

独立型分散電源システムの実証実験

Field trials of independent distributed power system

伊藤 仁 司 Hitoshi Itoh	津崎 幸 一 Koichi Tsuzaki	横田 元 成 Motonari Yokota
關 藤 憲 秀 Norihide Sekitoh	大塚 久 雄 Hisao Otsuka	大井 真 実 Masami Ooi

要 旨

地球温暖化や東日本大震災による全世界的な環境への関心の高まりに対して、再生可能エネルギー、蓄電池、負荷等のエネルギー需給の要素をスマートに制御することを目的にグループ各社が保有する技術や製品によるクリーンエネルギーシステム、そして電力ロスとなる直流/交流変換をなくす高電圧直流給電システムと電力を監視・制御するEMSを用いた独立分散型電源システムを開発し実証実験を行った。

このフィールドトライアルにより、商用電力を30%以上削減できる目処が立った。

Abstract

The world has increased the interest in the global environment due to the Great East Japan Earthquake and global warming. JRC have developed by using the products and technologies of group companies for the purpose of energy supply and smart demand control for clean energy system, and was conducted field tests of the independent distributed power system. The field test results, it is possible to reduce more than 30% of the commercial power.

1. まえがき

地球温暖化対策としてCO₂排出削減や2011年3月11日の東日本大震災で露呈した既存電力網の大規模災害時のエネルギー安定供給対策が注目されている。地球温暖化対策としては再生可能エネルギーの利用が、また災害時でも既存電力網に依存せず電力を供給する手段として分散型電源が挙げられる。

これらを踏まえて、当社は「再生可能エネルギー（太陽電池、風力発電、燃料電池による発電）、蓄電池、負荷などの各エネルギーをスマートに制御した安全・安心な独立型分散電源システムを構築する」をコンセプトに、分散電源システムの事業化を検討している。その実証実験のために日清紡ホールディングス徳島事業所内の植物栽培設備に電力供給する独立型分散電源システムを構築し、その実現性についての検証を行った。

2. システム概要

独立型分散電源システムを含めた実証実験設備は発電設備（太陽電池、風力発電、燃料電池）、蓄電池（ニッケル水素電池-電気二重層キャパシタ組電池、リチウムイオン電池）とこれらを効率良く管理するEMS（Energy Management System）、HVDC（高電圧直流給電）で構成される。EMSは、不安定な太陽光発電や風力発電を効率よく使用するために負荷消費を超えて余った電力（余剰電力）を蓄電池に蓄えたり、太陽光発電や風力発電の発電不足の場合に燃料電池を稼働させて不足電力を補う。また太陽光発電が得られない夜間には発電電力不足が生じる可能性が高いので、消費

電力を抑えるように負荷を制御する。

HVDCは、変換ロスの低減を図るとともに、電力流通の自律動作により再生可能エネルギーを優先的に使用し、再生可能エネルギーの発電電力が不足している場合は蓄電池放電により電力供給を行う。

負荷設備である植物栽培設備は、植物育成用LED照明、空調、その他設備の構成である。スケジュールや実験スペースの制約があり、発電設備や蓄電池の容量は最適ではなくバランスの悪い構成であったが、多くの実測データを取得し、それにシミュレーションを加えることで最適な設備定格を導き出すとともに、今後の設計の際の重要な指針を得ることができた。なお、植物栽培設備やデバイス（各種発電設備、蓄電池）個々の評価は本レポートでは触れない。

2.1 各設備定格とシステム構成

実験に使用した各種設備の定格は表1のとおりである。

表1 発電・蓄電・負荷設備の定格

Table 1 Rating of power generation, storage, load equipment

	設備	定格
発電	太陽電池 (図1)	14.4kW
	風力発電 (図1)	2.0kW (風速14m/s時)
	燃料電池	1.8kW
負荷	LED照明	3.2kW (最大6.6kW)
	空調設備	1.0kW (最大5.6kW)
	その他付帯設備	0.2kW (最大1.0kW)
電池	ニッケル水素-キャパシタ組電池	12.0kWh
	リチウムイオン電池	17.6kWh

