

# ツバル国 太陽光発電システム

吉川 一成

ソーラーシステム事業本部 システム事業推進センター

南太平洋に浮かぶ小さな島国「ツバル」は今後、地球温暖化による海面の上昇により水没は避けられないと言われています。そのツバル国に関西電力株式会社がe8（世界電力首脳有志の会議）の発展途上国支援プロジェクトの一環として太陽光発電プロジェクトを実施、当社はそのプロジェクトにおいて太陽光発電システムの納入および技術面でのサポートを行いました。

本プロジェクトでは、ツバル国内で稼働中であった既設ディーゼル発電に容量40kWの太陽光発電システムを連系させたハイブリッドシステムを構築しました。ここでは、本システムの概要と設計上で考慮した点について説明します。

## 1 はじめに

ツバル国は南太平洋に位置する平均海拔2mの小さな島国で、近年の地球温暖化による海面上昇の影響を最も受けている国の1つです。そのツバル国には「自ら環境に優しい新エネルギーを導入し、地球環境保全に直接貢献したい」という強い思いがありました。今回、関西電力株式会社とその実現に役立ち、それが地球温暖化への問題提起になればと考え、容量40kWの太陽光発電システムの建設プロジェクトを実施することになりました。本設備は2007年9

月に着工し、2008年2月に運転を開始しております。

これまでツバル国内の電力供給はディーゼル発電（以下DG）によってまかなわれていましたが、その運転に必要な燃料は約2,000km離れたオーストラリアからの輸送が必要で安定供給に不安があり、また莫大な燃料費、輸送費が負担となっていました（電力コスト50円/kWh）。一方、ツバル国は南緯9°という低緯度地域（図1）に位置し、約5.14kWh/m<sup>2</sup>/day（東京の約1.7倍）の豊富な日射量が得られる地域でもあります。太陽光発電システムはこのツバ

ル国の豊富な日射を活用することができる上に、その発電によってDG運転に必要な化石燃料使用量の低減、燃料費・輸送費を削減させるという効果を得ることができます。

本案件では既設のDG電力系統に太陽光発電設備を連系させるというハイブリッドシステムを構築しました。ここでは今回導入した太陽光発電設備のシステム概要と既設DGとのハイブリッド連系させる際に設計上で考慮した点について説明します。

## 2 太陽光発電システム概要

本システムは定格出力167Wの多結晶太陽電池モジュールを252台使用し、首都フナフチにあるサッカー場の既設スタンド屋根上に30kW、スタンド横の機器を収納するためのコンテナ上に10kW、合計40kWを配置しました。表1にシステム設備の概要を示します。

表1 システム設備概要

| 項目        | 内容  |
|-----------|---|
| 太陽電池種類    | 多結晶シリコン   |
| 太陽電池容量    | 約40kW<br>(スタンド30kW, コンテナ10kW)                     |
| モジュール台数   | 252台  |
| 設置面積      | スタンド：約250m <sup>2</sup><br>コンテナ：約85m <sup>2</sup> |
| 設置方位/傾斜角度 | スタンド：北/5°<br>コンテナ：南/5°                            |
| インバータ     | 14kW×3台   |

