

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21246045

研究課題名（和文） 新型二次電池を使用した革新的電力貯蔵システムの研究

研究課題名（英文） Study of an Innovative Energy Storage System

Using New Secondary Battery Modules

研究代表者

赤木 泰文（AKAGI HIROFUMI）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80126466

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、環境に優しい次世代電池電力貯蔵システムの基盤技術を確立することである。これは最新のリチウムイオン電池とカスケードPWMコンバータを電力変換回路に採用したシステム構成に特長がある。三相200V、10kW、20kWh実験システムを設計・製作し、安定した動作を確認し、さらに、我が国の高調波抑制ガイドラインを遵守できることを確認した。瞬時電圧低下時の運転継続性能をシミュレーションで詳細に検討し、安定した運転継続を実現できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this research is to establish the core technology of the next-generation environment-friendly battery energy storage system that is characterized by combing the latest Li-ion battery modules with a modular multilevel cascade converter. The three-phase experimental system rated at 200 V, 10 kW, and 20 kWh was designed, constructed, and tested to confirm and justify the operating principles and stable performance of the battery energy storage system. As a result, a total harmonic distortion (THD) value of the line (supply) current complies completely with the Japanese harmonic guidelines. In addition, stable ride-through capability of the so-called “voltage sag” was confirmed by computer simulation under various voltage sag conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2010年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2011年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2012年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			0
総計	29,900,000	8,970,000	38,870,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パワーエレクトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

風力や太陽光などの再生可能エネルギー

は、地球温暖化の防止に資する貴重な分散型エネルギー源であり、我が国の長期需給見通

しでは 2030 年までに電力供給の 10%相当の導入を目指している。その一方で、発電電力が変動する分散型電源を電力系統に大量に連系した場合、周波数の管理・維持だけでなく、火力発電などの集中型大規模電源の運用が困難になることが懸念されている。このため、再生可能エネルギーの導入推進には電池電力貯蔵システムの併設が必要不可欠である。

低圧小容量システムはノートパソコンなどに広く実用化されている。しかし高圧大容量システムについては、関西電力が 1980 年代後半に鉛電池を使用した電力貯蔵システムを二次変電所に設置し、昼間と夜間の電力平準化試験を行ったが、実用化には至らなかった。

近年、新型二次電池（ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、NAS 電池）を使用した大容量電力貯蔵システムの研究開発が行われている。しかし、これらのシステム構成は 1980 年代と同一であり、極言すればパワー半導体デバイスを最新の IGBT に、鉛電池を新型二次電池に置き換えただけであり、旧来のシステム構成や制御法を踏襲したものに過ぎない。最近のパワーエレクトロニクス技術やデジタル・アナログ信号処理技術の発展は目覚しく、新型二次電池を使用した革新的電力貯蔵システムの研究の重要性が指摘されている。

## 2. 研究の目的

上記の研究背景に鑑み、本研究の目的は、環境に優しい次世代電池電力貯蔵システムの基盤技術を確立することである。具体的には、カスケード PWM コンバータを電力変換回路に採用した電力貯蔵システムを開発する。これは大学の研究室で実験可能な最大容量である三相 200V、10kW、20kWh システムであり、その実現性・有効性を実験によって検証

する。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の項目に注力して研究を遂行した。

カスケード PWM コンバータを電力変換回路に採用した電池電力貯蔵システムの基本設計を行った。カスケード PWM コンバータの主回路構成は 1960 年代から知られていたが、単位コンバータ（コンバータセル）を数多く使用するため、注目されていなかった。カスケードコンバータの交流電圧制御には階段波変調（Staircase Modulation）とパルス幅変調（PWM: Pulse-Width Modulation）がある。階段波変調は電圧制御の精度が粗く、電池電力貯蔵システムには適用できない。これに対して PWM は、高精度の電圧制御が可能であるが、制御アルゴリズム（ソフトウェア）とそれを実現する制御回路（ハードウェア）が極めて複雑となり、パワーエレクトロニクスの専門家は「無効電力補償装置や電池電力貯蔵システムの電力変換回路にカスケード PWM コンバータは採用できない」と諦めていた。

研究代表者は 2006 年に、カスケード PWM コンバータを電力変換回路に採用した無効電力補償装置を設計・製作し、その有効性を実証した論文を世界に先駆けて発表した。