負荷設備は、日清紡ホールディングス徳島事業所の植物栽培工場の植物育成用設備である。

参考に太陽電池と風力発電設備の屋外設置状況を図1に示す。



図1 太陽電池と風力発電設備

Fig.1 Solar cells and wind power generation equipment

また発電設備から負荷設備への電力受け渡しは、高電圧直流バス (DC320~380V) を使用し、各発電設備、蓄電池とはPCSや充放電制御部を介して繋がっている。

今回の実証実験では、同時に植物栽培設備関連の実験も実施していたため、電力供給断を防ぐ必要があり、天候不良や夜間の太陽光発電や風力発電の発電不足、蓄電池残量不足の場合の電力供給バックアップとして商用電源AC200Vを高電圧直流電源に変換する直流電源装置も装備した。

負荷設備のうち、LED照明はDC24V電源、空調設備はAC200V電源、その他設備はAC100V電源が必要であったため、直流母線とそれら負荷設備の間には、それぞれに合った変換器 (照明用電源装置やDC/ACインバータなど) を装備した。

参考に電源システム外観図を図2に示す。



図2 電源システム外観図

Fig.2 Appearance of power system

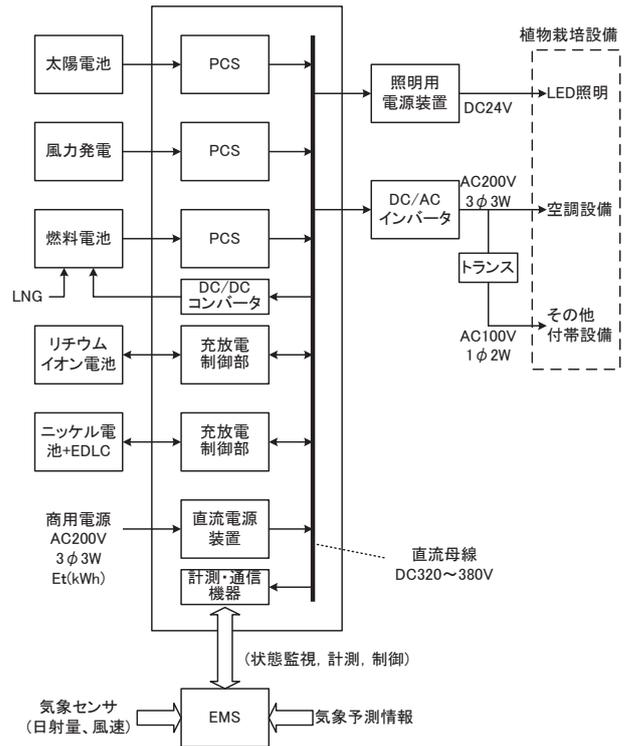


図3 電源システム構成図

Fig.3 Block diagram of power system

2.2 電源システムの機能

・気象予測を取り込んだ運転計画立案

24時間先までの気象情報から今後24時間の発電量を予測し、過去の実績を踏まえた消費電力量見込みと比較して電力の不足を予見し、燃料電池の運転を計画する。

・運転計画を随時修正

発電や消費などの現在の状況を監視し、30分毎に以降の運転計画を修正する。

・余剰電力の有効利用

余剰電力は蓄電池に蓄え、太陽光や風力による発電が無いときには蓄電池に蓄えた電力を供給するように制御する。

・発電状況に合わせた負荷制御 (デマンドコントロール)

運転計画の修正後でも電力の不足が予見される場合は負荷設備を制御して節電する。今回の実証実験ではLED照明の減光・増光・部分消灯などの組み合わせを実施した。

・見える化

発電、蓄電、消費など電力の流れを分かりやすく表示するモニタ画面を作成する (図10を参照)。

・自律動作するHVDCシステム

電力の流通を自律的に行っているため、万が一のEMS停止時でも電力系は運転を継続する。電力系の自律動作について以下に説明する。

各発電設備を直流母線の高電圧直流に変換するためのPCSは出力電圧をDC380Vに設定し、蓄電池を直流母線に繋いで充放電を行う充放電制御部は、直流母線の電圧がDC370V以上の場合は充電、直流母線がDC340V以下の場合には放電するように設定している。また直流電源装置の出力電圧はDC320Vに設定している。PCSは発電設備の定格容量を超え

