	●	●		
Item 3						
Item 4						
Item 5						

2. Monitoring of the Unit Price of Specified Materials

(1) Method of Monitoring : ●●

(2) Result of the Monitoring Survey on Unit Price for each specified materials

Items of Specified Materials	1st month, 2015	2nd month, 2015	3rd month, 2015	4th	5th	6th
Item 1	●	●	●			
Item 2						
Item 3						
Item 4						
Item 5						

(3) Summary of Discussion with Contractor (if necessary)

..

Handwritten signatures and initials, including a large 'M' and other illegible marks.

Report on Proportion of Procurement (Recipient Country, Japan and Third Countries)
(Actual Expenditure by Construction and Equipment each)

	Domestic Procurement (Recipient Country) A	Foreign Procurement (Japan) B	Foreign Procurement (Third Countries) C	Total D
Construction Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Direct Construction	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Cost				
others	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Equipment Cost	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Design and Supervision	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	
Cost				
Total	(A/D%)	(B/D%)	(C/D%)	

8/7

Handwritten signatures and initials: JM, M., and a circled mark.

Annex 6 Environmental Check List

Environmental Check List - Power Plant and Transmission Line

Category	Environmental Item	Main Check Items	Yes: Y No: N	Confirmation of Environmental Considerations (Reasons, Mitigation Measures)
1 Permits and Explanation	(1) EIA and Environmental Permits	(a) Have EIA reports been already prepared in official process? (b) Have EIA reports been approved by authorities of the host country's government? (c) Have EIA reports been unconditionally approved? If conditions are imposed on the approval of EIA reports, are the conditions satisfied? (d) In addition to the above approvals, have other required environmental permits been obtained from the appropriate regulatory authorities of the host country's government?	(a) Y (b) Y (c) Y (d) Y	(a) TPL and New Zealand have prepared EIA. (b) The EIA Report was approved by the Ministry of lands, Environment, Climate Change and Natural Resources (MLECCNR). (c) EIA report has been unconditionally approved. (d) The EIA report required for building permission has been prepared by TPL and will be submitted to MLECCNR.
	(2) Explanation to the Local Stakeholders	(a) Have contents of the project and the potential impacts been adequately explained to the Local stakeholders based on appropriate procedures, including information disclosure? Is understanding obtained from the Local stakeholders? (b) Have the comment from the stakeholders (such as local residents) been reflected to the project design?	(a) Y (b) Y	(a) Stakeholder meetings were held in August 2014 and April 2016. (b) The comments from stakeholders was reflected to the transmission line route plan.
	(3) Examination of Alternatives	(a) Have alternative plans of the project been examined with social and environmental considerations?	(a) Y	(a) The alternative routes of distribution lines and Zero-option were compared in order to minimize the impact on environment and society.
2 Pollution Control	(1) Air pollution	(a) Is there any possibility that SO _x , NO _x , or air polluting particles from the power plant cause air pollution? If the air pollution is anticipated, are adequate measures considered?	(a) N	(a) There is no possibility of air pollution.
	(2) Water Quality	(a) Is there any possibility that soil runoff from the power plant? If the water quality degradation is anticipated, are adequate measures considered?	(a) N	(a) There is no possibility of soil runoff from the power plant.
	(3) Wastes	(a) Will wastes from the power plant adequately disposed?	(a) Y	(a) Storage battery will be recycled or adequately disposed based on the Law of Tonga.
	(4) Soil pollution	(a) Has the soil been contaminated before? If so, are adequate measures considered?	(a) N	(a) The soil has not been contaminated before.

	(5) Noise, vibration, electromagnetic effect, low frequency effect	(a) Is there any possibility that noise and vibration from the power plant meets the local requirement? (b) Is there any possibility that low frequency sound meets the local requirement?	(a) Y (b) Y	(a) There is no regulation in Tonga, so the 40dB regulated in New Zealand is applied. The noise level is 35dB, so it meets the requirement. (b) ditto
	(6) Ground subsistence	(a) Is there any possibility that overuse of ground water cause ground subsistence?	(a) N	(a) There is no possibility of pumping of groundwater.
	(7) Offensive odor	(a) Is there any offensive odor emission source? Will adequate measures be considered?	(a) N	(a) There is no possibility of offensive odor emission source.
3 Natural Environment	(1) Protected Areas	(a) Is the project site located in protected areas designated by the country's laws or international treaties and conventions? Is there a possibility that the project will affect the protected areas?	(a) N	(a) There are no protected forest areas near the project area.
	(2) Ecosystem	(a) Does the project site encompass primeval forests, tropical rain forests, ecologically valuable habitats (e.g., coral reefs, mangroves, or tidal flats)? (b) Does the project site encompass the protected habitats of endangered species designated by the country's laws or international treaties and conventions? (c) If significant ecological impacts are anticipated, are adequate protection measures taken to reduce the impacts on the ecosystem? (d) Are adequate measures taken to prevent disruption of migration routes and habitat fragmentation of wildlife and livestock? (e) Is there any possibility that the project will cause the negative impacts, such as destruction of forest, poaching, desertification, reduction in wetland areas, and disturbance of ecosystem due to introduction of exotic (non-native invasive) species and pests? Are adequate measures for preventing such impacts considered? (f) Are adequate measures taken to prevent disruption of migration routes and habitat fragmentation of wildlife and livestock? (g) Is there any possibility that the project will cause the negative impacts, such as destruction of forest, poaching, desertification, reduction in wetland areas, and disturbance of ecosystem due to introduction of exotic (non-native invasive) species and pests? Are adequate measures for preventing such impacts considered? (h) In cases where the project site is located in undeveloped areas, is	(a) N (b) N (c) N (d) N (e) N (f) N (g) N (h) N	(a) There are no ecological valuable habitats in the project area. (b) There are no protected habitats living in the project area. (c)(d)(e)(f)(g)(h) The impact on ecosystem is not expected.

[Handwritten mark]

[Handwritten signatures]

		there any possibility that the new development will result in extensive loss of natural environments?		
	(3) Water system	(a) Is there any impact on water system such as stream regime, wave, or water tide?	(a) N	(a) There is no impact on water system.
	(4) Topography and Geology	(a) Is there any possibility that civil works, such as cutting and filling will cause change in topography or geology? (b) Is there any soft ground on the route of power transmission and distribution lines that may cause slope failures or landslides? Are adequate measures considered to prevent slope failures or landslides, where needed? (c) Is there any possibility that civil works, such as cutting and filling will cause slope failures or landslides? Are adequate measures considered to prevent slope failures or landslides? (d) Is there a possibility that soil runoff will result from cut and fill areas, waste soil disposal sites, and borrow sites? Are adequate measures taken to prevent soil runoff?	(a) N (b) N (c) N (d) N	(a) Works which cause slope failures or landslides are not expected. (b) The project sites are almost flat and don't have the soft ground that may cause slope failures or landslides. (c)(d) Works which cause slope failures or landslides are not expected.
4 Social Environment	(1) Resettlement	(a) Is involuntary resettlement caused by project implementation? If involuntary resettlement is caused, are efforts made to minimize the impacts caused by the resettlement? (b) Is adequate explanation on compensation and resettlement assistance given to affected people prior to resettlement? (c) Is the resettlement plan, including compensation with full replacement costs, restoration of livelihoods and living standards developed based on socioeconomic studies on resettlement? (d) Are the compensations going to be paid prior to the resettlement? (e) Are the compensation policies prepared in document? (f) Does the resettlement plan pay particular attention to vulnerable groups or people, including women, children, the elderly, people below the poverty line, ethnic minorities, and indigenous peoples? (g) Are agreements with the affected people obtained prior to resettlement? (h) Is the organizational framework established to properly implement resettlement? Are the capacity and budget secured to implement the plan? (i) Are any plans developed to	(a) N (b) Y (c) Y (d) Y (e) N (f) Y (g) Y (h) Y (i) Y (j) Y	(a) (b)(c) Land acquisition for the project does not involve resettlement because the project is developed in the unused land. (d) The compensation payment is completed before starting the construction. (e) Compensation policies for land acquisition was explained in the public meeting and no objection was raised. (f)(g)(h)(i) Land acquisition for the project does not involve resettlement because the project is developed in the unused land. (j) TPL handles complaints through its customer service section.

		monitor the impacts of resettlement? (j) Is the grievance redress mechanism established?		
4 Social Environment	(2) Living and Livelihood	(a) Is there a possibility that the project will adversely affect the living conditions of inhabitants? Are adequate measures considered to reduce the impacts, if necessary? (b) Is there a possibility that water intake for the project impact the current water use?	(a) N (b) N	(a) there is no impact on residents around the Project site. (b) There is no water intake for the project.
	(3) Heritage	(a) Is there a possibility that the project will damage the local archeological, historical, cultural, and religious heritage? Are adequate measures considered to protect these sites in accordance with the country's laws?	(a) N	(a) There is no local archaeological, historical, cultural, and religious heritage affected by project.
	(4) Landscape	(a) Is there a possibility that the project will adversely affect the local landscape? Are necessary measures taken?	(a) N	(a) There is not any local landscape affected by project.
	(5) Ethnic Minorities and Indigenous Peoples	(a) Are considerations given to reduce impacts on the culture and lifestyle of ethnic minorities and indigenous peoples? (b) Are all of the rights of ethnic minorities and indigenous peoples in relation to land and resources respected?	(a) N (b) N	(a) (b) There are not any ethnic minority and indigenous people in and around the project area.
	(6) Working Conditions	(a) Is the project proponent not violating any laws and ordinances associated with the working conditions of the country which the project proponent should observe in the project? (b) Are tangible safety considerations in place for individuals involved in the project, such as the installation of safety equipment which prevents industrial accidents, and management of hazardous materials? (c) Are intangible measures being planned and implemented for individuals involved in the project, such as the establishment of a safety and health program, and safety training (including traffic safety and public health) for workers etc.? (d) Are adequate measures being planned and implemented for guard for the project not to affect safety of the individuals involved in the project and residents?	(a) Y (b) Y (c) Y (d) Y	(a) The project will be implemented in compliance with the Labor Law stipulated in Tonga. (b) The contractor shall conduct the safety consideration measures on hardware in accordance with all safety working standards. (c)(d)The contractor shall prepare the safety and health management plan and conduct safety education and training for workers.

5 Others	(1) Impacts during Construction	(a) Are adequate measures considered to reduce impacts during construction (e.g., noise, vibrations, turbid water, dust, exhaust gases, and wastes)? (b) If construction activities adversely affect the natural environment (ecosystem), are adequate measures considered to reduce impacts? (c) If construction activities adversely affect the social environment, are adequate measures considered to reduce impacts?	(a) Y (b) Y (c) Y	(a) Pollution is hardly expected. (b) The impact on natural environment is hardly expected. (c) There is possibility of the impact on social environment. The contractor shall take appropriate safety measures to avoid traffic and construction accidents.
	(2) Monitoring	(a) Does the proponent develop and implement monitoring program for the environmental items that are considered to have potential impacts? (b) What are the items, methods and frequencies of the monitoring program? (c) Does the proponent establish an adequate monitoring framework (organization, personnel, equipment, and adequate budget to sustain the monitoring framework)? (d) Are any regulatory requirements pertaining to the monitoring report system identified, such as the format and frequency of reports from the proponent to the regulatory authorities?	(a) Y (b) Y (c) Y (d) N	(a) Monitoring program is prepared on air pollution, noise/ vibration, protected area/ ecosystem, living, traffic and working condition. (b) Public meeting and monthly observation survey in the site will be conducted. (c) EDC will establish the monitoring system and conduct monitoring with responsibility of the monitoring cost. (d) At present, the format and the frequency of the report are not provided from regulatory authorities.
6 Note	Reference to Checklist of Other Sectors	(a) Where necessary, pertinent items described in the Transmission line and facilities checklist should also be checked (e.g., projects including installation of electric transmission lines and/or electric distribution facilities). (b) Where necessary, pertinent items described in the Road checklist should also be checked (e.g., projects including installation of electric transmission lines and/or electric distribution facilities).	(a) Y (b) N	(a) Check list for Transmission line and facilities is compiled. (b) Temporary access road is not constructed because a road that can be used as access road is planned to have been constructed before the construction of the Project starts.
	Note on Using Environmental Checklist	(a) If necessary, the impacts to transboundary or global issues should be confirmed, (e.g., the project includes factors that may cause problems, such as transboundary waste treatment, acid rain, destruction of the ozone layer, or global warming).	(a) N	(a) There is no possibility to impact on the transboundary or global environment due to the small construction work.

Annex 7 Environmental Management Plan/Environmental Monitoring Plan

1. Mitigation Measures

The mitigation measures were examined about the negative impact items assumed in the impact assessment.

No.	Items	Mitigation measure	Implementation organization	Responsible organization
1	Wastes	<ul style="list-style-type: none"> ➤ The disposal of lead-acid storage batteries as facility of storage electricity is managed by the sole recycling company in Tonga, called "GIO Recycling", which export them to Korea to recycle. TPL will keep the budget for this and execute the disposal of battery. Regarding capacitor of lithium-ion, it needs to be disposed under the approval of Waste Authority Ltd (WAL) which established the regulation of waste disposal management in Tonga. 	TPL Waste Authority Limited (WAL)	TPL
2	Land Acquisition	<ul style="list-style-type: none"> ➤ TPL will explain about the construction well with land owners of targeted site. ➤ The payment of compensation of the land will proceed after the discussion between TPL and land owners. ➤ After the lease agreement between TPL and land owners, the contract will be submitted to Department of Lands and Survey. ➤ On the contract, the duration of lease (usually 50 years), the condition of the use during the construction, customer service center to receive the complaint from customers and other necessary items need to be mentioned. 	TPL, Department of Lands and Survey	TPL
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ In order to settle the transmission line, the plotted map needs to be submitted to Ministry of Lands Survey and Natural Resources and get approval of ROW. 	TPL MLSNRE	TPL
3	Accident	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Needs to be pay attention to working environment of workers. ➤ With safety standard and climate of Tonga, safety management guidance needs to be structured. ➤ Safety management assembly needs to be executed to enhance self awareness of accident by each worker. 	Contractor	TPL

*TPL : Tonga Power Limited, MLSNRE: Ministry of Lands Survey and Natural Resources

2. Implementation System of Environmental Management and Monitoring

TPL is responsible for entire implementation of the project and explains the detailed construction schedule to local people before construction. TPL regularly patrols surrounding of the site during construction and if the problem is found. In the case that residents in the project area have grievance or any environmental and social problems occurs, EDC will attempt to solve them.

The implementation system of environmental management and monitoring plan is as follows

5

BF
M.

Organization	Responsibilities
TPL	<ul style="list-style-type: none"> ➤ TPL is directly responsible for EMP and the monitoring plan. ➤ TPL explains the detailed construction schedule and route. ➤ TPL regularly patrols the surrounding of the sites. ➤ If a problem is found, TPL provides staff in charge of environmental matters to the site for the status check. ➤ TPL solves the grievance during construction and operation.
WAL	➤ WAL approves disposal of a battery.
MLSNRE	➤ MLSNRE reviews the application of transmission line and approves the Right of the Way.

3. Monitoring Plan

The monitoring plan is prepared according to the mitigation measures.

Item	Parameters to be Monitored and Measures	Location	Frequency	Implementing /Responsible Organization
Pre-construction phase				
All items	Checking the final engineering design	—	At the detailed and the final design stage	TPL
	Preparation and verification of the safety and health management plan	—	At the final design stage	TPL
	Public consultation	Project sites	Once or twice	TPL
Construction phase				
Waste	Wastes of construction: interview of leader at the construction site to check the amount of wastes and its final place to be disposed. Lead battery: check the receipt of the wastes by final receiver. Lithium-ion capacitor: check the way of disposal	Around the project site, Offices of receiver and WAL	At the time of disposal	TPL, Contractor, WAL.
Accident	Implementation of safety management assembly Public consultation of status of management of construction material and accidents	Around the project site	Monthly	Contractor, TPL
Operation and maintenance phase				
Waste	Wastes of construction: interview of leader at the construction site to check the amount of wastes and its final place to be disposed. Lead battery: check the receipt of the wastes by final receiver. Lithium-ion capacitor: check the way of disposal.	Around the project site, Offices of receiver and WAL	At the time of disposal	TPL, WAL
Accident	Implementation of safety management assembly. Public consultation of status of accidents.	Around the project site	Monthly	TPL

Annex 8 (Abbreviated) Resettlement Action Plan

Abbreviated Resettlement Plan

1. Project outline

The objective of this Project is to install a wind power station by Japan's Grant Aid. Therefore, the Project also aims to install a storage battery facility which will be connected to the existing power supply grid to secure and stabilize the system of wind power facilities. The planned site for the construction of the wind power station, Niutoua Village, is located at the northeast of Tonga's largest island, Tongatapu. The site encompasses seven blocks of farmland and is 180 m from the eastern coastline. Resettlement for this Project is not necessary because the planned site is almost unused farmland.

2. Latent impact of resettlement

a. Project component that requires land lease

Wind power station and a storage battery facility

b. Affected area

Seven blocks of farmland planned for construction of the wind power station and the residential area in Niutoua Village which is 1 km away from the planned site

c. Alternative plan

A comparison table of the case of implementing the Project and the zero option (non-implementation) of the construction is as shown in the following table. By carrying out the Project, environmental impacts, such as land acquisition, air pollution from the exhaust gas, noise and dust during construction, will occur. Also the Project will incur a financial cost. However, the construction of a wind power station will provide sustainable and economical power supply in Tonga.

JM

考

M.

