

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
戦略テーマ重点タイプ 完了報告書（公開版）概要**

研究開発テーマ：エネルギーの有効利用を支える次世代定置用蓄電技術の創出

研究開発課題名：太陽光発電の高効率化を可能とする新型キャパシタの開発

プロジェクトリーダー

機関名：東京農工大学

氏名：直井 勝彦

1. 研究の目的

太陽電池とキャパシタをコンバータレスで直接接続し、今まで捨てられていた微弱光発電による微弱電流を余すことなく回収(蓄電)、順次リチウムイオン電池に移して電気を有効利用できるシステムを提案する。太陽電池/キャパシタ/リチウムイオン電池の組合せによる新システムを構築し、コンバータレス化の実証実験を行う。実際、1日の太陽電池総発電量の12-15.5% (H28年7/8月平均)が微弱光発電(キャパシタ蓄電)されているが、本申請では、さらなる高効率化のため、キャパシタ/リチウムイオン電池併用を可能にするエネルギーマネージメントの最適化と並行して、キャパシタ/電池の両面的入出力特性を有する新型キャパシタを開発する。

2. 研究成果の創出状況

マイルストーン	達成状況
(1) CP1 - 高容量・高電圧キャパシタ構築に向けた要素材料研究：正極に LiFePO_4 ないし $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、負極に Li_3VO_4 を用い、モジュール構築時のキャパシタセルの並列スタック数、直列スタック数を削減可能な新型高電圧キャパシタ構築の指針を得る。	既存のキャパシタ (EDLC) を超える容量・電圧を有した新型キャパシタ構築を目指し、構成電極材料の要素検討を行った。同時並行で進めた CP4 における研究開発結果(下記(4)参照)も受け、最終的には、 $\text{nano-Li}_{3.2}\text{V}_{0.8}\text{Si}_{0.2}\text{O}_4$ (LVSiO) カーボンコンポジット負極/ $\text{nano-Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (LVP) カーボンコンポジット正極で構成することで、電圧 3.45V、エネルギー密度 EDLC 比約 6.8 倍を到達できる指針が得られた。
(2) CP2 - 電極シートおよびプロトタイプセル(ラミネート型)の試作検討：ナノ材料の合成スケールアップを行うとともに、大容量・高電圧新型キャパシタのプロトタイプセル(ラミネート型キャパシタフルセル)を作製し、予想される実用作動条件(電圧 3.0-3.5V)における動作確認を行う。	電極材料の合成スケールアップ及び、大容量・高電圧新型キャパシタのプロトタイプセル(ラミネート型の小型フルセル)を作製し、予想される実用作動条件(電圧 3.0-3.5V)における動作確認を行うことを計画した。それに対して、正極材料、負極材料ともに、バッチプロセスでは 100g/バッチ、連続プロセスでは 60-100g/h のスケールアッププロセスを可能にし、得られた粉体を用いた小型フルセルの作製および動作検

