

# 蓄電システムの計画・設計に関する調査

Research and Study of Planning and Designing Battery System

## 地球環境委員会

### 1. はじめに

需要家の負荷変動の「電力平準化」用や、商用停電時に電力供給を行う「サバイバル電源」用として蓄電システムに対する期待は高い。また、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーの有効活用には、バッファとしての蓄電システムは必須である。中核を為す蓄電装置として、受変電制御用・非常照明用として使われてきた鉛蓄電池に加え、リチウム二次電池、ニッケル水素電池、ナトリウム・硫黄電池、レドックスフロー電池などが検討対象となって久しい。特に最近では、小型・軽量、長寿命、大電流充放電可能などの特徴をもつリチウム二次電池の適用が進んでいる。リチウム二次電池は、正極にリチウム含有複合酸化物、負極に炭素等を用いるが、この材質や電解液は製品によって異なり、化学的特性が異なるため、製品による電気的性能の差異が大きい。このこともあって、蓄電システムの設計に必要なデータは、製造者横断的にはユーザーに提供されて来なかったと想定される。

電気設備学会地球環境委員会では、省エネ・省資源及びインフラへのインパクト軽減の観点から必須な要素として、2017年からリチウム二次電池を利用した蓄電シ

ステムを取上げ、製造者ヒアリングや設計手法・ツールの検討を行ってきた。その成果を「蓄電システム設計マニュアル」として取りまとめた。本稿では、設計マニュアルの構成、設計者が知っておくべき仕様・特性と製造者4社の比較例、及び法的な位置付けを示す。また、本委員会では、蓄電システムの計画・設計に携わる実務者の理解の一助とすることを目的に、必要な条件を入力するだけで蓄電池容量を算定する「簡易計算シート」を、表計算ソフトを用いて作成した。本稿の後半では、簡易計算シートの機能と計算例を紹介する。

### 2. 蓄電システム設計マニュアルの構成

提案する「蓄電システム設計マニュアル」は、国土交通省監修の「建築設備設計基準」(平成30年版)<sup>1)</sup>の構成を参考に、表-1のとおり構成とした。

なお、蓄電システムとしては、蓄電池(蓄電池ユニット、蓄電池制御装置、補機類)、交直変換装置及び系統連系保護装置などの構成を対象としている。

### 3. 設計者が知っておくべき仕様・特性

本委員会では、蓄電システムの計画・設計に携わる実務者が知っておくべき仕様・特性について、製造者ごとにカタログ調査とヒアリング調査を実施し、表-2にまとめた。また、表-2の理解のため、蓄電池に関する指標の定義を整理して表-3と図-1に示す。

#### 委員会構成

委員長	滝澤 総	(株)日建設
委員	小野田修二	大成建設(株)
〃	小田島範幸	清水建設(株)
〃	上村 健	鹿島建設(株)
〃	菊池良直	東光電気工事(株)
〃	倉科秀樹	国土交通省
〃	小林 浩	(株)トーエネック
〃	鷹野 一朗	工学院大学
〃	寺田克己	東芝インフラシステムズ(株)
〃	留目真行	(株)関電工
〃	丸林洋大	パナソニック(株)
〃	森 明	(公財)産業廃棄物処理事業 振興財団
事務局	齋藤範幸	(一社)電気設備学会

表-1 蓄電システム設計マニュアルの構成

■設計基準
■設計資料
1. 蓄電システムの構成
2. 蓄電池の放電特性(充放電回数, 保守率(容量維持率×放電深度), 期待寿命等)
3. 蓄電池容量・最大放電電力の算出
4. 蓄電システムの機能
5. 蓄電システムの選定
6. スペース計画
7. 法的な位置付け

表-2 定格出力容量 20kW 級蓄電システムの製造者ごとの比較

項目	A社	B社	C社	D社
定格出力容量	20kVA 自立運転時 20kVA	20kW 自立運転時 20kVA	20kW 自立運転時 20kVA	25kW
定格蓄電池容量	16.9kWh	20kWh	22kWh	22kWh
容量維持率	0.7	0.6	0.64	0.85~0.9
連系時	放電深度	1.0	0.87 (0.05**~0.875)	0.95*
	保守率	0.7	0.522	0.608
自立 運転時	放電深度	0.95 (0.05**~1.0)	0.9 (0.1**~1.0)	0.95*
	保守率	0.665	0.54	0.608
システム効率	三相入力機 0.94 単相入力機 0.95	0.92	三相入力機 0.925*** 単相入力機 0.92***	0.95
サイクル寿命 (25℃, DOD100%)	11 000	10 000	16 000	15 000

