

# 独立型ハイブリッド発電システム

Standalone Type Hybrid Power Generation System

桑原 祐※1

Tasuku Kuwahara

村上 新吾※1

Shingo Murakami

若松 友晴※1

Tomoharu Wakamatsu

辻本 賢次※1

Kenji Tsujimoto

## 1. はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿は、アジア・太平洋地域の開発途上国で太陽光発電等の自然エネルギーを利用した発電システムのコスト低減、信頼性の向上等を目的とした実証研究事業を推進している。

この事業の一環として、中国甘粛省敦煌市で、太陽電池と風力発電機とを組み合わせた発電システムの実証研究が実施されている。甘粛省のある中国西北部は太陽光と風力の自然エネルギー源が豊富であるため、今後本システムのような自然エネルギーを利用した発電システムの導入が大きいと期待される地域である。

今回、電源開発株式会社殿とユニコインターナショナル株式会社殿が本研究を受託し、そのシステムの設備を電源開発殿より当社が受注した。なお、設備の製作・施工のほか、システム設計、風力発電機の選定などの技術支援も行ない、さらに、設備の据付と配線工事も担当した。

本稿では、システムの概要と、特に風力発電機と蓄電池に関するシステムの制御および運転状況について紹介する。なお、設置場所や工事の詳細は、本技報の別稿に記載されているので、そちらを参照されたい。

## 2. 実証研究の概要

今回の実証研究は、敦煌から約180kmの距離にある雅丹(ヤータン)地質公園で行われている。ここはタクラマカン砂漠に囲まれた砂漠地帯であり、敦煌市の電力配電網から遠く離れている。従来はディーゼル発電機によって電力供給されていた。

ここに、太陽電池と風力発電機とを組み合わせたハイブリッド発電システムを構築した。本システムで発電した電力は、派出所、宿泊所、管理事務所等の公園内の施設において利用される。

実証運転を通じて、厳しい気象環境である砂漠地帯や遠隔地での安定した電力供給を行う運転方法と信頼性の高いシステム構築の確立を目指している。

さらに、日本で開発した新型の蓄電池により電力貯蔵を行ない、その有効性について併せて検証することも目的の一部としている。

## 3. システムの概要

### 3.1 構成

通常、この種の発電システムは、商用の電力系統と電力を融通し合う連系システムとするが、離島や山間部など電力系統が整備されていない場所では独立型のシステムとせざるを得ない。しかし、風力、太陽光など自然エネルギー利用の発電システムは発電量が安定しないため、電力を安定供給するために、蓄電池がシステム構成上不可欠である。本システムにおいても、蓄電池を有したシステム構成としている。

このシステムの全体構成を図1に示す。今回は、特に低コスト化とメンテナンスの容易性を重視して機器を選定して、システムを構成した。

太陽電池には、産業用発電システムで多くの実績のある日本製を採用した。

風力発電機は、日本製や欧州製の100kW機単機構成にすると全体の構成が簡単になるが、大きなコストがかかることから、安価でかつ類似の環境下で実績がある中国メーカーの標準品を採用した。このメーカーの標準品は10kW機のため、10台を並列使用した。

蓄電池には、新開発のメンテナンスフリーの長寿命の鉛蓄電池を採用した。この蓄電池は従来品に比べ高価であるが、メンテナンスフリーといった特長があり、運転も含めたトータルコストを削減している。

これらの発電機と蓄電池を総合的に連系・制御し、負荷に良質な交流電力を供給する電源制御設備は当社で開発・製作した。

### 3.2 システム仕様

システム各部の仕様設計は、設置場所の気象条件から予想される発電電力量と需要電力量を考慮して行なった。

雅丹地質公園では、将来の公園内設備拡充に伴う需要電力の増加が確実視されたため、太陽電池と風力発電機の予想発電量が、現状の需要電力量の2倍となるよう設計を行なった。

蓄電池は、発電電力と需要電力の差を吸収するほか、不日照かつ無風日には電力供給源となる。当地域は不日照日がまれであることから、一日の間だけ電力供給が可能な蓄電池容量とした。

※1 開発・環境事業部 新技術開発G

電源制御設備については、直流母線は蓄電池の母線と共通化し、他の装置の直流側電圧仕様をこの母線電圧に合わせた。風力発電機は、標準品であることと、発電量を制御するために、発電機出力をDC/DCコンバータで変換し直流母線と連系した。また、設備が公園内の数ヶ所に分散設置されていることからフィーダ(配電線)を全5回線とした。