Table 1: Comparison of the case of building wind power station and the zero option

Item		Zero option	Implementation of the Project
Facility of wind power station		0 point	5 points
Installation of electrical line		0m	approximately 2.0km
Technical consideration		<ul style="list-style-type: none"> Power generation by diesel engine will be main source and against Tonga government policy of saving energy, which prevents reducing the consumption of imported energy. 	<ul style="list-style-type: none"> The acquisition of power by renewable energy will enable for residents to reduce the payment of tariff of electricity.
Environmental and social consideration	Social environment	<ul style="list-style-type: none"> If the electrical line is not installed, the facility of wind power system is left unattended. 	<ul style="list-style-type: none"> For the purpose of installing the facility of wind power system, the acquisition of ROW is necessary, however, on the basis of discussion with landowner and TPL, the compensation will be paid. The agreement between TPL and landowner on this moment prevents the trouble which might happen prior to construction and after starting actual service. The construction is not implemented in the residential area, therefore, residents shall not need to move.
	Natural environment	<ul style="list-style-type: none"> Already most lands have been developed as farmland or rangeland, thus neither animals nor plants to be protected inhabit. Power is generated by diesel fuel, so the damage for natural environment is not avoidable. 	<ul style="list-style-type: none"> No animals or plants inhabit which needs to be protected. Thus, no bad influence on natural environment. No bad influence on natural environment such as trees because the electrical line is planned to be build along the public road.
	Anti-pollution measures	<ul style="list-style-type: none"> Exhaust gas or dust is observed from trucks or buses on unpaved roads. 	<ul style="list-style-type: none"> Exhaust gas or dust is emitted by vehicles for construction, however, the pollution does not exceed over the average because of short period of construction. No influences on the residents in terms of noise because the construction site is remote from residential area.
Recommended proposal and reason		<p style="text-align: center;">Deprecated</p> <ul style="list-style-type: none"> On the current condition, the consumption of imported diesel does not change, which is problem in the view of saving energy. Against the TERM settled by Tonga government to take measures in high price of imported fuel. 	<p style="text-align: center;">Recommended as optimal proposal</p> <ul style="list-style-type: none"> Applying renewable energy contributes to lower consumption of imported fuel and lower burden of electricity tariff by residents.

d. Measures to minimize impact of latent resettlement

- Due explanation to leaseholders of the planned site by Tonga Power Limited (TPL)
- Prompt procedure for compensation of land lease
- Clear stipulation of lease conditions, such as lease year (usually 50 years), use of land during the Project implementation, complaint handling mechanism, and other important conditions

3. Purpose of This Abbreviated Resettlement Plan

Although resettlement for this Project is not necessary, rights (consent from the leaseholders) to use the land needs to be obtained. In order for appropriate consideration for leaseholders, this abbreviated resettlement plan is prepared.

4. Social and Economic Survey

Most residential areas in Niutoua Village are in the northeast of Tongatapu, which is 1 km away from the target site. Main industries are fisheries, agriculture, livestock farming, sale of livestock, commerce and tourism. The population of the area is about 750. All of the land is owned by the King of Tonga; however, the residents can lease blocks of land. The Department of Lands and Survey under the Ministry of Lands Survey and Natural Resources (MLSNRE) has registered each land lessee. There are seven land lessees (of seven blocks of land) at the Project site as of the day when the first resident meeting on November 3rd, 2016 was public announced. Nobody lives on there, and resettlement is not necessary. There is no designated reserve for nature conservation or cultural heritage.

5. Legal Framework in accordance with the Land Acquisition

Since some of the King of Tonga's land has been subdivided to people in Tonga, the property rights of the land belongs to the leaseholders of each block. The Constitution of Tonga, revised 1988, banned the trade of the land but allowed land to be leased in accordance with Land Act, 1988 Revised Edition. Therefore, this Project site will be acquired through a lease agreement between the TPL and the leaseholders.

Moreover, the lease agreement was deliberated by Cabinet of Tonga and approved by MLSNRE. The terms of the lease are limited up to 99 years and the agreement is registered to Department of Lands and Survey. Experience shows that this process takes approximately one month from signing lease agreement.

Tongan Government does not set the price of the land legally. For this reason, the TPL has to set the compensation price with the leaseholders. The desirable compensation depends on the leaseholders, so the TPL must calculate the adequate price on the basis of the market price and proceed with the negotiation. The compensation should be paid before the beginning of the Project. However, the TPL does not need to obtain Right of Way (ROW) or pay compensation relating to the overhead lines or underground cables because the use of road is regarded as public use.

The following table compares "JICA investigation of environmental and social guidelines (April 2010)" and Tonga Land Act, 1988 Revised Edition.

Table 2: Comparison between JICA Guideline and Laws of Tonga

No.	JICA Guideline (A)	Laws of Tonga (B)	Gap between (A) and (B)	Policy of this Project
1	Compensation must be based on the full replacement cost as much as possible.	The holder of a hereditary estate shall receive from every tax allotment holder on that estate the rent prescribed by this Act without deduction.	Same level of compensation is required.	Market lease cost shall be paid.
2	When consultations are held, explanations must be given in a form, manner, and language that are understandable to the affected people.	NA	Obligation of explanation is not stipulated.	Explanation shall be given to all leaseholders.
3	Appropriate and accessible grievance mechanisms must be established for the affected people and their communications.	Before making a grant of a tax allotment out of an hereditary estate the Minister shall consult the holder thereof and hear any objections he may make to the grant being made and where the Minister and the holder of the hereditary estate fail to agree, the Minister shall nevertheless grant the land as a tax allotment but such grant shall within 3 months of the making thereof be liable to review by the Court, the decision of which on the matter shall be final.	JICA Guideline stipulates establishment of grievance mechanisms, whereas Land Law defines function of Ministry and Court as the final decision maker.	Based on JICA Guideline, the customer service section in TPL will deal with complaints.
4	Affected people are to be identified and recorded as early as possible in order to establish their eligibility through an initial baseline survey (including population census that serves as an eligibility cut-off date, asset inventory, and socioeconomic survey), preferably at the project identification stage, to prevent a subsequent influx of encroachers of others who wish to take advance of such benefits.	NA	Land Law does not give the lease acquisition mechanism associated with Project implementation.	Affected people are identified and recorded.
5	Eligibility of benefits includes, the PAPs who have formal legal rights to land (including customary and traditional land rights recognized under law), the PAPs who don't have a claim to such land or assets and the PAPs who have no recognizable legal right to the land they are occupying.	NA	Land Law does not give the lease acquisition mechanism associated with Project implementation.	There are only the PAPs who have formal legal rights to land who are eligible for benefits.
6	For projects that entail land acquisition or involuntary resettlement of fewer than 200 people, abbreviated resettlement plan is to be prepared.	NA	preparation of resettlement plan is not required.	This abbreviated resettlement plan is prepared.

6. Executive System

The TPL is proceeding with the land acquisition for the site, and it has experience negotiating for land acquisition. The person in charge of the financial department will consider the necessity and the impact of the land acquisition, scope the target area, explain details to the residents, hold a consultant meeting, and proceed with the compensation on the basis of the scale of assessment of the compensation. The customer service section will deal with complaints during the construction.

Incidentally, Figure 1 shows TPL's organizational structure regarding land acquisition.

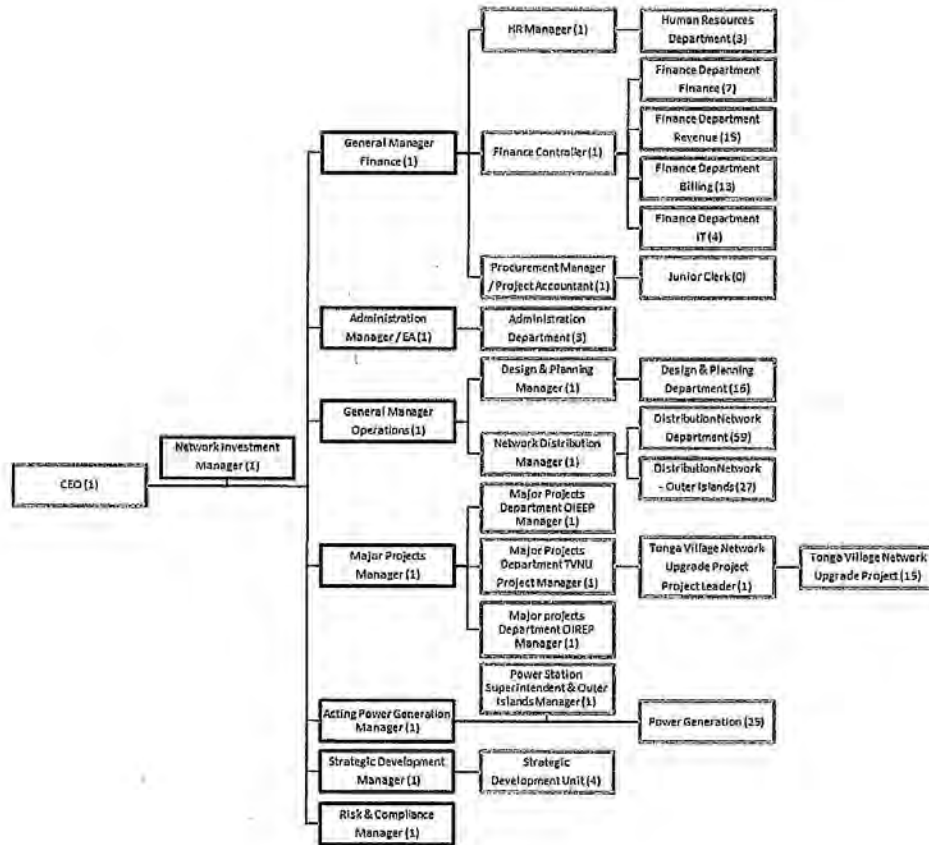


Figure 1: TPL Organization structure

Table 3: Entitlement matrix

No.	loss	beneficiaries of compensation	detail of compensation	responsibility organization
1	farm land	land owners (farmers)	Based on the judgement of TPL, compensation which is equivalent to the reacquisition price, will be paid to each land owner.	Tonga energy road map office and TPL
2	crop		Based on the judgement of TPL, compensation depending on the income from crops will be paid to each land owner.	

Tonga regulation referred: Constitution of Tonga, Revised 1988
Land Act, 1988 Revised Edition

[Handwritten mark]

[Handwritten initials: ON, M.]

7. Eligibility

The actual land acquisition will be maximum seven blocks as this Project plans five wind turbines. However, the compensation for the site is based on whether the TPL is able to acquire the land, and we assumed seven blocks will be necessary in the worst-case scenario.

In this Project, we calculated the area needed for the foundations of the turbines as wells as to conduct necessary future maintenance to confirm the applicable leaseholders. Lease agreements are planned to be concluded with these applicable leaseholders. Table 4 below demonstrates the area of land acquisition, land use and asset to be resettled.

Table 4: Land area and use and other asset to be resettled

Lot	Number of leaseholders	Area of compensation for land acquisition (m ²)	Land use	Asset to be resettled
A	1	3,032.261	unused	None
B	1	4,345.035	unused	None
C	1	4,578.846	unused	None
D	1	3,364.133	unused	None
E	1	5,826.452	unused	None
F	1	2,960.644	unused	None
G	1	3,927.156	unused	None
Total	7	28,034.527		

Note: Area includes foundation of wind turbines and maintenance space.

8. Compensation Calculation

The financial resources for the compensation cost of the land acquisition are from TPL's budget and the cost will be paid to the individual leaseholders. The cost is according to the area used for the construction. It will also be taken into account if the land acquisition causes a loss of earnings from crops. Accordingly, if there were no crops at the farm, the TPL would not need to pay any compensation costs to the leaseholders. Table 2-26 below demonstrates the compensation cost in accordance with the market price. There is no standard price of compensation by Land Act of Tonga, so the final decision depends on the present land situation and/or the market price.

9. Residents Meeting

TPL has already held a few residents meetings regarding the expansion of the existing power lines and construction of a new solar power station. Therefore, the residents already understand the significance for the land acquisition. Moreover, there have been two resident meetings regarding this wind power site in the past. The most recent meeting was held for 32

Handwritten mark resembling a stylized '3' or '7'.

Handwritten signatures and initials.

residents of Nutoua Village including leaseholders, local leaders and pastors in April 2016 regarding the EIA conducted by New Zealand. No serious objection was raised.

Furthermore, TPL has already consulted with some of the leaseholders of the target site, and they agreed to cooperate with the Project, although there were a few questions. A residents meeting was not held by this Project Team because the most recent residents meeting was held just four months earlier and the target leaseholders were not present (when the team was in Tonga). The TPL will have an official consultant meeting with residents again after the Project Team returns to Japan. In the meeting, the TPL has to explain the Project to the residents in order to proceed with the compensation fairly and smoothly, and has to collect the proper opinions regarding the plan, and finally has to review the plan.

10. Mechanism of the Complaints Processing

A residents meeting is to be held regarding the safe management of construction and questions from the residents. Opinions and complaints from residents relating to the wind power station are processed by the TPL through a local leader. If necessary, the TPL will hold a residents meeting at any time to solve the problems early. As for the leaseholders, they will promise not to complain about the Project in the lease agreement. The TPL also has a customer service section to deal with any risks or complaints by means of telephone, e-mail or written correspondence.

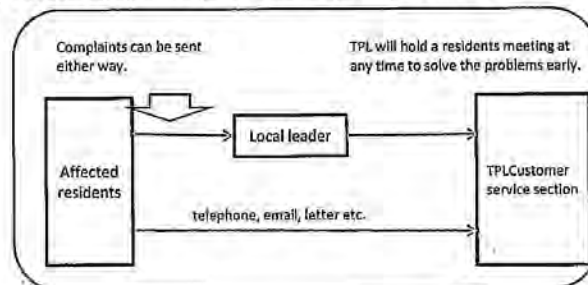


Figure 2: Complaints processing flow

11. Implementation Schedule/ Financing Resources and Cost

All the procedures for the land acquisition should be completed before starting the construction. The schedule of the land acquisition is as follows.

[Handwritten mark]

[Handwritten mark]

[Handwritten mark]

Table 5: Implementation schedule

Month	1				2			
Week	1	2	3	4	1	2	3	4
Confirmation of targeted area of construction	■							
Confirmation of land owners	■	■						
Confirmation of total cost of compensation		■	■					
Negotiation of land owner		■	■	■				
Explain the outline of construction to residents			■	■				
Contract of lease agreement			■	■				
Acquisition of land								

As mentioned before, the affected area is maximum seven blocks as shown in Figure 3.

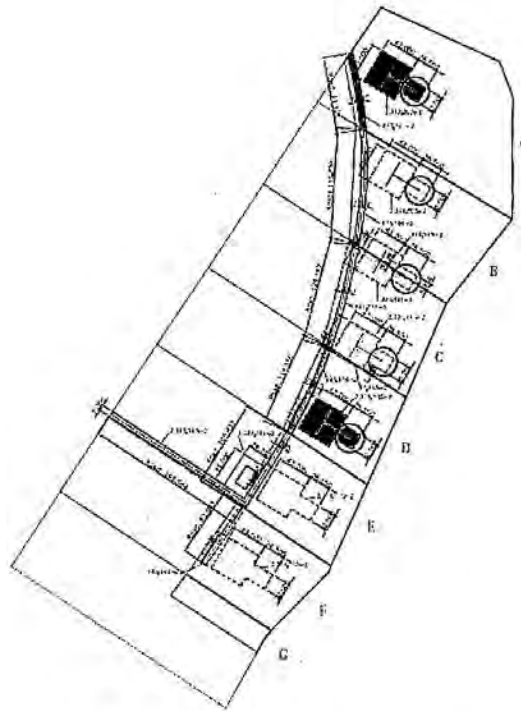


Figure 3: Area of land to be acquired

The financial resources for the compensation cost of the land acquisition are from TPL's

Handwritten mark resembling the number '7'.

Handwritten initials 'M'.

Handwritten initials 'M' and 'M' with a circled 'M' above them.

budget and the cost will be paid to the individual leaseholders. The cost is according to the area used for the construction. Table 6 below demonstrates the compensation cost in accordance with the market price. The final decision depends on the present land situation and/or the market price.

Table 6: Compensation cost for the planned site by block

Lot	Area of compensation for land	Market price of land (TOP/m ²)	Amount of compensation (TOP)	
			TOP	JPY
A	3,032.261	9.848	29,860.400	1,375,967.219
B	4,345.035	9.910	43,060.998	1,984,250.693
C	4,578.846	12.328	56,449.080	2,601,173.611
D	3,364.133	12.386	41,666.972	1,920,014.078
E	5,826.452	12.229	71,254.208	3,283,393.924
F	2,960.644	12.242	36,244.026	1,670,124.715
G	3,927.156	11.459	45,000.000	2,073,600.000
total	28,034.527		323,535.682	14,908,524.240

Note: TOP : Tonga dollar (Pa'anga)

(Source: TPL)

: exchange rate is based on the rate on cost estimation work (1TOP=46,080JPY)

Table 7: Total compensation cost and financing resources

total space of compensation area	amount of compensation (TOP)	detail	source of budget for resettlement
21,146.73	323,535.682	TPL will determine the compensation based on the total condition of the land such as market price of the land, current status of its use, the crop which is currently cultivated.	TPL

Note: TOP: Tonga dollar (pa'anga)

12. Monitoring and Evaluation

The whole procedure for compensation will be completed before starting construction. The TPL, however will continue to check whether any of the leaseholders have any issues or complaints on a regular basis (after the compensation has been settled). Basically TPL is in charge of complaints, but if they have difficulty resolving any issues, the TPL would need to consult with TERM-C (Tonga Energy Road Map Committee). Regarding the height of trees described in agreements, TPL should regularly check for maintaining the necessary amount of wind.

Table 8: Monitoring sheet

Lot	Name of leaseholder	Explanation of the site (e.g. height of trees)	Status (Completed (date) / not complete)	Details (e.g. Site Selection, discussion with PAPs)	Expected date of completion	Responsible organization
A						TPL
B						TPL
C						TPL
D						TPL
E						TPL
F						TPL
G						TPL

Table 9: Public consultation

	Date	Place	Contents of the consultation / main comments and answers
1			
2			
3			

J

JW

DD
BY M.

Annex 9 Environmental and Social Monitoring Form

【Under Construction】

Item	Monitoring item	Date	Place	Condition	Frequency
Waste	Amount of wastes and its final place to be disposed				At the time of disposal
	The receipt of the wastes of lead battery by final receiver				
	Way of disposal of lithium-ion capacitor:				
Accident	Implementation of safety management assembly				Monthly
	Status of management of construction material				
	Status of accidents				
Claim	Comment of residents				At any time

【During Operatoin】

Item	Monitoring item	Date	Place	Condition	Frequency
Waste	Amount of wastes and its final place to be disposed				At the time of disposal
	The receipt of the wastes of lead battery by final receiver				
	Way of disposal of lithium-ion capacitor:				
Accident	Implementation of safety management assembly				Monthly
	Status of accidents				
Claim	Comment of residents				At any time

JW

+

BE M.

