

# 太陽光発電システム等出力安定化制御技術実証開発

🔊 太陽光発電，小水力発電，電気二重層キャパシタ，出力安定化

\* 植田喜延 Yoshinobu Ueda

\* 大藪俊司 Shyunji Oyabu

## 概要

近年，地球環境に優しいエネルギー源として太陽光発電システムの導入量が増えている。(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構は，特に雨期と乾期に日射量や河川の水量が多く変動する地域を持つ国と共同で，「太陽光発電システム等出力安定化制御技術実証開発」を実施し，当社はプロジェクトの一員として，本実証開発の主要機器を開発・製作し，実証研究を行った。

本実証では，電気二重層キャパシタを用いて「太陽光発電の出力変動等を緩和し電力品質への影響を小さくする制御技術」の開発を行った。



実証設備遠景

## 1. ま え が き

近年，地球環境に優しいエネルギー源として太陽光発電（Photovoltaic power，以下PV）システムの導入量が増えている。特に，まだ電化されていない地域で電力供給を行うにあたり，大規模な送電線の設置や化石燃料の供給などを必要としないPVシステムと小水力発電（Micro Hydro power，以下MH）システムにより，小規模な地域電力系統を構築することが有望視されている。

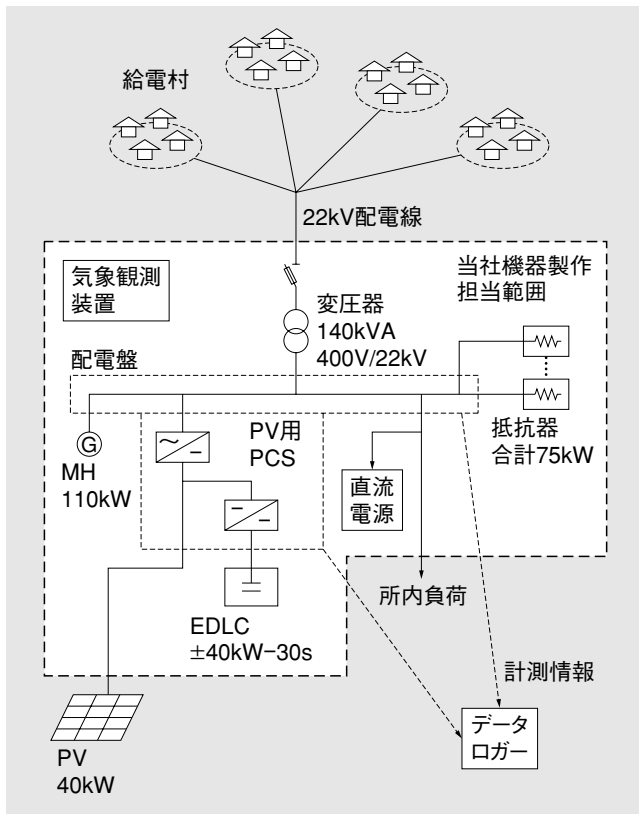
PVとMHを組み合わせたハイブリッドシステムは，特に雨期と乾期で日射量や河川の水量が大きく変動する地域で，相互の出力を補完できることが利点と考えられる。その理由は，日射が減少しPVの出力が低下する雨期には河川の水量が増加し，MHの出力を大きくすることができ，逆に河川の水量が減少する乾期には日射が増加し，PVの

出力が大きくなるためである。

しかしながら，PVは日射量の変化に伴う出力変動が大きく，かつMHの出力調整では電力需要変動への追従が遅いという課題がある。この技術課題を解決するため，2007年度から(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は，ラオス人民民主共和国政府と共同で，太陽光発電システム等国際共同実証開発事業「太陽光発電システム等出力安定化制御技術実証開発」を実施し，設備を構築した後に2010年4月から9月にかけて実証試験を行った（委託先：沖縄電力株，再委託先：(株)沖縄エネテック，(株)明電舎<sup>(1)(2)(3)</sup>）。当社は本実証開発のプロジェクトメンバーの一員として，研究に必要な各種装置を開発し，実証研究を行った。

本稿では，周波数変動の緩和を目的として電気二重層キャパシタ（EDLC：Electric Double Layer Capacitor）に適用した複数の制御方式の実証試験

