

## 研究成果報告書

|         |                                     |
|---------|-------------------------------------|
| 研究開発課題名 | 農村が有する自然エネルギーの利用の最適化システムの研究開発       |
| 研究総括者   | N T C コンサルタンツ株式会社                   |
| 研究開発組合  | N T C コンサルタンツ株式会社<br>財団法人 日本水土総合研究所 |
| 試験研究機関  | 日本大学文理学部物理生命システム科学科                 |

### 1 事業の実施内容

#### 1.1 事業の背景及び目的

##### 1.1.1 事業の背景

##### (1) 農村における地域資源を取り巻く課題と対応

農村地域において多面的機能を有している農業生産を支える農地・農業用水や自然環境を形成する自然生態系・農村景観及び社会生活に根ざした伝承文化と農村コミュニティ等の地域資源は、長い歴史の中で形成されてきたもので、地域に住む人々が共同で維持保全してきた社会共通資本となっている。

しかしながら、近年の社会経済情勢の変化に伴って農村の構造変化が急激に進んでおり、集落内農家の減少によって地域資源をこれまで守り支えてきた集落機能が低下している。さらに、食料輸入の拡大化による食料自給率の低下に伴って農業者の生産意欲にも陰りをもたらして地域資源の管理の粗放化が懸念される状況となっている。

このため、平成 20 年 12 月 26 日に閣議決定された土地改良長期計画において、「田園環境の再生・創造と共生・循環を生かした個性豊かで活力ある農村づくり」及び「農村協働力を活かし、集落等の地域共同活動を通じた農地、農業用水等の適切な保全管理」という政策目標を設定し、農村の地域資源の保全・向上への対応が図られている。

21 世紀が「農業」と「環境」の時代といわれる中、農業対策としては農業所得対策・耕作放棄地の解消、環境対策としては低炭素社会の促進（自然エネルギーの利用）・生物多様性の向上・自然生態系の保護・農村景観の維持、農村対策としては都市と農村との共生・対流の促進・農村コミュニティへの対応等が重要な課題となっている。

##### (2) 農村における地域資源利活用によるエネルギー自給

地域資源を活かした低炭素社会の実現のためには、農村における自然エネルギー資源を活用して、施設の屋上やため池の水面等の農村空間を利用した太陽光発電、地域内の適所に設置する小型風力発電、農業用水路を利用したマイクロ水力発電や農作物残渣・畜産ふん尿・集落排水汚泥・林地残材等によるバイオマス発電等を総合的に組み合わせた発電ポテンシャルの可能性の把握が重要である。

このように農山漁村に豊富に存在し、現在十分に利用されていない水力、太陽光、風力、バイオマスなどの自然エネルギーを効率的に活用するシステムを構築・推進し、新たな自給エネルギーを得ることで、農山漁村の活性化、低炭素社会の実現や地球環境保全への積極的な貢献を目指すことが求められている。

### (3) スマートグリッドの開発状況

農村における、自然エネルギー（水力、太陽光、風力、バイオマス等）の有効活用には、米国で考案された「スマートグリッド」といわれる新しい概念の導入が必要となる。その導入意義としては、コージェネレーションの効率性向上、新エネルギーの導入拡大、エネルギーの地産地消、セキュリティの向上などが上げられる。

しかしながら、スマートグリッドの構築は米国が先行しており、我が国では実証のための試験研究を実施している段階であり、以下の技術等が実証研究されている。

- ① 水力や太陽光、風力といった自然エネルギーは、自然環境や季節間、昼夜間などの影響を受け出力変動が生じるため、需要予測機能などを備えたエネルギー効率を制御できるシステムの開発
- ② スマートグリッド内の需給バランスを瞬時に制御し、安定した電力を供給できる技術
- ③ 変動のある自然エネルギー発電と需要負荷変動を燃料電池発電、二次電池により安定させる技術
- ④ 自然エネルギーは出力が安定していないため、導入量が増加すると電力系統側に負担をかける可能性があり、系統側に品質の問題を与えない技術
- ⑤ 広域で利用可能なデータ転送システムによる電力需給ネットワークシステムの構築
- ⑥ 事業の採算性、コスト低減の実証 など

### (4) ルーラル・エコ・グリッド構想

小規模・分散・独立型の農村版スマートグリッドを「ルーラル・エコ・グリッド」と称し、本事業で得られた成果を元に、ルーラル・エコ・グリッド構想の実現を目指すものとする。スマートグリッドに対しルーラル・エコ・グリッドは、表 1 のように位置付けられる。

表 1 スマートグリッドとルーラル・エコ・グリッド

| 対 象  | ルーラル・エコ・グリッド        | スマート・グリッド（※）        |                      |                      |
|------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|      | 農村小規模エネルギー自給型       | 地域エネルギー利用型          | 工業団地型                | コンビナート再生型            |
| 環境性  | 環境性重視型 ←            |                     |                      | ●                    |
| 経済性  | ●                   |                     |                      | → 経済性重視型             |
| 整備期間 | 短期間 ←               |                     |                      | → 長期間                |
| 規 模  | 極小<br>数 kW～数百 kW 程度 | 小<br>数百 kW～数万 kW 程度 | 中<br>数千 kW～数十万 kW 程度 | 大<br>数十万 kW～百万 kW 程度 |
| 電 源  | 再生エネルギー主体           | 再生エネルギー主体           | 再生エネルギー・化石           | 化石・副生燃料              |

※ スマートグリッドの分類については「マイクログリッド 分散型電源と電力ネットワークの共生のために」（合田他）を引用

前述のとおり、現在実施されているスマートグリッドの技術開発は大規模なものが多く、その成果がルーラル・エコ・グリッドに適用できるかどうかはコスト面を含めて検証が必要である。しかしながら、大規模制御システムの導入を想定していないルーラル・エコ・グリッドにおいても、導入に当たっては、下記の課題を解決しておく必要がある。

- ① 地域の実情に応じた効率的な発電方式の組み合わせを求める簡易な手法が確立されていない。限られた地域のエネルギーを最大限に活用するためには、日射量

や風速、用水量といった発電に必要な動力条件を加味した整備計画の策定が必要となる。現状としては、構想段階から専門的な技術を必要とするため、ルール・エコ・グリッドの対象となる農村集落では、安価に導入の検討が行えるような簡易システムが必要である。

- ② 変動のある自然エネルギーを利活用するため、需給バランスに合わせた制御が必要となる。例えば、太陽光発電は、晴天であっても夜間の発電は出来ず、天候や季節変動の影響を受ける。風力発電は、風まかせで必要な時に電力を得られず、突風などにより出力変動が大きいといった課題もある。また、農業用水を利用した小水力発電では、かんがい状況に応じて、使用量が制限され冬場の用水路に水がないといった状況もある。この様に時間・日・季節単位で変動のある電力源を効率良く制御するシステムが必要となる。
- ③ 農村地域では、自然エネルギーの他に植物残渣や家畜ふん尿といったバイオマス資源が豊富に存在する。自然エネルギーを利活用したルール・エコ・グリッドの構築により、将来的には、バイオマスエネルギーを加えた再生エネルギー主体のルール・エコ・グリッドの構築が必要となる。

なお本事業実施中に発生した、東日本大震災や東京電力福島第一原子力発電所の事故により、今後のエネルギー施策における再生可能エネルギーの重要性が再認識された。

「東日本大震災からの復興の基本方針(平成23 年7月29 日 東日本大震災復興対策本部決定)」においても「地域の特性を踏まえた、太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマス発電、中小水力発電等の導入を促進する」とされており、再生可能エネルギーへの期待がさらに高まり、また災害時の緊急用自給エネルギー源の確保という面からも本調査研究分野の意義が高まっている。

以上をふまえ本事業では、地域で発生する自然エネルギーを効率的に需要量に対応させるための「最適な発電施設の組み合わせを求めるためのモデル」を作成するための基本条件を実証試験施設で検証することにより、農村地域における自然エネルギーの効率的利活用システムの手法についての調査研究を実施する。

### 1.1.2 事業の目的

平成22年3月30日に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」では、我が国の食料自給率を平成32年度に50%まで引き上げることが目標としている。また農村では、バイオマスの他に水力、太陽光、風力などの豊富に存在する自然エネルギーについて、供給施設やスマートグリッド構築の促進など、再生可能エネルギーの生産・利用の拡大に向けた技術的・制度的な環境整備を推進することとしている。

我が国では、大型の風力発電装置や住宅用太陽光発電装置の普及に伴い、マイクログリッドやスマートグリッドといわれる安定的な系統連携のためのシステムの研究開発が進められており、農村地域においても、小規模分散的に賦存している各種電力源を効率的に利活用するための方策が求められている。

農村でのスマートグリッドは、極めて限定された地域・施設において適用されることが予想されるため、供給可能な自給エネルギー（自然エネルギーやバイオマスエネルギー）も種類や出力及び発電期間が限定される場合が多く、導入する地域毎に様々な組み合わ

せが生じる。

このうち農業用水路を利用した小水力発電は、かんがい時期に左右されるものの比較的安定供給が可能なエネルギーといえる。また発酵メタンガスや木質等を用いたバイオマス発電は、バイオマス原料のストックが可能であることから、必要に応じて発電できる制御可能なエネルギーといえ、発電量の予測は比較的容易である。

これに対し太陽光発電や風力発電による発電量は、刻々と変化する日射量・風速等の気象条件に大きく左右されることから、年間を通した予測が困難であり、これらを制御可能なエネルギーと効率的に組み合わせるための検討手法の確立が課題となっている。

以上から本事業においては、特に不安定な間欠性再生エネルギーである太陽光発電と風力発電について、発電装置を設置して地域の気象条件等を踏まえた実証試験を行い、想定した需要側の消費電力パターンに対し各発電施設の効率的な組み合わせを容易に把握する手法を研究開発することで、農村におけるエネルギー自給システムの普及拡大に資することを目的とする。

また本事業で基礎データとノウハウの蓄積が得られることにより、将来的には、スマートグリッドの考え方を参考にしたルーラル・エコ・グリッド（小規模分散独立型農村版スマートグリッド）ともいうべき、農村エネルギー自給構想の実現に寄与するものである（図1）。

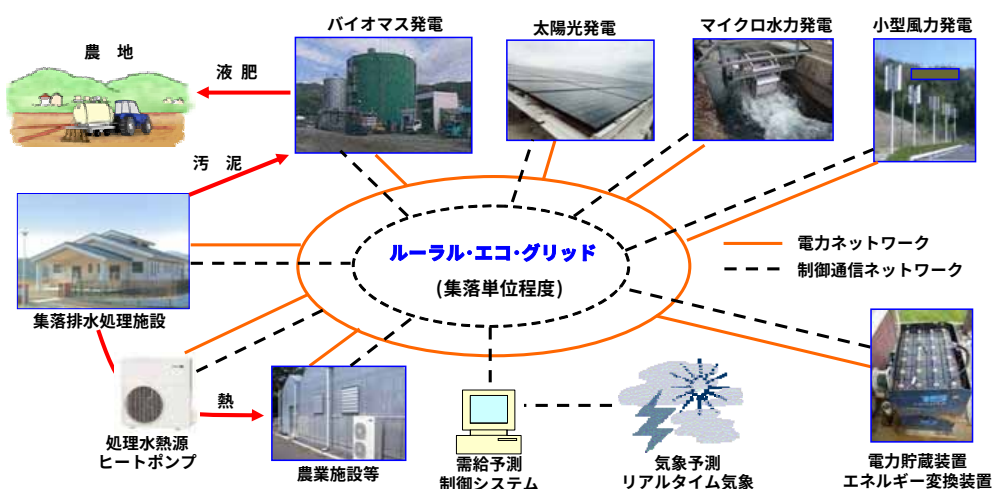


図1 ルーラル・エコ・グリッドのイメージ

## 1.2 事業の内容及び実施方法

### (1) 農村が有する自然エネルギーの利用の最適化システムの研究開発

本事業全体の流れを図2に示す。初年度である平成21年度は、実証試験用地の選定、実証試験施設計画、風力発電施設の設置を行なうとともに、研究開発の基礎データの収集・整理、各発電装置の単位発電量の算定、及び発電装置の組み合わせによる供給電力パターンの試算を行なう。

平成22年度は、太陽光発電装置、気象等観測装置、データ記録・送信装置の設置を行ない、平成21年度事業で設置した風力発電装置とともに、データの計測と記録を行なう。また、試算のために用いる需要電力のダミーパターンを設定する。