る過負荷状態の際には、電流値を一定に保って電圧を低下させる垂下特性を持たせ、太陽光発電、風力発電、燃料電池による発電電力を第一優先に使用し、それらの発電電力が不足し過負荷状態にあるときはPCSの出力電圧がDC340Vまで低下し、蓄電池放電も加わって電力供給を行う。蓄電池残量が不足する場合はさらにDC320Vまで出力電圧が低下し、直流電源装置からの出力も加わって電力供給を行う。

参考に電源システム構成図を図3に示す。

3. 実証実験結果とシミュレーション

3.1 余剰電力の有効利用

ニッケル水素電池-電気二重層キャパシタ組電池、リチウムイオン電池の合計容量は29.6kWhで、過放電、過充電を避けるためにSOC20%到達時に放電停止を行い、SOC90%到達時に充電停止をEMSが制御している。このSOC20~90%の範囲内で充放電を行うので、蓄電池の実質的な容量は

$$(12\text{kWh} + 17.6\text{kWh}) \times 0.7 = 20.7\text{kWh}$$

である。

余剰電力が発生するある晴天日1日の負荷消費電力と蓄電池充放電電力を図4に示す。

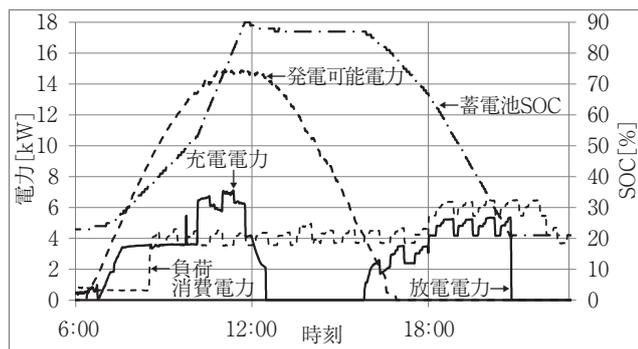


図4 晴天日の負荷消費と充放電電力図 (2012年10月20日)
Fig.4 Load and charge/discharge power consumption figure at sunny day (20 October 2012)

発電可能電力は日射量と風速から算出した太陽光発電電力と風力発電電力の和で、日の出とともに充電が行われ、12:00頃に充電完了している。逆に日射量が少なくなる夕方ごろから発電可能電力が負荷消費電力よりも少なくなり、それとともに蓄電池放電が始まっている。この日1日の電力量は、負荷消費電力が78.8kWh、蓄電池充電電力量が24.4kWh、放電電力量が19.2kWhであった。負荷消費電力の約25%を蓄電池の放電電力で賄っており、全て余剰電力で充電した電力である。

(図4は6:00~22:00頃の範囲を抽出してある。また、太陽電池、風力発電および蓄電池放電で足りない電力は、燃料電池発電や商用電源を使用しているが見やすくするため本図からは省いてある。)

3.2 EMSの有効性検証

EMSの有効性を検証するために、実測データとその実測データを基にした数種類のシミュレーションによるデータを比較する。基となる実測データは図3の構成による通常の運用状態での2012年12月の1ヶ月のデータである。対するシミュレーションは次の3種類とする。

1つはEMSが無い場合である。EMSが無い場合とは、EMSが行っている制御が実施されない場合で、蓄電池充電量の下限值、上限値での放電停止、充電停止といった充電量の監視・制御や蓄電池充電電力が余剰電力を超過しないようにする充電量制限にした場合である。また燃料電池稼働制御(起動・停止)もEMSが行っている。したがってEMSが無い場合は蓄電池と燃料電池が無い場合で電力流通の自律動作のみでシステムを運用することを想定したシミュレーションとなる。

