

トンガ

2018年度 外部事後評価報告書
無償資金協力「マイクログリッドシステム導入計画」

外部評価者：株式会社日本経済研究所 西川 圭輔

0. 要旨

本事業は、多様な電源による電力供給と需要とのバランスを図り、再生可能エネルギーの安定的な導入と輸入化石燃料への依存度軽減に寄与することを目的として、太陽光発電施設及びマイクログリッドシステムを導入した事業であった。本事業は計画時及び事後評価時のトンガの開発計画・開発ニーズに合致しているほか、計画時の日本の援助政策とも整合しており、妥当性は高い。事業の実施面では、事業内容はおおむね計画どおりであり、事業費・事業期間ともに計画内に収まったことから、効率性は高い。事業効果に関しては、超大型サイクロンにより、本事業が実施されたトンガタブ島が大きな被害を受けた時期を除き、ディーゼル燃料消費量及び二酸化炭素排出量の削減及び太陽光発電による発電電力量の目標値を達成した。また、マイクログリッドシステムの導入により系統安定化も想定通り実現しているほか、さらなる再生可能エネルギー発電施設の導入に向けて大規模な蓄電設備が必要との認識も関係者間で高まったことが確認された。他の太陽光発電施設を含めると、トンガタブ島で必要とされる発電用ディーゼル燃料の7～8%を削減するという効果も発現しており、全体として本事業の有効性・インパクトは高い。運営・維持管理面では、制度・体制面、技術面、財務面、運営・維持管理状況全てにおいておおむね問題は見られなかったことから、持続性は高いと判断される。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



本事業で設置した太陽光パネル

1.1 事業の背景

トンガは、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 25%を占めており、GDP の 10%に相当していた。また、電力供給の 98%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た。このためトンガの発電コストは、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った。

2008 年に世界的に原油価格が高騰した際、トンガの電気料金は 1kWh 当たり 1.00 トンガ・パアング（米ドル換算で 1kW 当たり約 50 米セント）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¹。これを教訓にトンガでは、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 2010-2020、以下「TERM」という。)を策定した。しかしながら「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、さらなる再生可能エネルギーの導入が必要であったが、出力変動を伴う太陽光、風力発電等を大量に導入した場合には安定的な電力供給が難しく、かつ電力系統の周波数が変動し、電力の品質を維持することが困難となることが想定された。これに対処するため、さらなる再生可能エネルギーの導入と同時にマイクログリッドシステムを適用し、安定した電力供給と電力系統の周波数の変動を可能な限り抑えることが必要であった。

1.2 事業概要

トンガタブ島においてマイクログリッドシステムを構築することにより、多様な電源による電力供給と需要とのバランスを保持する安定的な電力運用を図り、もって再生可能エネルギーの安定的な導入と輸入化石燃料への依存度軽減に寄与する。

供与限度額/実績額	1,573 百万円 / 1,537 百万円	
交換公文締結/贈与契約締結	2013 年 3 月 / 2013 年 3 月	
実施機関	トンガ電力公社	
事業完成	2015 年 3 月	
事業対象地域	トンガタブ島	
案件従事者	本体	(機材) 南洋貿易株式会社・富士電機株式会社 共同企業体
	コンサルタント	八千代エンジニアリング株式会社・西日本技術開発株式会社 共同企業体

¹ 日本では、原油価格高騰後の 2009 年の家庭用の電気料金は、1kWh 当たり 22.8 米セントであった。同年の同様の電気料金は、イギリスでは 20.6 米セント、フランスでは 15.9 米セント、アメリカでは 11.6 米セントであった（出所：「平成 22 年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書 2011））。

協力準備調査	2012年8月～2013年3月
関連事業	<p>【無償資金協力】 太陽光を活用したクリーンエネルギー導入計画 (2010年) 風力発電システム整備計画 (2017年)</p> <p>【その他国際機関、援助機関等】 (アジア開発銀行)</p> <p>Promoting Energy Efficiency in the Pacific : フェーズ 1 (2008年～2011年)、フェーズ2 (2011年～2015 年) (ドイツ国際協力公社)</p> <p>Coping with Climate Change in the Pacific Island Region (2012年～2013年) (ニュージーランド援助プログラム)</p> <p>Renewable Energy-Meridian Solar Project (Popua Solar Farm) (2011年～2012年)</p> <p>Tonga Village Network Upgrade (2011年～2013年) (再生可能 エネルギー・エネルギー効率化パート ナーシップ)</p> <p>REEEP TERM IU Support (2011年～) (世界銀行)</p> <p>Tonga Energy Development Policy Project (2010年～ 2011年)</p> <p>TERM Implementation Project (2012年～2013年)</p>

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

西川 圭輔 (株式会社日本経済研究所)