システムの仕様を表1に示す。

## 4. 風力発電機

本システムは砂漠という過酷な環境下で使用されるので、砂塵に対する羽根(ブレード)の耐摩耗性や防塵対策および強風時の安全対策が重要な選定ポイントとなる。また、輸送、据付に要するコストや、メンテナンスの容易性も考慮しなければならない。

これらを総合的に検討した結果、類似箇所での設置実績が多くメンテナンス体制に優れた中国製の小型風力発電機を採用した。

この発電機は価格が他国製に比べ非常に安く、小型のため輸送が簡便で、据付に重機が不要という特長がある。

そのため、システム全体の低コスト化に大きく寄与している。

### 4.1 性能・機能

風力発電機には、据付場所の風況に適した発電性能が要求されるほか、本システムのように厳しい環境下で運転される場合は、強風時の出力電力を抑制し、発電機を焼損から守る保護機能が要求される。風力発電機についてこれらの性能を検討した。

表1 システムの仕様

| 項目             | 仕様   |  |
|----------------|--|--|
| 太陽光発電設備        | 定格出力: 104 kW<br>構成: 11.6 kW/アレイ × 9 アレイ<br>1アレイは10直列 × 7 並列で構成   |  |
| 蓄電池設備          | 定格容量: 460 kWh (10時間率、放電深度 80%)<br>公称電圧: 288 V<br>構成: 144 直列 × 2 並列<br>期待寿命: 2500 サイクル  |  |
| 風力発電設備         | 定格出力: 100 kW (単機 10 kW × 10 台)<br>ロータ直径: 6.2 m 種類: 永久磁石式同期発電機<br>定格風速: 13 m/s (許容風速 50 m/s)<br>運転範囲: 3 ~ 13 m/s<br>ファールディング制御: 15 m/s 以上 |  |
| 電源<br>制御<br>設備 | フィーダ<br>(配電線)  | フィーダ数: 5<br>定格容量: 20 kVA/フィーダ<br>配電方式: 3φ 4線式、50Hz、380V                |
|                | 総合監視<br>制御装置   | 機能: システムの統括制御、操作、監視、計測、表示  |
|                | 気象観測<br>装置   | 機能: 風速、気温、湿度、降雨量の測定<br>総合監視制御装置への測定結果の送信                               |
|                | DC/DC<br>コンバータ   | 定格出力: 50 kW<br>入力電圧: 直流 240V 出力電圧: 直流 350V<br>構成: 風力発電機 5 台ごとに 1 台設置   |
|                | DC/AC<br>インバータ   | 定格容量: 120 kVA<br>入力電圧: 直流 350V 出力電圧: 3φ 210 V<br>構成: 2 並列 (60 kVA × 2) |
|                | 変圧器  | 定格容量: 100 kVA<br>定格1次電圧: 380 V (3φ 4線式)<br>定格2次電圧: 210 V (3φ 3線式)      |
|                | データ<br>収集装置  | 機能: 気象データ、システムデータ(発電電力など)<br>の収集と蓄積。日報の自動作成。                           |