2つ目は燃料電池を最適稼働させた場合である。EMSは取り込んだ気象予測情報により翌日の太陽電池と風力発電の発電電力が負荷消費電力よりも少ないと予測した場合は、その発電電力が不足する時間帯に燃料電池が稼働するように稼働計画を立て、その稼働計画にしたがって燃料電池を起動・停止する。しかし気象予測情報が正確でないとこの燃料電池稼働計画にも影響し、予定外の商用電源が使用されてしまう場合が発生する。燃料電池最適稼働シミュレーションは、気象予測情報が正確で、燃料電池稼働計画も最適だと仮定したシミュレーションである。

3つ目は太陽電池と風力発電の発電状況に合わせた負荷制御(デマンドコントロール)を行うことを想定したシミュレーションである。負荷制御の方法は、夜間の太陽光発電が得られない時間帯にLED照明を暗くしたり(減光)、減光した分を取り戻すために、日中の太陽光発電に余裕がある時間帯にLED照明を明るく(増光)することである。具体的な制御電力は減光時は通常のLED照明の消費電力の60%、増光時は通常時の150%とした。なお、この負荷制御シミュレーションは、燃料電池最適稼働シミュレーションにより燃料電池が最適稼働することを想定した上でさらに負荷制御を実施したシミュレーションとなっている。この3つ目のシミュレーションが本システムで実施可能な最も優れた制御となる。

12月の1ヶ月の実測データと3種類のシミュレーションのそれぞれの商用電力削減率を比較する。商用電力削減率 ϵ_c は、図5のように負荷への電力供給を全て商用電力で賄うことを想定した場合の商用電力量を E_t (単位kWh)、図3の今回の実証実験の構成における商用電力の実測値を E (単位kWh)とし次式で定義する。

$$\epsilon_c = \frac{E_t - E}{E_t} \times 100 \quad (1)$$

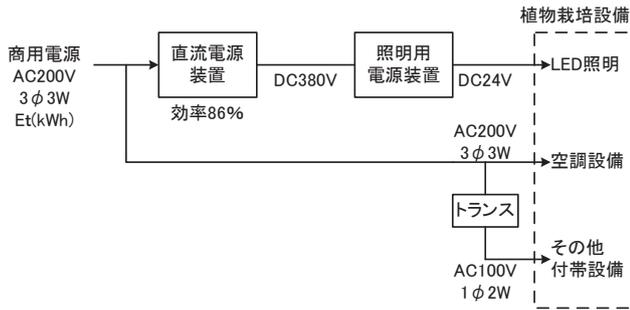


図5 電力供給元が商用電源のみの受配電系統図

Fig.5 Power distribution system diagram for power supply only commercial power

図3の構成では再生可能エネルギーと蓄電池および商用電源を電力供給元に有し、Eは再生可能エネルギーの発電電力の不足分を補った商用電力であるので、(1)式の分子($E_t - E$)は、図3の構成における再生エネルギーの発電電力での電力供給により削減できた商用電力量となる。

図5において直流駆動のLED照明には交流を直流に変換する直流電源装置を介して電力供給する。直流電源装置の効率86%は実測値である。空調やその他設備には商用電源から直接供給する。

2012年12月の1ヶ月の発電量、消費電力量、気象データなどから、実測データおよびシミュレーションデータを整理した結果を表2、表3に示す。

表2 2012年12月の基本データ

Table 2 Basic data of December 2012

項目	値
太陽光発電可能量: P_g (kWh)	1,461
風力発電可能量: W_g (kWh)	10
LED照明消費電力量: L_c (kWh)	1,918
空調設備消費電力量: A_c (kWh)	227
その他付帯設備消費電力量: O_c (kWh)	154
負荷消費電力量合計 (kWh)	2,299
商用電源のみで電力供給した場合の電力量 E_t (kWh)	2,612

※ E_t は、以下の式から求めた。

$$E_t = L_c / \eta + A_c + O_c$$

η : 直流電源装置効率 (86%)

表3 2012年12月の実験 & シミュレーション結果
Table 3 Experimental and simulation results of December 2012

項目	シミュレーション				
	実測	EMSあり	EMSなし	燃料電池最適	負荷制御
太陽光発電量 P_v (kWh)	1,034	736	1,191	1,348	
風力発電量 W_v (kWh)	15	15	15	15	
燃料電池発電量 (kWh)	891	0	2,273	2,352	
蓄電池放電量 (kWh)	296	0	455	379	
蓄電池充電量 (kWh)	385	0	561	468	
商用電力量 E (kWh)	1,269	2,029	782	669	
商用電力削減率 ϵ_e (%)	51.4	22.3	70.1	74.4	