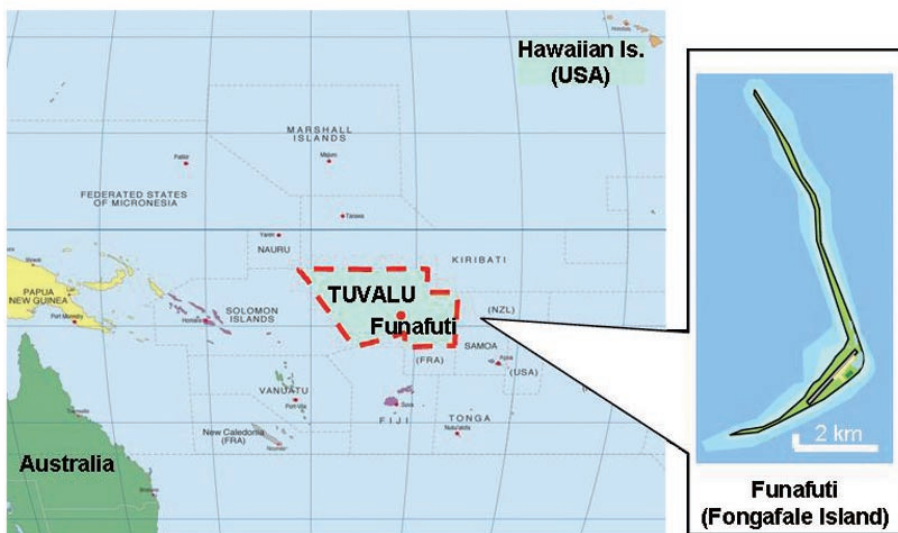


図1 ツバル国の位置

システム構成を図2に示します。本システムでは14kWインバータ1台に対して太陽電池モジュールを18直列5並列および4並列で構成しています。ここでの直列数はインバータの入力電圧範囲に合うように決定しています。接続方法は、まず太陽電池モジュールからのケーブルを接続箱で集め、インバータに接続します。接続箱にはケーブル接続端子の他、ブレーカ、遮断器などが設置され、保守・点検時に回路を分離し、点検作業を容易にします。そしてインバータで太陽電池からの直流電力を3相4線AC400Vの交流電力に変換、その後、変電設備で昇圧し、DG電力システムに連系します。また、インバータには太陽光発電システムや電力システムに異常があった際にインバータを停止させる系統連系保護機能も備えられています。

### 3 DGとのハイブリッド連系

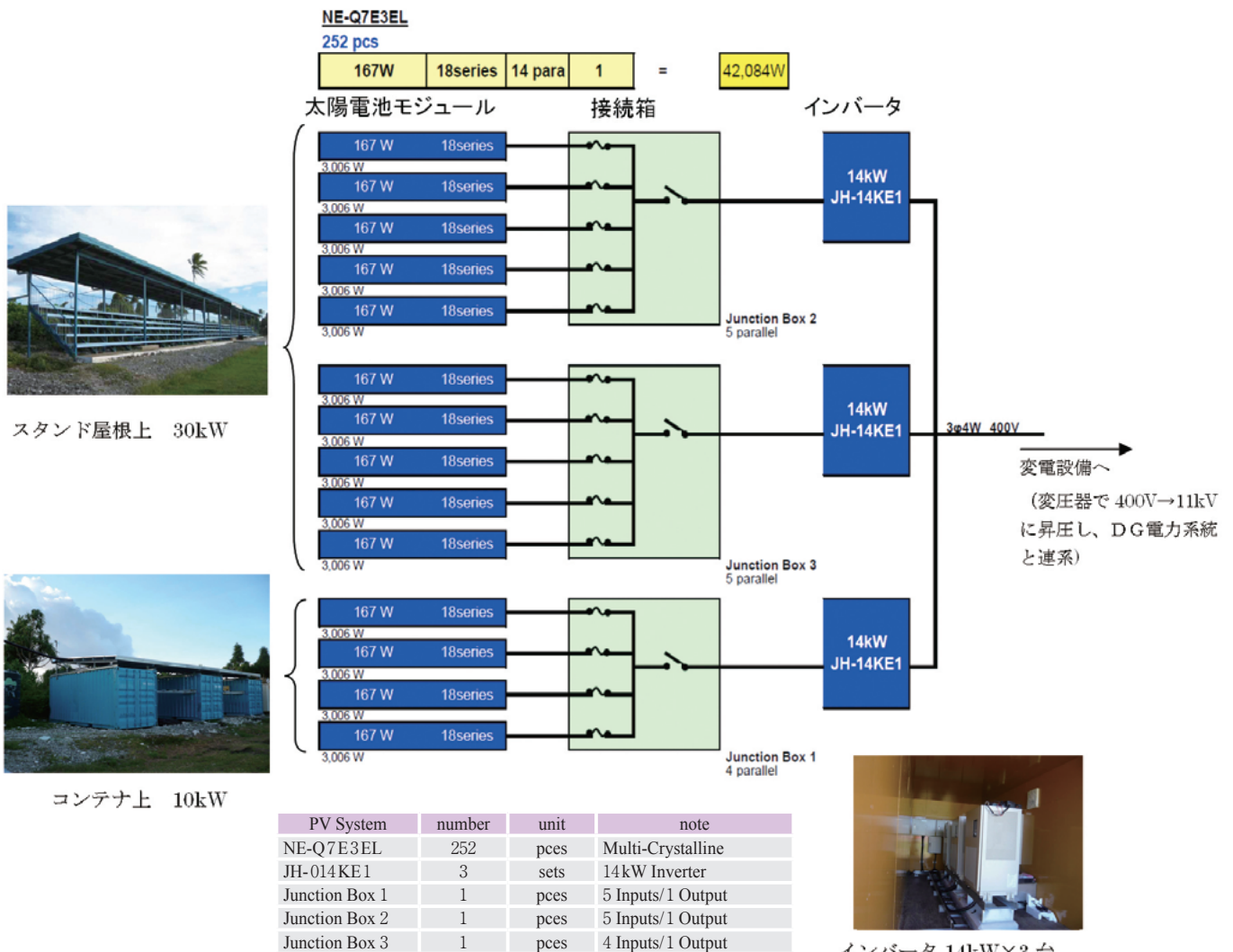
ツバル国内の電力供給は容量600kW、定格電圧11kVのDG3台の並列運転によってまかなわれており(図3)、今回はこのDGに太陽光発電システム40kWを連系させるシステムを構築しました。ここでは、DGとのハイブリッドシステムを設計する際に考慮した点について説明します。