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2018年9月～2019年9月

現地調査：2018年11月15日～11月30日

3. 評価結果（レーティング：A²）

3.1 妥当性（レーティング：③³）

3.1.1 開発政策との整合性

本事業の計画時のトンガの国家開発計画は、「トンガ戦略開発枠組み 2011-2014」（TSDF-I）であった。同枠組みの9つの大目標の1つは「インフラ整備」であり、その中の戦略の1つに再生可能エネルギーの導入による高い信頼性及び経済的な電力供給を継続・拡大することが挙げられていた。エネルギーセクターについても、TERM という2020年を見据えた長期的な計画が策定されており、その中で、2020年までにトンガの発電量の50%を再生可能エネルギーで賄うこと、及び全ての人々が電力供給を受けられることが目標とされていた。

事後評価時のトンガの開発計画は、対象期間が変更された同名称の「トンガ戦略開発枠組み 2015-2025」（TSDF-II）である。同枠組みでは5つの柱が掲げられており、その1つは「インフラ整備と技術の投入」である。その中の5つのアウトカムの1つに、化石燃料への依存の軽減及び再生可能エネルギーの拡大を通じた最適なエネルギーの組み合わせの実現が掲げられている。セクター計画については、TERM が引き続き有効であり、2020年までに発電量の50%を再生可能エネルギーで賄うという同じ目標を掲げている。また、気象・エネルギー・情報・災害管理・環境・気候変動・通信省エネルギー局（以下「エネルギー局」という。）のTERM 実施ユニット⁴によると、トンガ政府としてはTERM の目標に加えて、2030年までにその比率を70%にすることを目標としているとのことであった。

以上より、国家計画である「トンガ戦略開発枠組み」では、計画時及び事後評価時の両時点で、再生可能エネルギーの導入推進の方向性が掲げられており、本事業はこれに合致している。また、事後評価時においてセクター計画であるTERM の目標値にも変更はなく、再生可能エネルギー導入の推進は重視されていることが見受けられる。

したがって、本事業はトンガの開発政策に整合しているといえる。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

本事業計画時、トンガは電力供給の98%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た。そのため、国際的な原油価格の高騰といった外部要因の影響を大きく受けることから、国家のエネルギー安全保障の点で、化石燃料への輸入依存度を低減させることが必要であった。その手段として、再生可能エネルギー施設を導入することを政策的に推進していたが、その導入に重要な電圧安定化のための施設は未整備のまま

² A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

³ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁴ 電気料金を低減させることによりトンガ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を目的として、首相を委員長とした計12名の委員によるTERM委員会が設置されており、その実施チームとしてTERM実施ユニットが置かれている。

あった。

事後評価において、本事業完成（2015年3月）以降の再生可能エネルギー比率の推移を把握したところ、表1のとおりであった。

表1 トンガの再生可能エネルギー導入状況

	2015年	2016年	2017年	2018年
ディーゼル発電量 (MWh)	43,659	59,175	62,612	44,663
再生可能エネルギー 発電量 (MWh)	3,971	5,072	6,622	5,058
再生可能エネルギー 発電比率 (%)	8.34	7.89	9.57	10.17

出所：実施機関提供データ

注：2015年は3～12月、2018年は1～9月の数値を基に年換算した。

表1のとおり、再生可能エネルギーによる発電比率は2018年には10%を超える水準まで上昇してきている。TERMで掲げられている、「2020年までに再生可能エネルギー比率を50%に引き上げる」ことは困難であると思われるが、本事業を含め複数の太陽光発電事業が実施されてきた。さらに、事後評価時点で日本の支援により本体工事が行われている「風力発電システム整備計画」を含め、化石燃料への依存度を減らす取り組みが進められており、再生可能エネルギー発電施設の整備に対するニーズは引き続き高いことが見受けられる。

再生可能エネルギー発電施設の導入に欠かせない系統安定化装置の導入については、実施機関及びエネルギー局によると、「緑の気候基金⁵」及びアジア開発銀行による支援を通じて、蓄電システムを導入する計画が進められていることが事後評価時に確認された。

したがって、本事業は計画時及び事後評価時の開発ニーズに合致するといえる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

本事業の計画当時、日本は大洋州の各国に対し、第6回太平洋・島サミット（2012年）の場において、再生可能エネルギーの導入促進を支援する方針を打ち出した。また、対トンガ国別援助方針（2012年）では、「環境・気候変動」を重点分野とし、TERMの取組みへの支援を行うこととしていた。

したがって、本事業は、計画時の日本の大洋州全体及びトンガへの援助政策に合致していたといえる。

⁵ 開発途上国の温室効果ガス削減（緩和）と気候変動の影響への対処（適応）を支援するため、気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）に基づく資金供与の制度の運営を委託された基金であり、日本も2015年5月に拠出を行うことを確定した。（出所：外務省ホームページ）