この結果からEMSの有効性を検証する。まずEMSの有無つまり「EMSなし」に比べて「EMSあり」のときの方が商用電力削減率が約30%上回ることから、EMSの導入による効果があることは確認できる。

また燃料電池を最適稼働制御することで商用電力削減率のさらなる向上も推測できるが、負荷制御による商用電力削減率も向上はしているものの、その上昇率は小さく、燃料電池を最適稼働させた上で負荷制御を行っても商用電力削減率は74.4%にとどまり100%達成はならなかった。負荷設備の消費電力に対する発電設備、蓄電池の定格が最適ではないためと考えられる。そこで、独立型分散電源システム実現のための最適なバランスの発電設備、蓄電池の定格についてシミュレーションにより算出する。

3.3 独立型分散電源システム実現のための設備定格

独立型分散電源システム実現のための設備定格バランスをシミュレーションにより算出するために、まず現行設備(表1)において燃料電池を1ヶ月間常時稼働させた場合の発電・消費電力量差分や不足電力量(商用電源使用量)により設備の過不足の度合いを確認する。その後太陽電池のみの場合、次に太陽電池と燃料電池の組み合わせの場合、さらに太陽電池、燃料電池と蓄電池のある組み合わせにおける「廃棄電力量」、「不足電力量」、「発電・消費電力量差分」の3つの指標を算出し発電・消費電力量差分および不足電力量がマイナスにならない定格の組合せを探す。

シミュレーションは2012年12月の実機により採取した値を基にパターンを作成し実施する。燃料電池常時稼働の場合の1ヶ月の電力量は1,260kWhで、商用電源の使用電力量は647kWhであった。太陽光発電と風力発電の1ヶ月の発電可能電力量は表2のとおりであるので、燃料電池の1ヶ月の電力量と合わせると発電可能量の合計は2,731kWhで負荷消費電力量よりも大きく、電力量ベースでは発電設備は負荷設備の電力量を上回っているが、商用電源の1ヶ月の電力量も生じているので独立型分散電源システムの設備定格としては最適ではない。したがってこの商用電源の使用電力量を0(ゼロ)にするためのバランスのとれた設備定格を算出する

必要がある。比較する3つの指標について以下に説明する。

• 廃棄電力量

再生可能エネルギーの発電電力が負荷消費電力よりも大きいときにその差分が余剰電力となる。余剰電力は蓄電池充電に使用されるが、蓄電池がSOC上限の90%に到達した後は充電は行われず、その後の余剰電力は使われない。その使われない余剰電力を廃棄電力とする。

• 不足電力量

再生可能エネルギーの発電電力が負荷消費電力よりも小さいときは供給電力不足となり商用電源が使われる。その電力量を不足電力量とする。なお、以下図6～図9のグラフでは不足分をマイナス値で表現している。

• 発電・消費電力量差分

発電電力量と消費電力量の差分とし、これが0となるポイントが電力量ベースにおける発電設備と負荷設備の定格のバランスがとれているところとなる。

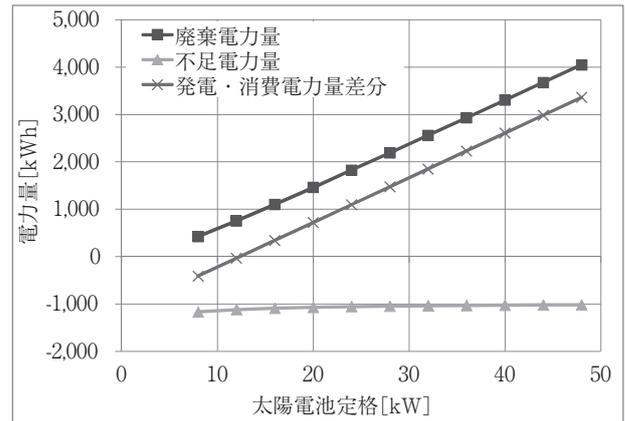


図7 太陽電池と燃料電池（蓄電池なし）の場合
Fig.7 Amount of power when the solar cells and fuel cells(no battery)