#### (1) インバータ系統保護機能

太陽光発電システムのインバータには電力系統や太陽光発電システムに事故等の異常で電圧や周波数に大きな変動があった際に運転を停止させる系統連系保護装置が備えられています。これはOVR(過電圧継電器)、UVR(不足電圧継電器)、OFR(過周波数継電器)、

UFR(不足周波数継電器)などの継電器で、各継電器はどのくらいの電圧、周波数が何秒間続いたときに動作するかという整定値を設定する必要があります。この値を大きめに設定しすぎると事故等の発生時に安全にシステムを停止できなくなり、逆に小さく設定しすぎると日常運転での変動でシステムが停止する可能性があります。

なお、系統の電圧や周波数の変動幅は発電機の種類・制御方法、現地の電力事情などによって変わりますので、インバータを安定的に運転させるためには、まず現地の電力系統でどのくらいの変動があるかを調査して、保護継電器の整定値および動作時限を設定する必要があります。



インバータ 14kW×3台 (コンテナ内)

図2 太陽光発電システム構成図



図3 ディーゼル発電機外観

表2 電力系統の電圧・周波数変動

|         | 電圧 (定格400 V)   | 周波数 (定格50Hz)                    |
|---------|----------------|---------------------------------|
| 通常運転時   | ± 0.2%程度       | ± 0.6% (0.3Hz)程度                |
| DG並列投入時 | 5%程度の電圧低下が0.3秒 | -3%~+1% (48.5~50.5Hz)程度の変動が5秒程度 |
| DG解列時   | 変動は小さい         | 変動は小さい                          |