\*電力技術部 \*\*発電技術部

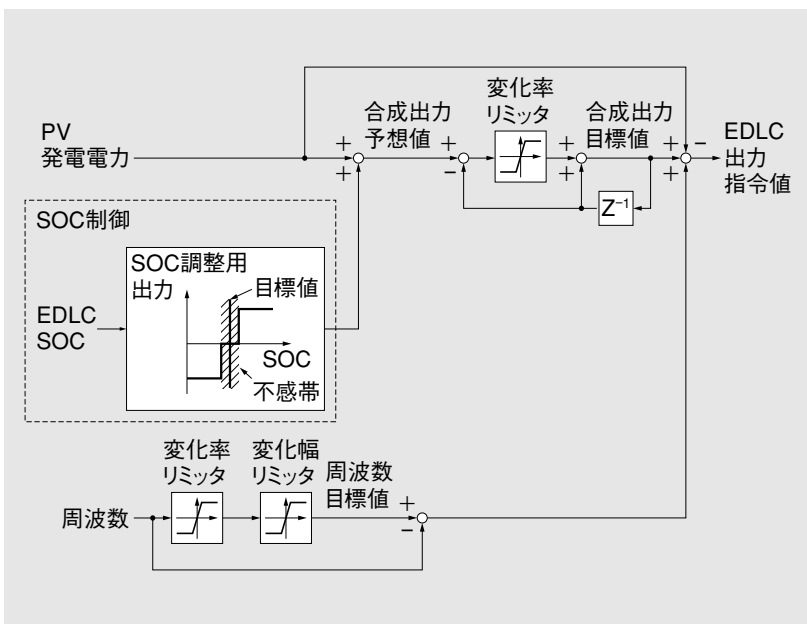


第1図 実証システム構成図  
実証開発システムの構成図を示す。

110kW、400V、50HzのMHが主電源（電圧源）となり40kWのPVが連系している。発電電力は変圧器で22kVに昇圧して、総互長約20kmの送電線を経て各地域に供給する。また、PVの系統連系インバータ（PCS：Power Conditioning Subsystem）の直流回路に、DC/DCコンバータを介して周波数変動緩和用のEDLC（容量 $\pm 40\text{kW} \times 30\text{秒}$ ）を接続する。また、5kW刻みで最大75kWを消費できる負荷抵抗器も設置している。そのほかに気象データを収集する気象観測装置と実証試験データを記録するためのデータロガーが設置されている。

第2図に本システムに適用したEDLCの制御ブロックを示す。周波数変動の緩和として、PVの出力変動を設定した変化率以下に抑制する $\Delta P$ 制御と周波数変動を打ち消すように有効電力を出力する $\Delta f$ 制御、さらに両者を併用する $\Delta P + \Delta f$ 制御の3通りの制御が可能である。

また、周波数に影響を与えない範囲でEDLCの充電状態（SOC：State of Charge）を目標値に向けて調整するSOC制御も同時に行っている。



第2図 EDLC制御ブロック  
PVの出力変動を設定した変化率以下に抑制する $\Delta P$ 制御と周波数変動を打ち消すように有効電力を出力する $\Delta f$ の組み合わせ制御とEDLCのSOC制御を行う。