本事業は、計画時及び事後評価時のトンガの開発計画・セクター計画及び開発ニーズに合致しているほか、計画時の日本の対大洋州・トンガ援助政策にも整合していることが確認された。また、事業計画内容やアプローチにも問題はなかったと考えられる。

以上より、本事業の妥当性は高いと判断される。

3.2 効率性（レーティング：③）

3.2.1 アウトプット

本事業では、トンガタプ島において、太陽光発電システム及び系統安定化設備を導入することが計画されていた。具体的な計画・実績内容（日本側実施）は表2のとおりであり、全て予定通り実施されたことが確認された。

表2 本事業の計画・実績内容

		計画	実績
調達・据付	1. ポプア発電所側マイクログリッド設備		
	1.1 マイクログリッド制御設備	一式	一式
	1.2 系統安定化設備システム	8.3kWh 以上	8.3kWh 以上
	1.3 所内用電気設備盤	一式	一式
	2. バイニ地区側マイクログリッド設備		
	2.1 マイクログリッド制御設備	一式	一式
	2.2 系統安定化設備システム	8.3kWh 以上	8.3kWh 以上
	2.3 太陽光発電システム	1,000kWp	1,000kWp
	2.4 11kV 系統連系用開閉設備	7 面	7 面
	2.5 所内用電気設備盤	1 面	1 面
3. 光ケーブル通信設備	15km	約 15km	
調達	1. 11kV 系統連系用開閉設備 (ポプア発電所側)	4 面	4 面
	2. 交換部品	一式	一式
建設	1. 整流設備及び蓄電設備用建屋 (バイニ地区側)	約 190m ²	201.50m ²
	2. 太陽光パネル基礎 (バイニ地区側)	一式	一式
	3. 整流設備及び蓄電設備用建屋 (ポプア発電所側)	約 100m ²	117.70m ²

出所：準備調査報告書、JICA 提供資料、実施機関提供情報



11kV 高圧受電盤（バイニ地区サイト）



ポプア発電所新電気室

本事業では、トンガ側も主に以下の項目を実施することが計画され、実際に予定通り実施されたことが事後評価のサイト調査時に目視確認された。

- ・ バイニ地区サイトの樹木伐採、外塀、門扉工事
- ・ バイニ地区サイトの 11kV 配電線の太線化と接続工事
- ・ ポプア発電所 11kV 開閉器盤室の増設工事
- ・ ポプア発電所 11kV 系統連系開閉設備据付工事
- ・ ポプア発電所既設発電設備改造工事

これらの調達・建設工事に加えて、本事業ではソフトコンポーネントとして、トンガで初めて導入されるマイクログリッドシステム及び施設の運転・維持管理手法の指導や、同システムが連系された配電システムの安定的運用手法の指導を行うことが計画されていた。これらの指導は、2014年11月～2015年2月にかけて予定通り行われた。実施機関によると、実施期間は短かったものの集中的に講義・実習が行われ、基礎的な能力が身についたとのことであった。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本事業の事業費は、日本側 1,573 百万円とトンガ側 57 百万円の計 1,630 百万円となることが計画されていた。

実際の事業費は、以下の通り、日本側 1,537 百万円とトンガ側 71 百万円の計 1,609 百万円⁶であった。

⁶ 四捨五入の関係上、日本側とトンガ側の個々の事業費の合計値とは一致しない。

表3 日本側事業費の実績内訳

(単位：百万円)

内訳	事業費
建設費	0
機材費	1,474
設計管理費	63
合計	1,537

出所：JICA 提供資料

表4 トンガ側事業費の実績内訳

(単位：千トンガ・パアンガ)

内訳	事業費
銀行手数料	39
バイニ地区サイトの樹木伐採、外塀、門扉工事	150
バイニ地区サイトの 11kV 配電線の太線化及び接続工事	82
ポプア発電所 11kV 開閉器盤室の増設工事	103
ポプア発電所 11kV 系統連系開閉設備据付工事	197
ポプア発電所既設発電設備改造工事	175
バイニ地区サイトの太陽光発電用地初年度リース料	450
合計	1,196

出所：実施機関提供資料

注：1,196 千トンガ・パアンガ=71 百万円、期間平均の為替レート（1 トンガ・パアンガ=60.03 円）を用いて算出。

トンガ側事業費は、予定額を若干上回った項目があったため計画額を超過したが、総事業費は 1,609 百万円と、計画内に収まった（対計画比 99%）。

3.2.2.2 事業期間

本事業の事業期間⁷は、詳細設計・入札期間を含め、24 カ月になることが計画されていた。実際の事業期間は、2013 年 5 月から 2015 年 3 月までの 23 カ月であった。計画された期間内に、機材の据付けや運転指導が完了しており、実績期間は計画内に収まった（対計画比 96%）。