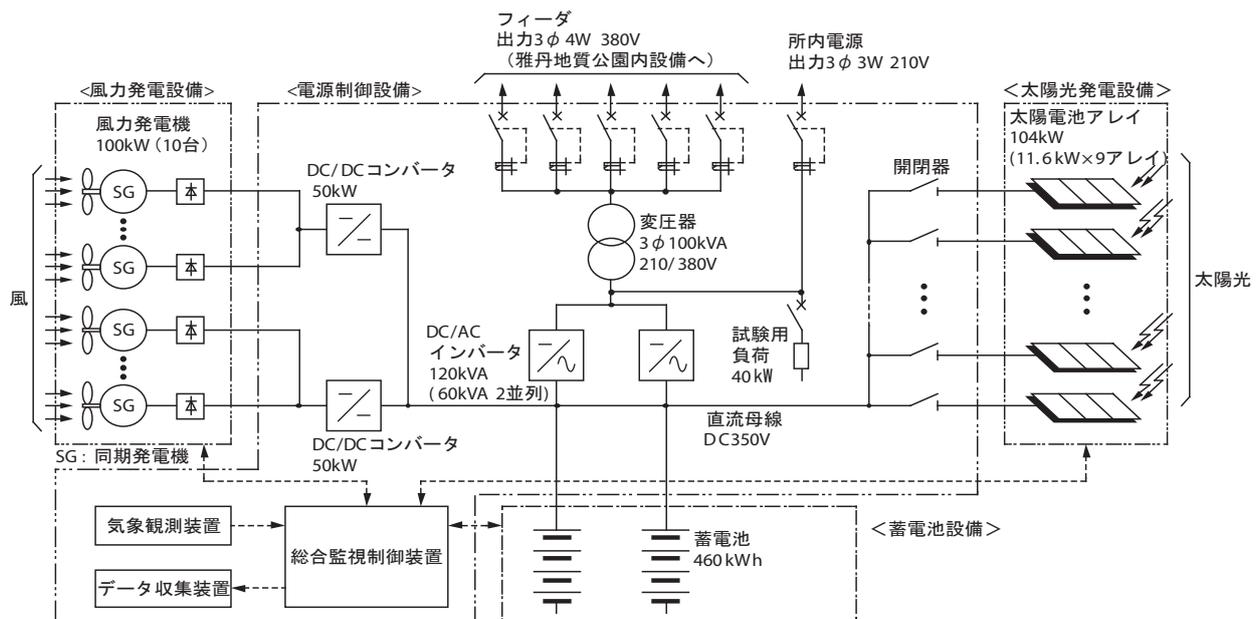


図1 独立型ハイブリッド発電システムのシステム構成

**(1) 発電性能・機能**

採用した風力発電機の風速運転範囲は、3～13m/sである。設置場所の風況測定結果を図2に示す。風速が3～13m/sとなる出現確率は約70%に達している。

この風力発電機は公称電圧240Vであるので、本システムの直流母線(定格電圧350V)とはDC/DCコンバータで連系し、直流母線電圧が変動しても風力発電機の直流出力電圧が240Vになるよう制御している。

**(2) 強風保護機能**

強風保護機能として、強風時にはブレードの回転軸を風向に対して偏向させるファールリング制御が用いられている。これにより、ブレードが受ける風力エネルギーを抑制し出力電力を制限する(図3)。この強風保護機能は複雑な機構を必要としないので低コストであるが、回転を停止することはできないため、風速が極端に大きくなった場合に、他の手段での保護が必要となる。

本発電機は、風速が15m/s以上でファールリング制御が開始されるが、20m/s以上の風速になると定格出力を超え、発電機が焼損する危険性があることが判明した。

その対策として、発電機の出力電流・温度を測定し、焼損の危険がある時は発電機を無負荷運転させることとした。

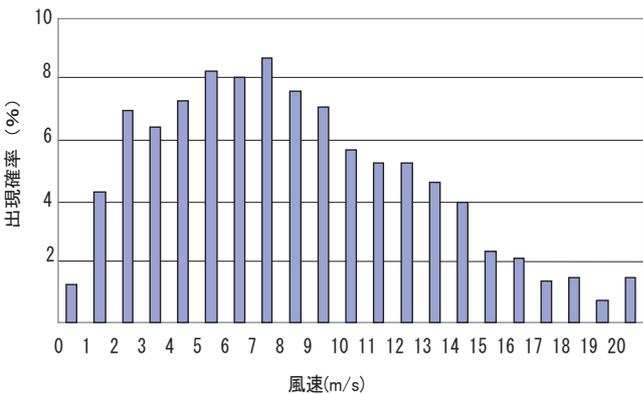


図2 据付場所の風況



図3 ファールリング制御 (強風時)