資料5. ソフトコンポーネント計画書

A5. ソフトコンポーネント計画書

1. ソフトコンポーネントを計画する背景

トンガ国（以下、「ト」国）は、島嶼国という地理的な条件から、電力供給の大部分を、輸入燃料を使用したディーゼル発電に依存している。このため「ト」国は、国際的な原油価格の変動に大きく影響され、エネルギー安全保障の観点から極めて脆弱な状況である。これを打開するため、「ト」国は温室効果ガスの排出削減とエネルギー安全保障の向上という二つの命題に対処し、「2020 年までに電力供給の 50%を再生可能エネルギーで賄う」という政策目標を「トンガ・エネルギーロードマップ 2010-2020」（Tonga Energy Road Map : TERM）として策定した。

『トンガ国風力発電所整備計画』は、「ト」国トンガタブ島の北東部に位置するニウトウア地区を対象サイトとして、系統連系型の風力発電設備（出力 1.3MW 以上）及び系統の安定化を目的とした蓄電設備（充放電制御システムを含む）の供与を行う。本計画書は、関連する資機材の調達に際し、実施機関となるトンガ電力公社（Tonga Power Limited : TPL）に対して、再生可能エネルギーを利用した安定した電力供給と化石燃料の削減を目指して、既存の電力設備に風力発電所を加えた施設運営及び維持管理体制を整備するためのソフトコンポーネントによる技術支援を行うものである。

(1) 「ト」国の電力施設の運営・維持管理状況

トンガタブ島では、2012 年にニュージーランド（以下、「ニ」国）の支援による出力 1.3MW の系統連系型太陽光発電設備が整備されたものの、運転開始から 5 年間は「ニ」国の民間企業に運転維持管理が委託された結果、TPL に太陽光発電設備の運転・維持管理技術が蓄積されていない状況であった。

これを受けて、更なる再生可能エネルギーの導入と太陽光発電設備の運転・維持管理技術の向上を目的に、我が国無償資金協力による「マイクログリッドシステム導入計画」が実施された。最大出力 1.0MW の太陽光発電設備、容量 1.0MW の蓄電設備及びマイクログリッド制御設備等の整備（SCADA システムを含む）と共に、ソフトコンポーネントによる太陽光発電設備の運転・維持管理技術の向上が図られ、「ト」国のディーゼル発電の割合は 93%に減少している。

風力発電設備に関しては、TPL は独自に小型の可倒式風力発電設備（11kW）を導入しており、出力が小さいため蓄電設備を介さず、直接低圧配電網に連系している。また、サイクロンの襲来が予測された時には、TPL 職員が傾倒作業を行うべく、人員の配置および運用体制が整備されている。

(2) ソフトコンポーネントを実施する背景

本無償資金協力において、現時点で導入候補となる風力発電機は、可倒式風車及び固定式風車である。可倒式風車は、サイクロン発生後の風速が 15 m/s を超えた時点で風車の傾倒を開始し、風速 25 m/s までに傾倒を終了させなければならない。したがって、関係機関との連携によりサイクロンの風速変化を随時把握し、作業スタッフの集合及び現場への急行、そして傾倒終了までの作業を短時間に行う必要がある。また固定式風車の場合、サイクロン襲来時も風車の向きを方向制御する必要があり、そのための電力が必要となる。したがって、方向制御のための非常用電源となる自家発電機が稼働するか、関係機関からの連絡により現地にて確認する必要がある。

本無償資金協力では、風力発電設備の出力変動に伴う既存電力系統の周波数や電圧変動を可能な

限り抑制するため、蓄電設備及び充放電制御システムの導入を計画しており、短周期変動補償としてリチウムイオンキャパシタを採用したシステムを導入する。先の「マイクログリッドシステム導入計画」でも、短周期の変動補償としてリチウムイオンキャパシタが導入されており、TPL に対してリチウムイオンキャパシタの保守点検、維持管理に係る技術移転がなされてきた。しかし、本計画により 1.3MW 以上の風力発電機を導入することから、再生可能エネルギーの割合が増加し、自然条件により常に変化する再生可能エネルギーの出力に対応するためには、既存のディーゼル発電機の発電出力も細かく制御する必要がある。このため、風力発電設備及び蓄電設備の更なる運転・維持管理の支援に加え、既存のディーゼル発電機と連携した運転制御に係る施設の運転・維持管理の支援が必要である。そこで、本ソフトコンポーネントでは、プロジェクト開始時の円滑な立ち上がりを支援することと、本無償資金協力事業で調達される機材が持続的に運転・維持管理されることを目的とし、実施機関となる TPL の発電部門、配電部門を対象として、風力発電施設および蓄電装置の運転・保守点検・維持管理業務、そしてディーゼル発電機の運転制御に関する技術移転を実施する。また、風力発電施設の導入後の系統運用手法、風力発電の出力変動に起因する停電への対応などについて、必要な技術移転を行う。

本協力対象事業において整備される風力発電設備は、TPL による運営・維持管理が主体となる内容及び規模で計画する。導入される機材が効率的、効果的に運用されるためには必要な TPL の体制を整えられなければならない。したがって、これらを補うべくソフトコンポーネントを計画する必要がある。

なお、ソフトコンポーネントの実施にあたり、風力発電施設の運用・操作、指示系統を確立し、安全に風力発電施設を運転・維持していく必要性から、TPL により風力発電施設の運営・維持管理を行っていくための体制が確立されることが前提となる。

課題 1：中型風力発電施設の運用実績

TPL は 11 kW の小型風力発電施設をトンガタブ島内に導入し運用している。この風力発電機は可倒式であるが、設置されている風車は 1 基であり、出力も小さいため、系統安定化設備を介さず直接配電系統に接続されている。したがって、TPL として系統安定化設備を備えた MW 級の風力発電施設を導入するのは今回が初めてとなる。

既存の小型風力発電施設は、気象局からのサイクロン情報に従って TPL が傾倒作業を行っており、関係機関との連携も含めた一定の作業フローは確立されている。しかし、本無償資金協力では 5 基の風力発電施設の導入が想定されており、サイクロン襲来時の風力発電機の制御のためには、TPL 内での新たな人材の配置と共に関係機関と連携した作業フローの再構築が必要となる。

また、風力発電は太陽光発電と比べ、原則 24 時間発電するため、再生可能エネルギーとしての発電効率は高いが、頻度は少ないものの風速によっては出力が 0% から 100%、あるいは 100% から 0% と、急激な出力変動を生じる場合がある。したがって、系統の周波数及び電圧を安定させるために、風力発電設備の出力特性を十分把握し、系統に与える影響を最小限とする運転技術を習得することが必要である。

課題 2：太陽光発電及び風力発電の同時稼働に伴う制御経験

本協力対象事業による風力発電設備の導入により、トンガタブ島の再生可能エネルギーは太陽発電と風力発電となり、これにディーゼル発電による制御を加えたハイブリッド型となる。また、再

生可能エネルギーの発電出力に占める割合が 10%を超え、系統に与える影響も無視できなくなることから、需要電力の変化と再生可能エネルギーの出力変動に従って、既存ディーゼル発電機の出力をこれまで以上に精度よく制御する必要がある。特に強風時やサイクロン発生時など、風力発電の出力を停止するカットアウト風速に近い風速の場合、風車の発電停止による急激な風力発電の出力低下が生じる可能性がある。この場合、ディーゼル発電機への負荷を低減するため、事前に風力発電の運転台数を制限するなど、系統の電圧及び周波数を安定させるために適切に制御する必要がある。

なお、以降の項目については、可倒式風車、固定式風車、いずれの場合にも共通する事項として計画する。

2. ソフトコンポーネントの目標

本ソフトコンポーネントの目標は以下の通りとする。これら目標が達成されることにより、無償資金協力の効果が持続的に発現することが期待される。

目標 1：サイクロン発生時の風力発電施設の運転・維持管理が円滑に行われる。

目標 2：太陽光発電及び風力発電の稼働状況による系統の不安定化を防ぐために、ディーゼル発電を含む全発電施設の適切な出力制御が行われる。

3. ソフトコンポーネントの成果

運営・維持管理体制の強化にかかる本ソフトコンポーネント完了時に達成される成果を以下のとおり設定する。

成果 1 - 1：関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される

成果 2 - 1：データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる

成果 2 - 2：データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる

4. 成果達成度の確認方法

TPL がその責任を果たし、プロジェクトの円滑な立ち上げに必要な技術や体制の整備状況を確認するため、本ソフトコンポーネントの指標と達成度の確認方法を以下のとおり設定する。

表 1 成果達成度

No.	成果	達成度の確認項目	達成度の確認方法（案）
成果1-1	関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される	関係機関からの連絡後、所定の時間内に専門スタッフが集合・準備・移動し、必要な作業を連携して行うことが理解されたか	講義レポート、演習レポート、作業手順マニュアル
成果2-1	データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる	既存のSCADAと共に、データ管理システムによる需要電力の把握により、風力発電の運転制御が適切に行われたか	講義レポート、演習レポート 運転制御マニュアル（案）
成果2-2	データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる	需要電力、太陽光発電、風力発電の各出力を把握し、ディーゼル発電機の運転台数変更による運転制御が適切に行われたか	講義レポート、演習レポート 運転制御マニュアル（案）

出典：調査回作成

5. ソフトコンポーネントの活動（投入計画）

(1) 活動区分

設定した成果を達成するため、各成果に対し以下の活動を投入する。

成果1-1	関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される	⇒	活動 1	: 関係機関への作業体制の周知と連携
成果2-1	データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる	⇒	活動 2	: 既存発電施設の運用の説明
			活動 3	: 運転制御マニュアル（案）の策定
成果2-2	データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる	⇒	活動 4	: 系統の需給状態の説明
			活動 5	: 運転制御マニュアル（案）の策定

(2) 活動内容

1) 成果 1-1：関係機関との連携による風力発電機のサイクロン発生時の対応が効率よく実施される

活動 1：関係機関への作業体制の周知と連携

「ト」国でサイクロン情報を取り扱っているのは、「ト」国の気象・エネルギー・情報・災害管理・環境・気候変動・通信省（Ministry of Meteorology, Energy, Information, Disaster Management, Environment Climate Change, and Communications：MEIDECC）が所管する気象局のトンガタブ島のファアモツ国際空港内にある気象観測所（Tonga Meteorological & Coast Radio Services）である。サイクロン襲来時の風力発電機への対応は、可倒式風車、固定式風車で異なるものの、TPL 単独ではなく、MEIDECC 及び気象局との協力体制を構築し、協同で実施することが必要である。

風力発電機のサイクロン襲来時の対応は、MEIDECC を通じて気象局よりサイクロン情報が TPL に連絡され、TPL がニウトウアの風力発電施設内に設置された風速計の風速データを監視することによって行われる。したがって、MEIDECC 及び気象局との協力体制を構築することは重要な要素であり、これら関係機関が本プロジェクトによる風力発電施設の運用について理解することが重要である。したがって、TPL 及び関係機関に対し、サイクロン襲来時の行動スケジュールを周知させるとともに、TPL と関係機関の連携についても説明する。

2) 成果 2-1：データ管理システムによる監視で風力発電施設の運転制御が適切に行われる

活動 2：既存発電施設の運用の説明

本協力対象事業で計画する系統安定化設備は、リチウムイオンキャパシタを利用した短周期変動補償に対応した蓄電設備であり、中周期となる 10～15 分間の風力発電の出力変動に対しては、既存のディーゼル発電機の負荷変動能力及び運転台数制御により対応する必要がある。このため、TPL の専門スタッフへの講義及び演習に先立ち、過去の既存発電施設（ディーゼル発電及び太陽光発電）の運用状況及び需要電力の推移を確認し、想定される需要電力に対して、本協力対象事業による風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動を予測し、風力発電施設の制御について検討する必要がある。このため、これら過去のデータ解析及び風力発電施設の制御モデルの作成を国内にて実施する。

その後、TPL の専門スタッフに対し、風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動予測に係る講義を行う。

活動 3：運転制御マニュアル（案）（風車）の策定

活動 2 による既存発電施設の挙動予測に係る講義及び演習の後、必要な風力発電施設の運転制御

に係る講義及び演習を行う。現時点で考え得る事態としては、強風時に風車がカットアウトし、出力が 100%から 0%に急激に減少する場合への対応である。この場合、短周期変動補償として期待可能な時間は 1 分程度であり、電力の負荷追従変動に対応する高速エンジンを持つ CAT 製ディーゼル発電機の追加起動に約 5 分を要することを考えると、1.3MW 以上となる風力発電出力の急激な減少は、ディーゼル発電機に対して高負荷な状態となり、稼働中のディーゼル発電機の調整力および CAT 製ディーゼル発電機の追機では対処できない可能性が高い。その場合、ディーゼル発電機の調整力残を把握して、運転可能な風力発電機の数量以外を停止させる台数制御を設定する必要がある。

この風力発電施設の運転制御に関し、講義及び演習を行い、TPL の専門スタッフが、本邦コンサルタントの監修を受けながら「運転制御マニュアル（案）」のうち、風車に係る分を作成し、以下の活動 5 で作成されるディーゼル発電機の制御に係る分と合わせて「運転制御マニュアル（案）」を策定する。

3) 成果 2-2 : データ管理システムによる監視でディーゼル発電機の運転制御が適切に行われる

活動 4 : 系統の需給状態の説明

本協力対象事業は、風力発電施設及び系統安定化設備の導入が目的ではあるが、既存の系統に接続することから、系統に与える影響を考慮しながら風力発電機の運転制御だけではなく、既存発電施設の運転制御についても検討すると共に、既存発電施設の運転について必要な対策を講じる必要がある。したがって、電力系統運用の基礎理論に係る講義と共に、再生可能エネルギーの増加に伴う連系要件に係る講義についても実施する。

さらに、系統監視により各フィーダーの需要電力変動を把握し、過去の記録との比較による需要電力予測、また再生可能エネルギーの発電出力からディーゼル発電機の運用に係る講義を実施し、発電施設全体の運用に係るマニュアルの作成をトラブルシューティング（想定したディーゼル発電機の運用で系統電圧、周波数に影響が出た場合の対応等）と共に整備する。

活動 5 : DG 運転制御マニュアル（案）の策定

活動 4 で検討される発電施設全体の運用条件に対して、需要電力の変動及び再生可能エネルギーの出力変動に対応して安定した電力を供給することになる、ディーゼル発電機の運転・制御に係る講義を実施する。トラブルシューティングに係る講義・演習と共に、必要となるディーゼル発電機出力に見合った運転台数の設定、時間ごとのディーゼル発電機の運転形態など、TPL の専門スタッフが、本邦コンサルタントの監修を受けながら「運転制御マニュアル（案）」のうち、ディーゼル発電機に係る分を作成し、上記の課題 4 で作成される風車の制御に係る分と合わせて「運転制御マニュアル（案）」を策定する。

6. ソフトコンポーネントの実施リソースの調達方法

本ソフトコンポーネントにおける活動に必要な実施リソースは、以下のとおりである。

(1) 本邦コンサルタント

前述の各活動を実施するにあたり、本邦コンサルタントが準備、指示、取り纏め、報告を担当し、計画全体の管理を行う。そのうえで、先方実施機関である TPL が風力発電施設、系統安定化設備およびデータ管理システムの運転・維持管理方法を詳細に理解し、風力発電システムを稼働させるために必要な技術を移転する。また、新たに導入される風力発電設備と既存の発電施設（ディーゼル

発電機、太陽光発電施設) が連系された送配電システムを安定的に運用するための技術も移転する。想定するコンサルタントは、技術指導者 1 (系統解析、風車制御)、指導技術者 2 (系統連系、ディーゼル発電機) の 2 名であり、「ト」国に派遣し、必要な技術移転を行う。なお、活動 1 に関しては、現地到着後に活動 2 と並行して実施する。

ソフトコンポーネントは、短期間でこれらの活動を行い、活動内容及び活動結果を取りまとめる必要があるため、「ト」国でのプロジェクト経験があり、風力発電に係る知見と共に、ソフトコンポーネントの経験がある人材が必要である。このため、プロジェクト実施設計時の契約コンサルタントからの調達が適していると判断する。

表 2 本邦コンサルタントの調達

名称	格付	派遣期間	渡航回数	作業内容
指導技術者1 (系統解析、風車制御)	3号	国内21日 現地24日	1回	活動 1. 関係機関への作業体制の周知と連携 (1) 関係機関 (MEIDECC、気象局) との協力体制の構築 (2) サイクロン情報の入手手段、サイクロン対応時の体制確立 活動 2. 既存発電施設の運用の説明 (1) 既存発電施設の運用状況の確認 (2) 風力発電施設導入後の既存発電施設の挙動予測 (3) 既存発電施設の挙動予測に係る講義及び演習 活動 3. 風車運転制御マニュアル (案) の策定 (1) 既存発電施設の挙動予測に基づいた風力発電施設の運転制御に係る演習 (2) 運転制御マニュアル (案) (風車) の策定
技術指導者2 (系統連系、ディーゼル発電機)	3号	現地24日	1回	活動 4. 系統の需給状態の説明 (1) 電力系統運用の基礎理論に係る講義 (2) 再生可能エネルギーの増加に伴う連系要件および検討事項に係る講義 活動 5. DG運転制御マニュアル (案) の策定 (1) 系統監視およびディーゼル発電機運転に係る講義・演習 (2) トラブルシューティングに係る講義・演習 (3) 運転制御マニュアル (案) (DG) の策定

出典：調査団作成

(2) 先方対象機関

1) TPL

「ト」国側の投入として、ソフトコンポーネントの受け皿となる TPL 受講者の任命とソフトコンポーネントへの参加が必要となる。具体的には、以下の□で囲まれた部署および担当者を対象として、コンサルタントが技術移転等を実施する。

2) 関係機関 (MEIDECC 及び気象局)

サイクロン発生時の風力発電施設の傾倒－復帰作業に関しては、MEIDECC 及び気象局からのサイクロン情報が重要となり、これら関係機関との協力体制のもとに作業を実施することが必要である。