\* 定格値までの放電は不可 \*\* 再起動時に備え残量確保 \*\*\* 変圧器含む

表-3 蓄電池に関する指標の定義

指標	意味・定義
残容量 (SOC: State of Charge)	蓄電池の残容量を表す指標。ある時点での残容量を当該時点の満充電の蓄電池容量で除した値である。
放電深度 (DOD: Depth of Discharge)	充放電に使用する容量を表す指標。蓄電池の寿命や安全上の理由で、実際に使えるSOCの範囲が0~100%よりも狭くなる。上限SOCと下限SOCの差であり、図-1の例では、放電深度 = 0.85(上限SOC) - 0.15(下限SOC) = 0.7である。
劣化状態 (SOH: State of Health)	ある時点での蓄電池の劣化状態を示す指標。当該時点の満充電の蓄電池容量を定格蓄電池容量で除した値である。
容量維持率 (EOL: End of Life)	蓄電池の充放電の繰り返しや、経年による容量減少の度合いを表す。寿命末期の満充電の蓄電池容量を、定格蓄電池容量で除した値である。
保守率	寿命末期に実際に使用できる蓄電池容量の割合であり、放電深度と容量維持率の積である。図-1の例では、保守率 = 0.7(放電深度) × 0.7(容量維持率) = 0.49である。

れており、「製造業者が指定する連続して使用できる出力容量」である。停電時と通常時で、定格出力容量が異なる場合があり、調査製造者の全てが、系統連系時はkW表記、自立運転時はkVA表記とし、両者は同じ値であった(例: 連系時 20kW, 自立時 20kVA)。無効電力を系統から供給できない自立運転時(サバイバル電源供給時)には負荷力率を考慮して容量選定する必要がある(連系時に供給可能なkWは自立運転時供給できない危険性あり)。

### (2) 蓄電池容量(定格蓄電池容量)

JEM1510には、蓄電池容量の定義があり、単電池の定格容量、単電池の公称電圧及び使用する単電池の数の積で算出される値である。調査製造者の全てがkWh値を明記していた。蓄電池使用可能範囲がカタログ等に規定されていない場合がある((4)参照)。一般的にはこれを定格蓄電池容量と呼んでいる。

### (3) 保守率/放電深度/容量維持率

保守率は、寿命末期を考えた容量維持率に放電深度を乗じて求める。放電深度と期待寿命(後述)は密接な関係にあり、一般的に放電深度が小さいと期待寿命は延びる傾向にあり、放電深度を1.0とせず期待寿命を確保している製品もあるので留意が必要である。

なお、容量維持率は周囲温度の影響を受ける。

### (4) システム効率

JEM1510には、充放電効率、逆変換効率、順変換効率が定義されているが、充放電効率は調査した全製造者で明示されておらず、システム効率として提供されることが多い。システム効率の場合は充放電効率×逆変換効率に加え、変圧器を含むか否かの確認などが必要で

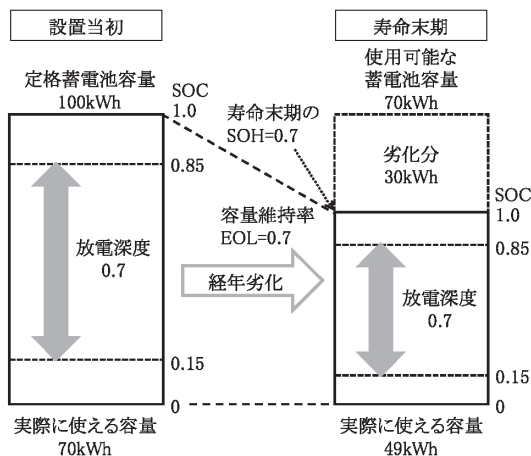


図-1 蓄電池に関する指標の説明図

### (1) 定格出力容量

JEM1510 低圧蓄電システムに関する用語にて定義さ

ある。

### (5) 期待寿命/サイクル寿命

期待寿命は、設計基準(平成30年版)では「定格出力で運転する期間」、監理指針(平成28年版)<sup>2)</sup>では期待充放電サイクルを「製造者の標準とする充放電パターンにおける回数」としている。また、他の蓄電池との比較に、計画基準(平成30年版)<sup>3)</sup>ではサイクル寿命(サイクル数)を「保守率を考慮した蓄電池容量(Wh)まで充放電できる回数。満充電→完全放電→満充電の工程を1サイクルと定義」として用いている。製造者の標準とする充放電パターンは「満充電→完全放電」ではないこともあるので、留意が必要である。

## 4. 法的な位置付け

リチウム二次電池の電解液は、消防法上の危険物(第4類第二石油類)に該当し、指定数量は1000ℓである。電解液総量が指定数量を超える場合は一般取扱所としての、総量が指定数量の5分の1(200ℓ)を超える場合は少量危険物取扱所としての規制を受ける。蓄電池の電解液の量は、製造者により異なるため容量選定後に確認する必要がある(調査時の製品例では、蓄電池容量110kWhまでは電解液200ℓ未満であった)。また、火災予防条例上、4800Ahセル以上の蓄電池設備を設置する場合は、所轄消防署に設置届が必要となる(調査時製品の例では、蓄電池容量11kWhが4800Ahセル)。屋外で建築物から3m未満に設置する場合、及び防火区画