本事業の効果発現に必要なアウトプットは計画通りであった。そのための事業費も事業期間も計画内に収まっており、効率性は高い。

3.3 有効性・インパクト⁸（レーティング：③）

3.3.1 有効性

3.3.1.1 定量的効果

本事業の計画時、定量的効果指標としてディーゼル燃料削減量、二酸化炭素（CO₂）排出削減量、太陽光発電による年間発電電力量が挙げられていた。事後評価ではこれらの指標に加えて、トンガタブ島には複数の再生エネルギー発電施設があるため、本事業の貢献度合いを検証するために、本事業で整備した施設がトンガタブ島における

⁷ 事業事前評価表及び準備調査報告書からは、贈与契約締結日から詳細設計開始までの期間が不明であったため、詳細設計開始日を起点とし、竣工日までを事業期間とみなした。

⁸ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

全発電量のどの程度の割合を発電しているかも把握した。

表5 本事業の定量的効果指標の推移

	基準値	目標値	実績値			
	2011年	2018年 事業完成 3年後	2015年 事業 完成年	2016年 事業完成 1年後	2017年 事業完成 2年後	2018年 事業完成 3年後
ディーゼル燃料削減量(kℓ/年)	—	327	389	342	373	273
CO ₂ 排出削減量(t-CO ₂ /年)	—	886	1,062	934	1,018	744
1MWp 太陽光発電による年間発電電力量(MWh/年)	0	1,308	1,556	1,369	1,492	1,091
(参考)トンガタブ島における発電に占める割合(%)	—	—	3.2	2.5	2.5	2.0

出所：事業事前評価表、実施機関提供資料より算出

注：2015年は3～12月を1.20倍、2018年は1～9月の数値を1.33倍することにより年換算した推計値

本事業完成後から2017年まで、ディーゼル燃料削減量、CO₂排出削減量、及び年間発電電力量は全て目標値を上回る水準で推移した。2018年の数値は目標値に達していないが、これは2018年2月に60年ぶりの規模となる超大型サイクロンGitaが襲来してトンガタブ島全域で大規模な停電が発生したことが要因であった。サイクロン直撃後、一時的な復旧に6週間を要したほか、発電も限定的になったが、表5の数値の減少は天災という特殊要因によるものとして判断した。なお、本事業で整備した施設による発電量は、トンガタブ島における発電量全体の2～3%程度を占めている。

トンガタブ島では、本事業（1.0MW規模）以外の大規模な太陽光発電施設として、ニュージーランドの支援で設置された1.3MW規模の施設（2012年7月より稼働）、及び中国資本の独立系発電事業者による2MW規模の施設（2017年9月より稼働）がある。表6に示すとおり、3つの施設を合計すると、トンガタブ島全体の発電量の8.6%（2018年）を占めるようになっており、一定の貢献をしていることがうかがわれる。

表6 トンガタブ島の3つの太陽光発電施設による効果

	2015年	2016年	2017年	2018年
ディーゼル燃料削減量(kℓ/年)	799	836	1,041	1,199
CO ₂ 排出削減量(t-CO ₂ /年)	2,182	2,282	2,841	3,273
4.3MWp 太陽光発電による年間発電電力量(MWh/年)	3,197	3,343	4,163	4,796
トンガタブ島における発電に占める割合(%)	6.6	6.1	7.1	8.6

出所：実施機関提供データより算出

注：表5と同様に、2015年は3～12月、2018年は1～9月の数値を基に年換算した。

3.3.1.2 定性的効果（その他の効果）

本事業計画時、事業実施による定性的効果として、「蓄電設備及びマイクログリッド・コントローラー⁹を用いた電力システムの安定化」が想定されており、太陽光発電施設による発電の不安定さが軽減されることを見込まれていた。

実施機関によると、本事業で整備した蓄電設備及びマイクログリッド・コントローラーを用いて、ニュージーランド支援の施設による発電及び本事業のバイニ地区サイトの発電を、トンガタブ島の送電系統に組み込んで安定化させることができているとのことであった¹⁰。本事業で設置した設備により、太陽光発電施設の発電量が大きく変動するという不安定性を軽減し、ベースロード¹¹であるディーゼル発電をコントロールできている。電圧や周波数も実施機関の基準値以内で制御できているとのことであり、本事業の定性的効果も発現しているといえる。

しかし、本事業で設置したシステムでは、本事業実施後に設置され稼働している独立系発電事業者の施設からの発電状況を把握し、コントロールすることはできていない。「緑の気候基金」を通じて設置することが見込まれる蓄電設備の確実な導入が、今後特に独立系発電事業者による再生可能エネルギー施設の建設の促進に当たって重要であると思われる。