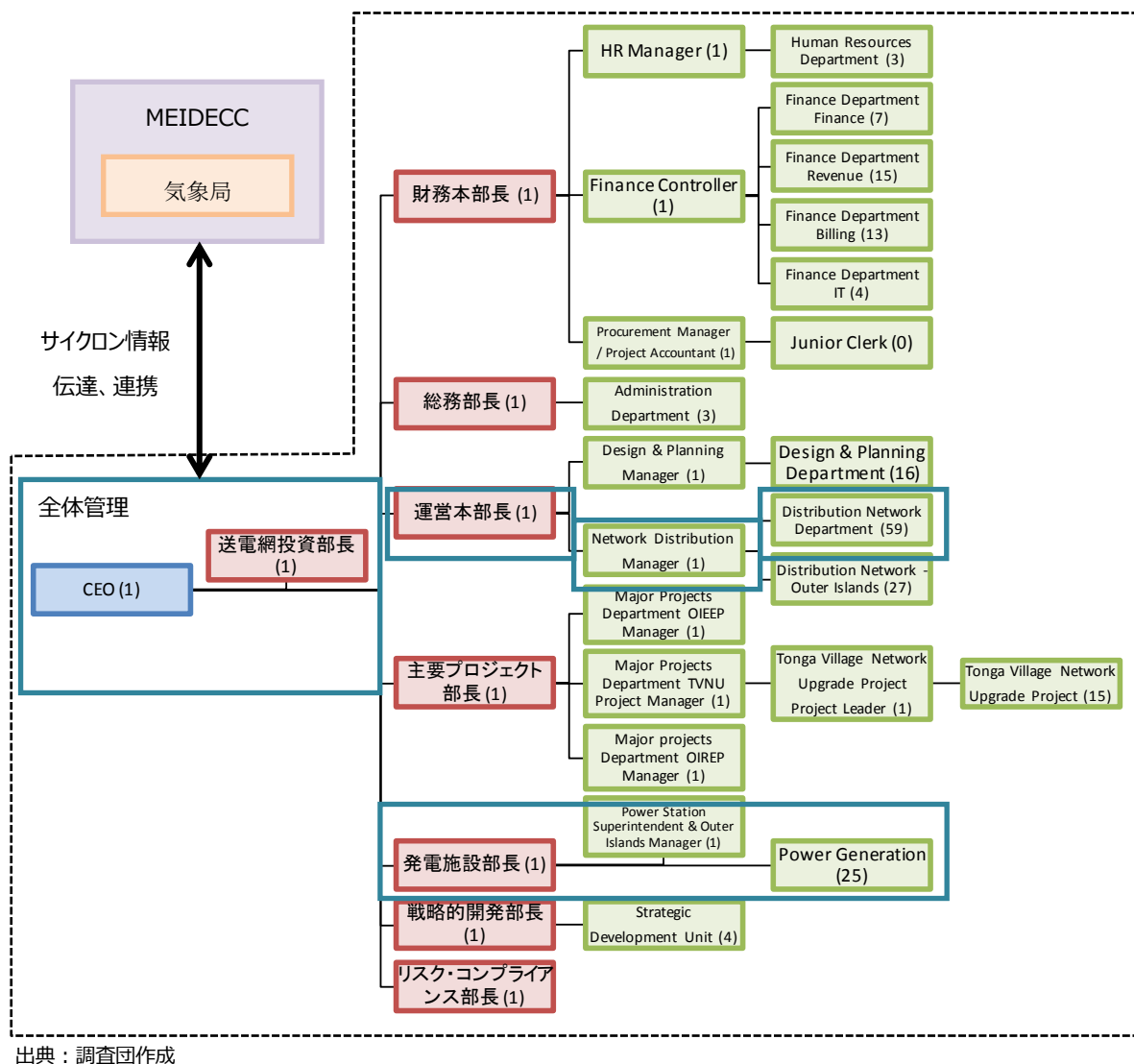


図 1 先方対象機関の実施体制

以下に、想定する活動ごとの対象者及びソフトコンポーネントへの参加人数を示す。

表 3 活動ごとの対象者

活動	対象部署、関係機関	参加人数
1. 関係機関への作業体制の周知と連携	MEIDECC	2
	気象局	2
	TPL (送電網投資部)	1
	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
2. 既存発電施設の運用の説明	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
3. 運転制御マニュアル (案) の策定	TPL (発電施設部)	4
4. 系統の需給状態の説明	TPL (運営本部)	2
	TPL (発電施設部)	2
5. 運転制御マニュアル (案) の策定	TPL (発電施設部)	4

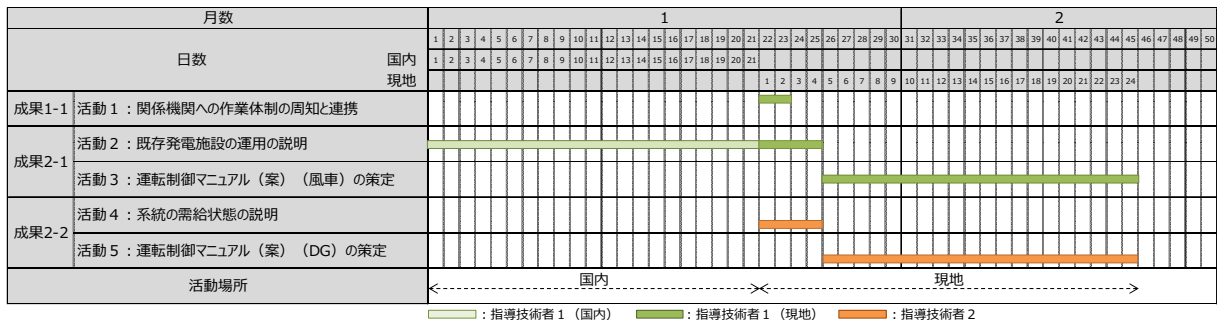
出典：調査団作成

7. ソフトコンポーネントの実施工程

上記活動内容に従って、本邦コンサルタントは国内及び現地にて活動を行う。ソフトコンポーネントは、本体事業の検収・引き渡し終了後に開始し、ソフトコンポーネント終了時に「ト」国側に完了報告書を提出し、終了する。

以下に、ソフトコンポーネントの実施工程を示す。

表 4 ソフトコンポーネントの実施工程



出典：調査団作成

8. ソフトコンポーネントの成果品

本ソフトコンポーネントにおける成果品は、以下のとおりである。

- 完了時 : 完了報告書（相手国政府、日本国側）
- 活動 1：関係機関への作業体制の周知と連携 : 協議議事録、作業手順マニュアル
- 活動 2：既存発電施設の運用の説明 : 講義レポート、演習レポート
- 活動 3：運転制御マニュアル（案）（風車）の策定 : 運転制御マニュアル（案）
- 活動 4：システムの需給状態の説明 : 講義レポート、演習レポート
- 活動 5：運転制御マニュアル（案）（DG）の策定 : 運転制御マニュアル（案）

9. ソフトコンポーネントの概略事業費

本ソフトコンポーネントの概略事業費は、以下のとおりである。

表 5 概略事業費

項目	金額（千円）
直接人件費	
直接経費	
間接費	
合計	

出典：調査団作成

10. 相手国側の責務

ソフトコンポーネントの目標を達成するためには、ソフトコンポーネント投入による成果に加え、TPL による持続的な需要電力と発電施設ごとの発電出力のデータの蓄積が不可欠である。これら蓄積されたデータにより、需要電力、太陽光発電出力、風力発電出力ごとのディーゼル発電機の効率

的な運転制御が事前に予測可能となり、再生可能エネルギーの利用が安定的に行われるようになる。

なお、関係者の移動交通費、日当、宿泊費等、先方実施機関において当該年度予算が計上されていない場合、現地演習等の開催が困難になることが考えられる。したがって、プロジェクトの工程を鑑みた先方実施機関の事前予算申請が重要となる。

資料 6. 参考資料

A6. 参考資料

No	名称	形態 図書・ビデオ・写真等	デジタル / 紙	発行機関	発行年
1	Annual Report (2009 - 2015)	図書	コピー	Tonga Power Limited	2009 - 2015
2	Policy for the Connection of Embedded Generation	図書	コピー	Tonga Power Limited	2013. 3
3	The Second Electricity Concession Contract	図書	コピー	Tonga Power Limited	2015
4	Customer Service Agreement	図書	コピー	Tonga Power Limited	2015.11
5	Small Connected Generation Agreement	図書	コピー	Tonga Power Limited	---
6	Fee Structure	図書	コピー	Tonga Power Limited	2012
7	Electricity Concession Compliance Report	図書	コピー	Tonga Power Limited	2013-2016
8	Regulatory Annual Report	図書	コピー	Tonga Power Limited	2013 - 2014
9	Business Plan	図書	コピー	Tonga Power Limited	2014, 2016, 2017
10	EIA Reports	図書	コピー	Tonga Power Limited	2014.7
11	Tonga Climate Change Policy	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.2
12	Upgrade of Grids and Preparing the Utility for Operations with Renewable Energy Plants - Stage 1	図書	コピー	AECOM	2014.11
13	Upgrade of Grids and Preparing the Utility for Operations with Renewable Energy Plants - Stage 2	図書	コピー	AECOM	2015.5
14	A Pre-Feasibility Study on Wind Energy for Tongatapu Island, Kingdom of Tonga	図書	コピー	GIZ	2012.10
15	Distribution Asset Management Plan	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.3
16	Environmental Impact Assessment Regulations 2010	図書	コピー	Attorney General Office, Tonga	2010
17	Generation Asset Management Plan	図書	コピー	Tonga Power Limited	2014.11
18	Tonga National Infrastructure Investment Plan	図書	コピー	The Government of Tonga	2013
19	Public Enterprises (Amendment) Act 2010	図書	コピー	Ministry of Public Enterprises	2010
20	Renewable Energy Act 2008	図書	コピー	The Government of Tonga	2008
21	Tonga NIIP Annual Monitoring Report 2015	図書	コピー	The Government of Tonga	2015.7
22	Energy Road Map (TERM) Review/Implementation Report 2010_2014	図書	コピー	Tonga Energy Road Map Implementation Unit	2015.8
23	Renewable Energy & Energy Efficiency Plan, Assessment Report	図書	コピー	AETS	2016.1

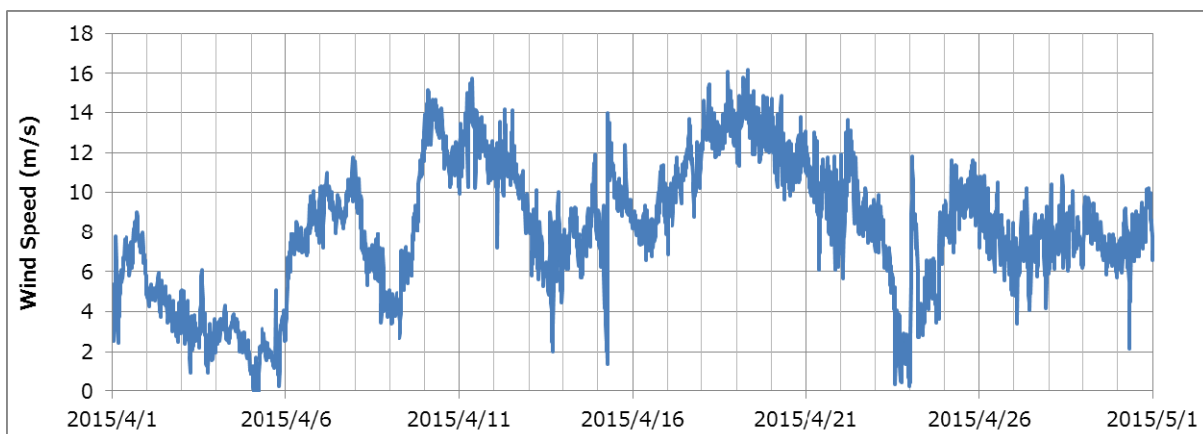
No	名称	形態 図書・ビデオ 写真等	デジタル / ビデオ	発行機関	発行年
24	Renewable Energy & Energy Efficiency Plan II (REEEP II) – Monitoring & Evaluation Framework 2016_2020	図書	コピー	The Government of Tonga	2016
25	Tonga Electric Power Board (Repeal) Act 2007	図書	コピー	The Government of Tonga	2007
26	Feasibility Study of Wind Power Plants	図書	コピー	Electric Power Development Company	2001.4
27	Least Cost Development and Investment Plan 2015_2020	図書	コピー	Tonga Power Limited	2015
28	Tonga Strategic Development Framework 2015_2025	図書	コピー	The Government of Tonga	2015.5
29	Wind Mapping Tonga	図書	コピー	Winergy	2006.7
30	Tsunami Presentation	図書	コピー	The Government of Tonga	---
31	Feeder Log	データ	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
32	Generation Master Template	データ	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
33	Diesel Popua New Data	データ	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
34	Tongatapu Wind Generation Study Detailed Design Report	図書	コピー	Aurecon New Zealand Limited	2016.10
35	Cat Generator 1 Line Circuit Diagram	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
36	MAK Woodward 723 Settings	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
37	G 1 to 6 Woodward Settings	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.9
38	Vaini Ring Settings Report - Rev01	図書	コピー	Aurecon New Zealand Limited	2016.10
39	The Villa PV - RMU Specification - Rev01	図書	コピー	Tonga Power Limited	2016.10
40	Intended nationally determined contributions	図書	コピー	The Government of Tonga	2015.12
41	Climate Data	データ	コピー	Tonga Meteorological & Coast Radio Services	2016.7
42	Building Code	データ	コピー	Ministry of Infrastructure	2016.7
43	Wind Condition Data	データ	コピー	Tonga Power Limited	2016.7
44	Japanese Wind Power Generation Guidelines	図書	コピー	New Energy and Industrial Technology	2008.3

No	名称	形態 図書・ビデオ ・写真等	デジタル / コピー	発行機関	発行年
				Development Organization	
45	Guidelines for Design of Wind Turbine Support Structures and Foundations	図書	オリジナル	Japan Society of Civil Engineers	2010.12
46	Guidebook for Introducing Wind Power Generation	図書	コピー	New Energy and Industrial Technology Development Organization	2008.3

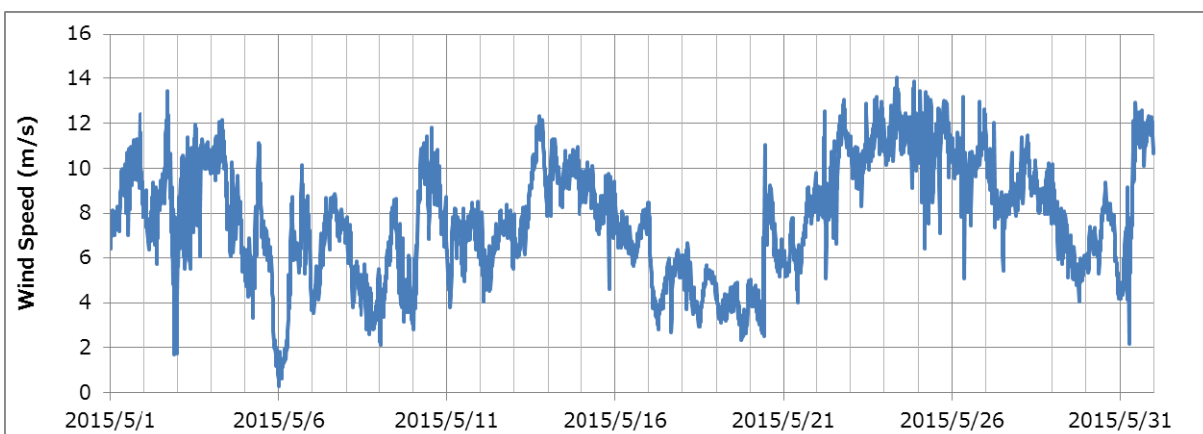
資料 7. その他の資料

A7. その他資料

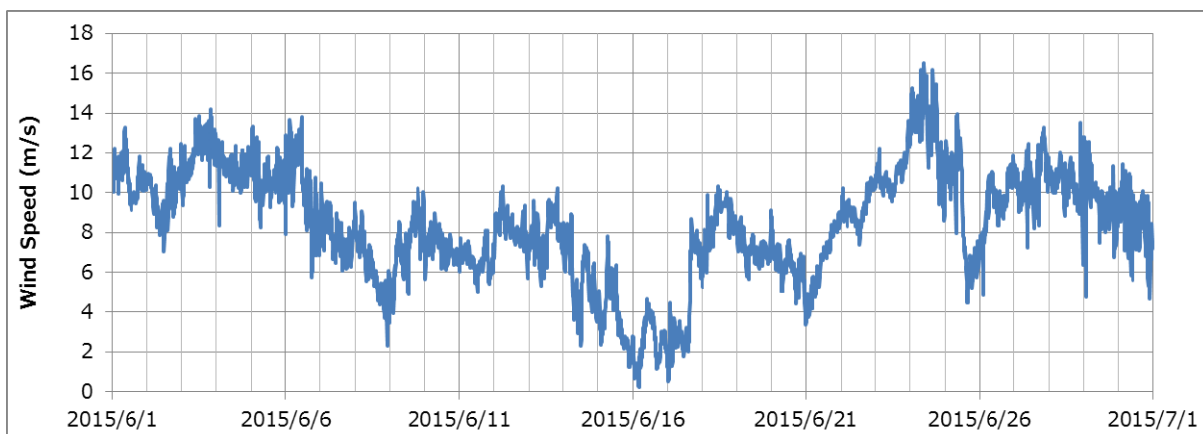
(1) 風況観測データ (観測地 : ニウトウア、観測高さ : 40m、TPL データ)