された蓄電池専用室内に設置しない場合は、蓄電池から出火した場合の延焼拡大防止のため、消防庁告示第二号「蓄電池設備の基準」に適合したキュービクル内に蓄電池を取納しなければならない<sup>4)</sup>。

## 5. 簡易計算シートの概要

### (1) 画面構成

簡易計算シートの電力平準化用途の計算画面を図-2に示す。画面左側には蓄電池の使用パターンに関する計算、上側にはPCSや変圧器などのシステムに関する設定、右側には蓄電池充放電やSOCの時系列グラフを配置している。入力セルに条件を入力すれば、即座に蓄電池容量が算出される。

なお、基礎的な検討を想定しているため、電力平準化用途では蓄電池放電時間帯を22時から翌日8時に固定し、サバイバル電源用途では設定できる負荷曲線を1日分のみとした。

### (2) 蓄電システム効率の考え方

設計基準では、蓄電システム効率 $\eta$ を一定の係数としている。例えば、リチウム二次電池では0.85である。一方、実際の蓄電システムは、蓄電池本体、PCS、変圧器などから構成されており、これら機器ごとに効率が異なるだけでなく、負荷率により効率が変化する。簡易計算シートでは、これらを考慮した、より実際に近い算定方法も実装し、両者の値を比較できるようにした。

なお、蓄電池本体の効率は一定とした。

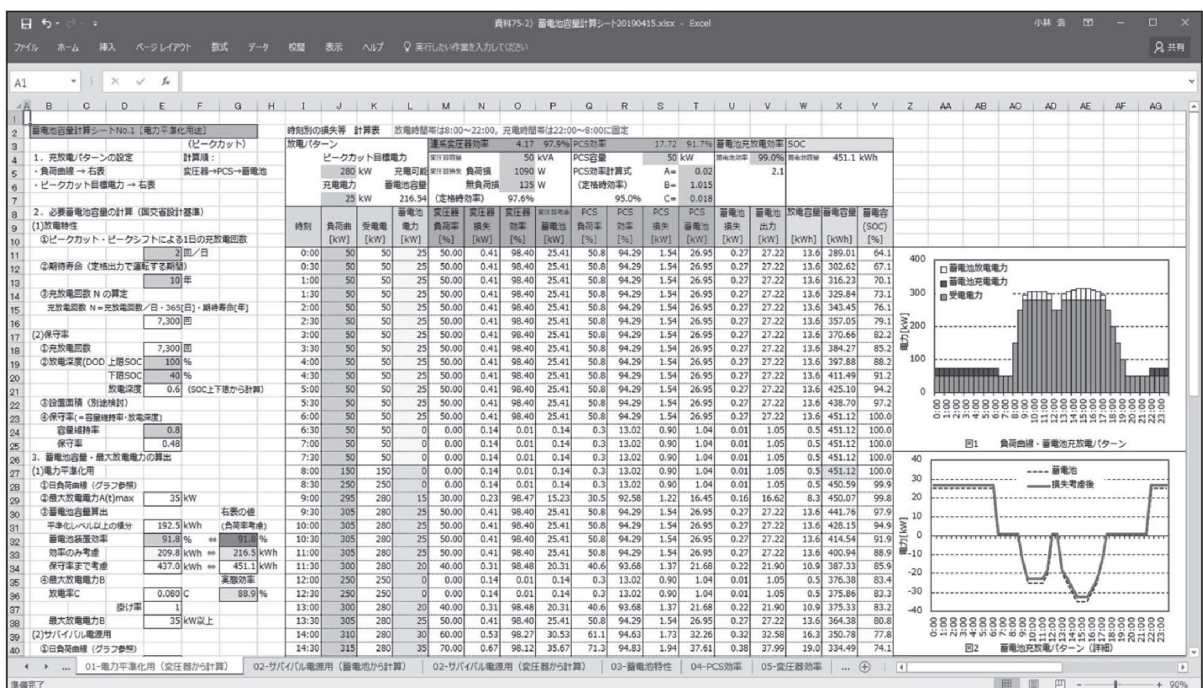


図-2 簡易計算ツールの画面例(電力平準化用途の計算画面)

