太陽光発電用蓄電池の開発動向

正 員 黒 川 浩 助 (電子技術総合研究所)
正 員 津 田 泉 (電子技術総合研究所)
正 員 野 崎 健 (電子技術総合研究所)

1. ま え が き

太陽エネルギーをどんな形で利用する場合でも、エネルギー貯蔵機能について忘れることはできないが、太陽光発電用蓄電池についてはどちらかというと手薄であった。これから飛躍的な拡大を期待されている太陽光発電の実用化・普及にとって、一つのネックになりかけない。この分野の技術の特徴を整理しながら、太陽光発電用蓄電池を総括してみよう。

一般的には光発電システムは、太陽電池アレイ、蓄電池、インバータ、連系装置、制御装置などの各要素が、用途に応じて取捨選択され、その仕様が決められる。太陽電池と直流負荷のみの最も簡単な構成から、複数のシステムの組合せまで非常に多くのバリエーションがある⁽¹⁾が、基本的には系統連系形と独立形に分類される。

2. 太陽光発電に適した蓄電装置の必要性

光発電システム全体の発電コストに占める太陽電池とそれ以外の部分 (BOS) の割合は、ほぼ等しく推移していきと言われている。しかし、これは目標であって、BOS コストの低下についても格段の努力が必要になっている。

サンシャイン計画発足当時には、太陽電池価格そのもののプライオリティがもっとも高く、次いでオーバオールシステムについての基礎的検討が開始されたが60年ごろまでは、エネルギー貯蔵技術については他分野の動向に気を配る程度で、そのプライオリティは低かった。このため、当時建設された実験システムではほとんどすべて工業用据置形などの鉛蓄電池が利

解説

用されてきた。これらは貯蔵設備容量 Wh あたり 100 円内外の水準にあり、その価格は非常に高い。例えば、放電深度 50 % で約 2 日間分 (50 時間) の貯蔵設備をもったとすれば、10,000 円/W に相当する。これに対し、最近の太陽電池のコストは 700 円/W 程度である。

このように鉛蓄電池が高価なため、サンシャイン計画では当初、ほとんど貯蔵機能を有しない連系形システムのみを志向した時期もあった。一方、独立形では貯蔵機能なしの形態もあるが、長時間の貯蔵機能を要求するケースが圧倒的に多い。このようなアプリケーションのために、低コスト貯蔵機能の開発の必要性を指摘する声が高まった。光発電システムの実用化へのステップを考えると、独立形システムが連系形システムより先に実用期を迎えると考えたほうが自然である。蓄電池コスト低下が実現すれば、システム構成の自由度は飛躍的に高まり、太陽光発電の地球規模での適用範囲を広げることが可能になる。

電気を対象とするエネルギー貯蔵技術の開発として

表 1 太陽光発電貯蔵機能と電力貯蔵の比較

	太陽光発電用	電力貯蔵用
運用モード	{昼間}日射パターンと負荷パターンに応じた不規則充放電 {夜間}負荷パターンに応じた不規則放電	{常時}系統給電指令に応じた定電力充放電
効率の定義	{実効効率}全運転範囲における不規則なパターンに対する総合的な充放電効率 {部分負荷においても高効率期待される}	{定格効率}定格運転における決められた一定パターンに対する充放電効率 {定格ポイント付近で高効率であればよい}
電力規模	1~数百kW	2万~10万kW
貯蔵時間	数10時間~2週間程度	8時間程度
補機動力	極小であることが望ましい	少ないほうがよい
運転・保守管理	太陽光発電の特徴を殺さないようにメンテナンスフリーであることが望ましい	専門の運転要員を確保できる

Aspects of Developments of Batteries for Photovoltaic Power Generating Systems. By Kosuke Kurokawa, Member, Izumi Tsuda, Member & Ken Nozaki, Member (Energy Division, Electrotechnical Laboratory).