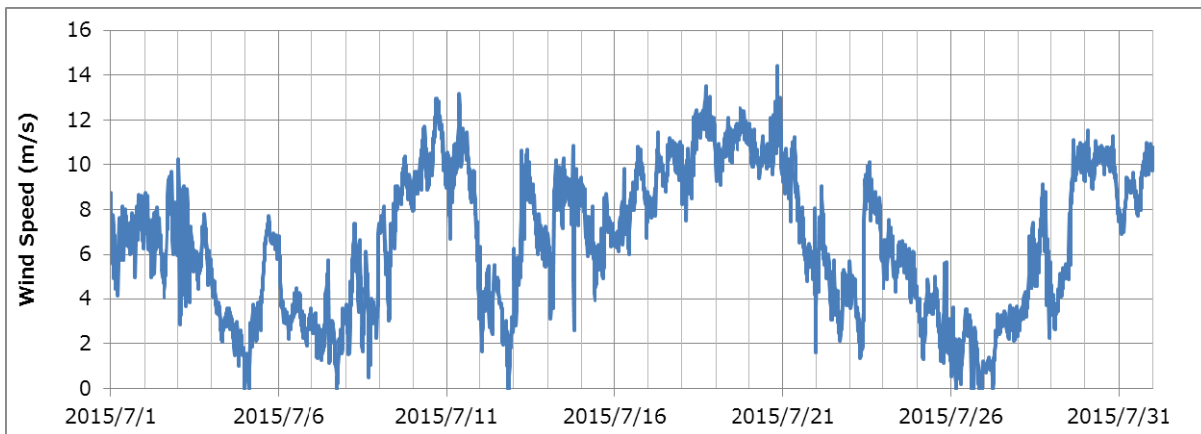
2015年4月



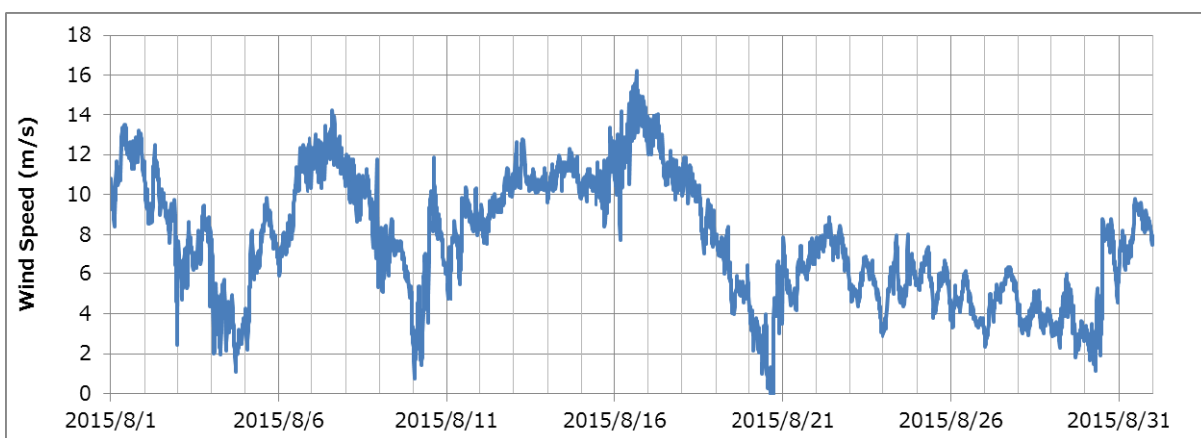
2015年5月



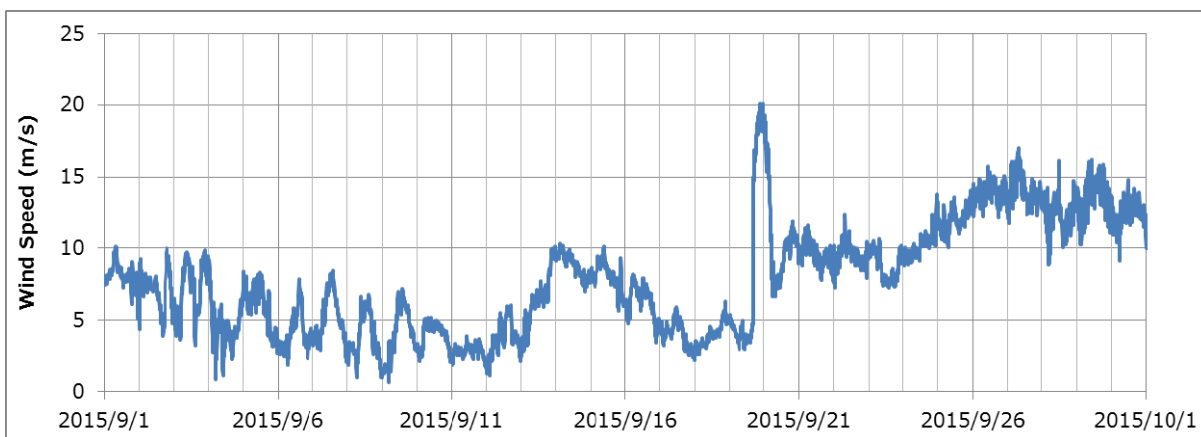
2015年6月



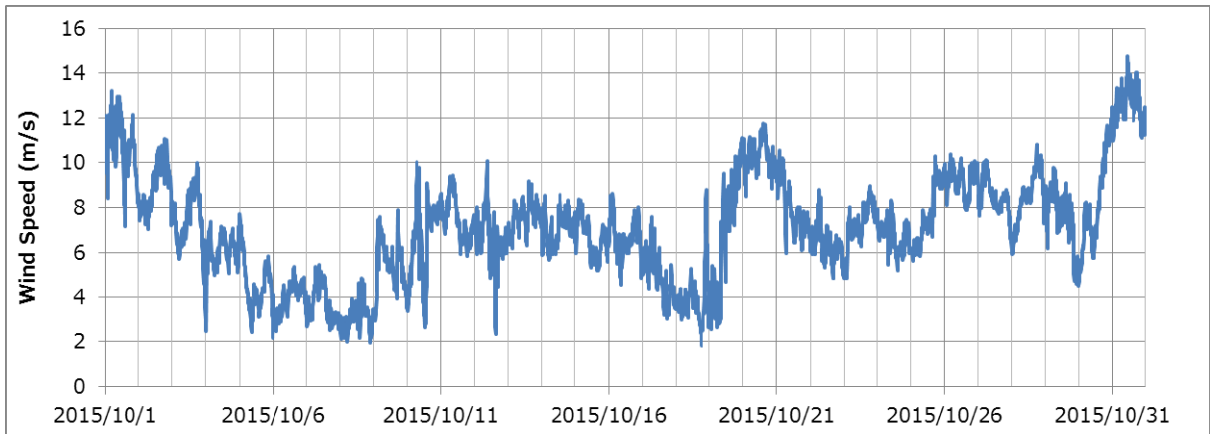
2015年7月



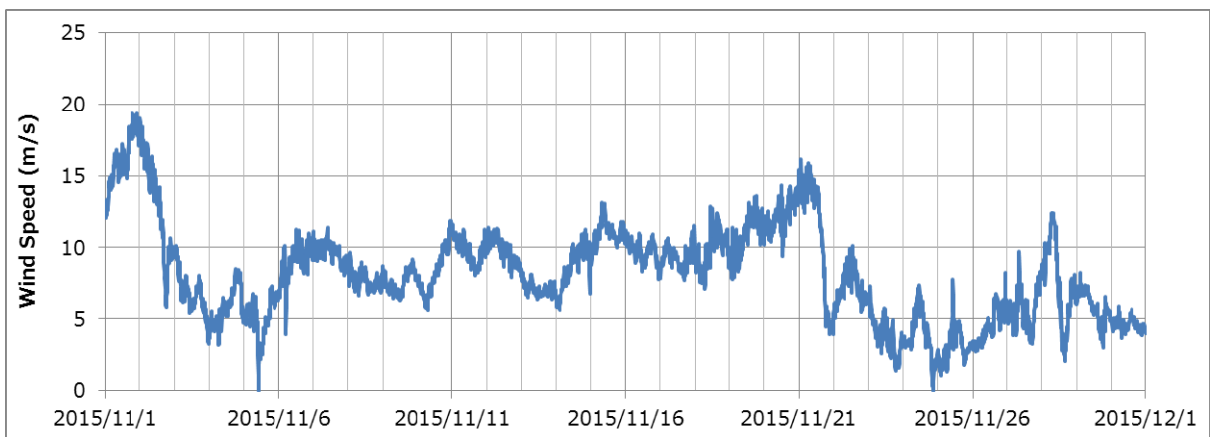
2015年8月



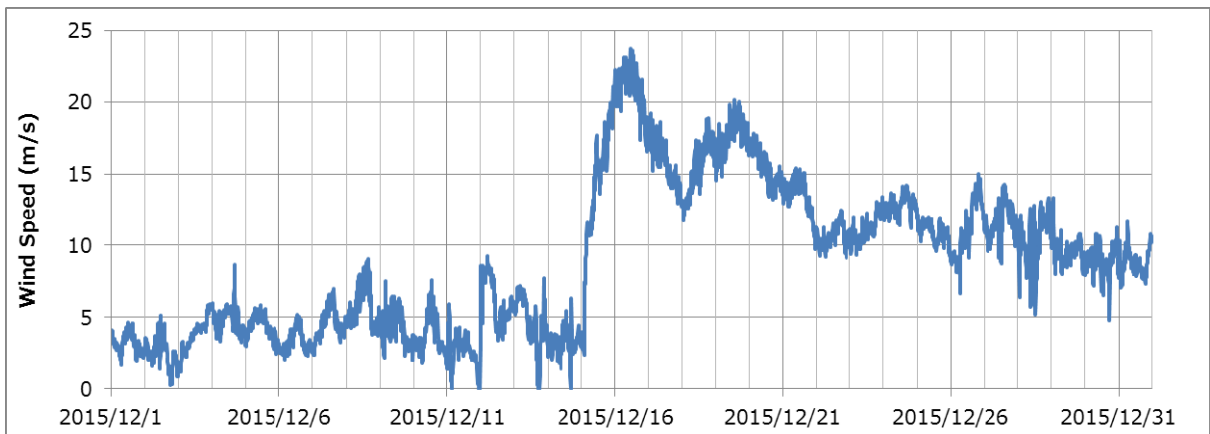
2015年9月



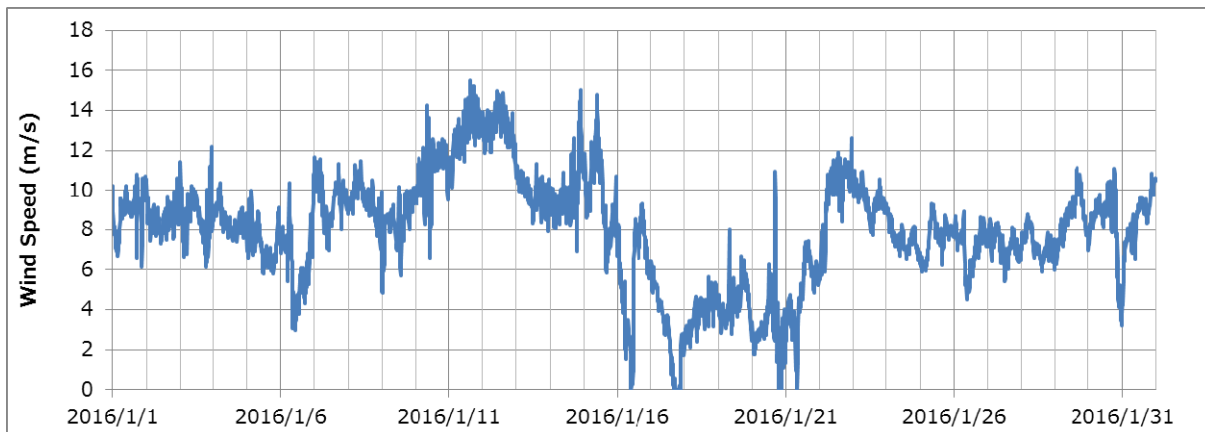
2015年10月



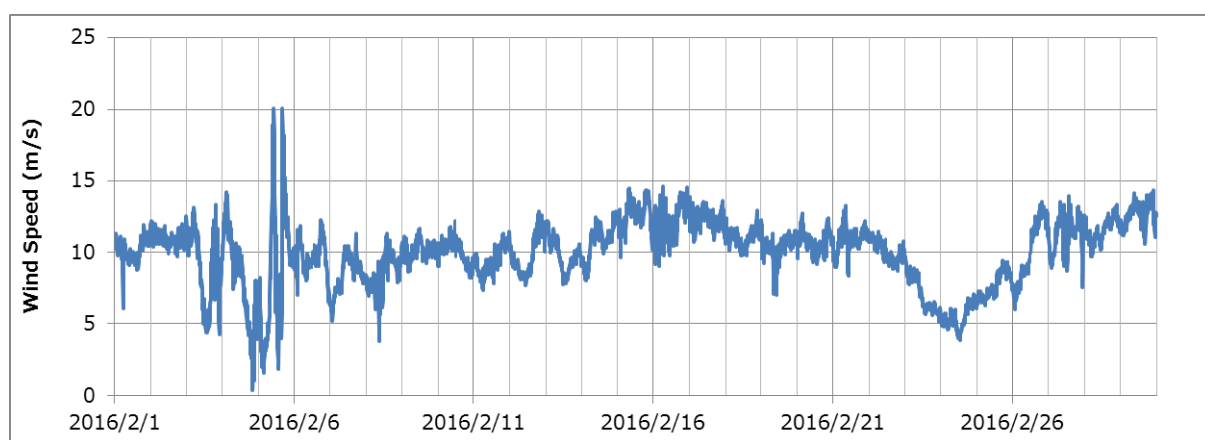
2015年11月



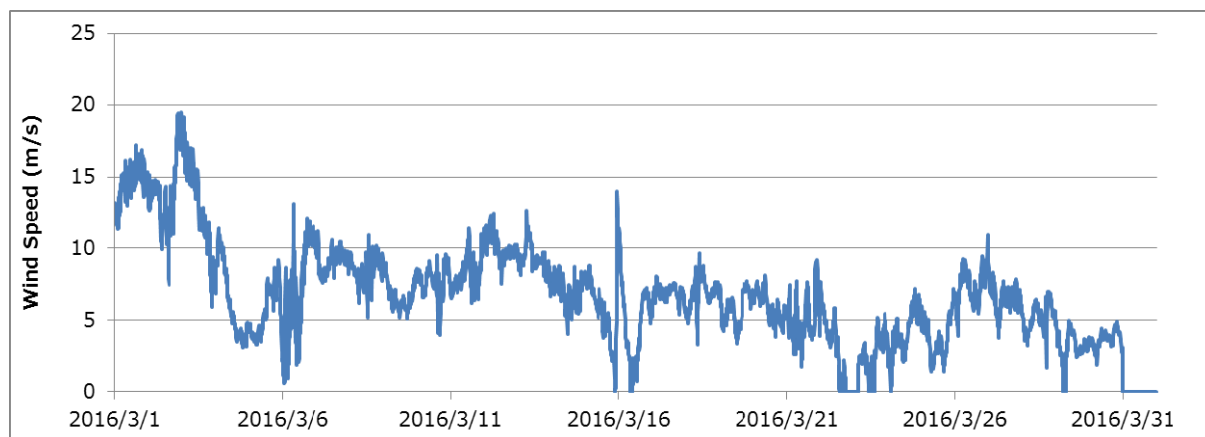
2015年12月



2016年1月

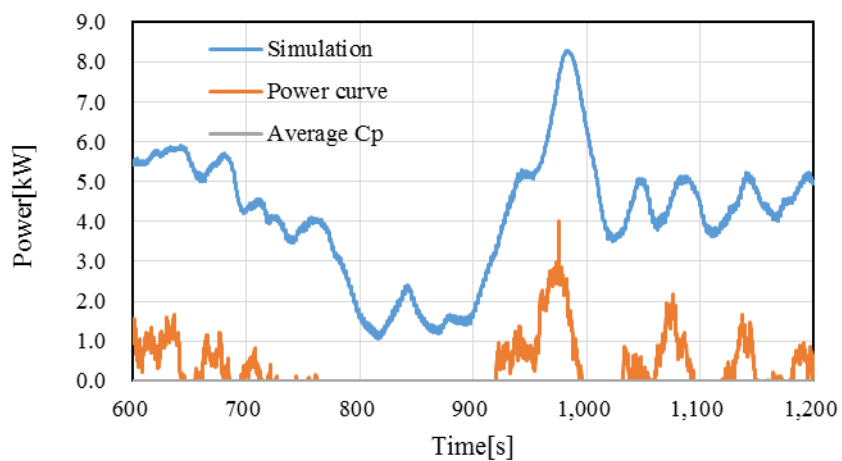
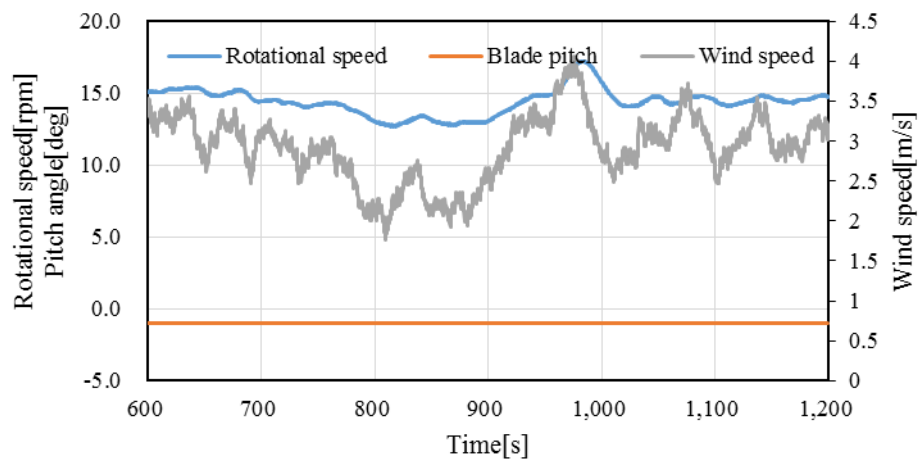


2016年2月

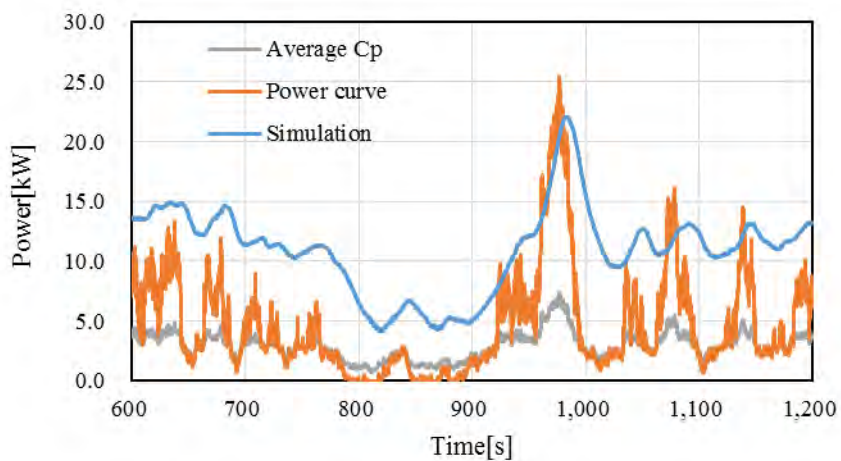
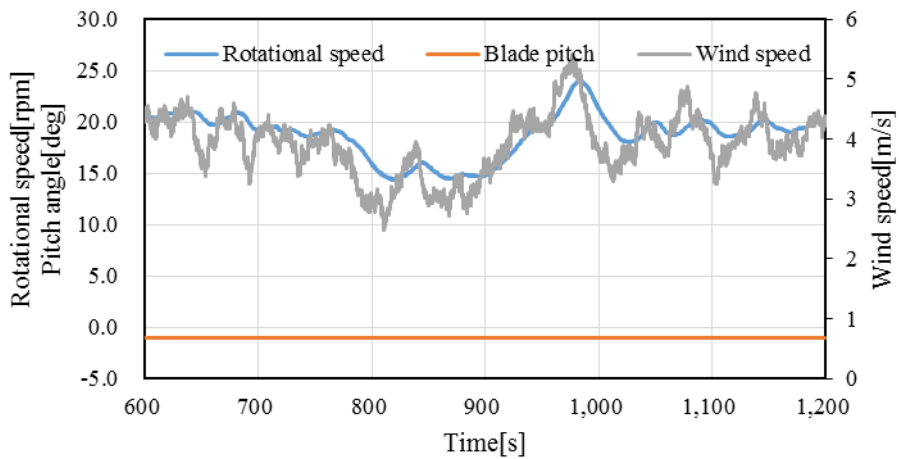