	証が完了した。
(3) CP3 - PV 受入性・高速出力特性賦与に向けたキャパシタ材料および電解液の最適化：電解液、電極構造、活物質複合比の観点から新型キャパシタの PV 受入性・高速応答における最適条件の抽出を行う。	正負極の材料開発研究と並行し、新型キャパシタ(スーパーレドックスキャパシタ: SRC)のフルセルの構築と基礎評価を行った。nano-LVSiOカーボンコンポジット/nano-LVP コンポジットで構成される SRC は、出力・入力特性共に 100C 以上の高速充放電時において、容量維持率 75% 超という高い性能を示した。さらに、室温下におけるサイクル試験では 10000 サイクル後も初期容量に対して 85% の高い容量維持率を示しており、ラボスケールにおける SRC においては高効率な太陽光発電の蓄電システムに対する高い適用可能性(高い PV 受け入れ性: 高速充放電特性/長期サイクル特性)が示された。
(4) CP4 - 新型キャパシタのプロトタイプセル(ラミネート型)の試作検討 II : CP2・CP3 で達成し抽出した条件を元に、キャパシタ出力特性を可能にする粒子サイズの電極活物質を有する複合体を作製し、キャパシタフルセルを試作検討する。	キャパシタ出力特性を有し、かつ、合成スケールアップ可能な複合体電極材料の作製手法の検討を行った。合成に遊星メカノケミカル手法を要する活性化 Li_3VO_4 (LVO) の代替材料として、同等のキャパシタ出力特性を有し、簡易な粉末焼成で合成可能な LVSiO の作製に成功した。さらに正極、負極ともにスプレードライ手法を導入することで、従来の高価なカーボンナノチューブ(CNT)を 20wt% 以上含有したナノ複合電極材料に対し、負極側はスクロースの炭化、正極側は安価なカーボンブラックで代替可能となり、大幅な低コスト化につながった。
(5) CP5 - プロトタイプセル(ラミネート型)の改良および太陽光発電システムに向けた耐久性評価: プロトタイプセル(ラミネート型キャパシタフルセル)による耐久性試験等を行う。	太陽光発電システムからの要求値をセル 1 本あたりの要求値に換算し、従来の EDLC を用いた場合と比べて、セルの必要本数を約 2/3 に低減し、モジュールの体積を 1/4 にまで低減できる可能性が示された。上述の性能を満たしたプロトタイプセルを作製し、想定通りのスロープな充放電挙動が得られていることが確認できた。さらに耐久性評価から推定寿命は 240,000 サイクルと試算され、目標値(110,000 サイクル)を達成できる見込みが示された。
(6) CP6 - 太陽光発電システム用新型キャパシタの評価: PV 直付けキャパシタ送電シス	上記 (5) CP5 において、最適化したプロトタイプセルを用い、新型キャパシタを適用した場合

<p>テムへの新型キャパシタ適用可能性を検討し、想定される作動条件で EDLC と性能比較する事で新型キャパシタを用いた場合の効果検証を行う。</p>	<p>の機能検証を行った。機能検証におけるプロトタイプセルの試験条件は、蓄積された太陽光発電システムのデータベースより、晴天時と雨天時の挙動を一般的に表しているデータをピックアップし、その充放電電力挙動を模擬した条件とした。結果、晴天時と雨天時想定のプロトタイプセルの平均充放電効率はいずれも 93.0% と 93.8% であり、従来キャパシタ（晴天時 92.8%、雨天時 92.9%）と同等の充放電効率で作動できていることが確認できた。以上より、本開発の新型キャパシタは微弱光を効率的に回収する太陽光発電システムに適用することが可能であり、(5)GP5 で示した大幅な小型化と同時に、従来キャパシタと同様の高い回収効率を示すことができるものと考えられる。</p>
---	--

3. 今後の展開

本プロジェクトで開発された高効率太陽光発電システムは、高容量かつ低抵抗新型キャパシタの採用により、従来型パワーコンディショナでは直交変換不可能な微弱光時発電力を回収・利用可能とする。またプロジェクトを通して、新型キャパシタは従来キャパシタと比較して小型化もしくは同体積では高容量化が可能であり、システムのコンパクト化もしくはシステム効率の向上が見込めることが分かった。今後は、2025年に既存のキャパシタを用いた太陽光高効率化システムの上市、2030年に本事業で開発した新型キャパシタを搭載したシステムの上市を目指す。一方、現時点では、新型キャパシタの材料量産化開発⇒セル量産化開発⇒システムの効果実証研究のステップが必要である。そのため、上市のために達成すべき具体的な目標は、下記のとおりと考えられる：（i）大幅なコストダウンに繋がる新規合成手法・セル構築技術の開発、（ii）量産プロセス技術の確立、（iii）電極材料のパイロットプラント構築、（iv）セルのセミ量産、（v）モジュール、システム設計、（vi）システムでの効果実証／キャパシタ容量、システム体積、システムコストと効果とのバランス検証。上記の目標を到達するためには、5～7年程度の期間と合計15億円程度の研究開発資金が必要であると想定され、JST ないし 公的資金に応募していく予定である。

以上