動き始めたメガソーラーと大規模電力貯蔵

伊藤 義康*, 亀田 常治*, 須山 章子*

Large-Scale Photovoltaic Power Plants and Electric Power Storage

Yoshiyasu ITO*, Tsuneji KAMEDA* and Shoko SUYAMA*

*株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター (〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4)

*Power and Industrial Systems R&D Center, Toshiba Corporation (2-4 Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 230-0045)

1. はじめに

昨年末の米国金融問題に端を発した世界レベルでの経済危機に対して、政府は新エネルギー振興や環境対策に積極的に財政を投入し、雇用や新産業を創出する動きが世界レベルで始まっている。いわゆる「グリーン・ニューディール」である。2009年2月17日に米国景気対策法が成立し、総額787億ドルの財政支出のうちエネルギー・環境関連は約10%を占める。各国の経済対策も、これに続くものであり、まさに、IT革命に続くET（エネルギーバブル）革命の表現にふさわしい盛り上がりが続いている¹⁾。

太陽光発電(Photovoltaic Power Generation)は、太陽電池により太陽光エネルギーを電力に直接変換する発電方式である。従来から、太陽光発電は分散型電源としての用途開発が進められ、日本が世界をリードしてきた。特に、実用化の観点からは人工衛星用太陽電池パネルや太陽電池電卓、モバイル機器用電源としての市場が形成されている。一方で、住宅用・産業用としての太陽光発電も補助金による支援が功を奏し、独立型から系統連系型に向けて増設基調が続けてきた。当初から、大規模太陽光発電は超電導ケーブル送電を使った地球規模での計画や、マイクロ波送電を使った宇宙太陽光発電などが検討されてきたが、実現には技術・経済面での大きな壁が立ちだかっている²⁾。

一方、欧米諸国では2000年代に入ると、出力が1,000kW(=1MW:メガワット)を超える大規模太陽光発電システム(メガソーラー)が積極的に導入され始めた。日本においても、2006年からNEDOにおいて「大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究」が開始されている。最近では、電力会社が相次いでメガソーラー導入計画を発表している。本稿では、最近の大規模太陽光発電システム(メガソーラー)に注目して設置動向をまとめるとともに、系統連系円滑化のために必須技術となりつつある電力貯蔵技術の開発現状について言及する。

2. 太陽光発電システムの設置動向

2.1 激増する太陽光発電システムの設置容量

国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)の太陽光発電システム・プログラム(PVPS: Photovoltaic power systems programme)はIEAの研究開発協力協定の1つで、太陽光エネルギーの開発・普及の促進を目指したもので、現在は主要先進国を中心に21カ国が参加している。このIEA-PVPS参加国の太陽光発電システム設置容量は、全世界の設置容量の相当量を占めている。

図1には、太陽光発電システムの主要形態である独立型と系統連系型に分けて設置容量の年次変化を示す^{3),4)}。図中にも示すように、IEA-PVPS参加国において2007年に設置された太陽光発電システムの容量は2.3GWであった。これは前年比で40%の増加であり、累積設置容量は7.8GWに達した。これは2006年に設置された太陽光発電システムの容量1.5GW、前年比15%増に比べると飛躍的に増設されていることが明らかである。また、1990年代は独立型が大部分を占めていたが、2000年以降は系統連系型の設置容量が圧倒的に増大していることがわかる。これは太陽光発電システム導入の先進国であるドイツ、日本、米国で設置さ

図1. IAE-PVPS参加国における太陽光発電システム設備容量の年次変化

れたシステムのほとんどが系統連系型であることによる。2006年の設置容量は、ドイツ(830 MW)と日本(286.6 MW)で3位の米国(145 MW)を大きく引き離していたが、2007年の設置容量はドイツ(1,135 MW)が大幅に増設したのに対し、日本(210.4 MW)は若干減少し、米国が(206.5 MW)が日本に肉薄してきている。

2.2 各国における太陽光発電システムの設置形態

太陽光発電システムの主要な設置形態は、次の4種類がある。

- ①独立型（住宅用）：系統（配電網）と連系せずに家庭、地域へ電力を供給する。
- ②独立型（非住宅用）：遠距離通信、揚水ポンプ、公園照明など小出力電源として利用する。
- ③系統連系型（分散配置）：電力系統に連系している限定された電力顧客のために供給する。
- ④系統連系型（集中配置）：特定の電力顧客との関係をもたない集中型発電所で、直接に電力系統に連系する。