キーワード: 太陽光発電, 蓄電池, 改良鉛蓄電池, 新形蓄電池

は、過去に電気自動車用としてのプロジェクトがあり、その後、ムーンライト計画（省エネルギー技術研究開発計画）により、電力系統で使用される電力貯蔵システムが開発された⁽²⁾。表1に電力貯蔵と太陽光発電用蓄電池について、要求される仕様などを比較す

図1 電力貯蔵の運転パターン例

図2 太陽光発電用蓄電池の動作例

る。また、図1および図2に電力貯蔵と太陽光発電の充放電パターンの一例を示す。これからいっても両者は実用技術的に別物の蓄電池と考えたほうがよい。

光発電用独自の蓄電池の開発は、昭和60年度よりサンシャイン計画で取上げられるようになった。鉛電池を光発電に適した仕様に改良する実用化技術開発（新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO）と、新しい蓄電池の基礎研究（レドックスフロー電池：電総研）である。これらの研究は、本年度から新しい展開を迎えたが、その目標を表2に示す⁽³⁾。

3. 太陽光発電用蓄電池の特徴

3.1 太陽光発電用蓄電装置の基本機能

光発電用蓄電装置は、従来の他の分野での蓄電池の応用とは、いろいろな点で異なった使われ方をしている。特に、従来分野では効率の問題になるケースはほとんどなかったと言える。太陽光発電システムにおけ

表2 サンシャイン計画における光発電用蓄電池の開発目標

	大容量低コスト新形蓄電池 (レドックスフロー電池)	高速充放電形蓄電池
開発課題	蓄電効率の向上 高深度充放電 長寿命化 低コスト化	高率充放電のための構造 高率充放電の発熱対策 長寿命化 低コスト化 メンテナンスフリー化
中間目標 (平成4年度)	コスト 15円/Wh以下 (200 MWh/年生産時) 寿命 15年 (無人運転, 保守年1回)	コスト 12円/Wh以下 (200 MWh/年生産時) 寿命 2,000サイクル以上 (1時間率電流, 40%放電)

(a) 日射のパターンと負荷のパターンの整合

(b) 日射変動の安定化

(c) 不日照日の補償

(d) ピーク負荷供給

図3 光発電用蓄電池の基本機能

る蓄電装置の基本的な機能を大別すれば以下のようになる。

- (1) 日射のパターンと、負荷のパターンの大きさと時間帯のずれの整合・シフト
- (2) システム入力である日射条件の変動によって生じるシステム出力変動の抑制
- (3) 不日照条件下でのシステムの運転継続
- (4) ピーク負荷への短時間の突入電流の供給
- (5) 非常用電力の供給
- (6) 直流電圧の安定化の効果

この中で、(1)～(3)は光発電システムの運用法に直接かわり、(4)～(6)は副次的な機能といつてよい。(1)～(4)を単純化したパターンとして図3に示す。貯蔵時間でいえば、(1)が5～8時間程度、(2)が30分～2時間程度、(3)が数日～1か月、(4)が秒オーダーのレンジである。

3.2 光発電用蓄電装置を規定する諸パラメータ

太陽光発電で用いられる蓄電装置の規模或使用状態などを規定する各種のパラメータを以下に列挙する。これらは特に標準化した用語でなく、定義が明確でないもの、重複や落ちのあるものなどを含んでいるので注意が必要である。光発電側から一般的に考察しているつもりであるが、現在の蓄電装置として主流である鉛蓄電池を暗黙的に想定しているパラメータも多い。

(1) 規模・定格などを記述するパラメータ 設備容量(公称、時間帯、初期/寿命末期、定格電圧)、定格電流、貯蔵時間、最長充放電周期、蓄電装置形式・種類、単電池定格、直列数、並列数