本研究は上記の研究成果を基礎として、カスケード PWM コンバータを電力変換回路に採用し、新型二次電池を使用した革新的電力貯蔵システムの基盤技術を確立することを目的としている。

次に、二次電池の SOC (State-Of-Charge : 電池残存量)を検出し、SOC の均一化制御（以下「SOC バランス制御」と呼ぶ）を開発した。これは SOC の運転範囲は実用限界の 15%~85% とし、電池モジュールの利用率の大幅な向上

を目指すものである。

続いて、上記の研究成果を踏まえて、大学の研究室で実験可能な最大容量である三相 200V, 10kW, 20kWh システムを設計・製作した。制御システムは本研究の根幹を成すものであり、最新の DSP と FPGA を併用したデジタル制御システムを開発した。製作した実験システムを用いて SOC バランス制御の有効性を確認し、電源電流の総合高調波歪率を 2.5%以下に抑制できることを実証した。

#### 4. 研究成果

図 1 は本研究で設計・製作した三相 200V, 10kW 実験システムの回路構成である。表 1 に実験定数と制御パラメータを示す。図 2 は実験に使用した 18 台のリチウムイオン電池モジュール (25.9V, 47.5Ah) の写真である。

本研究のマルチレベル電力変換器は単相ブリッジ変換器 (以下、ブリッジセルと略す) を基本単位としており、ブリッジセルの交流側を相毎に直列 (カスケード) 接続している。各ブリッジセルは、同一モジュール構造を採用している。

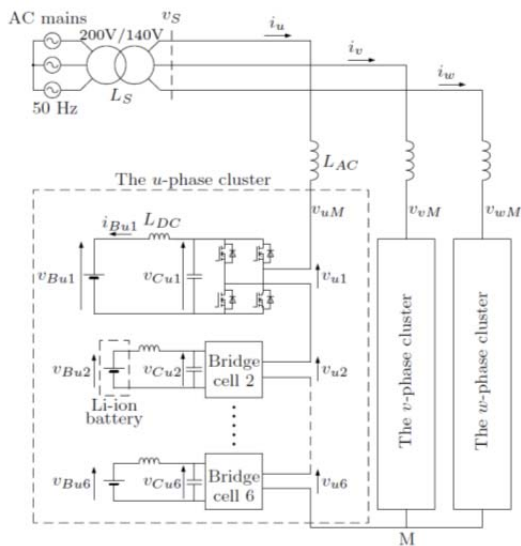


図 1 実験システム構成

表 1 実験定数と制御パラメータ

Nominal line-to-line rms voltage	$V_S$	140 V
Rated active power	$P$	10 kW
Cascade count per cluster	$N$	6
Background system inductance	$L_S$	0.10 mH (1.6%)
AC inductance	$L_{AC}$	0.33 mH (5.3%)
Li-ion battery nominal voltage	$V_B$	25.9 V
DC capacitance	$C$	47 mF
Unit capacitance constant	$H_C$	28 ms at 25.9 V
DC inductance	$L_{DC}$	0.5 mH
Unit inductance constant	$H_{LDC}$	0.4 ms at 30 A
PWM carrier frequency		1.75 kHz
Equivalent PWM carrier frequency		21 kHz
Dead time		4 $\mu$ s

on a three-phase, 140-V, 10-kW, 50-Hz base



図 2 実験に使用した 18 台 (=6×3 台) のリチウムイオン電池モジュール

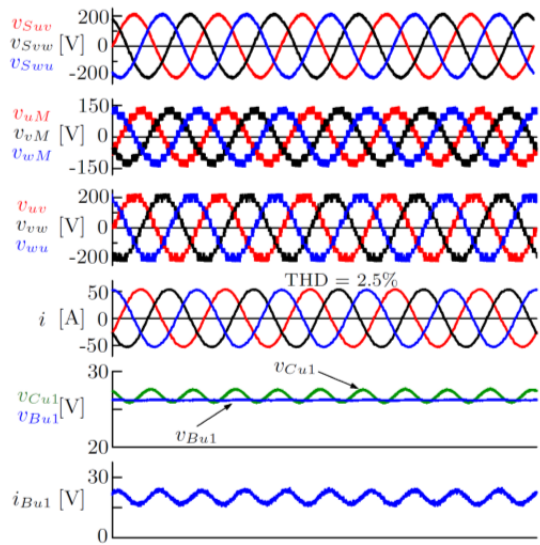


図 3 充電時の実験結果 (定常特性)