3.3.2 インパクト

3.3.2.1 インパクトの発現状況

本事業の計画時には、事業実施により、

- ・ディーゼル燃料価格変動リスクの緩和
- ・国外より輸入するディーゼル燃料への依存度軽減を通じたエネルギー安全保障の向上

というインパクトが発現することが想定されていた。

実施機関提供情報によると、本事業で建設した太陽光発電施設による発電を通じて、2015/16年度に404千トンガ・パアング、2016/17年度に438千トンガ・パアング、2017/18年度に436千トンガ・パアングの財務的な燃料削減効果を実現している。これは、実施機関が支払った燃料費の2.6%、2.3%、2.0%にそれぞれ相当しており、割合は決して高くないが、ディーゼル燃料の価格変動リスクや輸入依存度の軽減には想定通りの

⁹ 発電量の急な変動に対応し、電源設備の出力の増減を一定に保つもの

¹⁰ トンガタブ島の停電時間数は2015/16年度は1,252分、2016/17年度は1,560分であった。配電網の改修事業が行われており、計画的な停電も含まれているため、時間は増加したが、安定性は向上したとのことであった。

¹¹ 季節や時間帯に関わらず、常に最低限供給される発電量

インパクトが出ているといえる。

トンガ全体の状況については、実施機関の年次報告書によると、本事業を含む再生可能エネルギー発電設備によるディーゼル燃料削減量は 2015/16 年度は 1,110 千 ℓ、2016/17 年度は 1,180 千 ℓ、2017/18 年度は 1,500 千 ℓ であった。価格面でのインパクトは、2015/16 年度は 129 万トンガ・パアング、2016/17 年度は 144 万トンガ・パアング、2017/18 年度は 163 万トンガ・パアングの節約であり、それぞれ実施機関が支払った燃料費全体の 8.4%、7.5%、7.6% を占めた。

なお、実施機関及びトンガ統計局提供データに基づいて算出すると、トンガ全体の燃料輸入額に占める実施機関の輸入額割合は 22~29%/年（2012/13 年度~2017/18 年度）であり、複数の再生可能エネルギー施設の導入により（表 6）、トンガ全体の輸入額の 2% 程度の削減効果¹²が生まれているということになる（本事業は実施機関の燃料削減のうち約 2~3% を占めているため、トンガ全体への貢献割合は 0.6% 程度と推計される）。トンガ・エネルギー局によると、トンガのエネルギー安全保障とは、燃料価格の変動（高騰）の影響を軽減することを主眼としたものであるとのことであるため、輸入燃料の削減の実現は、同国のエネルギー安全保障の向上にもつながるものであるといえる。

3.3.2.2 その他、正負のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

本事業の計画時、事業実施による環境や社会への望ましくない影響が最小限またはほとんどないと考えられており、JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010 年 4 月）に照らしても問題はなかった。トンガ国内では、2003 年環境影響評価法及び 2010 年環境影響評価細則に則り、環境影響評価の実施が必要とされていた。

事後評価時に実施機関に確認したところ、環境影響評価については、予定通り実施され、事業実施にあたり以下の条件が課された。

- ・ 騒音軽減、整地による地形改変や土壌流出の回避
- ・ 建設機械・運搬車両による大気汚染等の軽減
- ・ 化学・電気製品の適切な使用
- ・ 土壌汚染や粉塵の回避
- ・ 太陽光のパネル反射（光・熱）の影響回避
- ・ 漏電防止

¹² 複数の再生可能エネルギー施設による発電割合が 7~8% 程度であるため、トンガ全体の燃料輸入額に占める実施機関の輸入額割合 22~29%/年の 7~8% は、およそ 2% 程度であるため、「2% 程度の削減効果」と計算した。

実施機関及び環境局によると、これらの事項は全て事業実施中に順守されたとのことであった。また、本事業の実施中及び実施後に自然環境面の負のインパクトは報告されておらず、近隣住民からの苦情も寄せられたことはないとのことであった。

したがって、事業実施に伴う環境への負の影響は発生していないほか、住民への影響もないことから、全体として問題はないと思われる。

(2) 住民移転・用地取得

本事業の対象サイトのひとつであり、太陽光発電施設の設置が予定されていたバイニ地区サイトは、貴族（土地・環境・気候変動・自然資源大臣）の所有地であり、50年のリース契約を交わすことにより事業が実施されることとなっていた¹³。当該敷地については、予定通りリース契約が結ばれており、手続き上の問題は見受けられなかった。また、貴族による土地の提供は、公益性の高い事業に対して、高額ではないリース料で契約がなされていると近隣村の住民には受け止められているとのことであり、何ら問題は生じていないことが確認された。