結果と長期運転時のEDLCの出力特性を紹介する。

## 2. 実証システムとEDLC制御方式

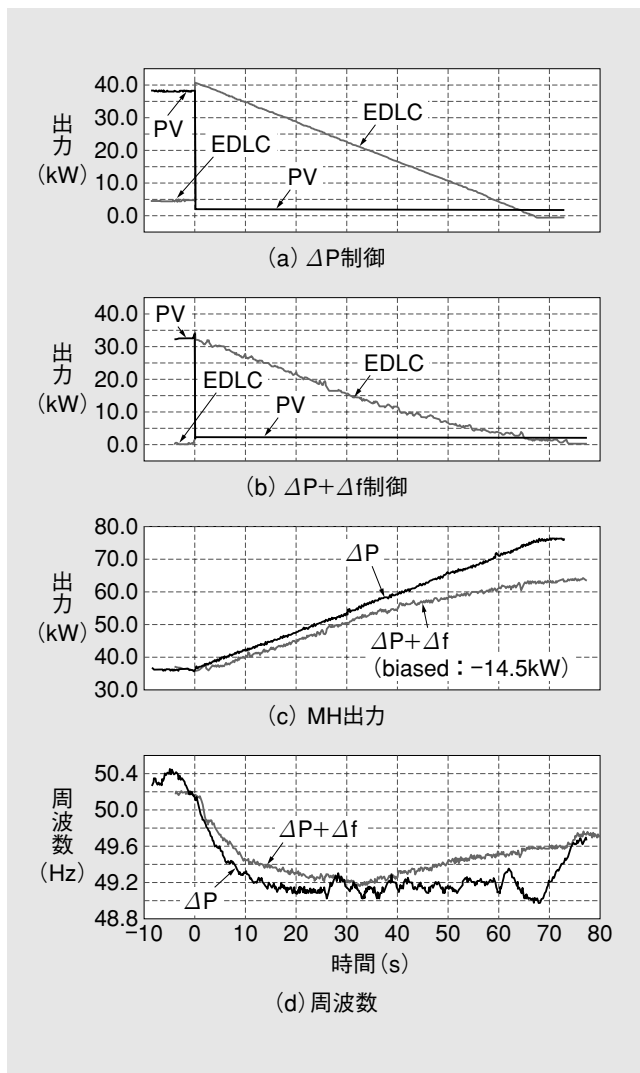
第1図に本実証開発で構築したシステムの構成図を示す。破線内が当社の製作担当範囲である。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 EDLC制御方式による周波数変動補償応答特性の比較

第3図に、時刻0で人為的に太陽電池アレイからPCSへの直流入力MCCB（Molded Case Circuit-Breaker）を開放して、約30kWのPV出力急減を発生させた際のEDLCとMHの出力及び周波数の時間変化を示す。第3図(a)は $\Delta P$ 制御でのEDLC出力、第3図(b)は $\Delta P + \Delta f$ 制御のEDLC出力である。なおEDLCの制御定数（出力変化率）は、文献(2)に示した最適値（ $\Delta P$ 制御では $0.7\text{kW/s}$ 、 $\Delta P + \Delta f$ 制御では $1.0\text{kW/s}$ ）を用いた。また、データは $0.1\text{ms}$ サンプリングで記録した電圧・電流瞬時値から $0.1\text{s}$ 平均値を算出したものである。

EDLCの出力を比較すると、 $\Delta P$ 制御では直線的に減少しているのに対して、 $\Delta P + \Delta f$ 制御においては出力が減少するに従いその傾きが緩やかとなる。その結果として、第3図(c)に示すように $\Delta P$ 制



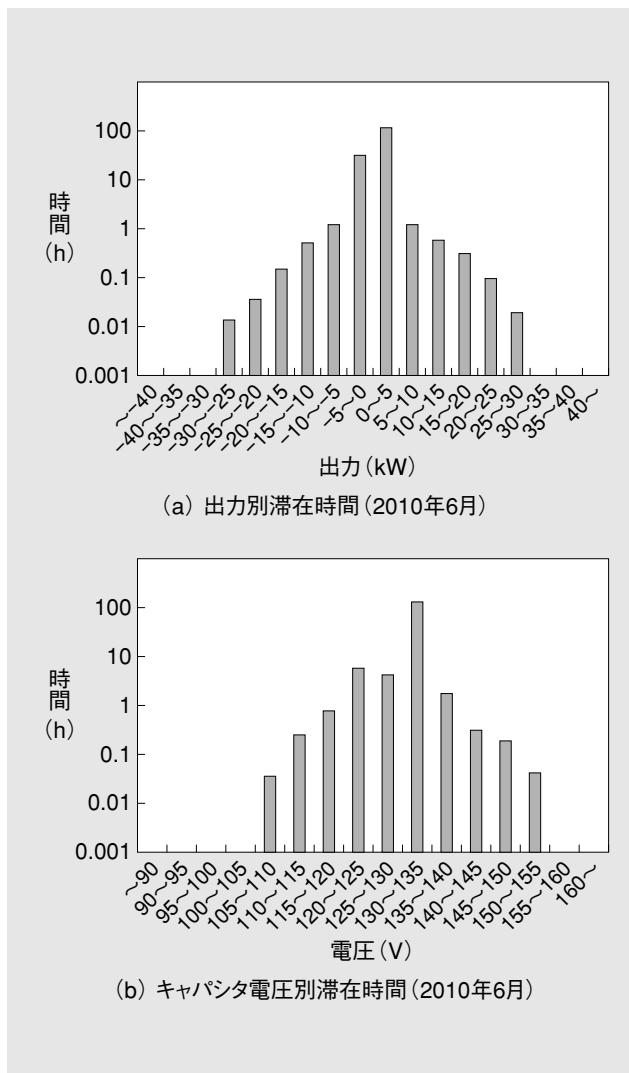
**第3図 PV出力急減時のEDLC・MH出力と周波数変動波形**  
人為的にPV出力を急減させた場合の $\Delta P$ 制御及び $\Delta P + \Delta f$ 制御によるEDLC・MH出力と周波数の時間変化を示す。