(2) 動作状態を特徴づけるパラメータ 最大充放電範囲(最大充電状態、最大放電状態/最大放電深度)、平均的充放電範囲、端子電圧(公称、定格、最大電圧、最低電圧)、不規則充放電状態の規定、最大充電速度、最大放電速度、最大充電電流、最大放電電流、最大充電電力、最大放電電力、平均充電電流、平均放電電流、平均充電電力、平均放電電力

(3) 効率や損失などを規定するパラメータ アンペア・アワー効率、電圧効率、蓄電効率(エネルギー効率、ワット・アワー効率)、内部抵抗、自己放電損失、補機動力

(4) 寿命を規定するパラメータ サイクル寿命(使用条件)、耐用年数

(5) 充放電制御に関するパラメータ 充電状態監視方式/充電量管理方式(アンペア・アワー計数、電解液比重、ワット・アワー計数、内蔵数値モデル)、充放電制御方式、充放電制御装置(定格容量、定格電圧、定格電流、定格充電効率)、充電量管理限界

表3 光発電用蓄電池として特記すべき典型的な使用条件

特記パラメータ システム種類	設置容量	設置容量に対する 通常の充放電振幅	通常の動作点	設置容量に対する 充放電電流
独立形システム	非常に大きい (数日～20日 ～40日)	小さい	満充電に近い + 不規則充放電	低率
切替形システム	↑	↑	↑	↑
	↓	↓	↓	↓
並列連系システム	1～2日～ 数日	大きい	広範囲 + 不規則充放電	比較的高率
	数十分～↑	大きい	広範囲 + 不規則充放電	非常に高率

(6) 充放電保護に関するパラメータ 蓄電装置保護方式、警報管理指標(過不足端子電圧、不足比重、過電流、液温、液面、漏電)

(7) 設置方式・場所などを規定するパラメータ 据付け面積、設置場所の所要面積、屋内蓄電装置箱体/専用建屋/屋外キュービクル/その他、周囲構造/床構造、据付け法(一段積み、二段積み、多段積み、架台/無架台)、通風・換気条件(常時強制/一定充電量以上強制/自然、換気回数)、温度条件

(8) メンテナンスに関するパラメータ 均等充電頻度、均等充電電流、均等充電終止電圧、補水方式、補水間隔、無補水、pH管理

3.3 光発電用鉛蓄電池の基本的な類型化

蓄電機能のある太陽光発電システムを大別すれば、次の四種類のシステムで代表される。

- (1) 独立形太陽光発電システム
- (2) 切替形太陽光発電システム
- (3) 一方向潮流系統連系形太陽光発電システム
- (4) 両方向潮流系統連系形システム

表3にはそれらの利用形態と関連付けて、貯蔵装置に要求される一般的な要求条件について概略を示す。一般に鉛蓄電池は、その使用条件によって電池構造・材料などが異なってくるが、典型的な光発電用の蓄電池として抽出すれば、表3に描き込んだ破線に囲まれた二大分類に集約されるであろう。

4. 光発電用蓄電池の研究開発課題

現在の太陽光発電用エネルギー貯蔵が抱える問題点を整理してみると、ほぼ次のようになる。これらの詳細については、紙数の関係から別の機会にゆずりたいが、使用状態が従来とは大きく異なるために、かなり

基本的な掘下げを必要とするものが多いことを指摘しておく。

(1) 設備コスト低下

- ・本体設備費の低下
- ・据付面積・重量の低下
- ・付帯設備費の低下

(2) 性能向上

- ・不規則な充放電に対する貯蔵効率の向上
- ・長時間貯蔵に対する貯蔵効率の向上
- ・補機動力の抑制
- ・ピーク負荷に対しての放電速度向上

(3) コンパクト化

- ・据付面積・体積・重量の低下

(4) 長寿命化

- ・特に、不規則な充放電に対するサイクル寿命の向上
- ・非常時における放電深度の増大に対する許容
- ・長寿命化のための保守・管理の容易化

(5) 保守・管理の容易化

- ・電解質・電極などの保守・管理
- ・環境排出物の抑制

(6) システムの最適運用法の検討

- ・蓄電池容量決定法
- ・オーバーフロー頻度の抑制対策
- ・予期せざる長期の天候不順時の対策
- ・放電深度検出法の開発
- ・ハイブリッドにおける相手電源との協調制御法