メガソーラーは、④系統連系型（集中配置）に分類されるものがほとんどである。図2は、代表的なIEA-PVPS参加国について、上記①～④の太陽光発電システムの形態別比率を示したものである^{3),4)}。設置容量ではなく、各国の容量比率で比較している点に注意を要する。図から明らかなように、国土面積に比べて人口の少ないイスラエル、メキシコ、ノルウェーなどの国々は独立型太陽光発電システムが主流であることがわかる。特に、カナダ、オーストラリアは独立型（非住宅用）太陽光発電システムが大きな割合を示している。その他の国々は系統連系型太陽光発電システムが主流となっている。特に、ポルトガル、韓国は系統連系型（集中配置）太陽光発電システムが大きな割合を示している。残念なことにスペイン、ドイツについては、詳細な設置形態が報告されていないが、系統連系型（集中配置）太陽光発電システムの割合が高いと考えられる。この太陽光発電システムの形態別比率は2007年における調査結

果であり、系統連系型（集中配置）太陽光発電システムの割合は年々増加傾向にある。

3. 進むメガソーラー発電計画

3.1 世界のメガソーラー動向

太陽から地球全体に照射されている光エネルギーは膨大であるが、地表の日射強度は良い条件の地域でも高々 1 kW/m^2 程度である。水力・原子力・火力などの発電システムに比べると、太陽光発電システムは設置に必要な要件は少ないものの、同等の発電容量を得るためには設置面積を広くする必要がある。図3には、1991年から1993年の昼夜変化や天候の影響を含む日射強度の平均値分布を示す。図から明らかなように、日射強度の高いサンベルトと称される地帯は太陽光発電に適しており、散乱日射でも発電可能な太陽光発電は適地が広い。図中の黒点に変換効率を8%と仮定して世界の主要エネルギーを太陽光で賄うために必要な面積を表す。また、図中には2009年5月1日現在において、発電規模で世界の上位100位に名を連ねるメガソーラーを保有する国々を示す⁵⁾。

図4には、2009年5月1日現在において、発電規模で世

図3. 地球上の太陽光エネルギー資源量の分布（1991～1993年の平均）とメガソーラーを保有している代表的な国々

図2. IAE-PVPS 参加国における太陽光発電システムの2007年度国別設置容量比率

図4. 大容量化が進む世界のメガソーラー（2009年5月1日現在）

界の上位10位に名を連ねるメガソーラーを示す。2008年9月にスペイン Olmedilla で商業運転を開始した 60 MW メガソーラーが、現時点では世界最大容量である。上位100位に名を連ねるメガソーラー保有国では、スペイン83発電所、ドイツ8発電所、韓国3発電所、米国3発電所、ポルトガル2発電所、フランス1発電所と、スペインが他国を圧倒しているのが現状である⁵⁾。

このように世界でメガソーラーが続々と建設されている裏には、フィードインタリフ (FIT: Feed-In Tariff) 制度 (固定価格買取制度) がある。これは再生可能エネルギーへの投資を促進する政策で、風力や太陽光などで発電した電力を、10年から20年にわたり優遇価格で電力会社に買い取らせる制度である。ドイツでは2000年から太陽光発電にも FIT を適用し、2004年には日本を超えて太陽光発電容量で世界一となっている。その後、FIT 制度の成功は欧州を中心に広がり、世界規模でのメガソーラー建設ブームを生み出したと考えられる。

3.2 日本のメガソーラー導入計画

前述のように、太陽光発電システムは設置する場所の制約が少ないのが特長である。日本において積極的に開発を進めた場合の太陽光発電システムの導入可能量は、NEDO によると戸建住宅 53 GW、集合住宅 22 GW、大型産業施設 53 GW、公共施設 14 GW、その他 60 GW と予想されている。日本の2007年までの太陽光発電システムの累積設置容量は 1,918.9 MW であることから、開発の余地はまだあると言える。

図5には、日本の年間日照時間の1971年から2000年の平均値分布を示す⁶⁾。日本は人の住む最南端の沖縄県波照間

島 (北緯24度) から最北端の北海道択捉島 (北緯45度) まで南北に細長い地形で、太平洋側は空気が乾燥した晴天の日が多いのに対し、日本海側は世界でも有数の豪雪地帯である。そのため、一般に太平洋側が太陽光発電には適した地域と言える。