2016年3月

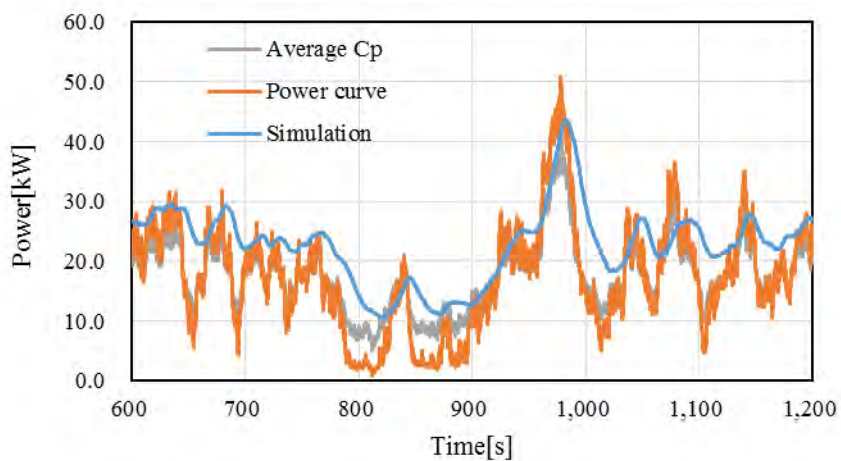
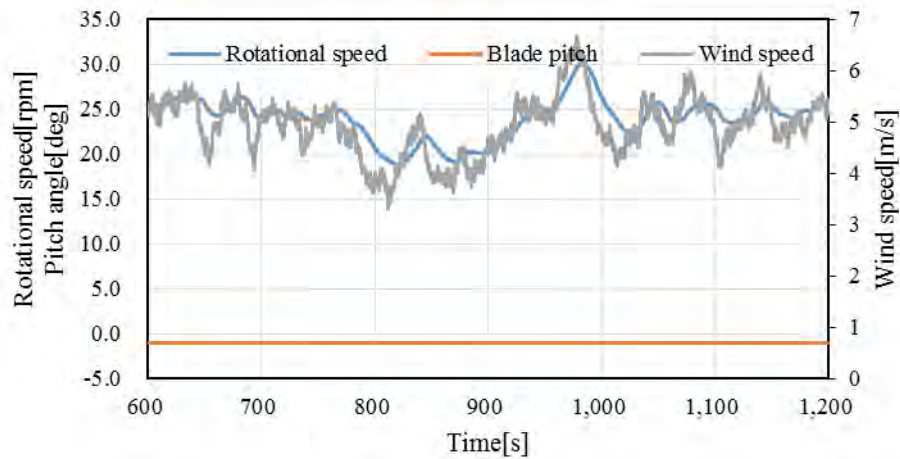
(2) FAST(風車空力弾性シミュレーションモデル)による発電予測 (風車 : 275kW)



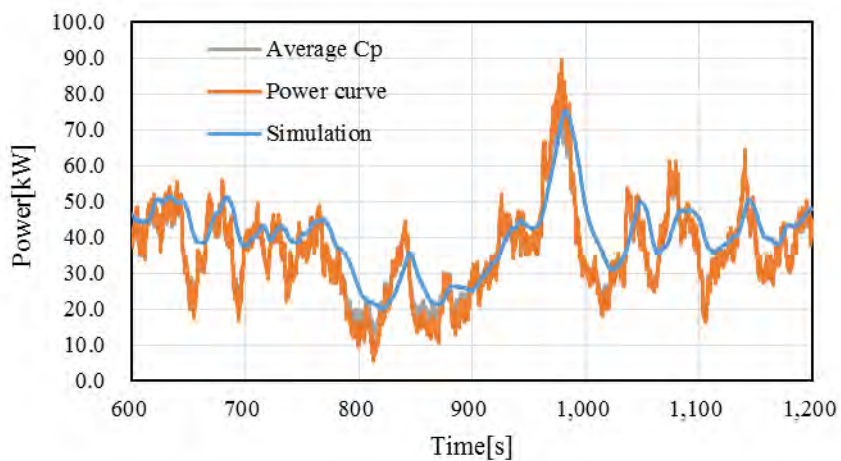
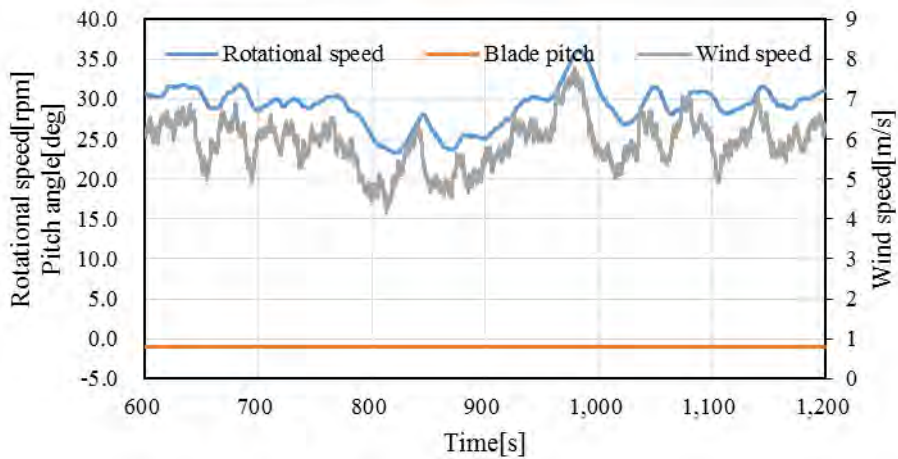
3 m/s 時系列グラフ



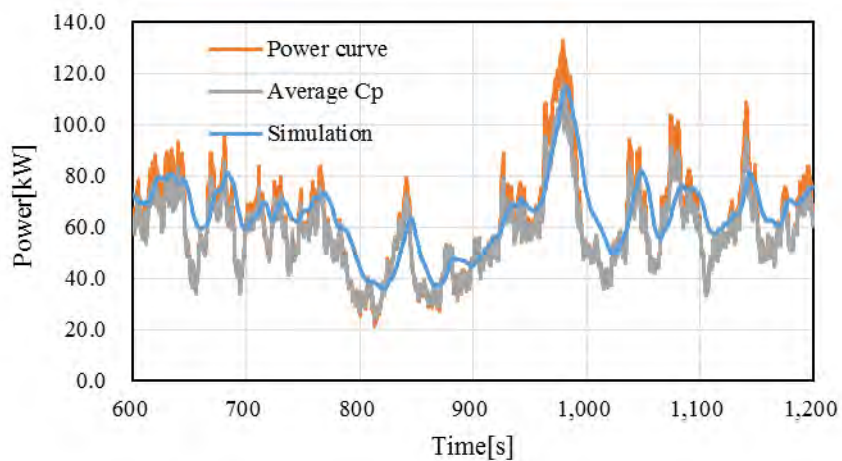
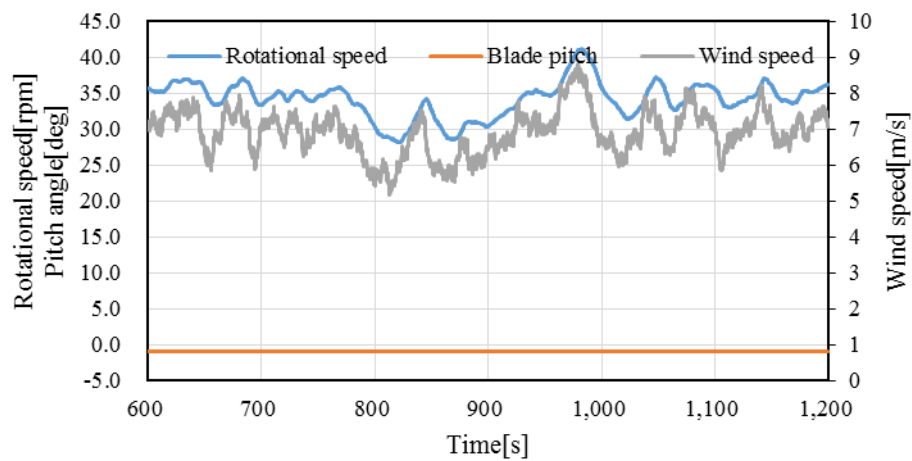
4 m/s 時系列グラフ



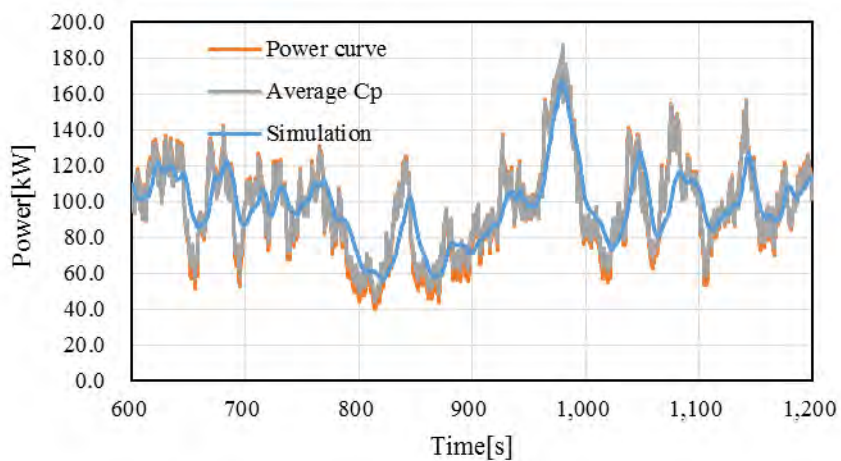
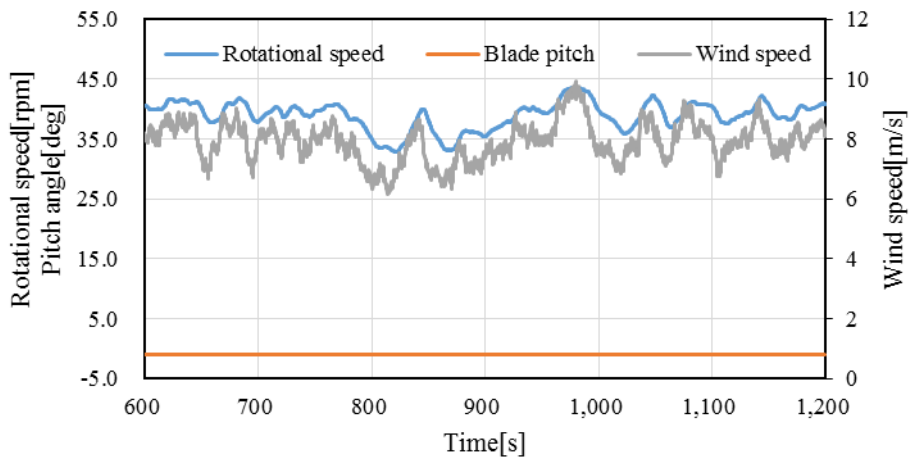
5 m/s 時系列グラフ



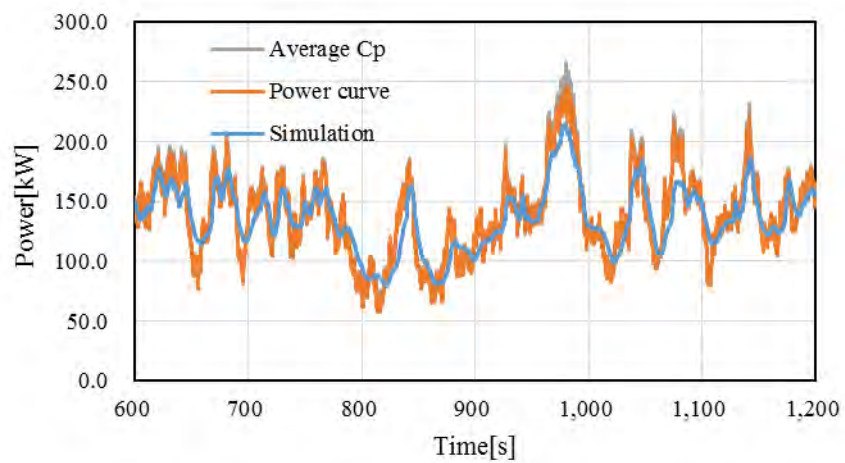
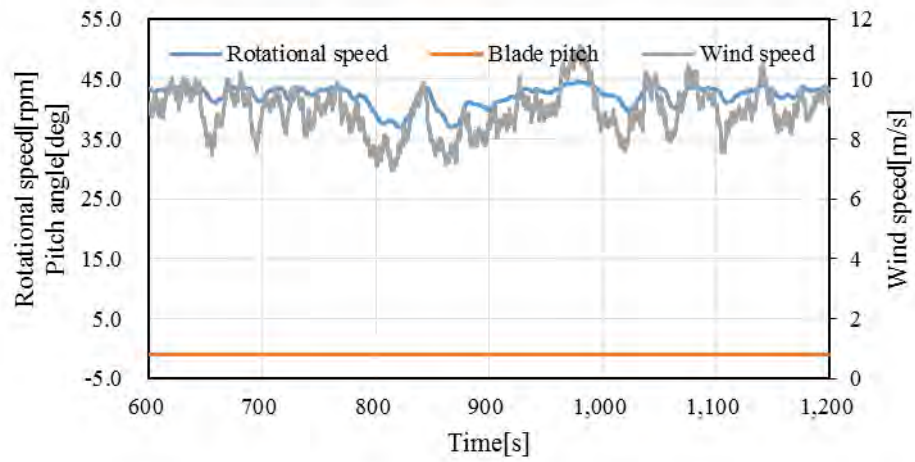
6 m/s 時系列グラフ



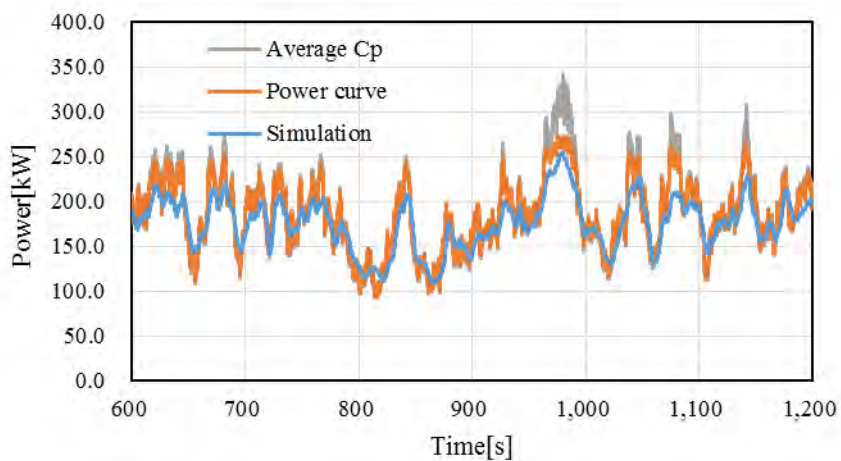
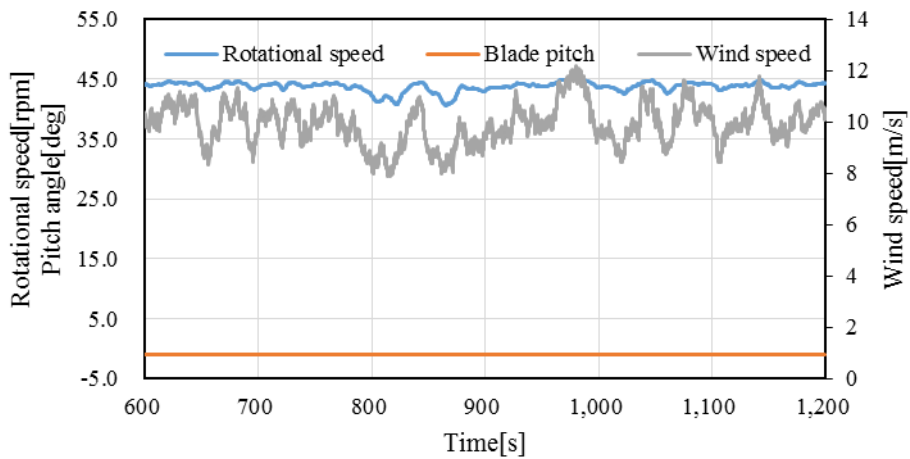
7 m/s 時系列グラフ



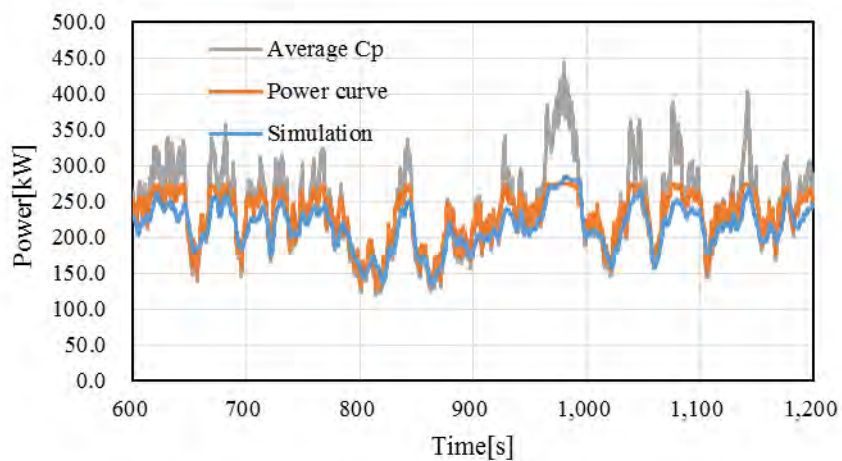
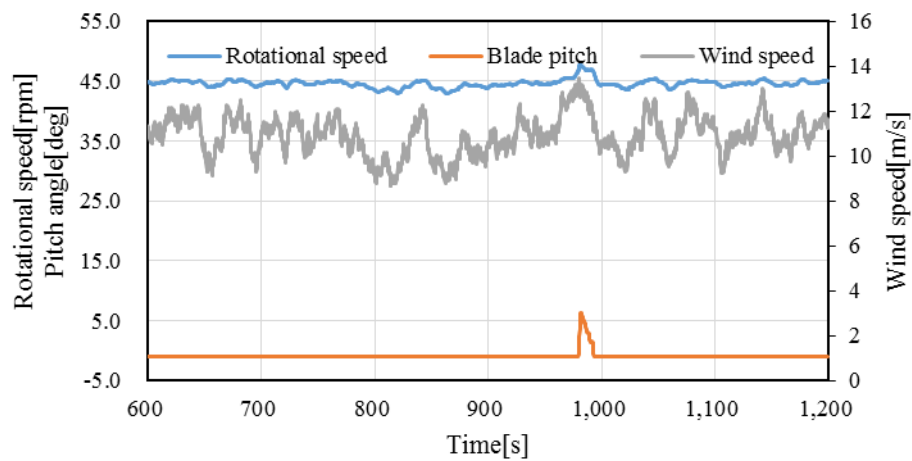
8 m/s 時系列グラフ