御の方がMHの負荷増加がやや大きくなり、周波数の低下も大きくなる(第3図(d))。また $\Delta P$ 制御では、EDLCが出力を絞る間ほぼ周波数は一定となるのに対して、 $\Delta P + \Delta f$ 制御においては周波数の回復がやや早く始まり、更に細かい周波数変動も抑制している。

また、負荷変動に起因する周波数変動も緩和するためには、EDLCの必要エネルギー量はやや大きくなるものの、 $\Delta P + \Delta f$ 制御が最も有効であると言える。なお $\Delta f$ 制御のみでは、PV出力変動発生直後の周波数が低下し始めた段階での応答はやや遅れるという課題がある。

**3.2 長期運転時のEDLC出力特性**

次に長期運転時のEDLC出力特性を把握するために、EDLCの出力及び電圧帯ごとの滞在時間を



**第4図 EDLCの出力別・電圧別滞在時間分布**  
EDLCの出力別及び電圧別滞在時間分布を示す。(a)は出力別、(b)は電圧別時間分布である。

評価した。なお、研究員が現地に赴いて人為的にPVの入り切りなどを実施している期間については、実際のPV出力変動よりも過大な変動に対してEDLCが動作していることから、ここでは人為的な出力操作のない2010年6月の1か月間を対象とした。なお、EDLCの制御方式は $\Delta P$ 制御である。

第4図(a)に出力別滞在時間を示す。2010年6月においては、自然なPV出力変動に対して最大30kWの範囲で充放電を行った。一方、充放電5kW以内の出力状態が全体の90%近くを占めた。なお、同じく研究員による人為的な試験を行わなかった8月においても同様の結果であった。

第4図(b)にEDLC電圧別滞在時間を示す。EDLCはPVの出力変動がない状態では133Vを維持しようとするため、130~135Vの滞在率が全体の

98%以上を占める。また分布としては105～155Vの範囲であり、EDLCの運転可能範囲である90～160Vに対してエネルギーとして約75%を使用したことになる。

出力・電圧ともに設計値に対して若干マージンがあるが、評価期間が短いために最過酷な条件が発生していない可能性が高いと考えられ、また経年劣化によるEDLC容量の低減も想定されるために、今回の設計がおおむね妥当であると言える。

#### 4. む す び

ラオス国において、PV・MH・EDLCによる独立形のハイブリッド電力供給実証設備を構築し、周波数変動の緩和を目的とした複数のEDLC制御方式による実証試験データを取得し比較を行った。実証試験後の運用においては、PV出力変動と負荷変動の両者にバランス良く対応できる $\Delta P + \Delta f$ 制御を採用することとした。また、EDLCの出力特性を評価し、本実証研究における設備設計がおおむね妥当であることを確認した。

本実証研究の成果が、地球環境への負担の少ない未電化地域への電力供給方式の一つとなることを期待する。

なお、本稿はNEDOの委託による成果を紹介したものである。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

- (1) 植田ほか：「ラオスにおける太陽光・小水力・キャパシタハイブリッド電力供給プロジェクトー現地試運転結果速報」, 平成22年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 231, pp. 26-11～26-12, 2010. 9
- (2) 植田ほか：「ラオスにおけるハイブリッド電力供給プロジェクト実証試験」, 電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会, PE-11-002/PSE-11-019/SPC-11-056, 2011. 3
- (3) 植田ほか：「ラオスにおけるハイブリッド電力供給プロジェクト実証試験ーキャパシタ制御方式による周波数変動抑制効果の比較ー」, 平成23年電気学会産業応用部門大会, No. 1-11, pp. I-133～I-134, 2011. 9

#### 《執筆者紹介》



植田喜延 Yoshinobu Ueda  
電力品質ソリューションの開発・企画に従事



大藪俊司 Shyunji Oyabu  
水力発電のエンジニアリング業務に従事