最終年度である平成23年度は、引き続きデータの計測と記録を行いつつ、計算値と実測値の検証を行ない、最適な発電装置組み合わせの検討を行なう。

### (2) 実証試験

実証試験は、平成22年9月1日から平成23年12月31日までの1年3カ月間行い、各種データを測定・収集した。

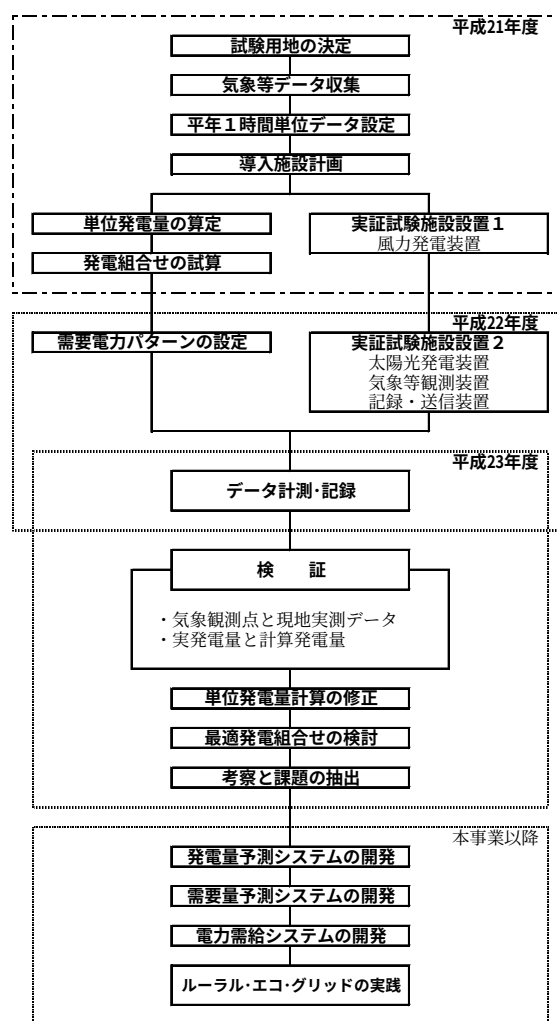


図2 全体実施フロー

なお本事業以降においては、本事業の成果を活用して、ルール・エコ・グリッド構想の実践に向けた需給予測に基づく各システムの開発に取り組む予定である（図3）。

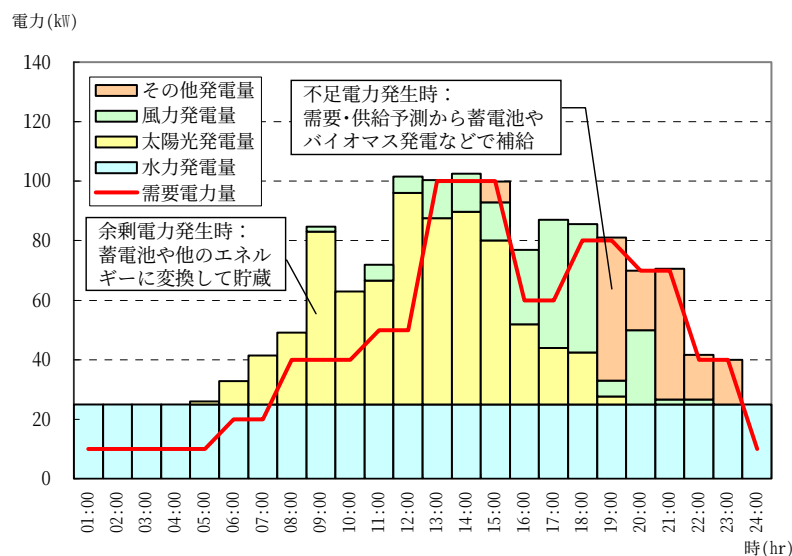


図3 電力需給最適化イメージ

## 1.3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

| 技術的問題点           | 対 応                                      |
|------------------|------------------------------------------|
| 発電量計算式の再現性       | 実際に発電装置を設置し、気象データと共に発電量を計測、計算値との再現性を検証する |
| 地域毎に異なる発電パターンの把握 | 気象データベースを用いた、発電方式別単位発電量を把握する             |
| 効率的な発電方式の組み合わせ   | 最適な組み合わせモデルについて検討する                      |

## 1.4 事業の実施体制

## (1) 研究開発組合内の役割分担

| 項 目               | N T C コンサルタンツ | 日本水土総合研究所 |
|-------------------|---------------|-----------|
| 1. 研究開発の実施計画の策定   | ◎             | ○         |
| 2. 発電施設の建設        | ○             | ◎         |
| 3. 発電データの収集       | ○             | ◎         |
| 4. 発電パターンのとりまとめ   | ◎             | ○         |
| 5. 最適な組み合わせモデルの策定 | ◎             | ○         |

注) ◎：主として担当 ○：副として担当

## (2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

| 項 目               | 試験研究機関<br>日本大学文理学部<br>物理生命システム科学科 | 研究開発組合<br>N T C コンサルタンツ(株)<br>(社)日本水土総合研究所 |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. 研究開発の実施計画の策定   | ○                                 | ◎                                          |
| 2. 発電施設の建設        | ○                                 | ◎                                          |
| 3. 発電データの収集       | ◎                                 | ○                                          |
| 4. 発電パターンのとりまとめ   | ○                                 | ◎                                          |
| 5. 最適な組み合わせモデルの策定 | ◎                                 | ◎                                          |
| 6. 研究全般に亘る指導・助言   | ◎                                 | —                                          |

注) ◎：主として担当 ○：副として担当

## 1.5 事業の年度計画と実績

| 項 目            | 平成 21 年度 |                                                                                      | 平成 22 年度                                                                              |    | 平成 23 年度 |                                                                                       |
|----------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 上期       | 下期                                                                                   | 上期                                                                                    | 下期 | 上期       | 下期                                                                                    |
| 研究開発の実施計画の策定   |          |   |                                                                                       |    |          |                                                                                       |
| 発電施設の建設        |          |  |                                                                                       |    |          |                                                                                       |
| 発電データの収集       |          |                                                                                      |   |    |          |                                                                                       |
| 発電パターンのとりまとめ   |          |                                                                                      |  |    |          |                                                                                       |
| 最適な組み合わせモデルの策定 |          |                                                                                      |                                                                                       |    |          |  |

注) ：計画 ：実績

## 1.6 研究開発の概要、結果、課題等

### 1.6.1 実証試験地の選定

実証試験施設用地の確保や農業用水量調査の協力を得やすい土地改良区として、関東農政局管内の国営事業実施地区の中から群馬県赤城西麓土地改良区、千葉県北総中央用水土地改良区、山梨県釜無川右岸土地改良区連合、長野県中信平土地改良区連合を、また、受入体制が整っている福島県岩瀬郡鏡石町地内（矢吹原土地改良区管内）を実証試験の候補地として選定した。

現地調査を含む検討の結果、群馬県と千葉県は、畑地かんがい地区であり農業用水路がパイプラインのため試験期間中の断水やバイパス管の設置が困難なこと、山梨県と長野県については年平均風速が小さいことから、福島県を実証試験地として選定した（表2）。

表2 実証試験地の選定

| 候補地区                | 水力 | 風力           | 太陽光        | 協力体制 | 総合評価 |
|---------------------|----|--------------|------------|------|------|
| 群馬県<br>赤城西麓土地改良区    | ×  | 4.0-4.5<br>△ | 12-13<br>○ | ○    | ×    |
| 千葉県<br>北総中央用水土地改良区  | ×  | 4.0-4.5<br>△ | 12-13<br>○ | ○    | ×    |
| 山梨県<br>釜無川右岸土地改良区連合 | △  | 3.5-4.0<br>× | 13-14<br>◎ | ○    | ×    |
| 長野県<br>中信平土地改良区連合   | △  | 3.5-4.0<br>× | 13-14<br>◎ | ○    | ×    |
| 福島県<br>岩瀬郡鏡石町地内     | △  | 4.0-4.5<br>△ | 12-13<br>○ | ◎    | ○    |

判定 ◎：優良 ○：良 △：標準 ×：不適  
 数値 風 力：地上高30mの年平均風速（m/sec）NEDO風況マップより  
 太陽光：年平均全日射量の年平均値（MJ/m<sup>2</sup>・day）NEDO全国日射量平均値データマップより

### 1.6.2 気象等データの収集整理

気象データは平年値を用いるものとし、太陽光発電量の算定に用いる日射量を優先し、他の風速等のデータは、同年の値を用いるものとする。これは各々別の年の値を用いると同時期に生起する気象状況を反映できないためであり、後述する太陽光発電量計算に用いる温度補正パラメータである、気温、風速、風向は日射量と連動していなければならないためである。

平年値の気象データは、通常は確率計算により求めるが、その作業が膨大なため簡易に検討する手法としては適していない。このため、既に整備されているデータベースを用いるものとし、METPV-3<sup>注)</sup>から必要なデータを取り出すものとする。

METPV とは、太陽光発電システムの設計・発電予測シミュレーション用の標準的な気象データセットである。全国 836 地点の気象観測所とアメダス地点の全天日射量・日照時間・気温・風向風速・降水量および積雪深の 6 気象要素と、直達・散乱・斜面日射量データが 1 時間単位で収録され、日射量に着目して抽出した 1990～2003 年の平均年・寡照年・多照年の 3 種類のデータセットで構成されている。

実証試験地近傍の気象観測点は、郡山、石川、白河の 3 観測点である。最も現地に適合する観測点の最終的な確定は、実証試験における現地での気象観測データから判断することになるが、ここでは、MESH-METPV<sup>注)</sup>を用いると、石川観測点となる。

MESH-METPV は、既存の観測施設の無い任意地点で標準気象データを利用できるよう、1 km メッシュの地形図から当該地に適合性の高い観測点を選定し、METPV-3 に引き継ぐシステムである。



注) METPV-3: MEteorological Test data for Photo Voltaic system ver.3

MESH-METPV: MESHeD MEteorological Test data for Photo Voltaic system

「平成 17 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務報告書

太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 標準日射データの地理的分解能向上に関する調査研究 (平成 18 年 3 月 財団法人日本気象協会)」

MONSOLA: MOntHly mean SOLAr radiation data throughout japan

### 1.6.3 発電装置諸元と単位発電量

実証試験の実発電量を検証するために、各発電装置の単位発電量を求めておく必要がある。このため各発電装置について比較検討のうえ諸元を確定し、発電量計算式を求め、1 基当たりの単位発電量を算定した。

#### (1) 最適傾斜角度の設定

太陽電池アレイを設置する際、年間を通して最も発電効率の良い設置角度とすることが望ましい。ここでは MONSOLA 注) 05(801)を用いて、実証試験近傍で緯度の近い観測地点の最適傾斜角から 32 度と設定した(図 4、表 3)。また同様に最適方位角は、真南(90 度)とした。

MONSOLA は、1961~1990 年の全国 801 地点の月平均日積算(水平面)全天日射量の 30 年平均値及びその斜面日射量、散乱日射量、気温、積雪深 10cm 以上の出現率などが収録されており、最適傾斜角も計算結果が得られている。このデータは、JIS C8907「太陽光発電システムの発電電力推定方法」の推奨データに指定されている。

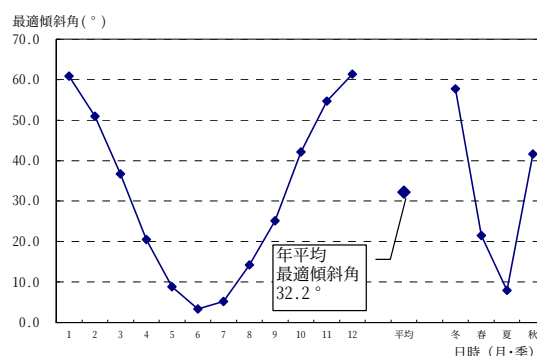


図 4 石川観測点の最適傾斜角

表 3 試験地の最適傾斜角

| 近傍観測地点  | 北緯       | 東経        | 最適傾斜角 |
|---------|----------|-----------|-------|
| 小野新町    | 37度17.0分 | 140度37.8分 | 31.6度 |
| 石川      | 37度 8.7分 | 140度27.3分 | 32.2度 |
| 試験地(鏡石) | 37度15.2分 | 140度21.9分 | 32度   |

#### (2) 傾斜面日射量の計算

傾斜面日射量は、気象観測地点の月別の水平面全天日射量、水平面散乱日射量及び積雪 10cm 以上の出現率から各月の代表日の係数を求め、日の出から日の入りまで、1 時間毎の直達・間接日射量を時間配分率により求め、さらに間接日射量を準直達成分と散乱成分に分け、積雪出現率を元に反射日射を求め、これらを合計して算出する。

ここでは METPV-3 を用いて、石川観測点データから方位真南、傾斜角 32 度の傾斜面日射量を 1 時間単位で 1 年間分を計算により求めた。

#### (3) 風速・風向・気温データの収集

METPV-3 から石川観測点の 1 時間単位の当該データを収集した。



#### (4) 流量データの収集

当初、矢吹原土地改良区の協力を得て、実証試験地近傍の用水路（隈戸川用水県営区間）の平成 23 年度の流量データを用いる予定であったが、東日本大震災による被害で通水不能となったため、関東地区の同等規模の用水路の実測値を用いることとした。

発電量計算に用いる流速は、当該水路の断面・勾配・粗度係数から等流水理計算により求めた。



図5 水力発電設定流量

#### (5) 太陽光発電

普及しているシリコン型太陽光発電セルには、アモルファス型、多結晶型、単結晶型があり、発電効率は後者になるほど高くなる。本事業では、発電効率を目指すのが目的ではないため、最も安価な多結晶型とし、さらにコスト比較により採用機種を選定した（表 4）。

日射量から発電量を予測する方法としては、「太陽光発電ガイドブック（財団法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）」、「JIS C8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法（財団法人 日本規格協会）」、JPEA（社団法人 太陽光発電協会）による方法がある。

ここでは仕様決定に用いたメーカーが推奨している、JPEA 方式によった。

表 4 太陽光発電装置諸元

| セルの種類         | 多結晶シリコン        |
|---------------|----------------|
| 公称最大出力(W)     | 210            |
| 公称最大出力動作電圧(V) | 28.50          |
| 公称最大出力動作電流(A) | 7.86           |
| 寸法(mm)        | 1,652×994×46.5 |
| モジュール面積(m²/枚) | 1.642          |
| 質量(kg/枚)      | 21.0           |
| モジュール変換効率(%)  | 12.8           |
| 温度係数          |                |
| 1) 最大出力       | -0.485 %/°C    |
| 2) 開放電圧       | -0.104 V/°C    |
| 3) 短絡電流       | 0.053 %/°C     |
| パワーコンディショナ効率  | 92 %           |
| その他損失等        | 93 %           |

$$P = (U \times P_m \times N / P_o) \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

