

小型蓄電システムの運用と評価

Construction and Operation of 10kW Electric Power Storage System

新井 努^{*1}
Tutomu Arai

藪本 俊昭^{*1}
Toshiaki Yabumoto

程塚 康明^{*1}
Yasuaki Hodotsuka

稲庭 克己^{*1}
Katsumi Inaniwa

熊谷 枝折^{*2}
Shiori Kumagai

伊藤 高之^{*3}
Takayuki Itou

Abstract

10kW electric energy storage system was constructed, along with high efficiency bi-directional inverter, incorporating 104 units of 50Ah-12V which were developed for and demonstrated as long-life deep-cycle-use battery.

The system has been operated in a typical cycle mode of 3.5hr discharge and 8hr charge for almost 3 years, keeping total energy efficiency of 74-75%. The batteries have kept voltage and internal resistance changes in very limited range.

1. はじめに

深夜電力や太陽など自然エネルギーを有効利用できる電力貯蔵システムの開発が進められている。このシステムの重要要素の1つは、長期間のサイクルユースに耐える蓄電池である。弊社では、先にサイクルユース用制御弁式長寿命鉛蓄電池：「FC50-12」を開発した¹⁾。高効率の双方向インバータと合わせて10kW蓄電システムを構築、約3年間運転を継続している。本報では、この間に得られた運転結果につき報告する。

研究開始の2年間は東北電力株式会社殿、東北電機製造殿との共同研究でシステム設計、実証試験、データ解析等を行った。



図1 FC50-12 外観
Fig.1 The appearance of FC50-12

2. システム構成

2.1 適用電池

サイクルユース用制御弁式長寿命鉛蓄電池

「FC50-12」104個(26直列、4並列)で構成した。

図1に外観写真、表1に主要諸元を示す。

表1 主な諸元
Table.1 Battery Specification

項目	仕様	
形式	FC50-12	
公称電圧 (V)	12	
定格10時間率容量 (Ah、25°C)	50/10HR	
サイクル寿命 (DOD ²⁾ 70%)	3000 サイクル	
質量エネルギー密度 (Wh/kg)	23	
体積エネルギー密度 (Wh/ℓ)	68	
自己放電率 (% / 日)	< 0.1	
外形寸法 (mm)	総高さ	220
	高さ	190
	長さ	363
	幅	128
質量 (kg)	26	

²⁾ DOD : Depth of discharge 放電深度
定格容量に対する放電電気量の比率 (%)

*1 技術開発部

*2 産業機器営業本部 東北支店

*3 東北電機製造株式会社 制御システムエンジニアリングセンター

2.2 インバータ

1台で充放電を可能とするため双方向インバータを適用した。外観を図2に、基本仕様を表2に示す。



図2 双方向インバータ
Fig.2 Bi-directional inverter

表2 インバータ基本仕様
Table.2 Inverter Specification

	項目	定格・仕様	記事
方式	主回路	自励式電圧形	—
	スイッチング方式	高周波PWM	—
連系運転モード時	定格出力 (kW)	10	—
	定格入力電圧 (V)	DC312	156セル 2.0V/セル
	入力運転電圧 (V) 範囲	DC281 ~ 382	156セル 1.80 ~ 2.45V/セル
	出力電気方式	三相3線式	—
	定格出力電圧 (V)	AC200	—
	定格周波数 (Hz)	50 or 60	—
	定格出力電流 (A)	AC28.9	—
	電力制御方式	定電力制御	—
	出力制御方式	電流制御形	—
充電運転モード時	出力容量 (kW)	DC9	公称値
	定格出力電圧 (V)	DC382	充電電流 0A 156セル 2.45V/セル
	定格出力電流 (A)	DC25	出力電流調整範囲 1 ~ 40A
	出力制御方式	電圧制御形	—