また、本事業では住民移転は発生しなかった。

したがって、本事業実施に伴う用地使用手続きは適正に行われたほか、住民移転は発生しておらず、全体として問題はないといえる。

(3) その他のインパクト

実施機関からは、本事業によるその他のインパクトとして、

- ・ 太陽光パネルの設置されたバイニ地区サイトは街中と空港を結ぶ大通り沿いに位置しており、再生可能エネルギーに対する人々の関心の高まりに大きな役割を果たしている。

という点が挙げられた。

その他にも、本事業では、系統安定化システムを導入したことにより、本事業に先行してニュージーランドの支援により実施された太陽光発電施設の発電量の変動の軽減も実現していた。また、実施機関等の関係者の間では、同システムにより発電系統全体が安定的に運用されることを初めて実感したことを通じて、再生エネルギー施設の導入に伴う蓄電設備の重要性に関する認識が高まったとのことであった。この経験を基に、再生可能エネルギー施設をさらに導入するには大型の蓄電設備を組み込むことが必要であるという考えが確立され、事後評価時には「緑の気候基金」に対して導入費用の申請を行ったことが確認された。同申請は採択され、2019年以降に蓄電設備が導入されることが決定されている。

有効性に関し、本事業の定量指標は、2018年2月の超大型サイクロンによりトンガタ

¹³ トンガでは土地は王族・貴族が所有しており、売買は行われていない。

プ島が大きな被害を受けた時期を除き、目標値を達成している。また、本事業で導入したマイクログリッドシステムにより系統の安定化が実現しているほか、さらなる再生可能エネルギー導入にとって大規模な蓄電設備が重要であることという認識が高まり、本事業終了後に独自に導入するための取組みも見られた。

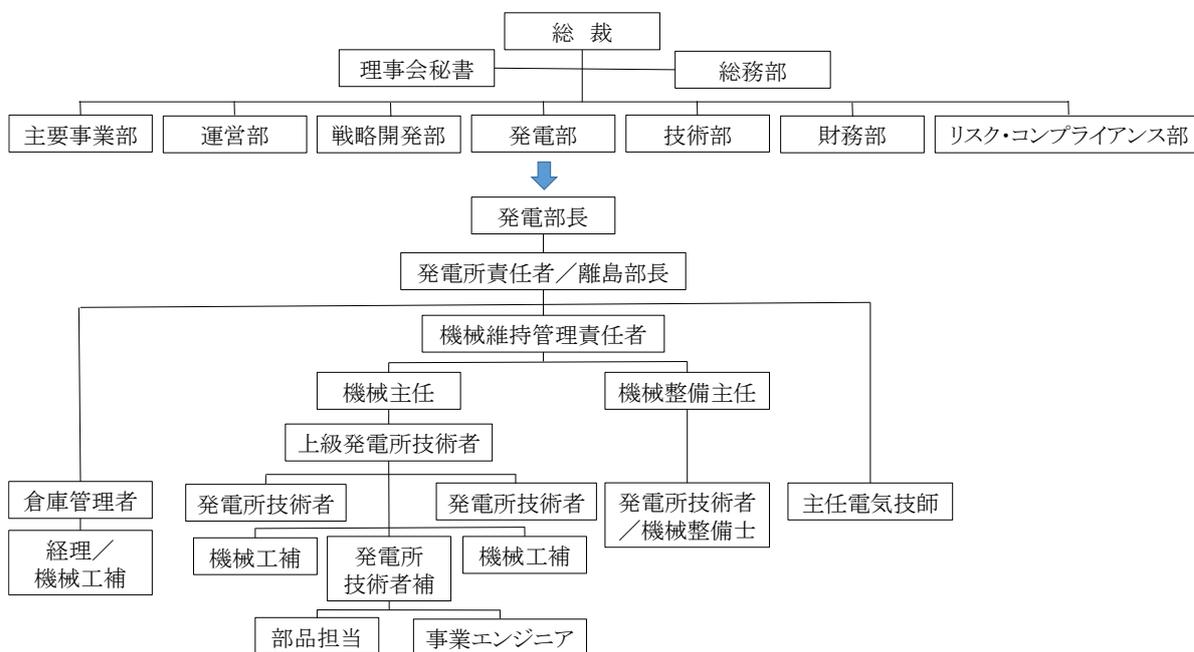
インパクトについては、本事業の前後に導入された他の再生可能エネルギー施設と併せ、トンガタプ島では全体として7~8%の発電用のディーゼル燃料の削減が実現しており、燃料輸入削減を通じた国家エネルギー安全保障の向上につながっていると見える。また、本事業による自然環境への負の影響や、住民移転・用地取得は発生しておらず、環境社会面でも問題は見られなかった。