P : 発電量(kWh/日)

U : 日射量(kWh/m²・日)

P<sub>m</sub> : モジュール出力(W/台)

N : モジュール台数(台)

P<sub>o</sub> : 放射照度(1,000W/m²)

K<sub>1</sub> : 温度補正係数(概略値)

3～5月: 0.85 (モジュール温度約 56°Cに相当)

6～8月: 0.80 (モジュール温度約 66°Cに相当)

9～11月: 0.85 (モジュール温度約 56°Cに相当)

12～2月: 0.90 (モジュール温度約 46°Cに相当)

K<sub>2</sub> : パワーコンディショナ効率(0.92)

$K_3$  : その他の損失に対する補正係数 (0.93)

(配線、受光面の汚れ、逆流防止ダイオードによる損失等)

$$K_1 = (100 - (25 - T_{CR}) \times \alpha_{Pmax}) / 100$$

$T_{CR}$  : モジュール温度 (°C)

$\alpha_{Pmax}$  : 最大出力温度係数 (-0.485 %/°C)

25 : 公称最大出力時のモジュール温度 (°C)

1 時間単位の温度補正係数  $K_1$  を求めるため、モジュール温度  $T_{CR}$  を概略値ではなく、湯川元信らによる「太陽電池モジュール温度上昇の推定 (電学論 B, 116 巻 9 号, P1101, 平成 8 年)」によって算定した (図 6)。

$$T_{CR} = T_A + \Delta T$$

$$\Delta T = (A / (B \times V^{0.8} + 1) + 2) \times H_{AE} - 2$$

$T_A$  : 外気温度 (°C)

$\Delta T$  : モジュール上昇温度 (°C)

$A$  : 定数 (°C) (風速 0 m/sec におけるモジュール温度上昇)

$B$  : 定数

$V$  : 風速 (m/sec)

$H_{AE}$  : 傾斜面日射量 (kWh/m<sup>2</sup>)

傾斜角 32 度、奥行 1.652m の太陽光モジュールの  $A$  値は、前記論文データから回帰式を求めた。

$$A = -0.1735 T_A + 50.865 \quad (R^2 = 1.0000)$$

また定数  $B$  については、風向による補正係数  $C_1$ 、 $C_2$  を論文データから外挿計算して設定して求めた。

$$B = (A / (C_1 \text{ or } C_2) - 1) / 3.03$$

$C_1$  : 18.81 (東北西風 表面・裏面とも風冷 (両面風冷))

$C_2$  : 28.02 (南風 表面風冷・裏面自冷 (片面自冷))

$$= ((-0.1735 T_A + 50.865) / (18.81 \text{ or } 28.02) - 1) / 3.03$$

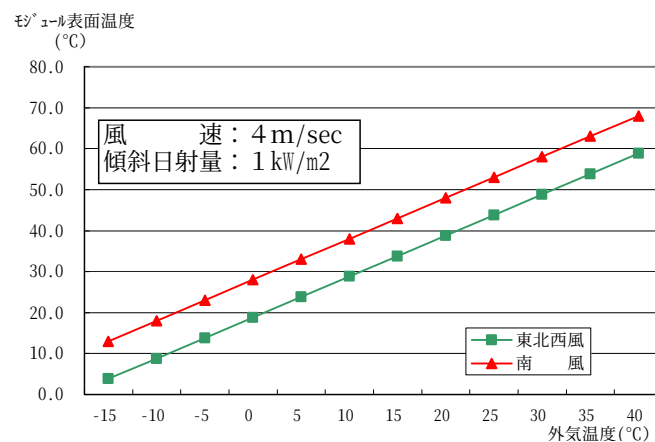


図 6 外気温度とモジュール温度

## (6) 風力発電

風力発電の風車形式は、水平軸型と垂直軸型に分けられるが、発電効率を優先しないことと、特に設置場所の環境を配慮したことから、比較的風切り音の小さいといわれる垂直軸型とし、コスト比較により採用機種を選定した。

発電量は、採用機種で用いている下式により求めた（図7）。

$$P = (V/10)^3 \times 200$$

P：出力(W)

V：風速(m/sec)

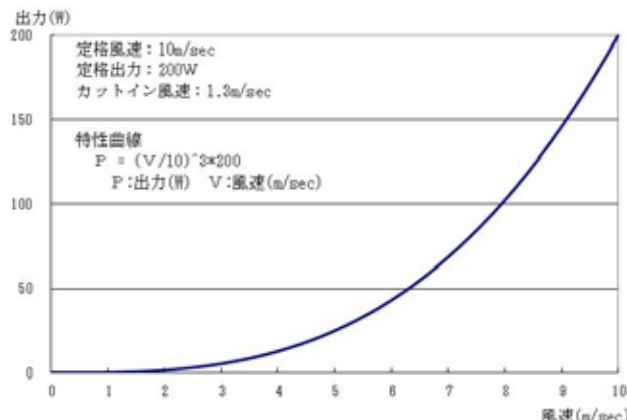


図7 風力発電装置諸元と出力特性曲線

## (7) 水力発電

本事業において水力発電装置は設置しないが、本事業の研究開発組合員が別途研究開発している小水力発電装置（表5）の実験データを基に、発電量を試算した。

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \cdot C_D \cdot \eta$$

P：出力(W)

$\rho$ ：水の密度 (1,000kg/m<sup>3</sup>)

V：受水流速 (m/sec)

A：水車受水面積 (m<sup>2</sup>)

$C_D$ ：1.15

$\eta$ ：効率 (0.193=19.3%)

表5 水力発電装置諸元

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| 水車型式    | 開放型下掛け水車式             |
| 水車サイズ   | 幅 約1.0m × 回転直径 約φ2.0m |
| ブレードサイズ | 幅 1.0m × 高さ 0.5m      |
| ブレード    | 円弧形状 12枚              |
| 発電機定格   | 1kW                   |

## (8) 需要電力パターンの設定

農村での自給エネルギーの供給先としては、農業生産施設、集落内公共施設、集落一般家庭などが考えられるが、その利用目的は様々であり、全てのパターンを本事業で予め設定することは現実的に困難である。

そこで、太陽光利用型植物工場や高機能ハウスといった、気象条件で消費エネルギーが変動する施設をモデルとして、実際の気象データを用いて既往の研究成果等から冷暖房負荷を求め、需要電力パターンを設定した（図8）。



図8 需要電力パターン

## 1.7 実証試験の概要、結果、課題等

### 1.7.1 実証試装置の設置

#### (1) システム構成

実証試験施設は、風力発電装置、太陽光発電装置、気象等観測装置およびデータ記録・送信装置から構成される（図9、表9）。

風力発電装置は、単体の製品として充放電コントローラ、風車制御電源用の蓄電池等を内蔵し、過充電防止のための放電設備としてLED灯を備える。

太陽光発電は、太陽電池モジュールを組み合わせた太陽電池アレイ、充放電コントローラ、蓄電池、過充電予防のための放電設備、および過放電時の商用電源からの充電器を備える。

計装用電力は、主として太陽光発電装置の発電電力で賄うため（表6）、太陽電池アレイの出力は、平年時の95%の日において計装機器の消費電力を供給できるよう1kW（モジュール5枚分）とした。蓄電池容量は、不日照期間が7日続き発電が出来ない場合を想定して決定した。また、7日間以上の無発電が続く場合に備え、非常用バックアップ電源として、商用電源を逆潮流なしで接続することとした。

表6 計装機器の消費電力

| 機 器          | 消費電力                | 備 考      |
|--------------|---------------------|----------|
| 発電量表示モニター    | 2.20 W              | DC24V±5% |
| PLCモジュール     | 15.00 W             | DC24V±5% |
| ロガーユニット      | 1.80 W              | DC24V±5% |
| CDMA通信モジュール  | 1.00 W              | DC24V±5% |
| 太陽光コントローラ×2  | 0.62 W              | DC24V    |
| 風力制御関係       | 1.20 W              | DC12V    |
| データコンバータ×2   | 0.36 W              | DC12V    |
| 計測装置電源盤冷却ファン | 9.60 W              | DC24V    |
| 変換効率         | DC/DC (24/12) : 86% |          |
|              | DC/DC (24/24) : 87% |          |
| 消費電力         | DC12V : 1.81 W      |          |
|              | DC24V : 34.02 W     |          |
|              | 合計 : 35.84 W → 36 W |          |

気象等観測装置は、気温計、全天日射量計、風向・風速計を備えた。またモジュール表面温度は、太陽光発電効率に大きく影響を与えることから、表面温度推定式の検証のために温度計測用のモジュールを設置し、シート型熱電対によりモジュール表面温度を計測する。

データ記録・送信装置は、データロガーとデータ送信用モジュールで構成され、各発電量及び気象等データを10秒毎に計測し、1時間毎に最小・平均・最大値を記録、1日1回インターネット回線を利用してデータを研究員のコンピュータに送信する。これは研究員が月1回、現地に赴きロガーから記録を読み込む作業時間と経費に比べ安価な収集方法である。

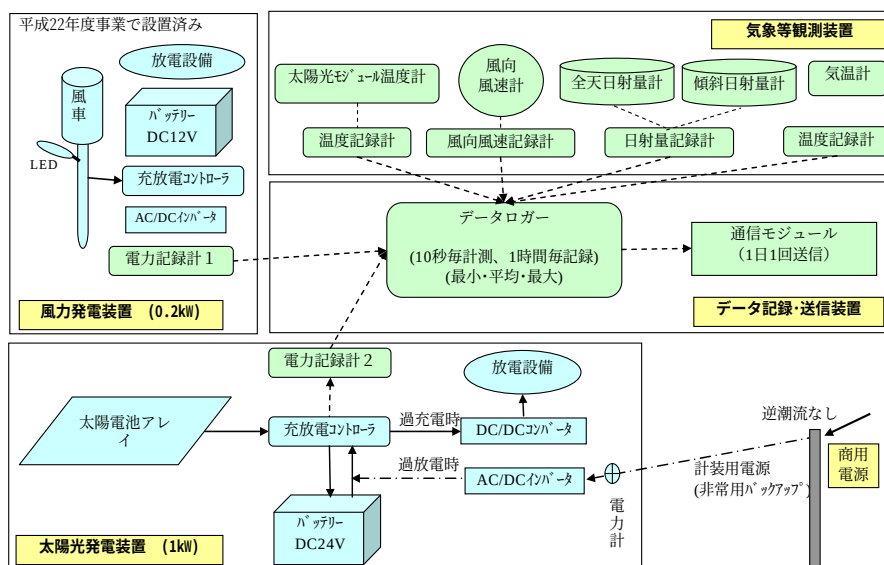


図9 実証試験装置構成イメージ

## (2) 施設配置と各装置の設置

実証試験施設用地は、幅 5.5m、長さ 7m、面積約 40m<sup>2</sup>である（図 10）。

太陽光発電装置は、用地の南側に方位角 90 度（真南）、傾斜角 32 度で配置した。架台は、過去の最大積雪深を考慮し、装置全体を地上から 60cm 以上嵩上げした。

風力発電装置及び気象等観測装置は、太陽光発電装置に影を落とさないよう、北側に配置した。

発電データ記録装置及び蓄電池は、太陽光発電装置の架台に据え付け、データ記録・送信装置は、気象等観測装置の計装ボックス内に設置した。

風力発電装置は、平成 22 年 2 月 10 日に基礎コンクリート工事、3 月 3 日に発電装置本体の設置工事を行なった（図 11）。

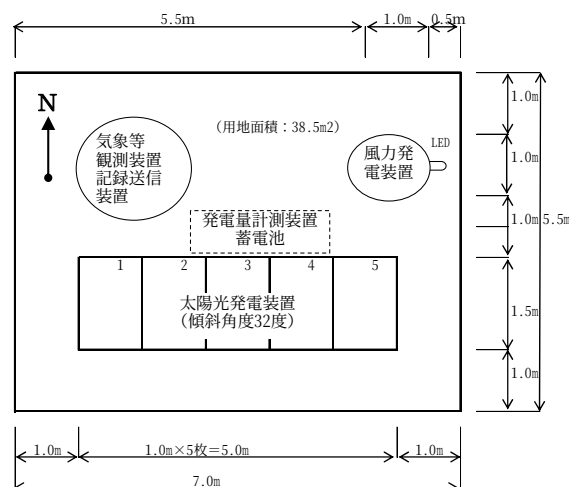


図 10 実証試験施設配置図



図 11 風力発電装置の設置

その他の装置は、平成 22 年 8 月 23 日から 8 月 30 日にかけて設置工事を行い、8 月 31 日に実証試験装置全体の総合試運転と調整を行い、9 月 1 日からデータの計測と記録を開始した（表 7、図 12）。

表 7 設置工事スケジュール

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 8月23日 | 基礎コンクリート設置            |
| 8月24日 | モジュール架台設置、気象観測用ポール埋込み |
| 8月25日 | モジュール設置、観測機器設置・配線作業   |
| 8月26日 | 太陽光・風力発電量計測確認         |
| 8月30日 | 測定用配線作業               |
| 8月31日 | 総合試運転調整               |
| 9月1日  | データ計測・記録開始            |