(7) システム評価法の検討

- ・効率的手法の開発
- ・PV エネルギー貯蔵に適した評価基準の明確化
- ・不規則充放電状態を適切に表現できる鉛蓄電池のモデリング
- ・実効効率の予測法
- ・エネルギー貯蔵を含めたシステムの経済設計
- ・太陽光発電パターンに対する寿命予測法

5. 開発の現状例

5.1 改良鉛蓄電池

昭和 60 年度から、NEDO では太陽光発電用鉛電池として、密閉形および開放形の二つのタイプの改良鉛蓄電池の開発を行ってきた⁽⁴⁾。

前者は陰極吸収式密閉形鉛蓄電池であり、昭和 63 年度に、鉛/カルシウム系合金の格子金属、クラッド式極板、ゲル状電解液を採用した 500 AH 級の蓄電池を開発した。コスト 15 円/Wh(200 MWh/年生産時)、寿命 1,500 サイクル(放電深度 65%)、寿命

表 4 各種新形蓄電池の太陽光発電への適性

評価項目	レドックス電池	亜鉛/臭素	亜鉛/塩素	ナトリウム/硫黄	備考
作動温度	○	○	○	××× 300°C~	○は常温
太陽モード貯蔵効率	○ ~80%	○ (80%)	○ (80%)	△ (70%)	
寿命	◎ 15~20年	△ 5年~	△ 5年~	△ 7年~	
貯蔵密度	△	○	◎	◎	
完全放電の必要性 (or 完全充電)	○	××	××	○	
タップ制御	○	×	×	×	
容量モニタ	○	×	×	△	
自己放電	○	×	×	○	
ポンプ	△	△	△	○	
容量増設	○	×	×	×	
物質利用率	○	◎	◎	○	
総合判定	○	×	×	×	

(注) 電力貯蔵など、他の分野で用いられる場合には、評価基準が異なるために結果は異なる。

末期まで無保守などの開発目標を達成またはその見込みを得た。

後者は、バント形鉛蓄電池でエキスパンド格子体、バンド加圧方式極板群、エンボス状セパレータ、4 個のユニットセルの並列による大形化などを採用した 2,500Ah 級蓄電池を開発した。コスト 13 円/Wh(200 MWh/年生産時)、寿命 3,600 サイクル(放電深度 25%)、補水インターバル 1 年などの開発目標を達成またはその見込みを得た。

5.2 光発電用新形蓄電池

太陽光発電に用いられる新しいタイプの蓄電池の開発のために 60 年度から、電総研において鉄/クロム系レドックスフロー電池の基礎研究がサンシャイン計画の一環として開始された。

同電池は表 4 に示すように、太陽光発電システムに対して優れた特性をもっている。63 年度には、1 kW 級プリプロトタイプを試作し、これを用いて太陽入力による不規則充電状態で 80% 程度の充放電効率を得られることを実証した⁽⁵⁾。更に、運転・制御の完全自動化などの改良を行ったプロトタイプの開発に成功した。この研究は前述したように本年度から実用化開発として NEDO に技術移転されることになった。

5.3 蓄電池の評価・測定法

サンシャイン計画の一環として、NEDO/電力中央研究所では各種 BOS の評価技術開発を行っている。同研究では昭和 61 年度に、太陽光発電用蓄電池の充

図 4 低率放電用蓄電池のサイクル試験パターン

図 5 高率放電用蓄電池のサイクル試験パターン

電試験法を暫定的に決定した。その一例を図4～図5に示す。これは表3に対応して長時間率（200時間率で代表）と短時間率（5時間率で代表）に対するPSOC（部分充電状態）充放電サイクル試験の試験パターンである。このようなパターンは従来の他分野ではまったく見られないものである。