**4.2 運転制御**

**(1) 運転制御方法**

風力発電機の性能や強風保護を総合的に検討し、運転制御方法を決定した。発電開始、発電停止や保護の制御ロジックを図4に示す。

**① 発電開始**

太陽光発電量が十分であり、蓄電池が満充電であれば、風力発電は過剰となる。このため、直流母線電圧が低下した時に風力発電を開始するようにしている。

なお、強風時の発電開始を防止する条件として発電機の開放電圧を条件に入れている。

**② 発電停止**

直流母線電圧が上昇すれば、風力発電の必要なくなるため、発電を停止する。実際にはDC/DCコンバータを停止するので発電機は無負荷運転となる。

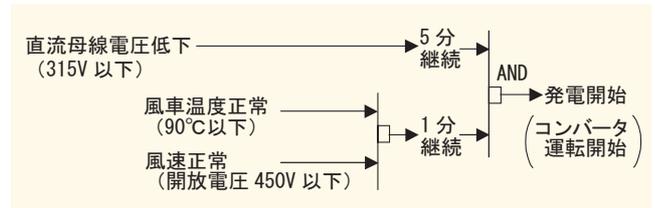
**③ 保護**

風力発電機の温度上昇と、発電機の過電流を監視する。これらが規定値を越えた場合は、風力発電機異常とし、DC/DCコンバータを停止し、無負荷運転としている。

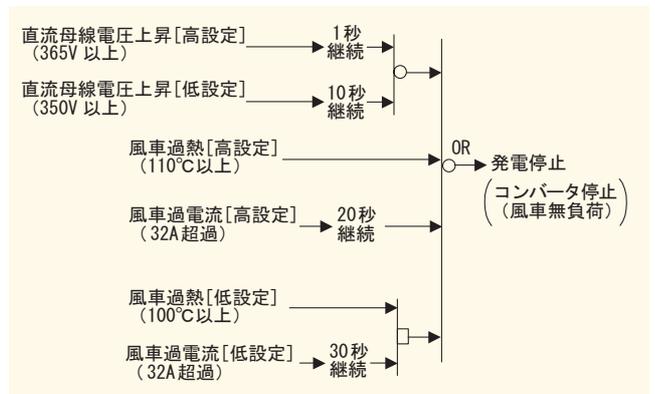
**(2) 運転試験例**

強風時の保護が正常に行われるかを試験した運転例を図5に示す。平均風速が定格(13m/s)を超えると発電を停止し、また適当な風速で発電を開始しているのがわかる。

このように、厳しい風況下でも風力発電機を安全に使用することが可能となった。



(a) 発電開始 (システムと接続)



(b) 発電停止 (システムと切り離し)

図4 風力発電機の運転制御

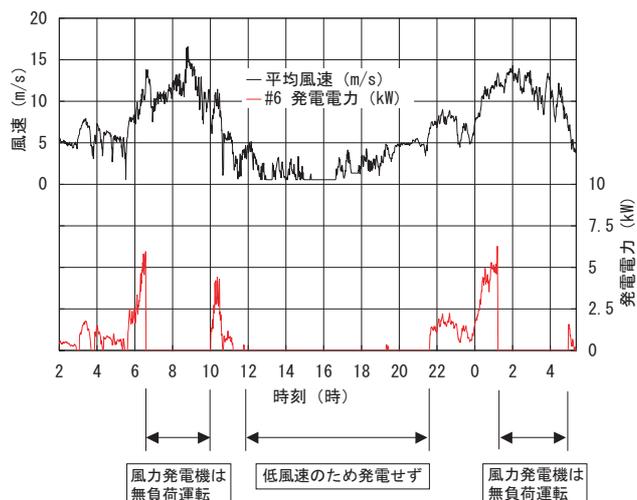


図5 風力発電機運転例

## 5. 蓄電池の充電と保護

自然エネルギー利用の独立型発電システムには蓄電池が必要であり、その普及に伴い、蓄電池の高性能化が進んでいる。本システムでも、放電深度が80%で充放電が2500サイクルの寿命の(毎日の充放電で6.8年使用可能)新型の鉛蓄電池を採用した。この蓄電池は長寿命に加え、充電不足が続いても容量低下が少なく、さらに補水や均等充電が不要という特長がある。このため、メンテナンスを考慮したトータルコストは、従来の鉛蓄電池よりも低く抑えることができる、独立型発電システムには最適な蓄電池である。

### 5.1 充電制御

蓄電池の充電には、特別な充電装置を設けずに、蓄電池電圧の上昇/下降を細かく検出して、それにより複数の発電装置の接続/切り離しを行って充電電流を増減させる方式を採用した。蓄電池充電制御の詳細を表3に示す。

### 5.2 保護

蓄電池の過充電/過放電の保護は、電圧を監視して、充電/放電停止することにより行なっている。

また、蓄電池の異常な温度上昇時には蓄電池の温度センサによって過熱を検出して、充電停止して蓄電池を保護している。

表3 蓄電池の充電制御

| 充電制御            | 蓄電池電圧       | 太陽電池アレイ            | 風力発電機           |
|-----------------|-------------|--------------------|-----------------|
| 充電量増加           | 248 V~315 V | 1アレイずつ接続<br>(10秒毎) | 10台全て接続         |
| 現状維持            | 315 V~350 V | 接続アレイ数<br>増減なし     | 接続台数の<br>増減なし   |
| 充電量減少<br>(レベル1) | 350 V~360 V |                    | 5台切離し<br>(10秒毎) |
| 充電量減少<br>(レベル2) | 360 V~365 V | 1アレイずつ開放<br>(10秒毎) | 5台切離し<br>(1秒毎)  |
| 充電量減少<br>(レベル3) | 365 V~380 V | 1アレイずつ開放<br>(1秒毎)  |                 |