図 12 実証試験装置の設置

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で、実証試験地である福島県鏡石町では震度 6 強を記録した。同町内の被害も甚大なものであったが、実証試験装置は、携帯電話が回線混雑による発着信困難な状況となったため 3 日間データの送信が出来なかった程度で、物理的損傷もなく正常に作動し記録を続けた。

表 8 2011/03/11 東日本大震災時の現地震度

| 時 刻       | 震 源  | M   | 深度   | 現地震度 |
|-----------|------|-----|------|------|
| 14時46分18秒 | 三陸沖  | 9.0 | 24km | 6 強  |
| 14時54分31秒 | 福島県沖 | 5.8 | 36km | 4    |
| 14時58分06秒 | 福島県沖 | 6.4 | 23km | 3    |
| 15時06分11秒 | 岩手県沖 | 6.4 | 27km | 3    |
| 15時08分54秒 | 岩手県沖 | 7.4 | 32km | 3    |
| 15時12分58秒 | 福島県沖 | 6.1 | 27km | 4    |
| 15時15分34秒 | 茨城県沖 | 7.7 | 43km | 5 弱  |
| 15時25分44秒 | 三陸沖  | 7.5 | 34km | 3    |
| 16時29分01秒 | 岩手県沖 | 6.5 | 36km | 4    |

## (3) 各装置の仕様

表 9 実証試験各装置の仕様

|                       |                  |                                                                          |
|-----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 風力発電装置                |                  |                                                                          |
| 性 能                   | 起動風速             | 1.0 m/sec                                                                |
|                       | カットイン風速          | 1.3 m/sec                                                                |
|                       | 定格風速             | 10 m/sec                                                                 |
|                       | 定格出力             | 200 w                                                                    |
|                       | 耐最大瞬間風速          | 60 m/sec                                                                 |
| 風車部                   | 形 式              | 垂直軸型                                                                     |
|                       | 材 質              | アルミニウム                                                                   |
| 発電機                   | 定格出力             | 200 w                                                                    |
|                       | 材 質              | アルミニウム                                                                   |
| 放電設備                  | 形 式              | L E D                                                                    |
|                       | 出 力              | 8 w                                                                      |
| 支持柱                   | 柱 高              | 4 m                                                                      |
|                       | 材 質              | S S                                                                      |
| 制御ボックス                | 形 式              | 支持柱内に設置                                                                  |
|                       | 構 成              | 整流器、コントローラ、ブレーキ（電気、手動）<br>24hタイマー、ブレーカ他                                  |
| 充電器                   | 形 式              | 銅板製キャビネット                                                                |
|                       | 保護等級             | IP66                                                                     |
| バッテリー                 | 構 成              | スイッチング電源、リレー類、ブレーカ他                                                      |
|                       | 形 式              | シールド型ディプサークルバッテリー                                                        |
|                       | 仕 様              | 12v×60Ah（容量：720Wh）                                                       |
| 太陽光発電装置               |                  |                                                                          |
| モジュール 1               | 形 式              | 多結晶セル型産業用太陽光モジュール                                                        |
|                       | 公称最大出力           | 1.0 kW以上                                                                 |
| モジュール 2               | 外形寸法             | 約5m(W)×1.6m(L)程度                                                         |
|                       | 仕 様              | 太陽光パネル表面温度計測用<br>取付けブラケット含む                                              |
| 架 台                   | 外形寸法             | 約5m(W)×1.5m(H、内嵩上0.7m)×1.4m(L)<br>制御盤取付け架台兼用                             |
|                       | 材 質              | 一般構造用鋼、溶融亜鉛めっき仕上                                                         |
| 制御盤                   | 外形寸法             | 約505(W)×630(H)×250(D)mm                                                  |
|                       | 材 質              | 銅板製、屋外用                                                                  |
|                       | 仕 様              | 入力:DC24V 太陽電池電圧 0～36.2V<br>DC24V 過放電時充電装置電圧                              |
|                       |                  | 出力:DC24V コントローラ出力電圧<br>余剰負荷消費装置込み                                        |
| ロガー計測<br>装置電源盤        | 外形寸法             | 約505(W)×630(H)×250(D)mm                                                  |
|                       | 材 質              | 銅板製、屋外用                                                                  |
|                       | 仕 様              | 入力電源:商用 AC100V<br>入力:DC24V 太陽光制御盤コントローラ電源<br>出力:DC24V=ロガー用 DC12V=風力補助電源用 |
| データロガー出力<br>用データコンバータ | 外形寸法・材質          | ロガー計測装置電源盤に内蔵                                                            |
|                       | 仕 様              | 風力発電量、太陽光発電量データ出力<br>(データコンバータ → アナログ0～5V)                               |
| バッテリー盤                | 外形寸法             | 約1000(W)×600(H)×300(D)mm×2面                                              |
|                       | 材 質              | 銅板製、屋内外兼用                                                                |
|                       | バッテリー仕様          | DC12V-90Ah×4×2 (2S-4P接続DC24V-360Ah)                                      |
| 気象観測装置                |                  |                                                                          |
| 風向風速発信器               | 気象庁検定付           | (CYG-5103-JM)                                                            |
| pt温度センサー              | 気象庁検定付           | (C-HPT-5-JM)                                                             |
| 自然通風シェルター             | ABS 樹脂製          | (CYG-41303)                                                              |
| 日射発信器                 | 気象庁検定付           | (CHF-LP02-JM)                                                            |
| 日射発信器                 | 傾斜日射量用           | (NS-97-30)                                                               |
| 日射計取付アーム              | HF(60cm)         | (CHF-AM)                                                                 |
| シート型熱電対               | T 型              | (ソーラパネル表面温度計測用)                                                          |
| 三脚キット                 | 4m取付ポール          | (CO-CM14)、ベース含む<br>ガイワイヤー延長キット1.5m (C-19241)                             |
| 避雷器                   | 30線信号用 2A/DC40V迄 | (C-PT30)                                                                 |
| 電源コントローラ              | 12V電源供給7Ah       | (C-PS100)、                                                               |
|                       | DC/DC変換機         | (SVB-24SC24)                                                             |
| 収納ボックス                | 410×460×230mm    | FRP防水 (C-ENC16-MM)                                                       |
| データ記録・送信装置            |                  |                                                                          |
| マイクロログメモリー            | 4 MB             | (C-CR1000-4M)                                                            |
| コンパクトフラッシュモジュール       |                  | (C-CFM100)                                                               |
| C Fカード                | 512MB×2 SS製      | (CF-512MCF)                                                              |
| ロガーソフト                |                  | (CS-Loggemet/SS 相当品)                                                     |
| C DMA携帯通信セット          | パケット通信用          | 屋外アンテナ付<br>本体C-KTY20-A、DC12V電源                                           |



### 1.7.2 データの計測と記録

データの計測は 10 秒単位で行い、データの記録は 1 時間毎にデータロガーにて演算処理し平均・最大・最小値を求め、**表 10** に示す項目に整理され、ロガー内及び CF カードに保存される。

データは、CDMA 携帯通信により毎日 13:00 に CSV ファイル形式でサーバーに送信され、13:10 に FTP サーバーに転送される。データの取得は、FTP サーバーにアップロードされた CSV ファイルを研究員が定期的にダウンロードすることで行なう(図 13)。

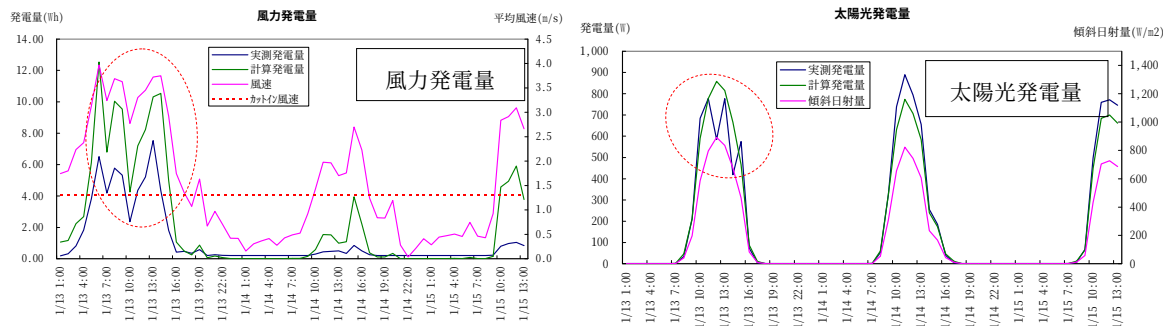
また研究員は、機器の不具合がないかをチェックするため2.5日単位のグラフを作成し、計測データに異常がないかを確認した。異常と考えられる現象(図14赤丸点線部)が生じた場合は、現地の日常管理者に連絡して対処し、機器に問題が生じていた場合は研究員が現地で修復調整を行った。

表 10 計測及び記録データ一覧

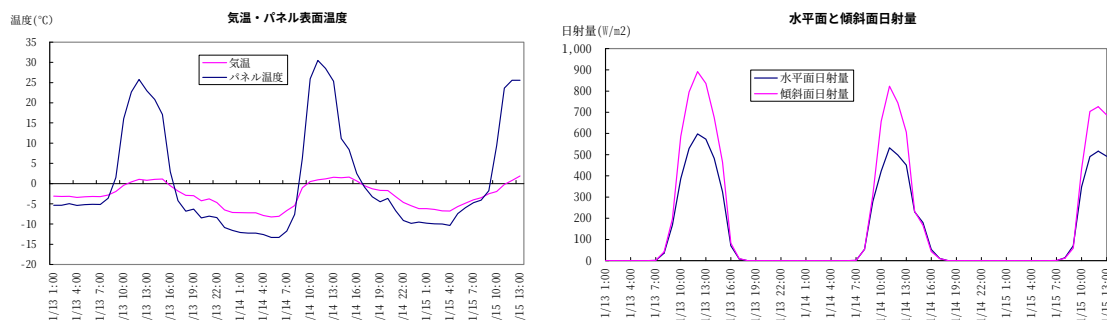
| No. | 項 目          | 単 位              | No. | 項 目                          | 単 位              |
|-----|--------------|------------------|-----|------------------------------|------------------|
| 1   | 測定日時         | 年月日時分            | 22  | 最大傾斜面日射量                     | W/m <sup>2</sup> |
| 2   | レコード番号       | —                | 23  | 最大傾斜面日射量発生時刻                 | 年月日時分            |
| 3   | 平均風速         | m/s              | 24  | 最小傾斜面日射量                     | W/m <sup>2</sup> |
| 4   | 平均風向         | °(度)             | 25  | 最小傾斜面日射量発生時刻                 | 年月日時分            |
| 5   | 最大瞬間風速       | m/s              | 26  | 平均風力発電量                      | W                |
| 6   | 最大瞬間風速発生時刻   | 年月日時分            | 27  | 最大風力発電量                      | W                |
| 7   | 最大瞬間風速発生時風向  | °(度)             | 28  | 最大風力発電量発生時刻                  | 年月日時分            |
| 8   | 最小瞬間風速       | m/s              | 29  | 最小風力発電量                      | W                |
| 9   | 最小瞬間風速発生時刻   | 年月日時分            | 30  | 最小風力発電量発生時刻                  | 年月日時分            |
| 10  | 最小瞬間風速発生時風向  | °(度)             | 31  | 平均太陽光発電量                     | W                |
| 11  | 平均気温         | °C               | 32  | 最大太陽光発電量                     | W                |
| 12  | 最高気温         | °C               | 33  | 最大太陽光発電量発生時刻                 | 年月日時分            |
| 13  | 最高気温発生時刻     | 年月日時分            | 34  | 最小太陽光発電量                     | W                |
| 14  | 最低気温         | °C               | 35  | 最小太陽光発電量発生時刻                 | 年月日時分            |
| 15  | 最低気温発生時刻     | 年月日時分            | 36  | 平均太陽光 <sup>a</sup> 表表面温度     | °C               |
| 16  | 平均水平面日射量     | W/m <sup>2</sup> | 37  | 最大太陽光 <sup>a</sup> 表表面温度     | °C               |
| 17  | 最大水平面日射量     | W/m <sup>2</sup> | 38  | 最大太陽光 <sup>a</sup> 表表面温度発生時刻 | 年月日時分            |
| 18  | 最大水平面日射量発生時刻 | 年月日時分            | 39  | 最小太陽光 <sup>a</sup> 表表面温度     | °C               |
| 19  | 最小水平面日射量     | W/m <sup>2</sup> | 40  | 最小太陽光 <sup>a</sup> 表表面温度発生時刻 | 年月日時分            |
| 20  | 最小水平面日射量発生時刻 | 年月日時分            | 41  | ロガー内部温度                      | °C               |
| 21  | 平均傾斜面日射量     | W/m <sup>2</sup> | 42  | バッテリー電圧                      | V                |

[illegible]

図 13 計測データファイル出力例



[右：太陽光発電量の低下は、バッテリー過充電により電流が止まったためであり、放電装置を調整することで発電停止状態の発生を解消した。左：風力発電量については、2.1 (5) で説明する。]



(2011/1/13 1:00~ 2011/1/15 13:00)

図 14 計測データチェック用グラフ例

## 2 事業の成果

### 2.1 各設定値、計算値の検証

#### (1) 各発電量の実績

2011 年 1 月から 12 月の 1 年間の各単位発電量は、水力発電（計算値）が 2,320kWh/年、太陽光発電（実績値）が 270kWh/年、風力発電（実績値）が 6kWh/年となった。太陽光発電と風力発電を出力 1kW の発電機に換算すると、太陽光発電は水力発電の 58%、風力発電は 1.3% の発電能力となる。