ところで、2008年7月に、「低炭素社会づくり行動計画」が閣議決定された。その中で太陽光発電の導入目標として2020年に10倍、2030年に40倍の太陽光発電の導入目標が示された。電力業界では、再生可能エネルギーや原子力など非化石エネルギーの比率を現状の約40%から50%に増やす目標を設定しており、これを踏まえて電気事業連合会 (<http://www.fepc.or.jp/>) は2008年9月に2020年度までに全国で約30地点、合計約14万kWの「メガソーラー発電導入計画」を発表している。これは電力10社による太陽光発電の導入量が2007年度末で4,250 kW であることから、約30倍の規模を目指すことになる。これを受けて、関西電力から28 MW メガソーラー建設計画が発表された。次いで、東京電力から20 MW メガソーラー建設計画など、電力各社からメガソーラー建設計画の発表が相次いでいる。図5中には、2009年5月1日現在において公表されている日本のメガソーラー計画をまとめて示す。日本のメガソーラー計画も、ようやく第一歩を踏み出したと言える。

4. 系統連系円滑化に向けた電力貯蔵技術

4.1 蓄電池による電力貯蔵システム

再生可能エネルギーである水力発電や地熱発電は、安定的な出力が得られることから、系統連系に関して問題はない。しかし、風力発電と太陽光発電などの予測困難な再生可能

図5. 日本の年間日照時間と実証研究用ならびに発電事業予定のメガソーラープロジェクト

エネルギーが系統連系される場合は、その出力変動を需給調整機（例えば、火力発電など）で行う必要があり、電力会社には大きな負担となる。現状、電気事業連合会は全国で風力発電では500kW程度まで、太陽光発電についても局所的な集中配置の場合を除いて1,000kW程度までは電力系統の安定性を損なうことなく連系可能と発表している。当然のことながらメガソーラーは、このような調整上限を逸脱することになる。

そのため、メガソーラーの出力変動（短周期変動）を抑制することにより系統に影響を与えず、出力シフトなどの出力調整を可能とする技術開発と実証試験が重要である。この電力系統安定化のためには、再生可能エネルギーの増加量に応じた電力貯蔵システムの増強による、周波数や電圧の維持が不可欠なのである^{7),8)}。

北海道稚内市では2006年9月から図6に示すメガソーラーが建設されており、2011年3月までの5ヵ年間にわたり大規模電力供給用太陽光発電系統安定化実証研究が進められている。これには5MWの太陽電池のほかに、図7に示すNAS電池が設置されている。すなわち、太陽電池パネル群では発電した電力はパワーコンディショナのインバータで420V（三相）に変換し、中間変圧器で6.6kVに昇圧したうえで、構内変電所に集電し33kVに昇圧して電力会社の特別高圧系統に送電する。この系統連系において電圧変動抑制3%以下、長周期の出力変動幅の縮小率80%以上を目標とした系統安定化技術の開発が進められている。そのほかにも、数時間オーダーでの大規模太陽光発電システムの出力制御技術の開発として、日射量予測システムの構築およびこれとNAS電池を用いた最適運転技術の開発が行われている^{8)~10)}。図8は、一定の電圧を超えた分の電力をNAS電池に充電し、電圧の足りない時間帯にNAS電池を放電することで、朝の9時から夕方の18時まで500kW、それ以外の時間帯は0kWの計画運転の実験データ例である⁸⁾。これまでの実験では、電圧変動が系統に及ぼす影響は、NAS電池用パワーコンディショナ（PCS）に無効電力制御機能をもたせて送電端高力率運転を維持することで抑制できること、PCSは系統から高調波電力を吸収する方向にあることなどが確認されている。

同様に、山梨県北杜市においても2MWの太陽電池が設置されている。これを東京電力の66kV特別高圧系統に接続して、将来の大規模太陽光発電のコスト低減を目指し大型のPCSの開発が行われている。これらの実証研究により、高調波抑制対策技術や大規模太陽光発電システムの系統連系シミュレーション技術の開発が可能となる⁷⁾。

4.2 水素電力貯蔵システム

太陽光や風力など出力変動が大きい再生可能エネルギー導入拡大のためには、系統連系円滑化用に電力貯蔵が有効なことは前述の通りである。NAS電池に限らず、ニッケル水素電池やリチウムイオン電池も電力貯蔵装置として有効で

図6. 大規模太陽光発電所の実証研究が進む北海道稚内メガソーラープロジェクト

図7. 北海道稚内メガソーラーを支える受変電装置と電力貯蔵装置

図8. 稚内メガソーラーで2008年2月に実施された計画運転実証試験データ

はあるが、いずれの二次電池についても実用化のためにはならぬ大型化、低コスト化、長寿命化が課題である。

その他、大規模電力貯蔵システムとして揚水発電が実用化されているが、経済的な立地が減少し、電力需要地から遠隔となっている。また、中規模電力貯蔵として、欧米では岩塩層を利用した圧縮空気貯蔵が商用化されているが、日本では適当な立地がなく経済的に問題がある。超電導電