以上より、本事業の有効性・インパクトは高いと判断される。

3.4 持続性（レーティング：③）

3.4.1 運営・維持管理の制度・体制

本事業の実施機関は公営企業省の傘下に位置づけられるトンガ電力公社（Tonga Power Limited、以下「TPL」という）であり、トンガにおける電力供給を担う公社として位置づけられている。同公社は8部門（経営・事務3部門+技術5部門）で構成されており、総職員数は229名（うち29名は研修生）である。



出所：実施機関提供資料より作成

図1 TPL組織図（一部）

太陽光発電設備・マイクログリッド・コントローラー等の運転・維持管理を担当する

発電部は、28名（トンガタブ島16名＋離島計12名）の職員により構成されている。発電部には電気技師等の資格を有する技術者が5名（部長・発電所責任者を含む）おり、実施機関では十分な人数を有した体制となっていると判断していた。

TPLは2008年に公社化して以降、組織体制には大きな変化はなく、運転・維持管理の状況からも、発電部は十分な資格を持った技術者を含めて構成されていると判断される。また、発電部職員はディーゼル発電を担当していたが、本事業で研修を受け、事後評価時点では再生可能エネルギー発電に関しても十分な知見を有する職員で運営・維持管理がなされていると思われた。

3.4.2 運営・維持管理の技術

本事業計画時より、TPLは発電所の運営・維持管理に関して十分な経験を有している。太陽光発電施設の運営・維持管理の経験は比較的短いものの、本事業のソフトコンポーネント実施を通じて系統安定化システムの運用や故障時の対応等について学ぶことができしており、技術的に対応できない事項はないとのことであった。また、本事業で作成された太陽光発電及びマイクログリッドシステムの運営・維持管理マニュアルはポプア発電所及びバイニ地区の各サイトに保管されており、必要に応じて参照されていた。事後評価のサイト調査時には、ソフトコンポーネントでの指導内容をふまえ、系統安定化システムは、既存のディーゼル発電管理システムと連動して運用されており、技術的な問題は見受けられなかった。

技術力の維持・向上に関しては、JICA、ニュージーランド、豪州等のドナーが提供する研修プログラムに参加する機会が時折ある程度のものであり、体系的な研修プログラムは存在していなかった。日常的な運営・維持管理における技術的な問題は特段見受けられなかったが、技術者向けの定期的な研修を実施し、常に新たな技術を習得することはTPLが今後取り組むべき課題として考えられる。

3.4.3 運営・維持管理の財務

TPLの近年の収支状況は表7のとおりであり、黒字経営を続けている。

表 7 TPL の事業収支

(単位：千トンガ・パアング)

項目	2015/16 年度	2016/17 年度	2017/18 年度
売上高	43,374	48,457	46,451
売上原価	-26,243	-28,955	-33,305
売上総利益	17,130	19,501	13,146
販売費	-4,896	-5,301	-6,277
一般管理費	-6,516	-8,129	-10,207
その他収入	2,225	2,860	10,426
営業利益	8,144	8,931	7,088
金融費用等	-818	-1,173	-1,027
税引き前利益	7,326	7,759	6,062
法人税/補助金等(25%)	-1,831	-2,233	-1,354
当期純利益	5,494	5,526	4,708

出所：TPL 年次報告書（各年版）

近年の事業収支に関して特筆すべき事項は以下の通りであった。

- ・ 2017/18 年度は、その他収入が大きく増加したが、これは、サイクロン被害からの復興基金 (Cyclone Gita Network Recovery Donor Fund) からの補助金が約 6 百万トンガ・パアング交付されたことによるものである。
- ・ 発電施設の維持管理費は売上原価に含まれており、2015/16 年度は 2,663 千トンガ・パアング、2016/17 年度は 1,350 千トンガ・パアング、2017/18 年度は 3,157 千トンガ・パアングであった。電力供給システムが安定的に稼働するために必要な額はおおむね確保されているとのことであった。
- ・ 電気料金は、2017 年 7 月より 0.3420 トンガ・パアング/kWh となっている。電気料金は発電の大部分を占めるディーゼル発電の燃料価格に大きく左右されており、その価格動向に応じて定期的に変動しているとのことである。

全体として、TPL の近年の財務状況は、売上総利益、営業利益、最終利益全てにおいて黒字となっており、健全な財務状況にあるといえる。電力料金は国際燃料価格に応じて調整されており、財務状況への過度な影響は抑制されていると考えられる。維持管理費用も必要とされる金額が滞りなく支出されており、問題は見られなかった。

3.4.4 運営・維持管理の状況

本事業で整備した施設・機材は、少なくとも週 1 回点検・記録されており、全体的に良好な状態で稼働していた。しかし、2018 年 2 月にトンガタブ島に襲来したサイクロン Gita の影響で断線した光ファイバーケーブル (バイニ地区サイトとポプア発電所を接続) は事後評価時点では復旧しておらず、遠隔的に発電データを即時把握することができない状態であった。TPL では、実施中の JICA 無償資金協力「風力発電システム整備計画」