これらの成果や他のシステム研究成果を集めて、光発電用蓄電池のJIS化のための調査研究が新発電システムの標準化調査研究（工業技術院標準部/日本電機工業会）において61年度から進められている。また、IEC TC 82（光発電）においても、光発電用蓄電池の標準化審議のためWG4を設立し、試験法などの検討を開始した⁽⁷⁾。

6. あとがき

太陽光発電用蓄電池の研究については、幸いにもあるレベルで着実に実施されつつある。しかし、蓄電は昔からの永遠のテーマであり、現在小規模ながら基礎研究されているシーズが将来の夢として大きく発展する可能性も否定できない。本稿を終えるにあたって、筆者らの独断的イメージを一例として列挙してみよう。

クロム/臭素、クロム/塩素、バナジウム/バナジウム、水素-ハロゲン、各種ポリマなどの未来形電池、短時間率としての電気二重層蓄電、バクテリア生活作用や植物光合成などの結び付きによるバイオ電池、などの新シーズは数え切れない。また、複合機能をもった要素として、太陽電池モジュールと貯蔵機能の一体化構造や、光発電・貯蔵複合機能デバイスのように

湿式太陽電池に見られるような光電変換とエネルギー貯蔵機能が混在したデバイスの開発などの提案もある。
(平成2年1月8日受付)

文 献

- (1) 黒川，他：「太陽光発電システムの各種システム構成とその分類」，電総研彙報，50，96（昭61-1）
- (2) 上野：「新型電池電力貯蔵システムの研究開発」，サンシャインジャーナル，4，19（昭58）
- (3) 「太陽光発電システム技術開発の今後の進め方について（中間報告）」，産技審新エネルギー技術開発部会政策分科会，p.19（平元-1）
- (4) 「太陽光発電システム実用化技術開発（研究開発管理・システム部会）」，NEDO，昭和63年報告書 p.175
- (5) 「太陽光発電システムで優れた性能を示す——レドックスフロー電池の開発に成功」，電総研ニュース，458，1（昭63-3）
- (6) 「太陽光発電システム実用化技術開発（研究開発管理）」，NEDO，昭和61年度報告書 p.III-116
- (7) 黒川，他：「太陽光発電技術の標準化の動向」，電総研彙報，53，515（平元-5）

黒川 浩 助（正員）

昭和17年8月16日生。40年3月早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業。同年4月電気試験所（現、電子技術総合研究所）入所。以後、直流送電用高電圧サイリスタバルブの開発、太陽熱発電技術の研究に従事。51年10月～52年11月工業技術院サンシャイン本部併任。55年10月～57年12月新エネルギー総合開発機構太陽技術開発室太陽光・風力発電担当課長。その後電子技術総合研究所に復職、現在に至る。エネルギー部エネルギー情報技術研究室主任研究官。新形太陽光発電システムの研究、エネル

ギーと環境のシステム分析などの研究に従事。62年電気学術振興賞，著作賞授賞。JSES 理事，ISES 会員。

津 田 泉 (正員)

昭和30年1月23日生。54年3月大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。54年8月同大大学院博士課程中退。54年9月日本オーチスエレベーター(株)入社。56年3月同社退社。56年4月電子技術総合研究所入所，現在に至る。エネルギー部エネルギー情報技術研究室主任研究官。

太陽エネルギーの研究に従事。日本太陽エネルギー学会員。

野 崎 健 (正員)

昭和18年6月11日生。41年3月工学院大学工業化学科卒業。43年3月東京大学大学院工業化学専攻修士課程修了。43年4月電気試験所(現，電子技術総合研究所)入所。以後，燃料電池，新形電池などの電気化学的エネルギー変換貯蔵技術の研究開発に従事。60年第17回市村賞受賞。電気化学協会，日本化学会，日本分析学会会員。