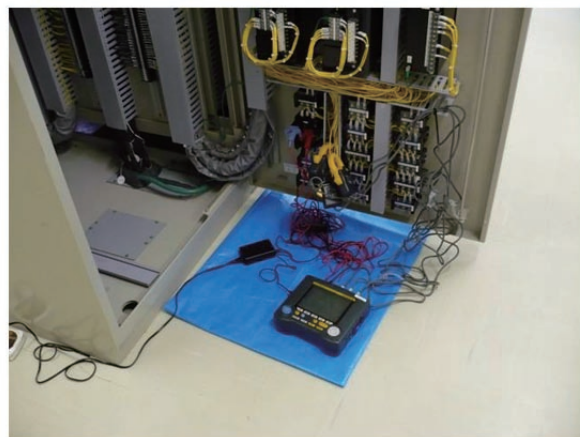
表3 各保護継電器の整定値および動作時限タップ設定値

| 整定値タップ  | OVR      | 430V     | 440V     | 450V     | 460V   |
|---------|----------|----------|----------|----------|--------|
|         | UVR      | 320V     | 330V     | 340V     | 350V   |
| OFR     | 50.5Hz   | 51.0Hz   | 51.5Hz   | 52.0Hz   |        |
|         | (50.2Hz) | (50.3Hz) | (50.4Hz) | (50.5Hz) |        |
| UFR     | 48.0Hz   | 48.5Hz   | 49.0Hz   | 49.5Hz   |        |
|         | (49.5Hz) | (49.6Hz) | (49.7Hz) | (49.8Hz) |        |
| 動作時限タップ | 共通       | 1.5秒     | 2.0秒     | 2.5秒     | 3.0秒   |
|         |          | (0.05秒)  | (0.1秒)   | (0.15秒)  | (0.2秒) |

( )は標準値



電力モニタ計測場所 (発電所内)



電力計測状況

図4 電力計測状況

## (2) 電力系統の運転状況調査

ツバル国では電力負荷の需要に応じ、手動にてDGを並列投入または解列させて電力を供給しています。その投入、解列の瞬間に変動が大きくなるため、その瞬間を中心に電力モニタを用いて連系点フィーダの電力供給状況を確認しました。図4に計測の様子、図5にDG投入時の周波数変動の実測データを示します。また表2に電力系統の電圧および周波数の変動幅の調査結果を示します。

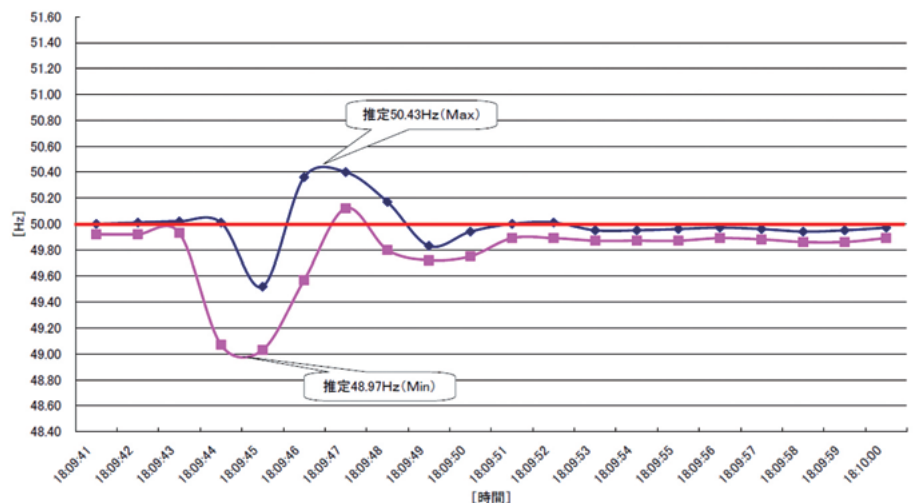


図5 DG並列投入時の周波数変動 (2007/2/18)

## (3) 保護継電器の整定値検討

電力系統の変動の調査結果より、各保護継電器 (OVR, UVR, OFR, UFR) の整定値および動作時限のタップを設定しました。各設定値を表3に示します。



OVR, UVRの整定値については電力系統の電圧変動が小さく標準タップの値で問題ないことを確認しました。動作時限タップについては電圧変動が小さいため標準タップでも問題ないと思われませんが、過敏反応による停止を避けるため、DG発電機側（系統上位）の継電器の動作時限3秒の範囲内でのみ過渡的な電圧変動では作動しない0.5秒に設定しました。