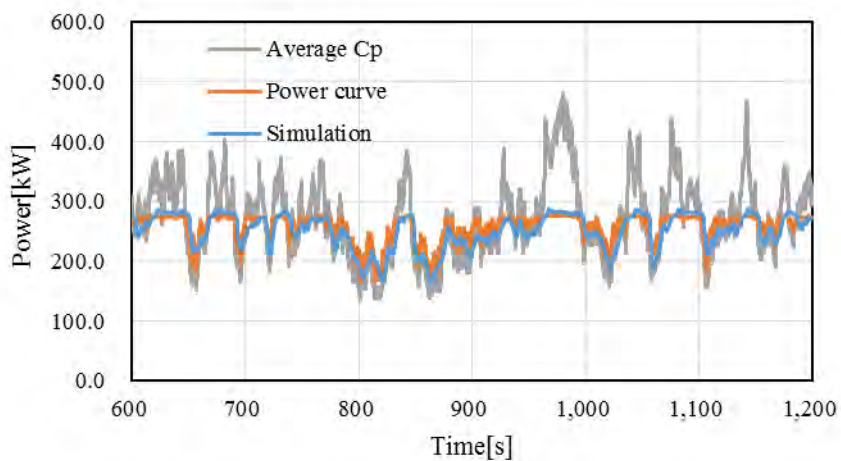
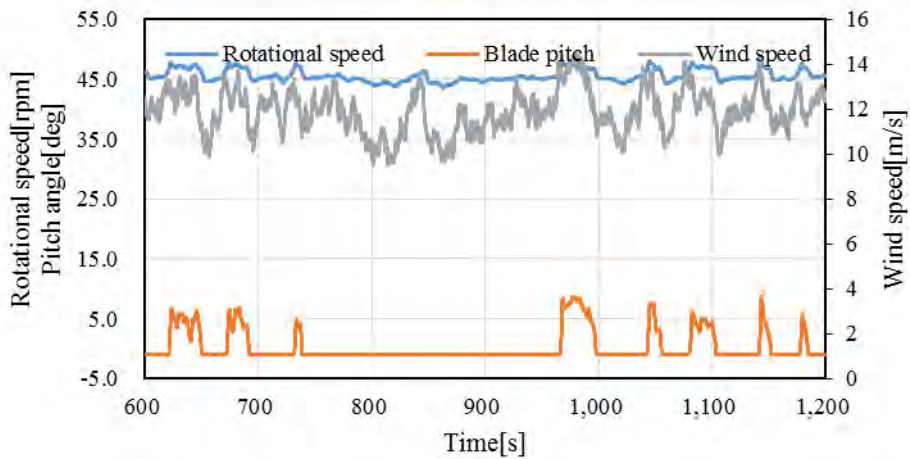
9 m/s 時系列グラフ



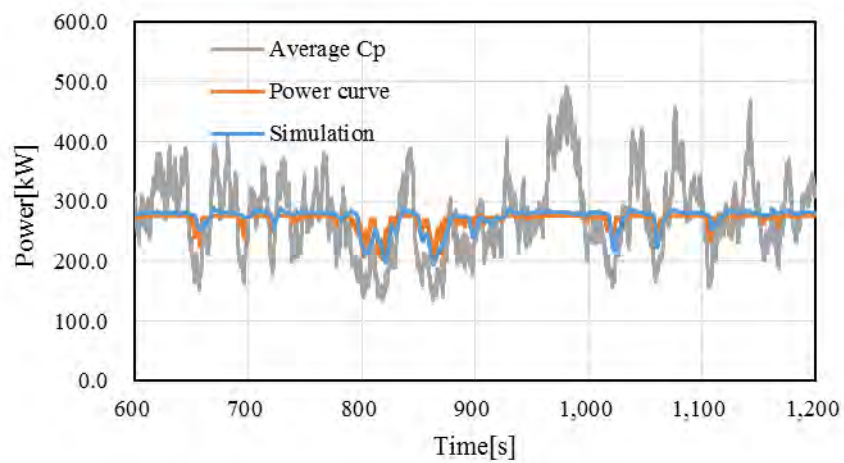
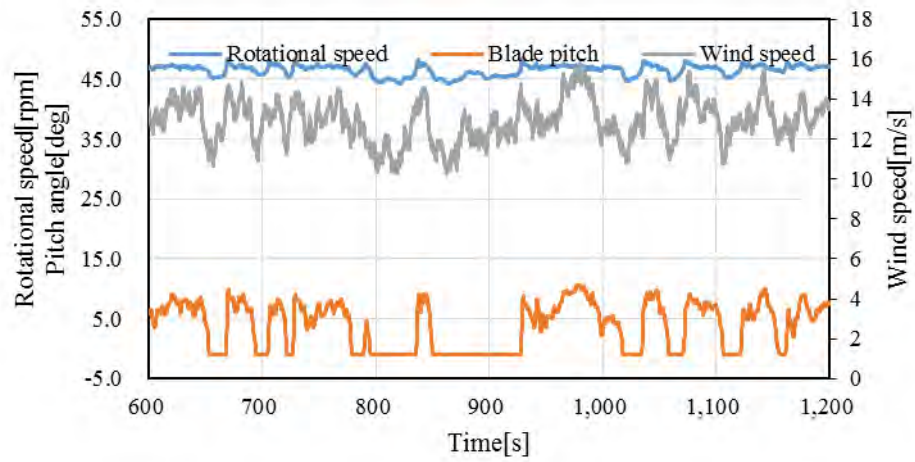
10 m/s 時系列グラフ



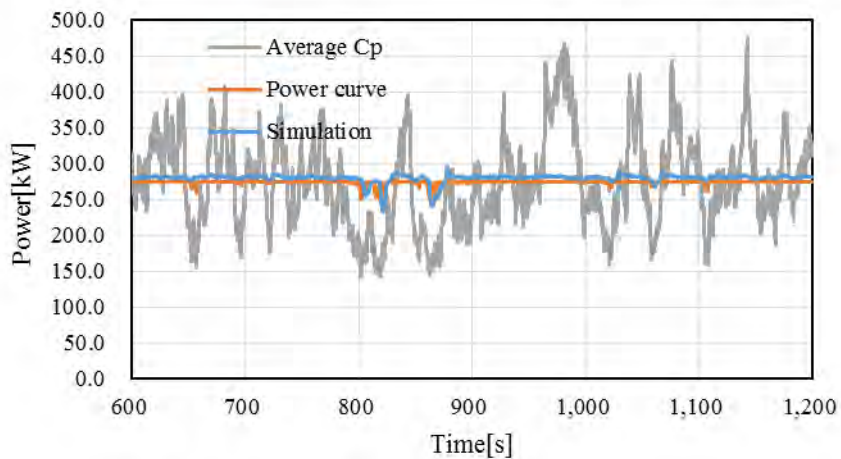
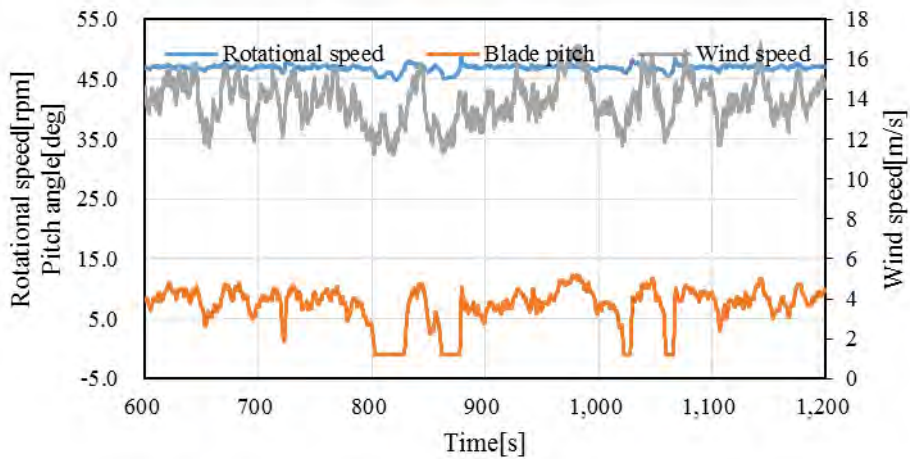
11 m/s 時系列グラフ



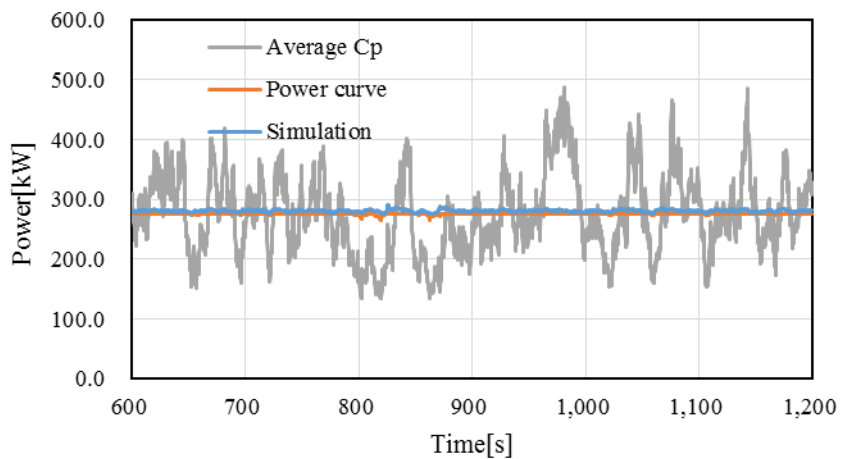
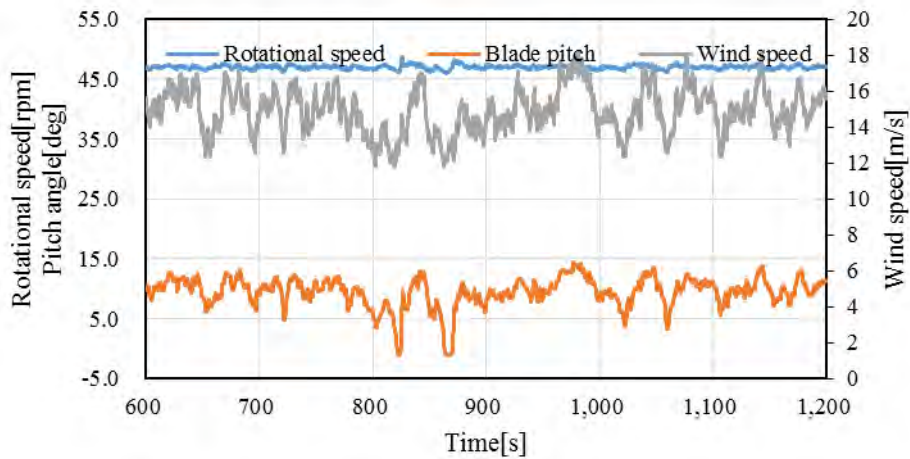
12 m/s 時系列グラフ



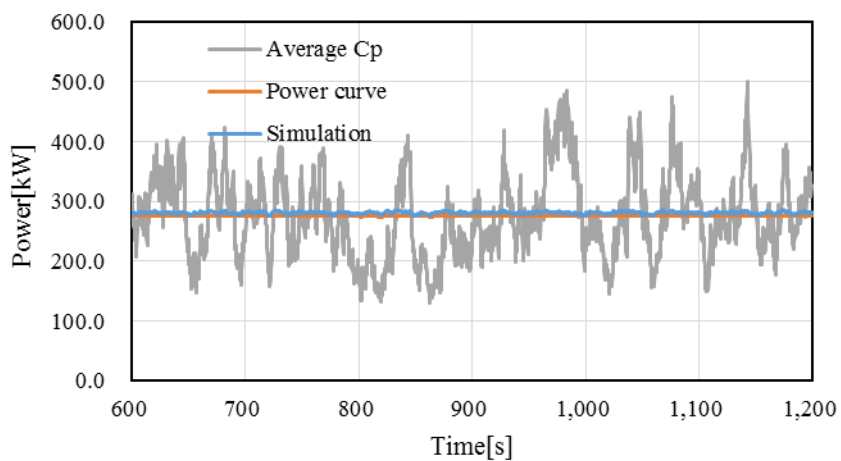
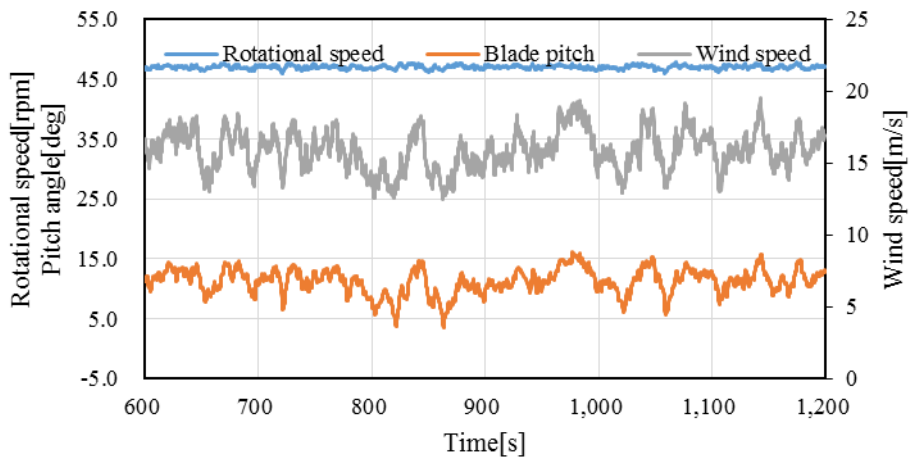
13 m/s 時系列グラフ



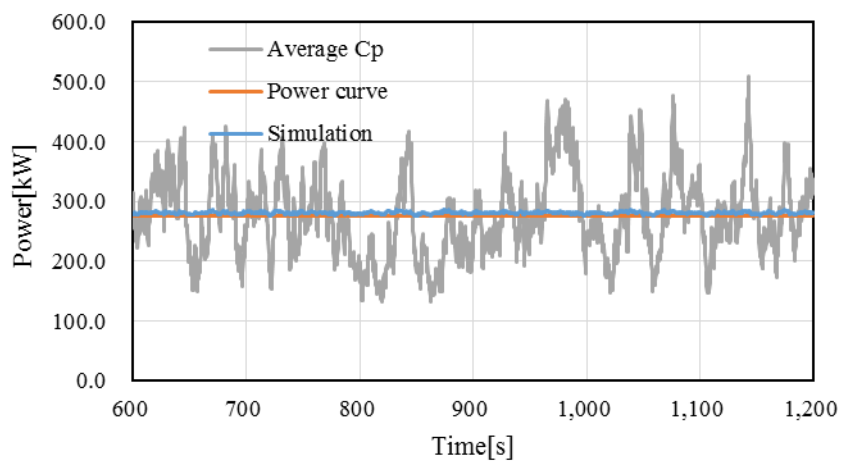
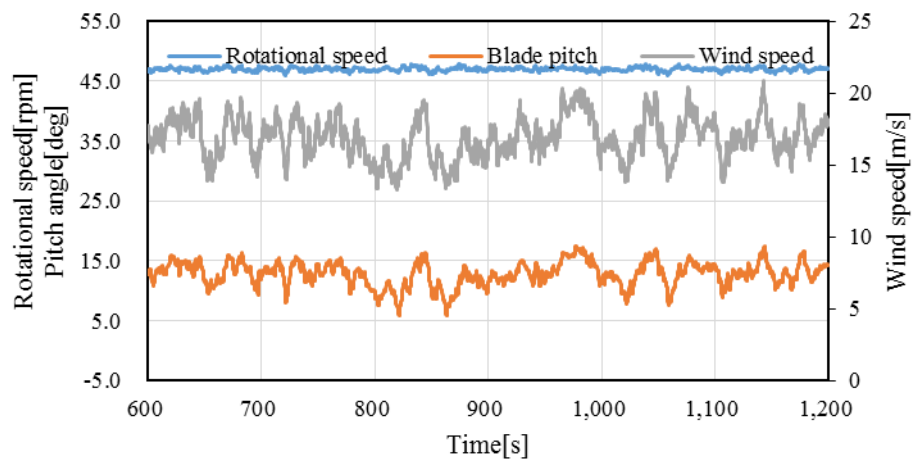
14 m/s 時系列グラフ



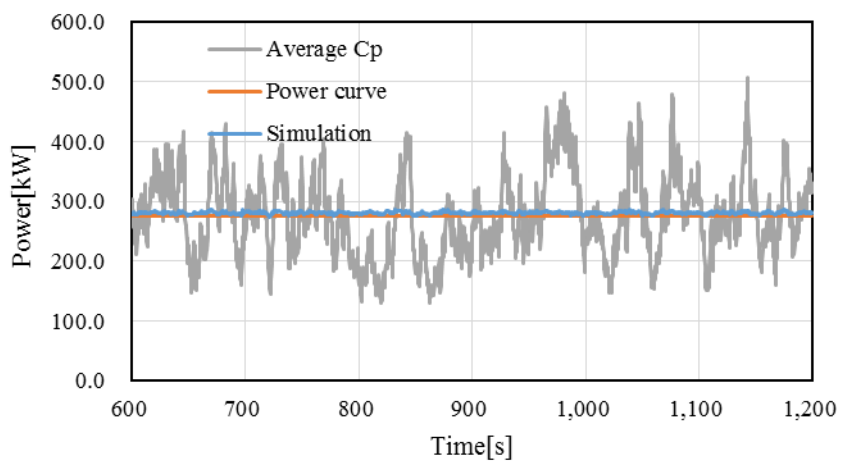
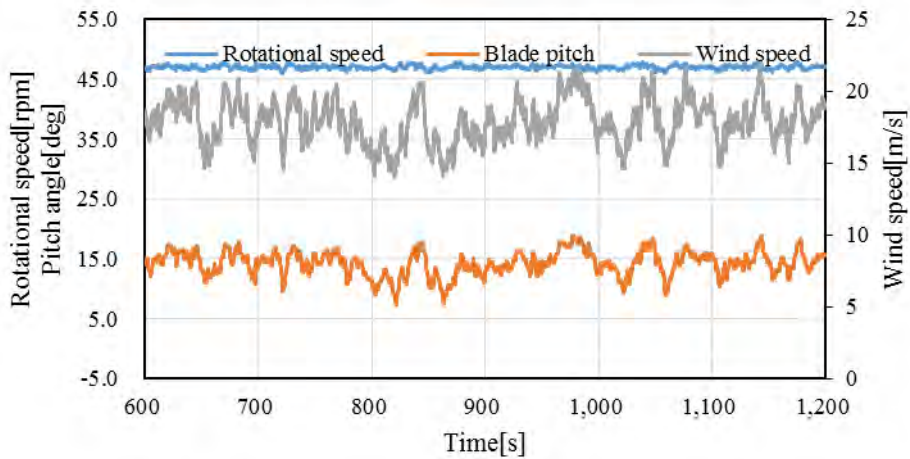
15 m/s 時系列グラフ