(1) 太陽電池のみ（燃料電池なし／蓄電池なし）の場合

太陽電池のみ（燃料電池なし／蓄電池なし）の条件で電力供給する場合を想定する。このとき太陽電池定格を26kWとすることにより、発電・消費電力量差が0となり発電量と消費電力量はバランスがとれていることになる。しかし、夜間や雨天では、太陽電池による発電は期待できず電力を供給できないので不足電力が生じている。(図6)

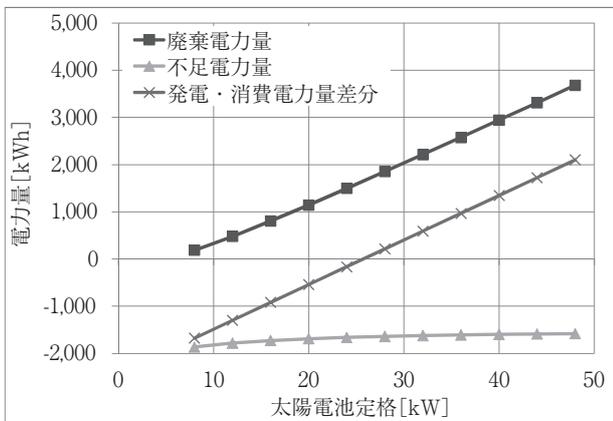


図6 太陽電池のみ（燃料電池なし／蓄電池なし）の場合
Fig.6 Amount of power when the solar cells (no fuel cell / no battery)

(2) 太陽電池と燃料電池（蓄電池なし）の場合

定格出力1.8kWの燃料電池（常時稼働）を追加することにより不足電力量を減らすことができ、太陽電池定格が12kWのときに発電・消費電力量のバランスがとれている。しかし、夜間や雨天の時の太陽電池による発電が期待できないときには消費電力が発電電力を越える場合もあるため、まだ不足電力は無くならない。(図7)

(3) 太陽電池、燃料電池、蓄電池（40kWh）の場合

太陽電池と燃料電池（1.8kW常時稼働）の組み合わせに40kWh蓄電池を追加することによって昼間の余剰電力を夜間に回すことができ、不足電力量および廃棄電力量の双方とも減少し改善が見込めることが期待できる。

しかし、天候状況により蓄電池を使い果たしてしまうこともあり、わずかな不足電力が残ってしまう。(図8)

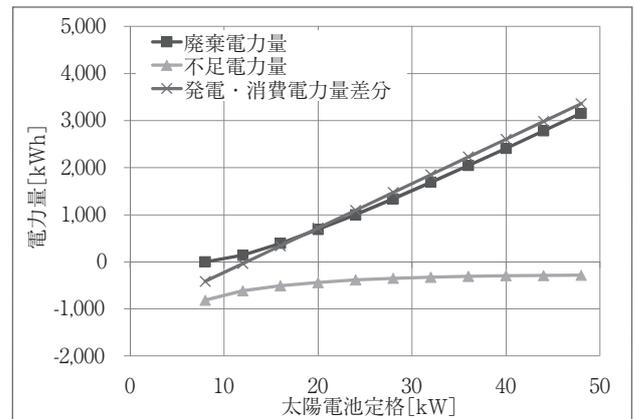


図8 太陽電池、燃料電池、蓄電池の場合
Fig.8 Amount of power when the solar cells, fuel battery

(4) 独立型分散電源実現のための設備定格バランス

燃料電池の定格を1.8kWと3.6kWに固定（いずれも常時稼働）した場合と燃料電池なしの3種類にした場合に条件を絞り、その場合に不足電力量=0となる太陽電池、蓄電池の定格のバランスを図9に示す。

このグラフから太陽電池定格を大きくしても蓄電池容量はそれほど下がらない状態になることが分かる。また、蓄電池もある程度大きくなると太陽電池の寄与が少なくなる。そのそれぞれの転換点が太陽電池と蓄電池の最適値を示すものと考えられる。コスト的には太陽電池定格×定格当たり単価と蓄電池容量×容量当たり単価でプロットすることにより最適容量を決めることができる。