表 11 各発電量の年間合計

| 2011 年<br>1 月～12 月 | 水力発電             | 太陽光発電             |                         | 風力発電              |                         |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
|                    | 実測値<br>(1kW×1 基) | 実測値<br>(210w×1 基) | 1kW 相当換算値<br>(210w×5 基) | 実測値<br>(200w×1 基) | 1kW 相当換算値<br>(200w×5 基) |
| 年合計(kWh/年)         | 2,320            | 270               | 1,350                   | 6                 | 30                      |
| 比率                 | 100.0%           |                   | 58.2%                   |                   | 1.3%                    |

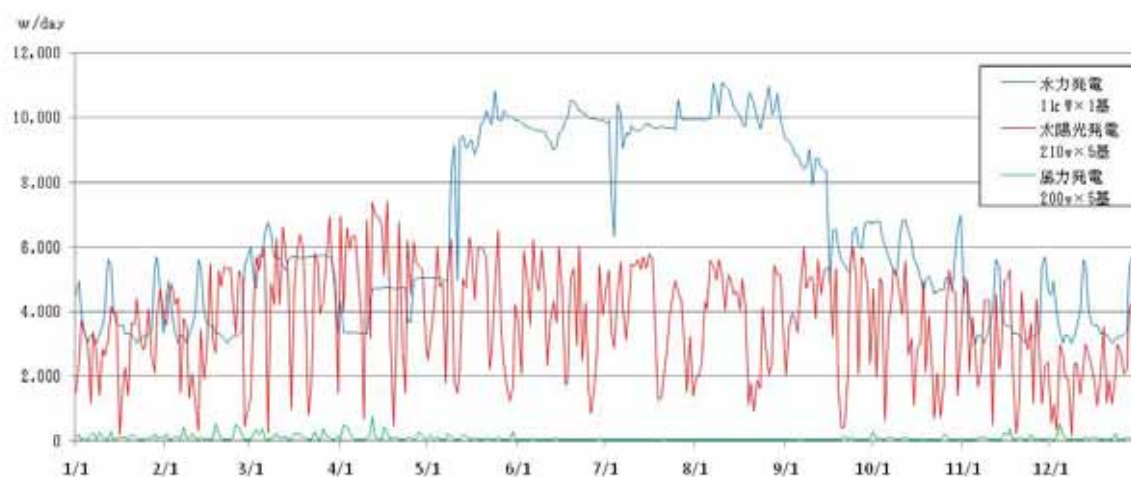


図 15 出力 1kW 当たりの日別発電量

#### (2) モジュール温度の検証

太陽光発電量に大きく影響する温度補正係数については、季節毎に一定値を与える JPEA による方式と、風速と日射量からモジュール温度上昇を求め、温度補正係数とする JIS C8907 による方式などがある。補正係数の算定方式の違いによる計算発電量と実発電量に大きな差が無ければ、より簡易な算定式を採用することが実務上望ましい。

今回は、モジュール形状や風向を加味した算定式を用いているため、実測データを基に検証した。モジュール温度は、日射量と気温に比例し、風速に反比例する。図 16 は計測開始から 1 ヶ月間の各測定値の推移を示している。

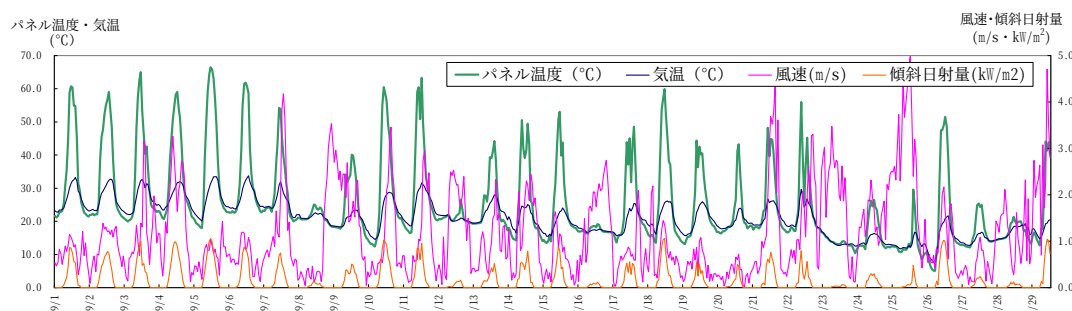


図 16 モジュール表面温度とパラメータの推移

各パラメータを用いたモジュールの計算温度と実測温度の関係は、**図 17** に示すとおりであり、0.98 とかなり高い相関が得られた。

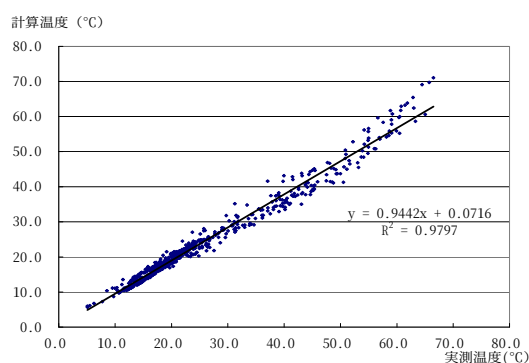


図 17 モジュール温度の計算値と実測値

### (3) 太陽光発電効率

平成 23 年の太陽光発電装置の設備利用率は 14.6% となった。NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）のフィールドテストで得られている全国平均の設備利用率が 12% であることから、高めではあるものの妥当なものといえる。

$$\begin{aligned} \text{設備利用率} &= \text{対象期間の発電電力量} / (\text{定格容量} \times 24 \text{ 時間} \times \text{対象期間日数}) \\ &= 270 \text{ kWh} / (0.21 \text{ kW} \times 24 \text{ hr} \times 365 \text{ day}) \\ &= 0.146 \rightarrow 14.6\% \end{aligned}$$

### (4) 太陽光発電量

計算発電量と実測発電量は、**図 18** に示すように、ほぼ合致しており、年間の全データによる相関係数は 0.958 と高い相関を得た（**図 20** の 1 グラフ）。

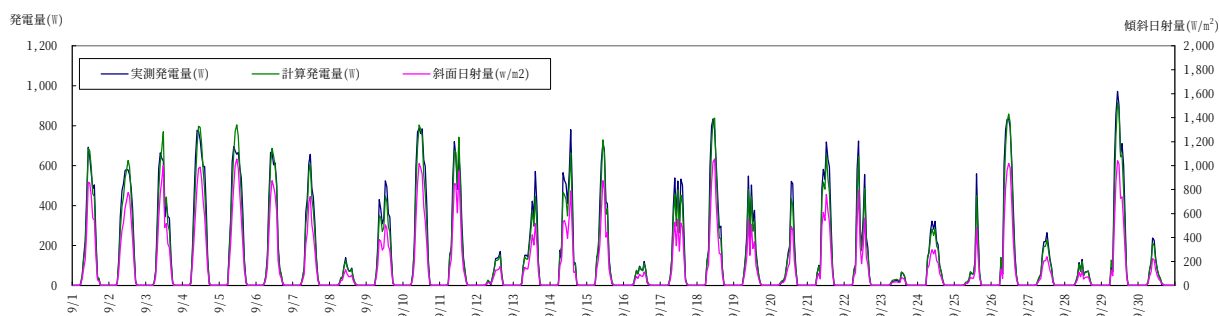


図 18 太陽光発電量の計算値と実測値

今回採用した計算方法は極めて再現性が高いことが実証できたが、水平面日射量から傾斜面日射量への換算など事前のデータ作成作業に多くの時間と労力を必要とすることから、簡易に数多くの地点で検討しようとする場合には課題を残している。

そこで、実際のモジュール温度から計算する方法、モジュール温度を四季毎の換算係数を乗じて固定し計算する一般的な方法による値と実測値を、また日射量を当該地区の最適傾斜角での日射量を用いる場合と、気象データで容易に入手できる水平面日射量を用いた場合について比較した（**表 12**）。

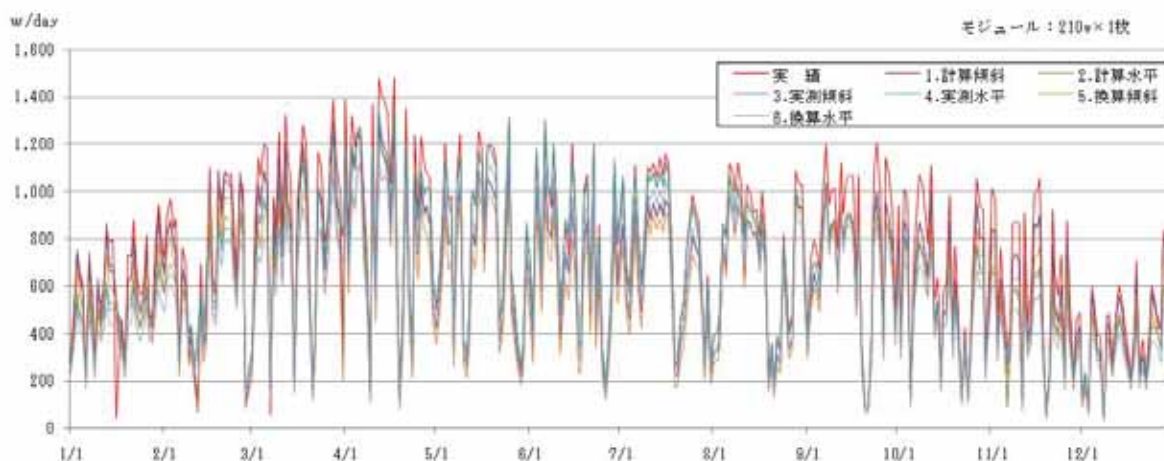


図 19 太陽光発電量の実績値と計算値

発電実績値と最も整合性の高い計算方法は、実際のモジュール温度を基に最大出力温度係数( $-0.485\%/^{\circ}\text{C}$ )を乗じて温度補正係数( $K_1$ )を求めた値であるが、表 12 の 3 の比率①に示すように、実測温度と傾斜面日射量による計算値は、実績値の 86.2%と低い結果となっている。これは、配線長さや受光面の汚れなど、その他の損失に対する補正係数( $K_3=0.93$ )によるものと考えられる。すなわち本実証試験では新設のモジュールを 1 年 3 カ月使用しただけであり経年による劣化がないこと、配線ケーブルは測定装置までの最小の長さでしかないと、その他損失効率が極めて低かったためである。ちなみに計算値が実績値と同等になるよう試算した結果、 $K_3$  は、ほぼ 1.0(損失ゼロ)となった。

表 12 計算方法別発電量と実績値

| 計算方法         | 計算に用いた<br>モジュール温度 | 計算に用いた<br>日射量 | 年間発電量<br>(kWh/年) | 比率(%) |       |       |
|--------------|-------------------|---------------|------------------|-------|-------|-------|
|              |                   |               |                  | ①     | ②     | ③     |
|              |                   |               |                  | ①     | ②     | ③     |
| 0 実績値        | —                 | —             | 270.0            | 100.0 | —     | —     |
| 1 計算値(風速・傾斜) | 風速加味の計算値          | 傾斜面日射量        | 234.7            | 86.9  | 100.0 | —     |
| 2 計算値(風速・水平) | 風速加味の計算値          | 水平面日射量        | 241.2            | 89.3  | 102.8 | —     |
| 3 計算値(実測・傾斜) | 実測温度              | 傾斜面日射量        | 232.9            | 86.2  | 99.2  | 100.0 |
| 4 計算値(実測・水平) | 実測温度              | 水平面日射量        | 238.0            | 88.1  | 101.4 | 102.2 |
| 5 計算値(換算・傾斜) | 季別係数の計算値          | 傾斜面日射量        | 207.6            | 76.9  | 88.5  | 89.1  |
| 6 計算値(換算・水平) | 季別係数の計算値          | 水平面日射量        | 209.8            | 77.7  | 89.4  | 90.1  |

太陽光発電モジュール：210W/枚

したがって今回の実証試験は、相当有利な条件下での発電量であり、長期間の使用を前提とすると、その他損失の補正係数は一般的に採用されている 0.93 を基に設置台数を計画することが妥当であると考えられる。

そこで、その他損失の補正係数を 0.93 とした実測温度と傾斜面日射量による計算値を経年変化を見込んだ平均値と考えると(表 12 の 3)、風速を加味した温度による計算値との差は無く(表 12 の 1 と 3 の比率②)、今回試みた方法の再現性は高いといえる。

一方、季別温度補正係数を用いた換算温度と水平面日射量による発電量は過少になるものの、実測温度と傾斜面日射量による発電量と 10%の差でしかない(表 12 の 6 の比率③)。

発電実績量と計算方法別発電量との相関を図 20 に示す。傾斜面日射量(1,3,5)と水平面日射量(2,4,6)を比較すると、傾斜面日射量を用いた発電量の方が実績発電量との再現性が高いが、前述したように年間発電量で比較すると水平面日射量による発電量は、10%程度の誤差である。またモジュール温度の違いによる差は、実測温度を用いた場合(3,5)と他の方法(1,2 と 5,6)に大きな差は見られなかった。