OFR, UFRの整定値については負荷変動時の周波数変動が大きく、標準タップ(0.1Hz)では過渡的な変動で頻繁に動作する可能性があるため、整定値のタップを周波数変動が最も大きくなる発電機並列投入時にも作動しない0.5Hzに設定しました。また動作時限についてはOVR, UVRと同様にDG発電機側の継電器の動作時限3秒の範囲内でのみ過渡的な電圧変動では作動しない0.5秒に設定しました。

## 4 設置後の電力モニタリング

ここでは太陽光発電システムを設置後の電力系統への影響と発電状況について述べます。

### (1) 既存電力系統への影響

太陽光発電システムの系統連系運転開始後に発電した電力が既存ディーゼル発電機の運転に影響を与えないかを調査しました。調査方法としては太陽光発電システムの発電電力が最大となる日中時間帯にインバータからの電力の遮断、投入を行い、その時の電力系統の周波数変動を計測しました。図6に3台のインバータを同時に遮断、投入した時の計測データを示します。この試験の結果、ディーゼル並列投入時の周波数変動(48.5~50.5Hz)に対して太陽光発電システムの遮断、投入時には最大±0.2Hz程度の変動となることが分かりました。これにより、電力系統の運転には問題がないことを確認できました。

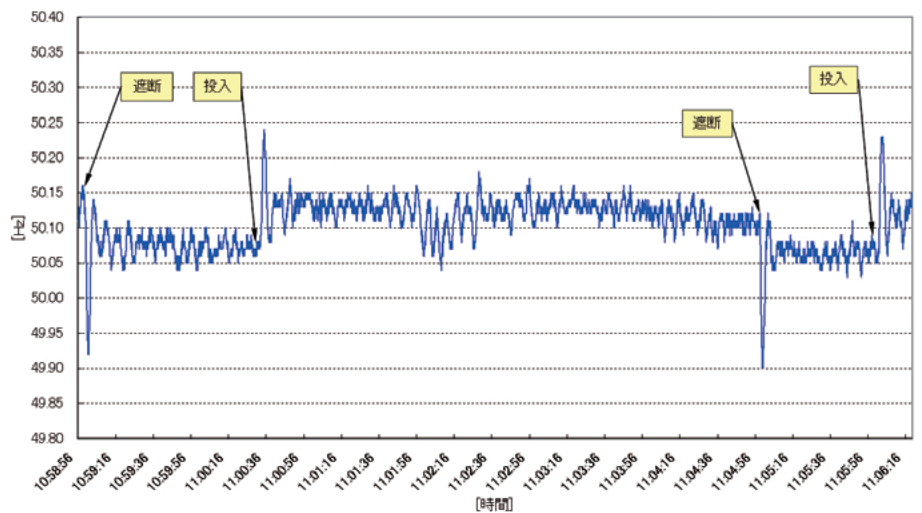


図6 インバータ3台 同時遮断/投入試験結果

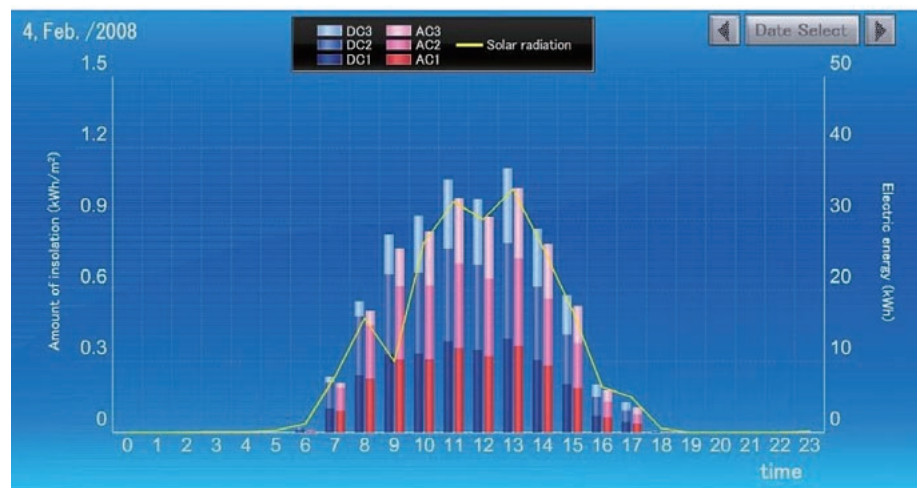


図7 太陽光発電システム発電電力量 計測結果

### (2) 発電状況

設置後のモニタリングの結果、太陽光発電システムの発電電力は瞬間最大で40.1kWに達し、発電電力量は日平均で150kWh以上、日射などの条件がいい日には一日200kWh以上発電することが確認されました。この数値は、日本での日平均発電電力量の約1.5倍程度であり、年間では約56,000kWh程度の発電量を得られることが期待されます。これは現地の豊富な日射量、そして常時、適度な風があることにより太陽