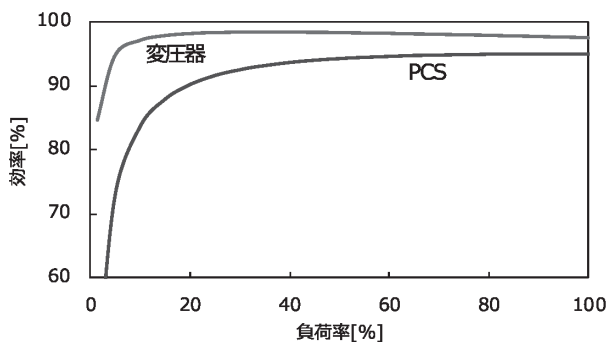


図-3 計算に用いるPCS効率・変圧器効率の例

### (3) PCS効率

PCS効率は、PCSにおける入力電力に対する出力電力の比である。簡易計算シートでのPCS効率の計算には、NEDOが開発した「大規模太陽光発電システム導入のための検討支援ツールSTEP-PV」と同じ方法を採用した<sup>5)</sup>。具体的には、負荷率 $x$ におけるPCS効率を次の式で定義した。

$$\eta_{PCS} = \frac{x}{Ax_2 + Bx + C} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、A：インバータ出力電流に依存する損失分であり0以上の値、B：素子の電圧降下分に依存する係数であり1以上の値、C：その他の回路の限界効率等に依存する値で0以上の値

PCSの実製品(定格容量25kW)の実測データから求めた効率曲線を図-3に示す。これは、PCSの出力電力/入力電力として求めた効率と負荷率の関係をプロットし、それに合うように、A、B、Cを決めたものである。このように、実際のPCSでは負荷率に応じて効率が変化し、負荷率が低いほど効率が低下する。

### (4) 変圧器効率

負荷率 $x$ での変圧器損失 $W(x)$ は、次式で計算できる。

$$W(x) = W_{Fe} + W_{Cu} \times x^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $W_{Fe}$ ：無負荷損、 $W_{Cu}$ ：負荷損

無負荷損と負荷損をカタログや技術資料から確認すれば、負荷率ごとの変圧器効率曲線を作成できる。例として、実製品の三相モールド変圧器50kVAの負荷率ごとの効率曲線を作成した例を図-2に示す。20%~40%の低負荷率において効率が最高であることが分かる。

## 6. 簡易計算シートを用いた計算例

前述のとおり、負荷率が低いと蓄電システム効率は低下する。この影響を、サバイバル電源用途を想定し、簡易計算シートを用いて定量的に計算した例を示す。

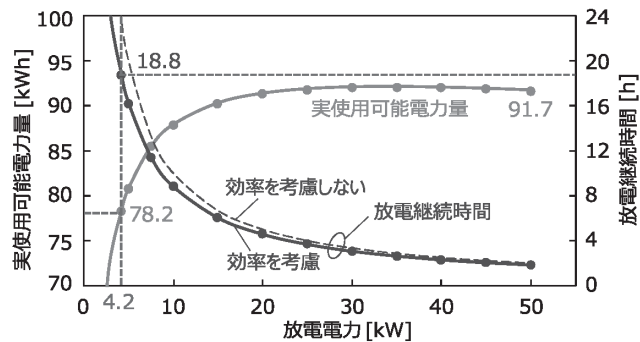


図-4 サバイバル電源用途での実使用可能電力量

図-4は、蓄電池容量100kWh、PCS定格容量50kWの蓄電システムをサバイバル電源用途で放電する場合の、放電電力と実使用可能電力量の関係である。例えば、50kWで放電する場合、定格上は2時間放電で100kWhを使用可能である。しかしながら、実態に合った効率を考慮して計算すると、実使用可能電力量は91.7kWhである。同様に24時間負荷に電力供給する場合には、放電電力は100 [kWh] / 24 [h] = 4.2 [kW]であり、実使用可能電力量は78.2kWhである。これを放電継続時間に換算すると、18.8時間であり、定格上の時間よりも5.2時間短縮される。

したがって、サバイバル電源用途では、PCSや変圧器の負荷率を低くしないために、蓄電池容量(kWh)に対してPCS定格容量(kW)を小さくすることが望ましい。

## 7. おわりに

蓄電システムは、製造者が個々に仕様のための運用条件を決めてきた経緯がある。今回の調査で、例えば表-2では製造者間に保守率に2倍程度の差があることも分かった。これらは選定時には十分認識されていないこともあり、設計者(ユーザー)が計画・設計を進めるため横断的な情報提供の基盤整備が望まれる。

今後、簡易計算シートを公開する予定であり、蓄電システムの計画・設計の実務に役立てていただければ幸いである。

### 参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：「建築設備設計基準(平成30年版)」
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：「電気設備工事監理指針(平成28年版)」
- 3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：「建築設備計画基準(平成30年版)」
- 4) 消防危第303号：「リチウムイオン蓄電池の貯蔵及び取扱いに係る運用について」(平成23年12月27日)
- 5) NEDO：「大規模太陽光発電システム導入のための検討支援ツール」