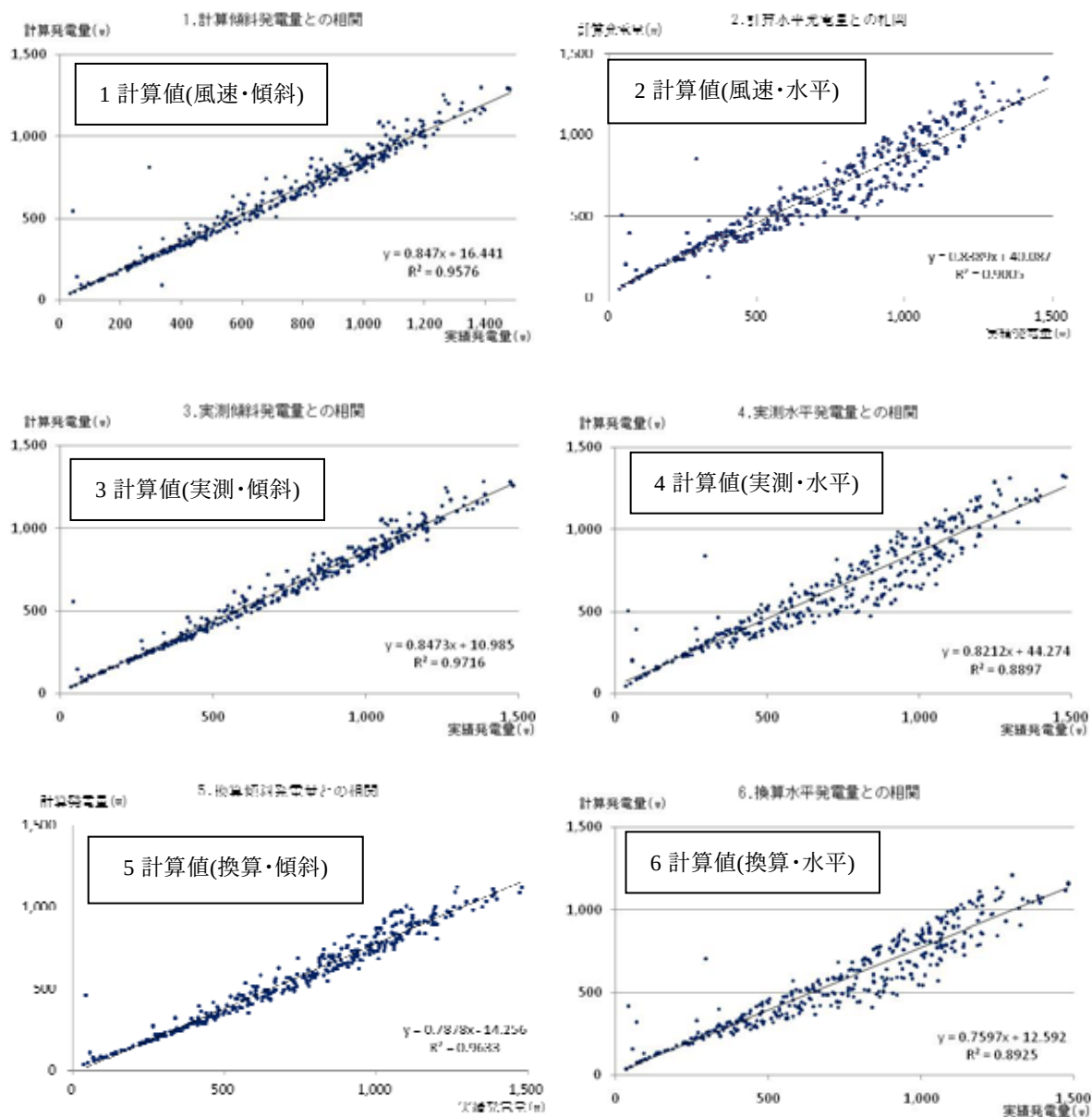


図 20 発電実績量と計算方法別発電量との相関



最適な組み合わせモデルの計算においては、約 1 割の誤差(安全側＝発電量が少ない)を許容するのであれば、気象データベースから水平面日射量を直接読み込み計算することで、多くの地域を速やかに検討することが可能となる。

また、実測温度による発電量と季別の補正係数を用いた換算温度による発電量の相関が極めて高く(図 21)、風速を加味した計算温度を用いなくとも実務上支障がないものと判断できる。

以上から太陽光発電量の計算は、まず簡易な方法による検討を行い、その結果、効率的な組み合わせが可能と判断された地域においては、多くのパラメータを用いて傾斜面日射量に換算、また風速を加味した計算温度を用いて、精査・検討するという手順が実務上望ましい。

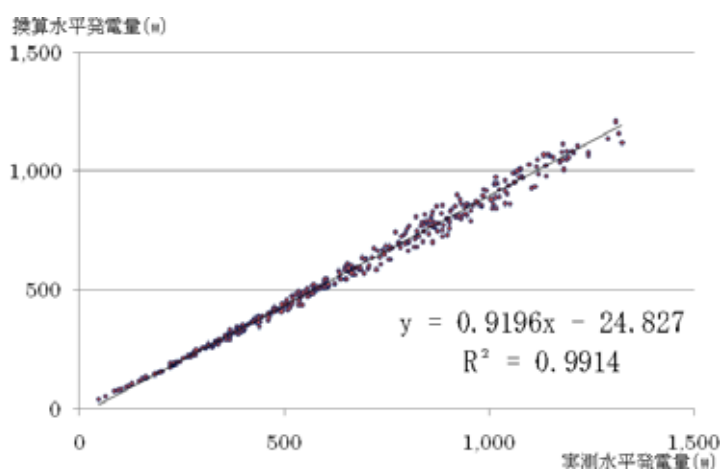


図 21 実測温度と換算温度による発電量



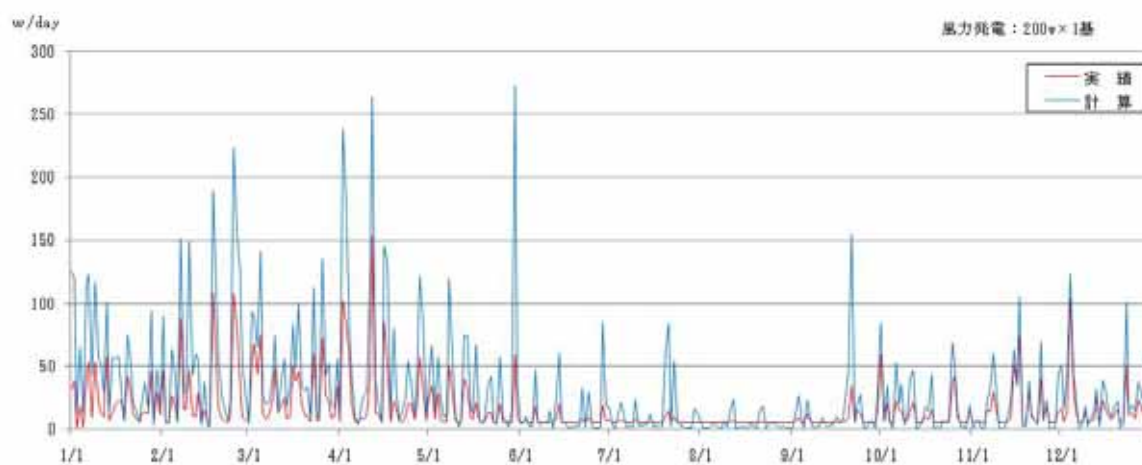
### (5) 風力発電量

風力発電量は、**図 22** に示すように、計算発電量と実測発電量にかなりの相違がみられた。平成 23 年 1 月から 12 月までの総発電量を比較すると、計算値は実績値の 1.9 倍であった(**表 13**)。すなわち、期待した発電量の約 1/2 しか発電しなかったということであり、実証試験地における試験期間中の風況が良くなかったことを考慮しても、この差は大きい。

**表 13 年間風力発電量**

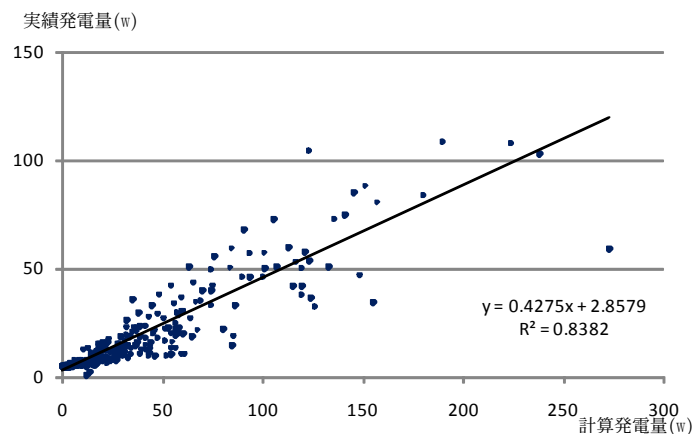
|             | 実 績 値  | 計 算 値  |
|-------------|--------|--------|
| 年間発電量(wh/年) | 5,927  | 11,425 |
| 比 率         | 100.0% | 192.7% |

風力発電出力：200W/基



**図 22 風力発電量の比較**

実測発電量と計算発電量の相関は、 $R^2=0.838$  が得られており、1 次回帰式の傾きが 0.428 である。すなわち実績発電量は、計算発電量の約 40% であり、出力特性曲線による計算発電量をさらに本回帰式で換算することで実績発電量に近づけることは可能ではある (**図 23**)。



**図 23 計算値と実測値の相関**

計算発電量は、採用機種が提示している出力特性曲線によって求めている。実測データは、**図 24** に示すように出力特性曲線を下回っている。このため今回用いた算定式の再現性の検証を行うため、風速及び風力発電量の計測単位を 10 秒から 1 秒に変更してデータを収集した。

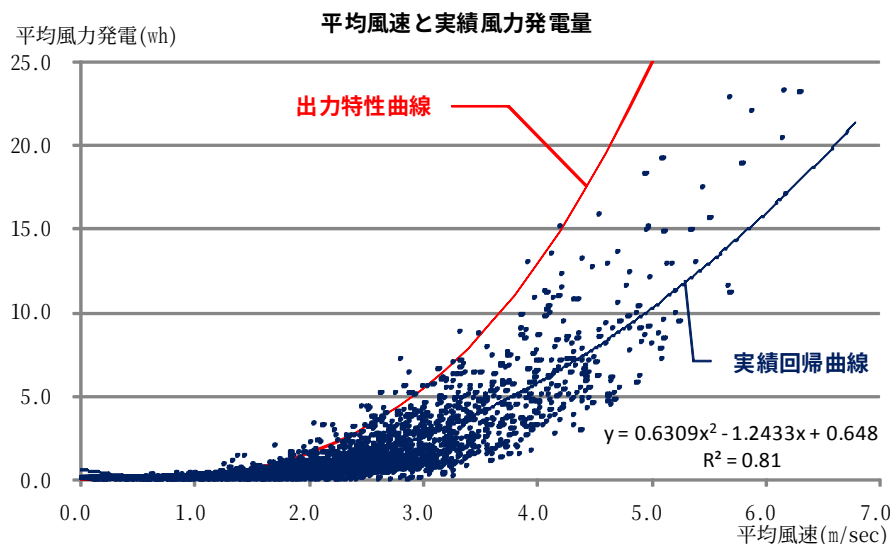


図 24 実績発電量と特性曲線

**図 25** は、発電機が起動するカットイン風速(1.3m/s)以上の風速が連続した時間(86秒間)の風速と風力発電量を示したものである。

風速がカットイン風速を上回っていても発電量は伸びず、連続した風速が得られて 30 秒程度後から発電量が急激に上がり、風速のピークから 4 秒後に発電ピークを迎え、風速の低下と共に発電量も下がっている。これは発電量が得られるまでは、ある程度の「助走時間」が必要であることが推察できる。

このように瞬時の風速と発電量には相関が認められなかったが(**図 26**)、5 秒単位に遡った移動平均風速で求めたところ、15 秒前の間の平均風速と瞬時の発電量では出力特性曲線とは異なるものの、ある程度の相関が得られた(**図 27**)。

これは、出力特性曲線が風洞実験等で一定風速時における発電量を基に算定しているためで、実際の発電量は、刻々と変化する風速に瞬時に対応できないことを示している。また実際の発電量は、風速の変化パターンにより様々となることが推測された。