電池モジュールが冷却され、結果的に発電電力量の増加に貢献しているものと考えられます。図7に晴天日の発電電力量の計測結果(2008年2月4日)を示します。青色の棒グラフが太陽電池からのDC電力量、赤色の棒グラフがインバータで交流電力に変換後のAC電力量を示しています。また黄色の折れ線は日射強度を示しており、最大1kWh/m<sup>2</sup>以上という強い日射があることが確認されました。

## 5 おわりに

世界にはツバル国のようにDG発電のみで電力供給をまかなっている地域も数多く存在し、原油価格高騰による燃料費の問題や将来的な燃料枯渇等の問題をかかえております。

太陽光発電システムはこのようなエネルギー問題や環境問題に対して有用で、島嶼国や砂漠地域のように電力系統から隔離された地域であっても地産地消できるシステムであり、他の発電設備との連系といったハイブリッドシステムも含め、今後ますます太陽光発電設備の設置が展開されていくと期待されます。

今回、ツバル国に導入した太陽光発電システムではツバル国の年間消費電力量約480万kWhのうち、約1.2%を太陽光エネルギーで賄えることになり、また二酸化炭素で換算すると年間約50t-CO<sub>2</sub>の削減が期待できるという結果が得られました。

ツバル国では満潮時に地面から海水が湧出するという現象が発生しております(図8)。今回、設備を設置するにあたっては長期間にわたってシステムが水没しないように、設置高さを60cm嵩上げするという対策を講じました。

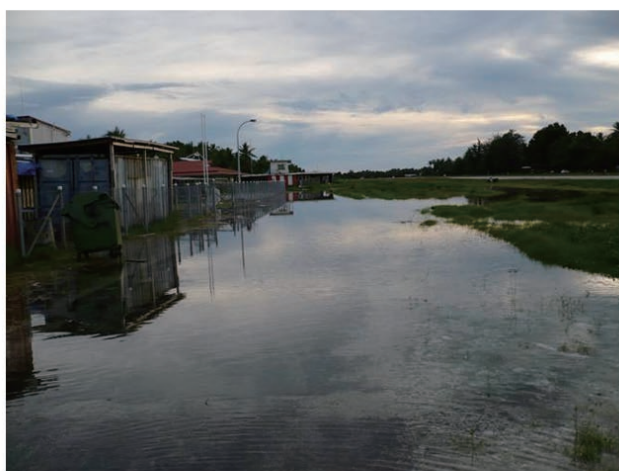
今後については2010年3月まで運転データモニタリングと設備の運転支援を行い、今後のシステム構築にフィードバックしていきたいと考えています。

図9はサッカー場スタンド上設置30kWの太陽電池パネル全景です。

最後に本稿を作成するにあたり、ご協力賜りました関西電力株式会社、住友電設株式会社をはじめ、多くの関係者の皆様に御礼申し上げます。



海水湧出前



海水湧出後

図8 ツバル国の海水湧出の様子



図9 太陽電池パネル全景 (サッカー場スタンド上30kW)