注) この値は特定の期間と場所における日射量, 負荷の実績データに基づくもので一般に成り立つものではない。

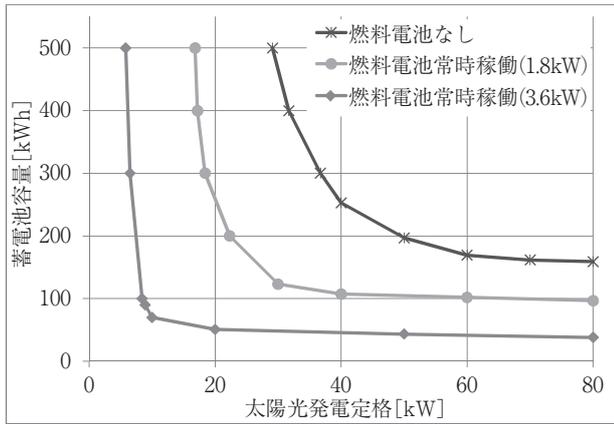


図9 独立型分散電源実現のための設備定格バランス
Fig.9 Equipment rated balance diagram of independent distributed power system

4. あとがき

実証実験で得られた結果およびそのデータを基にしたシミュレーションの結果から独立型分散電源システムの実現性について検証した。独立型分散電源システムの構成要素の1つであるEMSに商用電力の削減効果があることを確認できたが、商用電力使用量を0(ゼロ)にすることはできず、独立型分散電源システムの実現のためには内部消費電力の省電力化、需給制御の効率化という課題があることが分かった。今後はこれら課題をクリアし、小型化や低コスト化を図り、商品化を目指す事とする。

最後に、本実証実験はグループのシナジー効果を生かせるよう、日清紡ホールディングスの指導の下、日清紡ホールディングス、長野日本無線、上田日本無線と共同で日清紡ホールディングス徳島事業所にて実施致しました。本システムの開発にあたりご指導、ご協力いただいた関係各位に感謝致します。

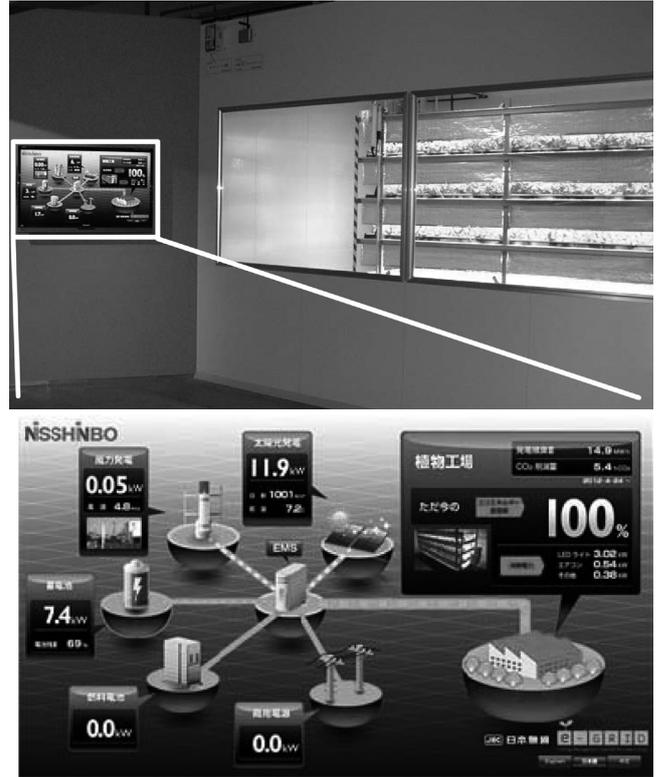


図10 植物栽培設備と見える化モニタ
Fig.10 Plant cultivation equipment and monitor for visualization

用語一覧

- HVDC: High-Voltage Direct Current (高電圧直流給電)
- PCS: Power Conditioning Subsystem (電力調整装置)
- SOC: State Of Charge (充電率)