表4 蓄電池の保護

| 保護内容 | 検出<br>電圧/温度 | 太陽電池アレイ | 風力発電機    |
|------|-------------|---------|----------|
| 過放電  | 248 V 以下    | 全アレイを接続 | 全発電機を接続  |
| 過充電  | 380 V 以上    | 全アレイを開放 | 全発電機を切離し |
| 過熱   | 60 °C 以上    |         |          |

## 6. システム運転状況

### (1) システムの運転開始

先ず太陽電池のみを使用した運用を2004年10月から開始した。次に風力発電機の据付・調整を2005年4月に完了し、以降、本システムは、太陽光・風力のハイブリッド発電システムとしての能力を発揮して順調に稼働している。

### (2) 一日の運転状況

システムの1日の運転状況例(2005年8月)を図6に示す。この日の例では、深夜から朝にかけては風力発電機が発電し、昼間は太陽電池が発電している。そして、夜間は蓄電池が放電するという、本システムでの典型的なパターンが見られる。

これまでの運転状況では、太陽光発電は昼間は必ず安定して発電しており、風力は補助的な発電となる場合が多く見られている。

### (3) 蓄電池

蓄電池は毎日の充放電を繰り返すため、寿命評価の目的で、定期的に蓄電池の容量チェックを行なっているが、現時点では、容量の低下はほとんど無く、良好な性能を維持している。今後も評価試験を継続していく。

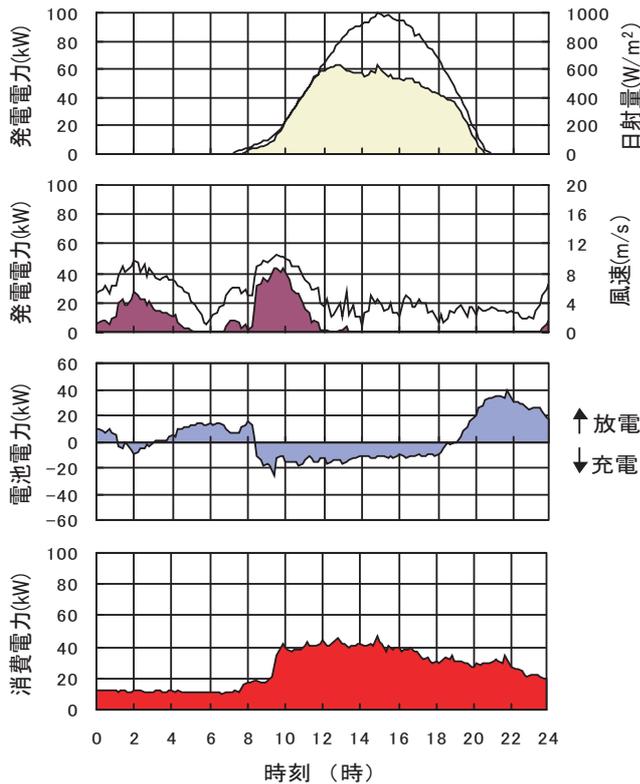


図6 システム運転状況

## 7. あとがき

100kW風力と100kW太陽光のハイブリッド発電システムのシステム設計の支援から電源制御設備の開発・製作およびシステム全体の据付・調整試験までを行なった。また、風力発電機を厳しい風況下で運転できる制御方式も開発した。

蓄電池の充電制御は、コスト削減のため専用の充電器を設けず発電装置の切替制御方法で行なっているが、蓄電池は初期の性能を維持している。

これらにより砂漠という厳しい環境下でもシステムを順調に稼働させることができた。

今後は実証試験の推進に協力するとともに、太陽光や風力などを利用した発電システムの性能向上を進め、地球環境保護、自然エネルギーの有効利用など世界に貢献する所存である。

最後に、本システムの設計・製作・施工にあたり貴重な助言およびご指導をいただいたNEDO殿、電源開発株式会社殿、ユニコインターナショナル株式会社殿の関係各位に厚く謝意を表す次第である。