出力特性曲線は、採用機種により異なるので一概にいけないものの、本地区のように連続して高い風速が得られ難い地域での適用には注意を要するものと思われる。

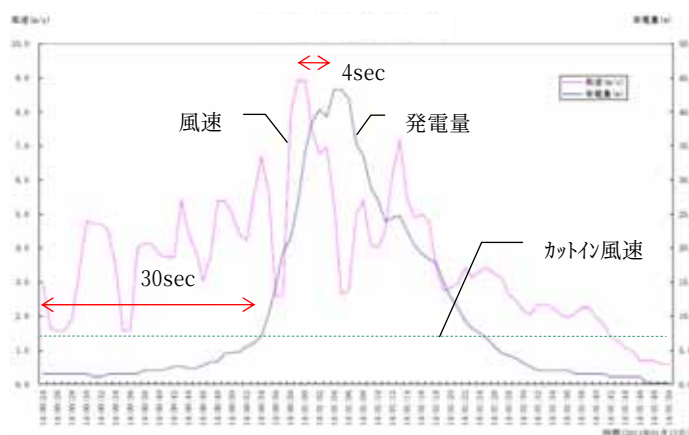


図 25 1 秒単位の風速と風力発電量





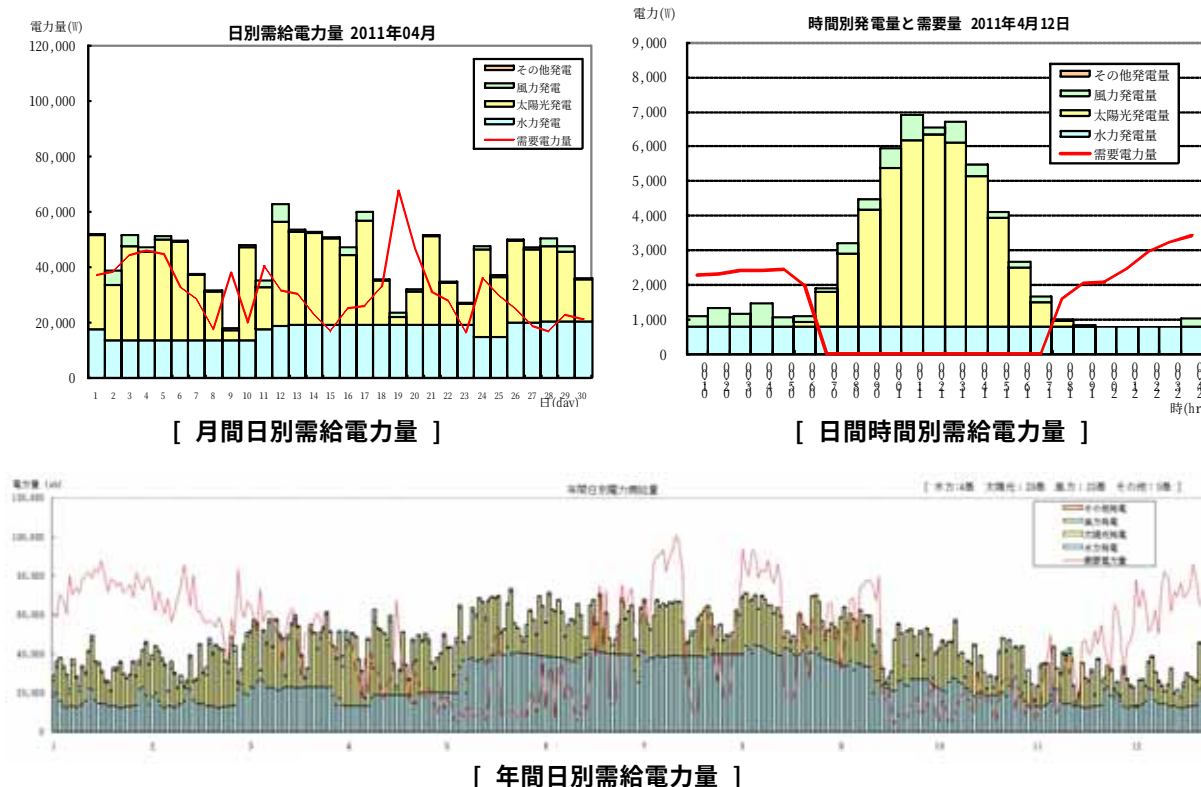
上：気象等データの読み込みと  
単位発電量計算メニュー

下：組み合わせ発電量計算と  
需給電力量計算メニュー



図 29 最適組み合わせシミュレーションソフト（メニュー画面）

需給電力量のイメージを図 30 に示す。左上のグラフが 4 月の日単位での各発電量と需要量パターン、右上のグラフが 4 月 12 日の 24 時間の需給量パターン、下のグラフが年間の日単位の需給量パターンを示している。



最適組み合わせ計算は、想定した需要電力に対し、水力発電装置を1～7基、太陽光発電装置を1～80基、風力発電装置を1～30基設置した場合の全ての組み合わせ、16,800 ケースについて行なった。

評価指標は、ピーク蓄電量（蓄電装置の必要容量に相当するもので、数値が小さいほど良い）、ピーク買電量（不足電力を商用電力で補う場合の最大値）、総蓄電量（年間に蓄電する総量で数値が小さいほど良い）、総買電量（年間に購入する商用電力量で数値が小さいほど良い）、無効蓄電量（年間需給電力差でゼロに近い正の値ほど良い）である。

表 14 に計算出力例の一部を示す。水力発電装置が4基の場合に、無効蓄電量がプラスになるのは、太陽光発電装置が29基、風力発電装置が23基である。また太陽光発電装置が30基、風力発電装置が1基の場合は無効蓄電量がゼロとなる。装置の設置数からみても後者の方が明らかに設備投資額が少ないことから、水力発電装置が4基の場合は、太陽光30基・風力1基の組み合わせが最適な組み合わせといえる。同様に水力発電装置の設置数を変化させ、各々最適な組み合わせを求めていく（この作業は自動計算で行われる）。

表 14 最適組み合わせ結果（水力4基の場合）

| 設置ユニット数 |     |     |     | 年間合計(kWh/年) |        |     | 評価指標(kWh/年) |        |       |        |       |
|---------|-----|-----|-----|-------------|--------|-----|-------------|--------|-------|--------|-------|
| 水 力     | 太陽光 | 風 力 | その他 | 発電量         | 需要量    | 需給差 | ピーク蓄電量      | ピーク買電量 | 総蓄電量  | 総買電量   | 無効蓄電量 |
| 4       | 29  | 21  | 0   | 16,316      | 16,331 | -16 | 1,319       | -2,305 | 3,510 | -5,404 | -16   |
| 4       | 29  | 22  | 0   | 16,327      | 16,331 | -5  | 1,329       | -2,301 | 3,553 | -5,359 | -5    |
| 4       | 29  | 23  | 0   | 16,337      | 16,331 | 6   | 1,339       | -2,296 | 3,584 | -5,323 | 6     |
| 4       | 30  | 1   | 0   | 16,332      | 16,331 | 0   | 1,337       | -2,340 | 3,473 | -5,473 | 0     |
| 4       | 30  | 2   | 0   | 16,343      | 16,331 | 11  | 1,347       | -2,335 | 3,513 | -5,444 | 11    |
| 4       | 30  | 3   | 0   | 16,354      | 16,331 | 22  | 1,357       | -2,331 | 3,546 | -5,417 | 22    |

その結果、購入電力量が少なく、蓄電池容量が小さく、年間の需給バランスが取れているケースは、水力発電装置が4基の場合（太陽光発電装置が30基、風力発電装置が1基）の組み合わせとなった（表 15）。

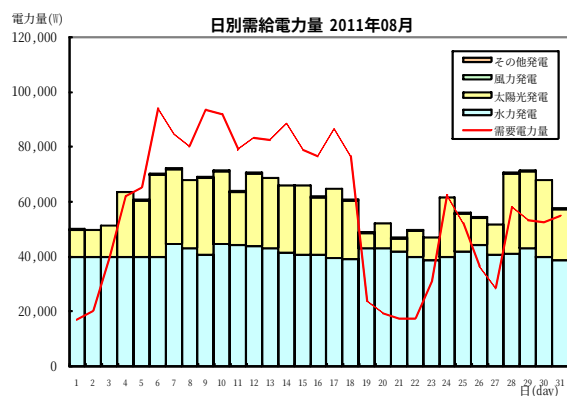
表 15 最適組み合わせ結果（全組み合わせ）

| 設置ユニット数 |     |     |     | 年間合計(kWh/年) |        |     | 評価指標(kWh/年) |        |       |        |       |
|---------|-----|-----|-----|-------------|--------|-----|-------------|--------|-------|--------|-------|
| 水 力     | 太陽光 | 風 力 | その他 | 発電量         | 需要量    | 需給差 | ピーク蓄電量      | ピーク買電量 | 総蓄電量  | 総買電量   | 無効蓄電量 |
| 1       | 60  | 1   | 0   | 16,413      | 16,331 | 82  | 1,391       | -1,783 | 5,510 | -6,174 | 82    |
| 2       | 50  | 1   | 0   | 16,386      | 16,331 | 55  | 1,373       | -1,943 | 4,788 | -5,843 | 55    |
| 3       | 40  | 1   | 0   | 16,359      | 16,331 | 28  | 1,355       | -2,140 | 4,186 | -5,516 | 28    |
| 4       | 30  | 1   | 0   | 16,332      | 16,331 | 0   | 1,337       | -2,340 | 3,473 | -5,473 | 0     |
| 5       | 21  | 1   | 0   | 16,539      | 16,331 | 208 | 1,537       | -2,497 | 3,335 | -5,188 | 208   |
| 6       | 11  | 1   | 0   | 16,512      | 16,331 | 181 | 1,527       | -2,757 | 2,831 | -5,206 | 181   |
| 7       | 1   | 0   | 0   | 16,474      | 16,331 | 143 | 1,510       | -3,049 | 2,475 | -5,164 | 143   |

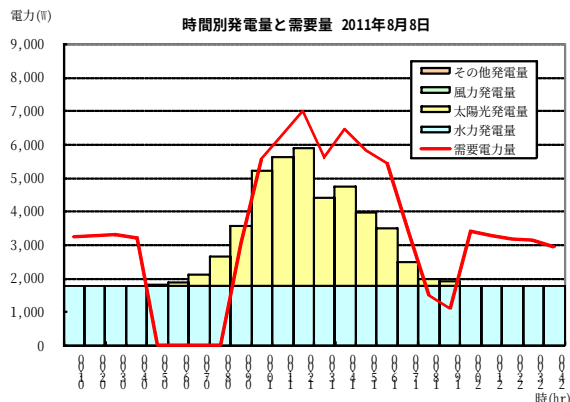
図 31 は、最適組み合わせ結果をグラフで示したものである。中段のグラフは、年間の電力需給量を日単位で表したもので、赤線の需要量に対し棒グラフの供給量が11月から2月まで下回っており、供給不足となっている。一方、春季と秋季は供給量が上回り、夏季は需給バランスが取れているのが判る。

最下段のグラフは、年間の電力需給量差を日単位で表したもので、棒グラフがその日の需給量でプラスが余剰電力、マイナスが不足電力である。青線グラフは累加需給電力量であり、1月1日をゼロとした場合を初期値とすると、しばらく電力不足が続くが、春先から余剰電力が増え、夏季は収支がほぼゼロの状態が続く。秋季からは再び余剰電力が増え、これが冬季の不足電力を賄い12月31日にゼロとなり年間の需給量が等しくなっていることを示している。

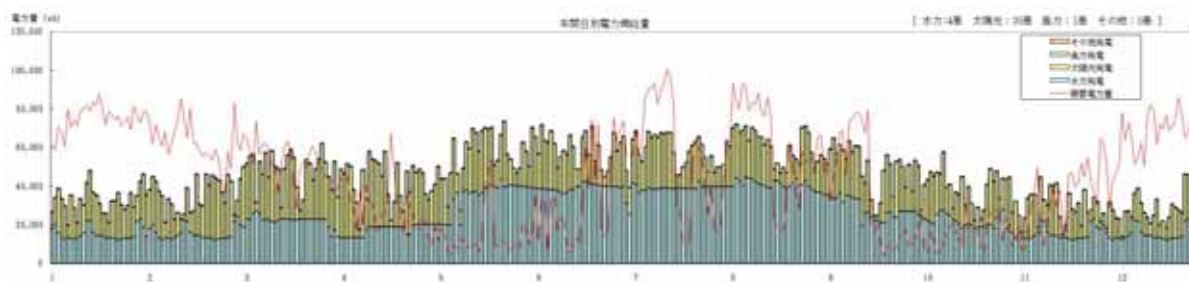




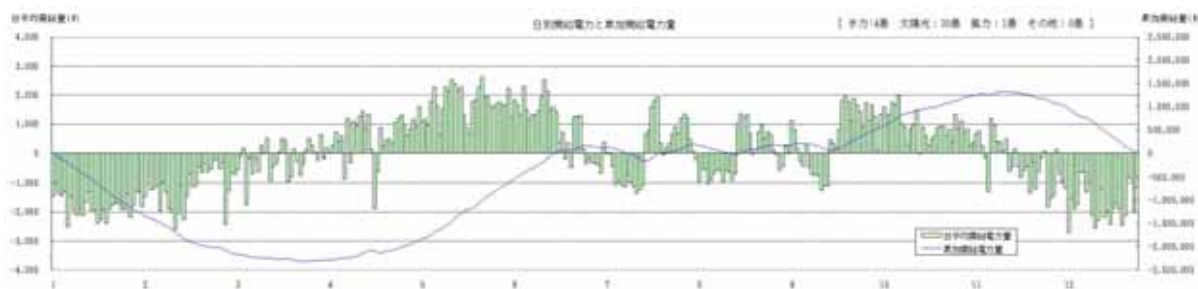
[ 月間日別需給電力量 ]



[ 日間時間別需給電力量 ]



[ 年間日別需給電力量 ]



[ 年間日別需給電力量収支 ]

図 31 最適組み合わせ結果

夏季の需給バランスが良い理由は、右上の8月8日の時間単位の需給電力量グラフに示すように、需要電力（ハウス冷房）と太陽光発電量が同じ傾向を示していることによる。これは、冷暖房負荷量が気温と日射量をパラメータとして算定しているため、太陽光発電量と相関関係にあるためである。したがって他の需要パターンを設定した場合は、最適な組み合わせ結果も異なってくる。

供給サイドとしては、小水力発電が流量と落差により発電可能量を既存の知見により推計が可能であり安定供給が見込まれる発電方法である。当システムにおいては、期間別の発電可能量をデータとして入力し、他種の自然エネルギーとの組み合わせが可能なシステムとしている。現状において発電コストおよび安定性から、地域の自然エネルギー供給には、小水力発電による電力が中心として構想することが有利と考えられ、実際にこのシステムを使用して各地域のエネルギー供給計画を作成する際には小水力発電施設が核になると考える。