図9. 再生可能エネルギーの導入拡大に向けた大規模水素電力貯蔵システム

力貯蔵は瞬時電圧低下補償用に商用化されているが、小規模での適用である。

以上の現状から、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた中・大規模水素電力貯蔵システムの開発が進められている。すなわち、再生可能エネルギーを使い、水を電気分解することでクリーンな水素を製造し、貯蔵した水素を必要に応じて発電に使う電力貯蔵システムである。水素製造方法と水素による発電方法で各種のシステム構成が可能であるが、注目されるのは図9に示す固体電解質型水素電力貯蔵システムである。すなわち、1つの固体酸化物型モジュールを用いて、水蒸気電解による水素製造と燃料電池反応による発電を行う水素電力貯蔵システムである。ナノオーダーの反応活性粒子とミクロンオーダーの気孔からなる薄層電極構造を実現し、水素製造と発電で高い効率を示す固体酸化物型セルを開発することで、二次電池の充放電効率に匹敵する高い効率（70%以上）、負荷変動応答性が確認されている¹¹⁾。固体電解質型水素電力貯蔵システムは、立地による制約が少なく、大型化が可能であることから、再生可能エネルギー基地に近接した大規模電力貯蔵システムとして期待される。

5. おわりに

2008年1月、スペイン南東部Jumillia近郊の約100 haの公有地に、23 MWメガソーラーに商業運転を開始した。全体は200区画から構成され、各区画は約115 kWの容量をもち、約600枚の太陽電池パネル群が一軸型太陽光トラッキングシステムで制御されている。2区画ごとに設けられたプレハブ小屋には、インバータ、変圧器などが設置されている。個々の区画の太陽電池パネル群では直流600 Vをインバータで400 V（三相）に変換し、20 kVに昇圧したうえ

で、簡易なプレハブ作りのスーパーステーションに集め、計測し、発電所内部の消費電力を除き、変圧設備を通じて電力会社へ送電している¹²⁾。

以上で興味深いのは単位面積あたりの発電容量が 23 W/m^2 、さらに装置類はすべて標準品で、建屋も簡素なプレハブ作り、管理棟にはわずかに2人が常駐して発電状況のモニタ・データ収集を行っている。一方、日本で計画中のメガソーラー発電容量はいずれも $50 \sim 70 \text{ W/m}^2$ と過密状態であり、系統安定化を考慮すると電力貯蔵は不可欠であろう。もちろん、太陽光電力の買い取り価格にも依存するが、経済的に成り立つメガソーラーのあり方、低コストな電力貯蔵システムが、今後の重要課題となろう。

(2009.6.5-受理)

文 献

- 1) “新エネルギーバブル”，週刊東洋経済，pp. 36-86, 2009.3.21
- 2) 伊藤義康，川崎 亮：“パーソナル分散型エネルギーシステム”，養賢堂，pp. 29-42, 2005
- 3) “IEA 国等における太陽光発電の動向（世界）”，NEDO 海外レポート，No. 1011, pp. 34-46, 2007.11.4
- 4) G. Watt, P. Husser, I. Kaizuka, P. Cowley and R. Brundlunger: “Trends in Photovoltaic Application”, IEA PVPS Programme, Task 1, Valencia, 2008.9.6
- 5) “Large-scale Photovoltaic Power Plants”, <http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>
- 6) “平成 19 年度 研究開発技術シーズ育成調査委託事業「光電センサー制御式太陽熱集光装置に関する国内外の市場の調査」”，NEDO 成果報告書，pp. 33-34, 2008.3
- 7) 松原浩司：“太陽光発電技術の最近の状況について”，動力，2007 年春季号，No. 268, pp. 51-61, 2007
- 8) “NEDO 技術開発機構受託事業 大規模電力供給用太陽熱発電システム安定化等実証研究の概要”，北海道電力総合研究所 太陽光発電プロジェクト推進室，2009.5
- 9) 三輪修也，伊藤孝充，北 裕幸，原 亮一，滝谷克幸，平幸治：“稚内メガソーラプロジェクト(1)-2 年間の研究成果報告-”，平成 21 年度電気学会全国大会，7-042, pp. 65-66, 2009.3.17
- 10) 田中晃司：“電力会社における電力貯蔵への取り組み (1) NAS 電池による電力貯蔵システム適用例”，エネルギー・資源，Vol. 25, No. 6, pp. 386-389, 2004
- 11) “東芝ホームページ” <http://www.toshiba-ad.jp/cm/exhibition/nanotech2009/index.html>
- 12) “スペイン，Jumilla の 20 MW メガソーラ施設について”，NEDO 海外レポート，No. 1034, pp. 48-55, 2008.12.3