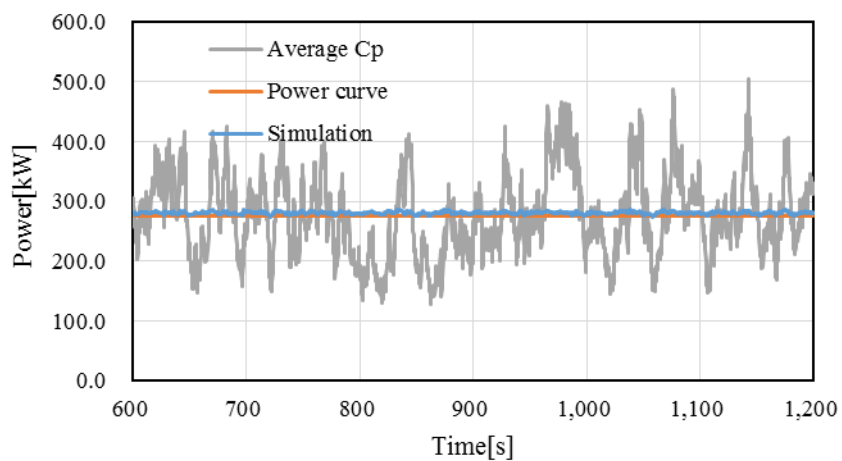
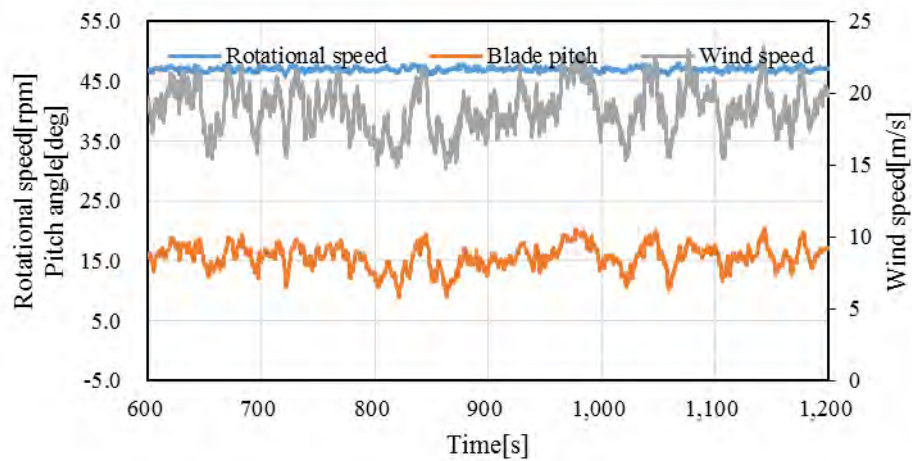
16 m/s 時系列グラフ



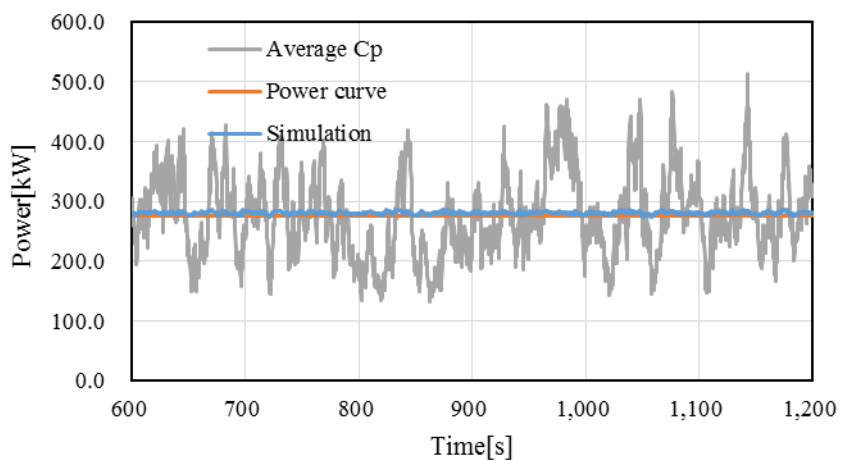
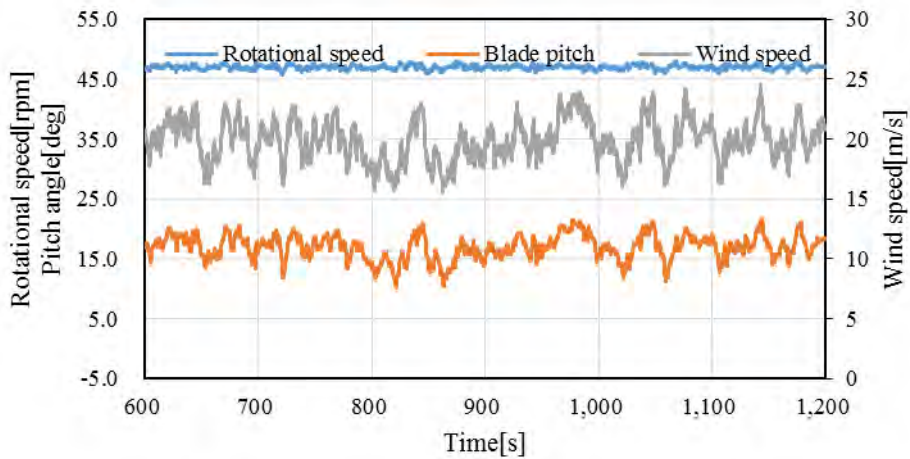
17 m/s 時系列グラフ



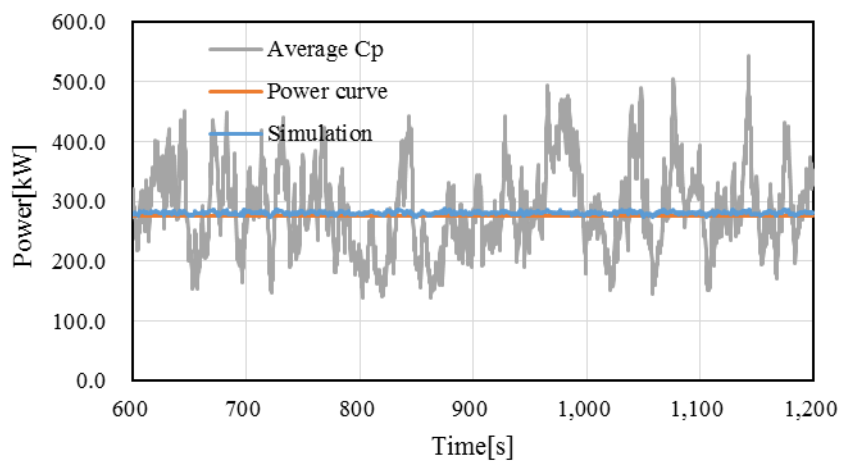
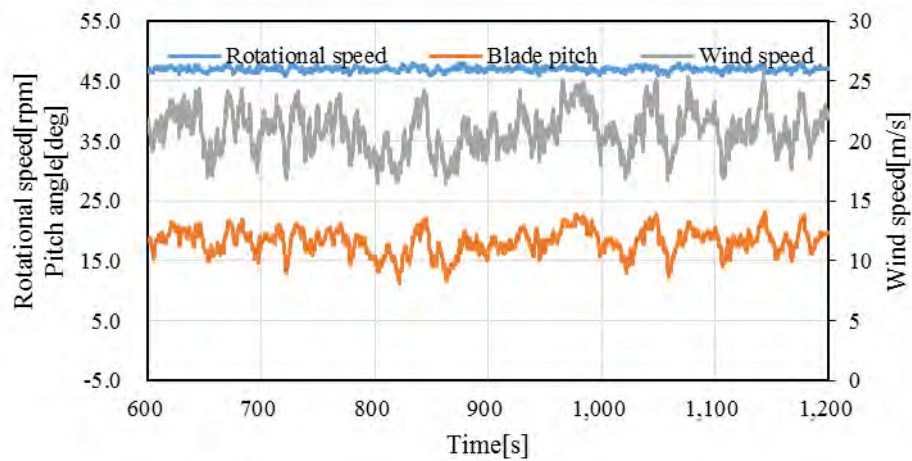
18 m/s 時系列グラフ



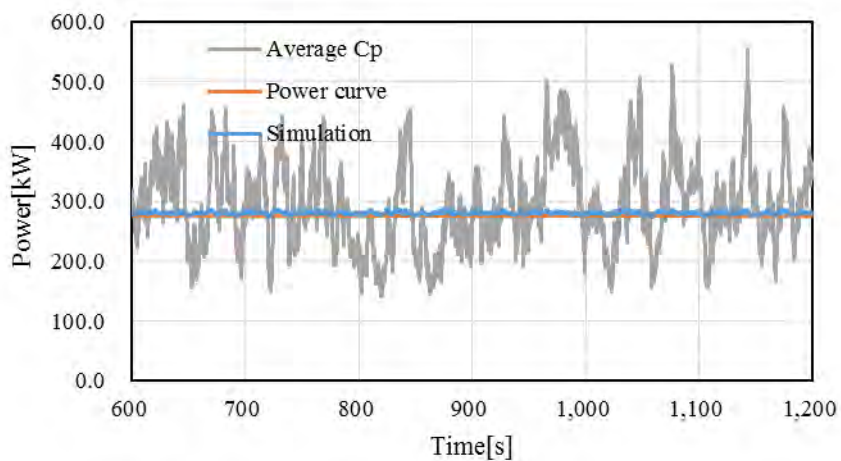
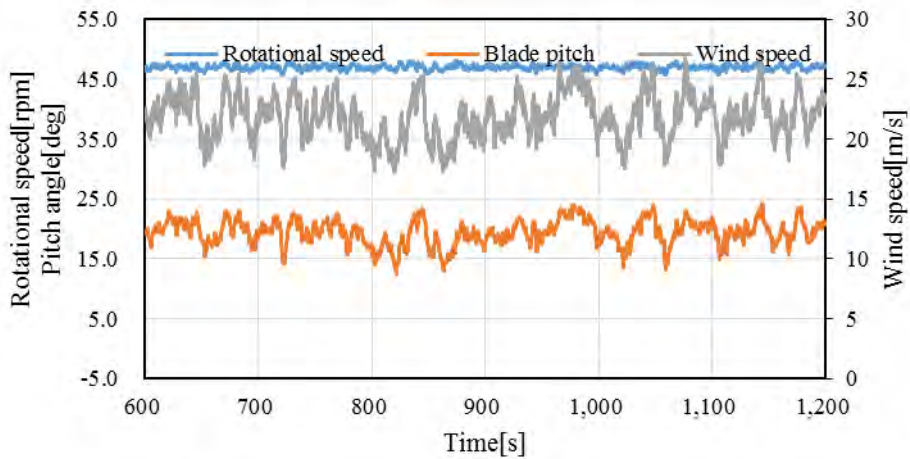
19 m/s 時系列グラフ



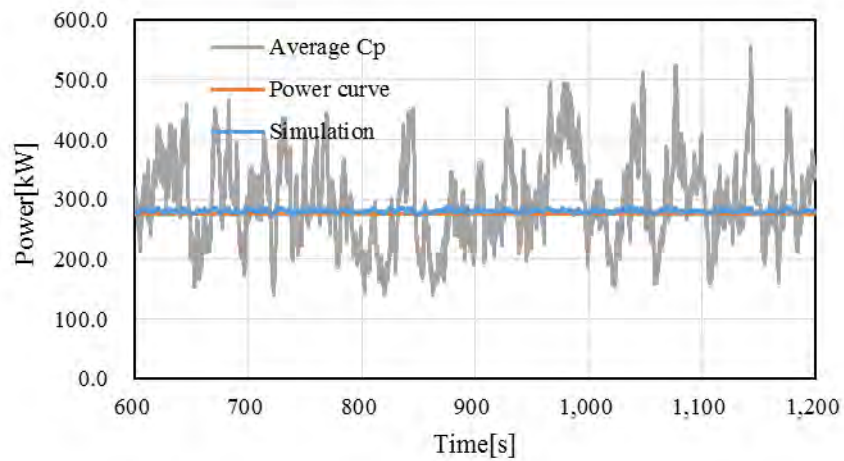
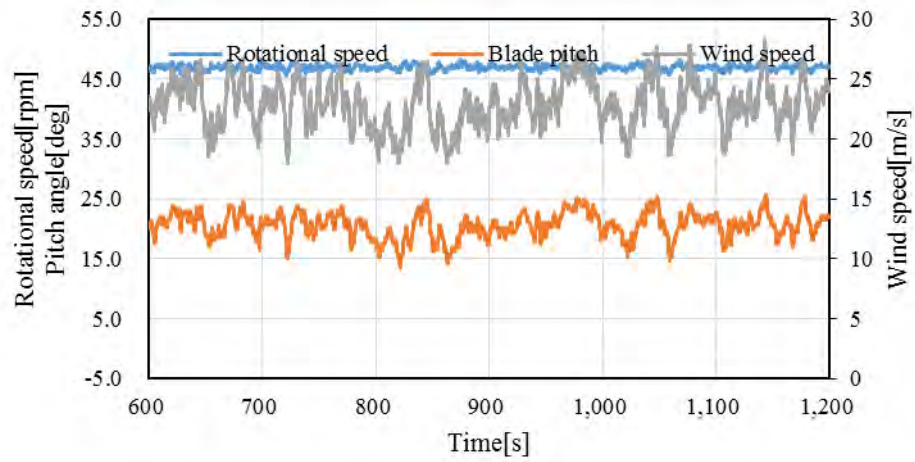
20 m/s 時系列グラフ



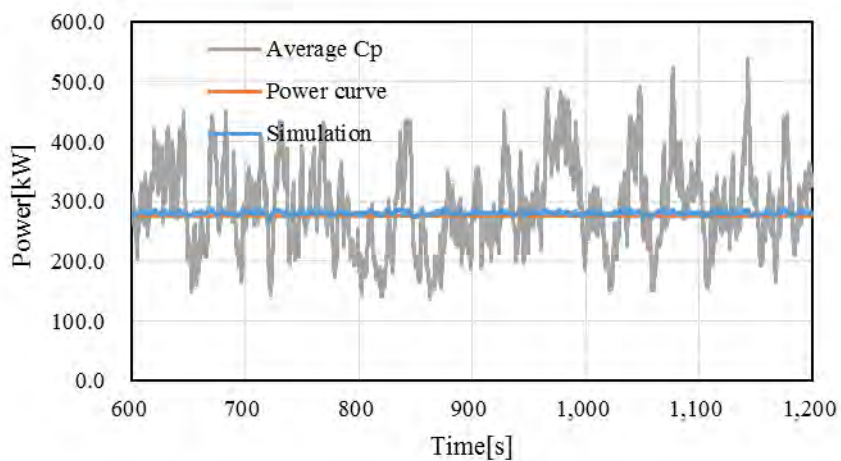
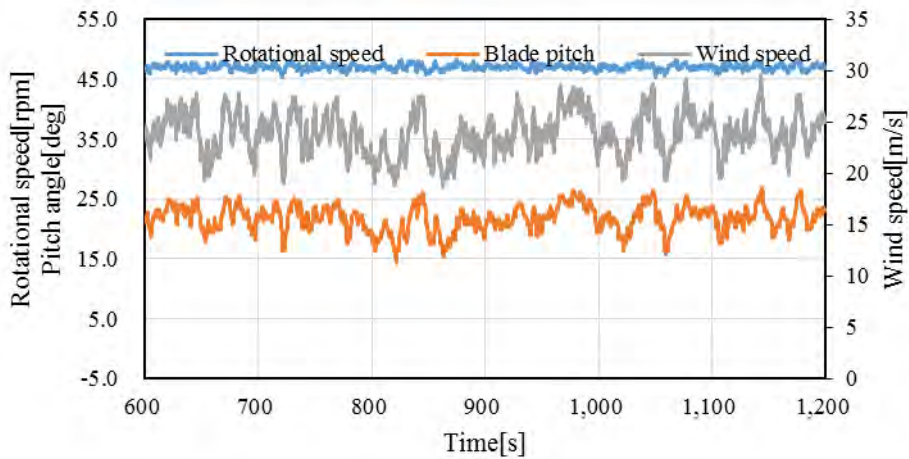
21 m/s 時系列グラフ



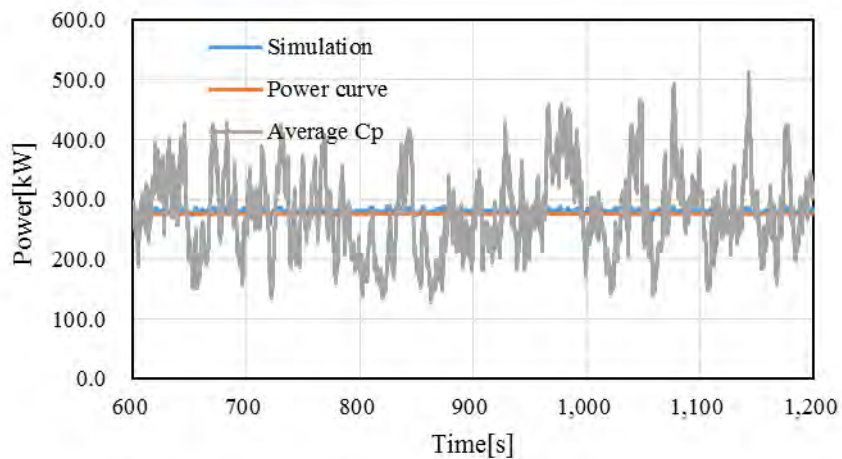
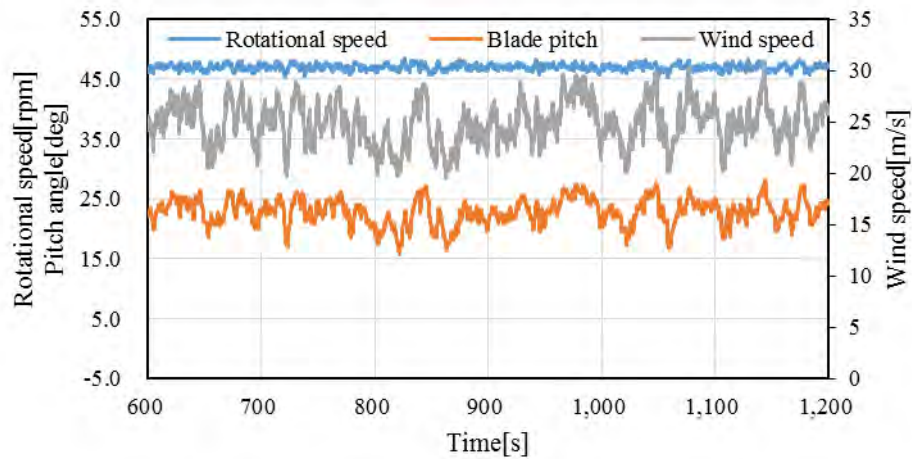
22 m/s 時系列グラフ



23 m/s 時系列グラフ



24 m/s 時系列グラフ



25 m/s 時系列グラフ