また冬季の電力不足を補うため、「その他発電」項目に発酵メタンガスや木質バイオマスなどの制御可能なバイオマス発電を加えて試算することも可能であり、バイオマ



ス発電の運転計画にも利用できる。

バイオマス発電については、他種の自然エネルギーとの最大の違いとして、バイオマスの投入量により、自然条件に大きく左右されることなく発電量を調整できるという優位性をもっており、自然エネルギーの安定供給を考える上で非常に重要な要素であると考えている。また、自然エネルギーだけで供給する場合に加え、独立電源として活用する場合には、燃料による発電や加熱との組み合わせなども考えられる。発電量については、必要な期間の発電量を小水力発電と同様のフォーマットで入力することが可能である。

今回の事業においては、需要側として植物工場や温室を想定した構想を行っており、温室の場合には、バイオマスの熱源としての直接利用も想定される。本事業において、需要側の想定として温室の冷暖房を行う想定で、気象条件から必要電力需要を推計するシステムを合わせ持っており、必要に応じてバイオマスを考慮した推計が行えると考えている。

以上のように、農村の自給エネルギー確保を目的とした本事業の最適な組み合わせモデルの計算手法は、全国各地において再生可能エネルギーの最適な組み合わせを容易に検討できるものである。また、本事業で作成したシミュレーションソフトをベースに、他の水力・太陽光・風力発電装置の仕様や需要電力負荷を組み入れることで、さまざまな再生可能エネルギーの最適な発電組み合わせを求めることが可能となる。

## 2.2 目標の達成度

### (1) 成果から得られる効果

今回開発した最適化システムを用いることによって、全国各地の気象データベースを用いて、任意の地点における太陽光及び風力発電のポテンシャルを把握することが可能となり、農業農村集落単位(気象データベースのメッシュと同精度)での各地域での自然エネルギーポテンシャルの把握が容易となる。それにより、農村地域の自然エネルギーポテンシャルのより正確な推計を円滑に行ない、農村振興施策の基礎的な情報を整理することが可能となる。

また、本システムにより、地域の需要電力量に最適化した、再生可能エネルギー(水力・太陽光・風力・その他)の最適組み合わせを求めることが可能となる。例えば、小水力発電を中心としたエネルギー供給施設を導入しようとしている市町村や土地改良区が、小水力発電に太陽光・風力発電を組み合わせたエネルギー供給施設を計画しようとする際、小水力発電の能力については、落差や流量などの水理的な条件から規定されるが、太陽光発電や風力発電施設については、施設の敷地や、建物の屋上などを利用して比較的任意に施設の規模を設定することが可能と考えられる。その際に、需要電力量から、本システムにより最適な太陽光発電および風力発電の規模を把握し、具体的な設置場所の検討を行うなど、本システムにより需給計画のアウトラインを簡便に行うことが可能となる。アウトラインから必要な予算・工期などについて把握し、具体的な機器の設計や設置について検討することが円滑となり、全国の農村集落のエネルギー自給システムの普及拡大に貢献できる。

農村地域での自然エネルギーの導入にあたっては、温室効果ガス削減に加えて、農業農村の振興に向けて、「農業」、「環境」、「雇用」、「観光」の視点での検討が必要と考える。

「農業」の視点からは、山間地などで独立電源としての自然エネルギーの活用、自然エ

エネルギーを土地改良施設や農業生産施設の電源として活用することなどが挙げられる。

「環境」の視点からは、ため池水面や道路・堤体法面などへの太陽光発電の設置、農業用水路を活用した小水力発電の設置、農道敷を活用した風力発電の設置などによるエネルギー拠点としての位置付け、再生可能エネルギーを組み合わせたスマートグリッドを設置し、エネルギーの地産地消を目指した電力供給システムの確立（鳥獣害防止柵、植物工場、防犯灯等の電源、新たな地域産業の創出に向けたエネルギー技術研究拠点の形成等）が考えられる。

「雇用」、「観光」の視点からは、自然エネルギーを利用した植物工場、農家レストランなどによる地域ブランドの確立や、自然エネルギー発電施設を中心とした教育施設などが挙げられる。

また、今回の東日本大震災のように広域が被災した場合には、復旧に非常に時間を要することが再度認識されたが、中山間地域の集落が災害等で孤立した際に、復旧までの間の避難所等への非常用電源として活用することなども重要と考える。

## （２）従来技術との比較

### １）比較する従来技術

特になし

### ２）従来技術に対する優位性

#### ①経済性

シミュレーションソフトは、Windows の標準表計算ソフトである Excel で作成しているため、特別なソフトを必要としないことから、ユーザーへの経済的な追加負担はない。

#### ②工 程

技術者が担当する地区毎に行なう、気象データの収集・加工、発電量計算、供給計画などを検討する時間が大幅に短縮される。

#### ③品 質

多くの組み合わせ計算の中から最適な組み合わせを求めるため、一般的に行われている数ケースの比較検討で決定する場合よりも、より精度の高い結果を得られる。

#### ④安全性

該当なし

#### ⑤施工性

該当なし

#### ⑥周辺環境への影響

該当なし

## 2.3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

### （１）適用範囲

#### １）対象地域

農業農村集落単位を想定(最大でも小学校校区)

#### ２）発電目的

現在の 100%買電の状況から、電力の自給を目指したシステムを構築し、再生

可能エネルギーによるエネルギー自給を核とした農村振興(農業への利用、付加価値の創造(カーボンオフセット、イメージの向上)、雇用の確保(産業としての発電事業))を目指す。なお、大規模災害や、ライフラインが切断された場合に、復旧が遅れることを想定し、独立した電源を持つことで、災害に強い農業農村集落とするため、災害時の緊急用電力として活用することを目的とすることも考えられる(売電目的での発電計画は想定していないが想定は可能)。

### 3) 最適化の判定

まず、地域における再生可能エネルギーの最大の導入ポテンシャルを示すことが可能となる。さらに、年間電力需要量に最適化した発電施設計画を計画担当者に提示することで、最大限導入可能な施設規模を考慮しながら、地域の優先度に応じた選択・決定ができる。

### 4) 留意点

特定の発電装置で検討する場合は、装置の仕様(定格出力、発電効率、特性曲線等)が必要

## (2) 動作環境

オペレーションシステム：Windows XP、Vista、7

表計算ソフト：Excel 2003、2007、2010

## 3 普及活動計画

### 3.1 想定される利用者

都道府県、市町村、土地改良区、NPOなどにおいて再生可能エネルギー計画を担当する農業農村整備事業関係技術者

### 3.2 利用者への普及啓発等の方法

シミュレーションソフトは、本研究開発組合のNTCコンサルティング株式会社、財団法人日本水土総合研究所のホームページに掲載し、希望者にプロトタイプ(コード非公開)を無償で配布する。財団法人日本水土総合研究所では小水力発電適地情報をインターネット上にデータベースとして提供しており、同データベースとともに活用出来る形で提供することを考えている。

また、NTCコンサルティング株式会社、財団法人日本水土総合研究所が各地域において再生可能エネルギーポテンシャルの調査を実施する場合や、各地域の計画検討に関する業務を実施する場合には、本ソフトの活用による情報提供が可能となる。例えば、小水力発電等の検討業務を実施する際に、付帯情報として各地域の担当者に最適化システムによる検討結果を示すことが考えられる。

農林水産省あるいはその他団体が開催する研修会等において、周知する機会が得られた場合には積極的に周知を図っていく。

### 3.3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

システムは、一般に普及しているパソコン上の商用ソフト(Excel)で安定的に動作するもので、データシートに直接入力が可能のため、多くの利用者が現場でカスタマイズが可能なものとなっている。サポートについては、メールによる問い合わせに対応し、バージョンアップ時には全ユーザーに通知する。

また改良・拡張を行う場合には、利用許諾条件などのライセンスを整理した上で、有償によるソフトの提供を行ない、自然エネルギー開発関係者で改良された資産が共有できる体制を作っていくことが考えられる。

### 3.4 特許・実用新案等の申請予定

特許・実用新案等の申請予定はないが、著作権は本研究開発組合（NTCコンサルティング株式会社、財団法人日本水土総合研究所）が保有する。

## 4 研究総括者による自己評価

| 項 目                                                                               | 自己評価 | 自己評価の理由                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------|
| 研究計画の効率性・妥当性                                                                      | B    | 予算の都合で、水力発電と需要電力の実測データが得られず、想定値で行うことになったため    |
| 目標の達成度                                                                            | A    | 太陽光発電量の予測計算式の再現性が確認できたこと、風力発電量計算の課題が明らかになったため |
| 研究成果の普及可能性                                                                        | B    | 利用する対象技術者が限られているため、絶対数としては少ないものの普及率は高いと予想される  |
| 総合コメント<br>担当技術者の検討作業軽減につながる補助ツールであるため、利用されることでバージョンアップを重ね、より使い勝手の良いツールとなることを目指したい |      |                                               |

注）評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

## 5 今後の課題及び改善方針

### (1) 現地気象と観測地点気象との相関

単位発電量は、全国 836 地点の気象観測点の平均年データを元に算定することとしており、実証試験地近傍の石川観測点のデータを用いて実測データとの相関を検証した。風速について石川観測点の次に近い郡山、白河観測点の 1 時間当たりの平均風速で比較すると、郡山と白河観測点とは大きく異なっていたが、石川観測点とは近い値で推移していた。一方、1 時間当たりの平均水平面日射量は、近傍では福島観測点しか測定していなかったため同様な比較はできないものの、概ね似たようなパターンを示した。（図 32）。

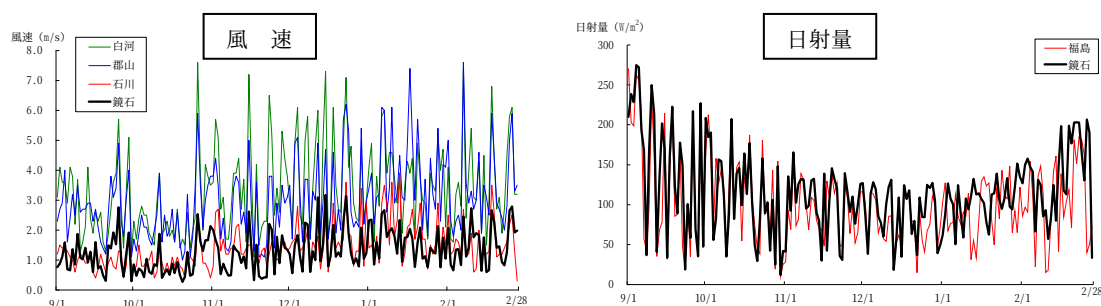


図 32 気象観測地点と実証試験地(鏡石)との比較

## (2) マイクロ風力発電量計算に用いる風速データ

本事業ではマイクロ風力発電量の計算を気象観測データの得られやすい1時間毎の平均風速から求めることを目指しているが、現在までの実証試験結果から、同じ時間平均風速値であっても、1時間の中での1秒単位に変化する風速パターンによって実発電量が大きく異なることが推察できた。

一般に特定地点における平均風速の出現率は、ワイブル分布によく従うことが確かめられており(NEDO 風力発電導入ガイドブック 2008年2月改定第9版)、観測データを基に地区毎の風速出現率を算定することが可能である。しかしながら風速の短時間での変化パターンを加味した補正については考慮されていない。これは大規模風力発電に比べ対象風速が小さいマイクロ風力発電の場合に特に影響しているものと考えられる。

短時間の風速変化パターンを反映した1時間単位の平均風速に変換することは、地域ごとに出現パターンと頻度が異なることが予想され、また機種毎の風速に対する追従特性によっても異なることから、不可能ではないが現実的には困難を伴うものである。

本事業は、水力と太陽光及び風力発電の最適組み合わせを検討するものであり、各発電量は既存資料及びメーカー資料に依って算定している。このため特定機種の推定式を求めることが本事業の目的ではないため、シミュレーションでは特性曲線をそのまま使用した。風力発電については、今回の実地観測で得られた情報を、風力発電装置開発業者に提供し、風速分布と発電量の関係について、より正確な情報が得られるよう、機器の改良、能力表示の改善などについて検討を依頼しているところであり、改善が得られた場合には、反映させていく予定である。

本事業で想定しているマイクロ風力発電は、集落内や隣接地などの比較的風速が低い場所での設置を想定しているため、その採用に当たっては、十分な注意が必要である。

## (3) 開発途上国での適用

開発途上国で本システムを適用する場合の課題は、シミュレーション用に入手が可能な気象データの整備状況とフォーマット等を確認する必要がある。しかしながら本システムは、データシートに直接入力可能なため、計測単位が異なる場合でもセルに数式を加えて単位変換するといった対応で適用が可能である。

## (4) 将来的な課題

本事業の成果を元に、ルール・エコ・グリッド構想を実現するためには、以下のような課題がある。

- ① 天気予報に基づく、地点別微気象の太陽光・風力発電量パターンの予測技術
- ② 天気予報に基づく、需要電力パターンの予測技術
- ③ 太陽光・風力発電予測と連動したバイオマス発電などの制御可能電力源の導入技術と高効率運用技術、及びバイオマス供給とストック技術
- ④ 太陽光・風力発電予測に基づく、自律的な集落内エネルギーマネジメント技術
- ⑤ 余剰電力発生時の他のエネルギーへの変換・貯蔵技術