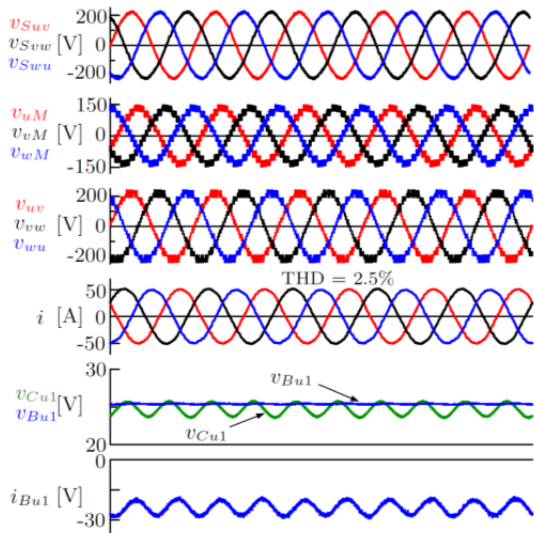


図4 放電時の実験結果 (定常特性)

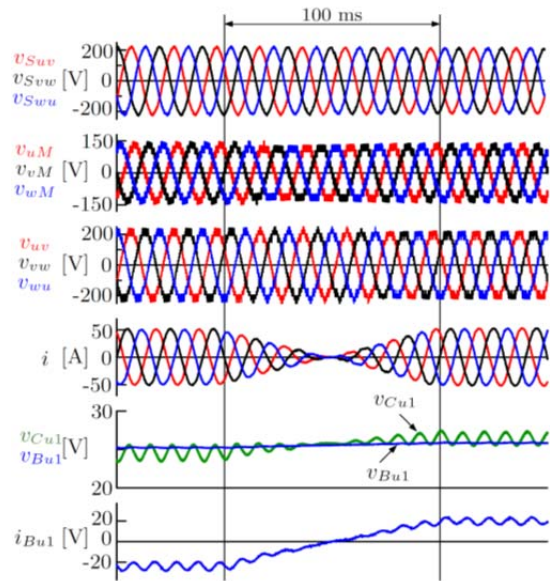


図5 過渡特性の実験結果

図3は定格充電動作 (+10kW), 図4は定格放電動作 (-10kW) の定常状態における実験波形である。電源電流  $i$  の総合高調波歪率は充電動作時と放電動作時ともに 2.5%である。従来の2レベル電力変換器は電源側に高調波フィルタを設置して高調波抑制ガイドラインを遵守していたが、本研究のマルチレベル (13レベル) 電力変換器では高調波フィ

ルタを設置することなく高調波抑制ガイドラインを余裕をもってクリアしている。

図5は、有効電力指令値を-10kW (定格放電動作) から+10kW (定格充電動作) にランプ上に変化 (100ms) させた場合の実験波形である。直流コンデンサ電圧は過渡時においても安定している。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1) Laxman Maharjan, Tsukasa Yamagishi, and Hirofumi Akagi, "Active-Power Control of Individual Converter Cells for a Battery Energy Storage System Based on a Multilevel Cascade PWM Converter," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 27, No. 3, pp. 1099-1107, 2012  
査読有 DOI 10.1109/TPEL.2010.2059045

[学会発表] (計2件)

1) 柴野勇士, 太田ジョン豊, 赤木泰文, 「モジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC-SSBC) を用いた電池電力貯蔵装置 (BESS) の実験的検討」平成25年電気学会全国大会 4-048, 2012.3.22, 名古屋大学 (愛知県)

2) 柴野勇士, 太田ジョン豊, 赤木泰文, 「モジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC-SSBC) を用いた位相シフト PWM STASTCOM - 瞬時電圧低下時の運転継続性能の実験的検討」電気学会半導体電力変換研究

会, SPC-13-012, 2012. 1. 25, 同志社大学 (奈良県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤木 泰文 (AKAGI HIROFUMI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号 : 80126466

### (2) 研究分担者

萩原 誠 (HAGIWARA MAKOTO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号 : 20436710

藤田 英明 (FUJITA HIDEAKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号 : 40238580

### (3) 連携研究者

なし