で風力発電施設設置サイトからポプア発電所をつなぐ海底ケーブルにバイニ地区サイトからのケーブルを接続させることにより、より短距離で暴風の影響を受けないデータ送信を実現する工事を進めている。

部品の調達については、事後評価時までには特段必要とされたことはなく、サイクロン Gita により太陽光パネルが破損した際には、本事業において提供された予備部品を用いることで対応したとのことであった。また、予備部品の購入が必要とされた場合でも、これまでの電力供給システム全体の運営・維持管理状況から、調達には問題はないと思われる。

以上より、本事業で整備した施設や機材は、光ファイバーケーブルを除き全て良好な状態で稼働していたほか、定期的な点検・記録も実施されていることが確認されており、全体的に問題はないといえる。

技術者による維持管理に対する定期的な研修体系が確立していることはないものの、全体的に制度・体制面、技術面、財務面、運営・維持管理状況に問題はなく、十分な運営・維持管理が行われているといえる。したがって、本事業により発現した効果の持続性は高いと判断される。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、多様な電源による電力供給と需要とのバランスを図り、再生可能エネルギーの安定的な導入と輸入化石燃料への依存度軽減に寄与することを目的として、太陽光発電施設及びマイクログリッドシステムを導入した事業であった。本事業は計画時及び事後評価時のトンガの開発計画・開発ニーズに合致しているほか、計画時の日本の援助政策とも整合しており、妥当性は高い。事業の実施面では、事業内容はおおむね計画どおりであり、事業費・事業期間ともに計画内に収まったことから、効率性は高い。事業効果に関しては、超大型サイクロンにより、本事業が実施されたトンガタブ島が大きな被害を受けた時期を除き、ディーゼル燃料消費量及び二酸化炭素排出量の削減及び太陽光発電による発電電力量の目標値を達成した。また、マイクログリッドシステムの導入により系統安定化も想定通り実現しているほか、さらなる再生可能エネルギー発電施設の導入に向けて大規模な蓄電設備が必要との認識も関係者間で高まったことが確認された。他の太陽光発電施設を含めると、トンガタブ島で必要とされる発電用ディーゼル燃料の 7~8%を削減するという効果も発現しており、全体として本事業の有効性・インパクトは高い。運営・維持管理面では、制度・体制面、技術面、財務面、運営・維持管理状況全てにおいておおむね問題は見られなかったことから、持続性は高いと判断される。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

光ファイバーケーブルの迅速な修復

2018年2月の超大型サイクロン Gita の影響で損傷した光ファイバーケーブルは、バイニ地区サイトの太陽光発電施設による発電量を瞬時に把握し、ディーゼル発電量を適宜制御するために重要な設備である。事後評価時点で修復の準備は進められていたが、これを速やかに完了させ、本事業の実施効果が常に十分に発現できるようにすることが必要である。

蓄電設備やコントロールセンターの設置の検討

本事業による系統安定化システムでは、本事業実施後に設置された再生可能エネルギー発電施設の状態を把握してコントロールすることは困難であるため、TPL では緑の気候基金の支援を通じて大型の蓄電設備を設置する予定となっていた。今後、様々な再生可能エネルギー施設を導入するにあたっては、系統安定化の観点を重視し、蓄電設備や全体的なコントロールセンターの設置も検討していくことが望ましいと思われる。

4.2.2 JICA への提言

日本は近年、本事業や、事後評価時に実施中であった風力発電事業を通じて、トンガにおける再生可能エネルギー導入に大きな役割を果たしてきた。事後評価時点で同国が取り組むべき課題となっている、電力系統の全体的な安定化のために、実施機関との情報交換を続けていき、必要に応じて設備の整備や技術的な支援を行っていくことが重要であると思われる。

4.3 教訓

電力系統全体の安定化を見据えた協力

本事業では、ニュージーランドの支援により実施された先行事業及び本事業による太陽光発電施設による発電を電力系統の中で安定化させる設備を導入したが、その後の独立系発電事業者による発電量を安定化させるような設備までは考慮されていなかった。トンガの政策として再生可能エネルギー発電比率を2020年までに50%まで高めるという目標が掲げられていたことから、本事業の実施後に、さらにどのような設備が系統安定化のために必要とされるか、全体像を描くことが重要であったと思われる。大規模な蓄電設備や系統安定化システムの導入は多額の費用を要するため、単独事業として実施していくことは困難であると考えられるが、再生可能エネルギーの導入を進めていくにあたっては、個々の事業の間の整合性を図るとともに、実施国政府は長期的な目標の実現を見据えた全体システムを検討し、その全体像の下で、将来的に系統全体で安定的な運用が可能となるような事業を順次実施していくことが重要である。

以上