2.3 システム構成

図3にシステム構成、表3にシステム基本仕様を示す。

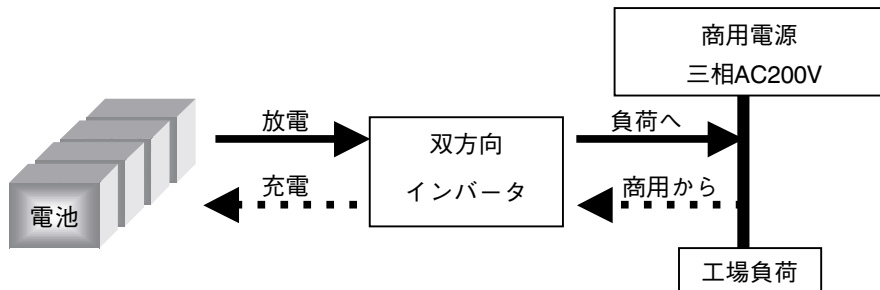


図3 システム構成
Fig.3 System Configuration

表3 システム基本仕様
Table.3 System Specification

項目	仕様
蓄電池	単位電池：FC50-12
	数量：104個 (26個直4並列)
	容量：200Ah
	電圧：DC312V
インバータ	10kW 双方向インバータ
負荷	工場内負荷 10kW

3. 評価・試験方法

3.1 計測箇所

図4に計測箇所を示す。

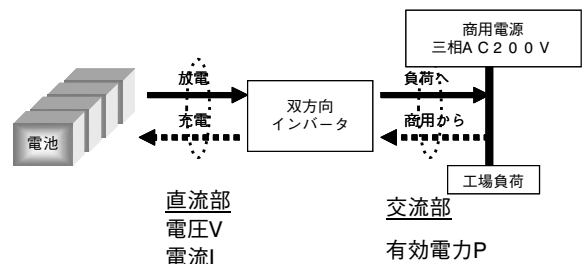


図4 計測箇所
Fig.4 Measurement points

※使用機器

- ・測定器 HIOKI パワーハイテスタ 3193
- ・AC 電流クランプ HIOKI 9271
- ・DC 電流クランプ HIOKI 9277
- ・記録計 横河電機 ダーウィン (サンプリングタイム 20 秒)

直流部で各電池電圧・電流、交流部で2電力法により有効電力を測定した。また電池温度、室内温度も測定した。

※昼間に蓄電池から工場内負荷へ電力を供給し、

夜間に商用電源から蓄電池に充電

※蓄電池は 26 個直列 4 並列構成

※単位電池は縦置き 28 個収納 (7 × 4) 架台に 26 個収納

※単位電池収納架台は 4 台構成

3.2 運転パターン

システム運転として

- ①タイマ制御によるスケジュール運転
- ②デマンドコントローラと組み合わせたピークカット運転

の2種類を行った。図5にスケジュール運転、図6にピークカット運転時の各運転パターンを示す。

通常は月曜日から金曜日の工場稼働日の昼間に連続 3.5 時間蓄電システムから工場内負荷へ電力を供給し、夜間に最大 8 時間充電するスケジュール運転を行った。また夏季の負荷が集中する時期は工場に既設のデマンドコントローラを使い、設定デマンド値超過を検出したら蓄電システムから工場内負荷へ電力を供給し、電力ピークを抑えるピークカット運転を行った。ピークカット運転は 1 日に合計 3.5 時間行い、スケジュール運転同様に夜間に充電を行った(図7)。

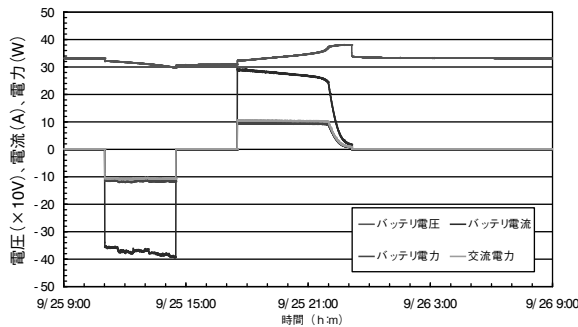


図5 スケジュール運転
Fig.5 Mode of schedule operation

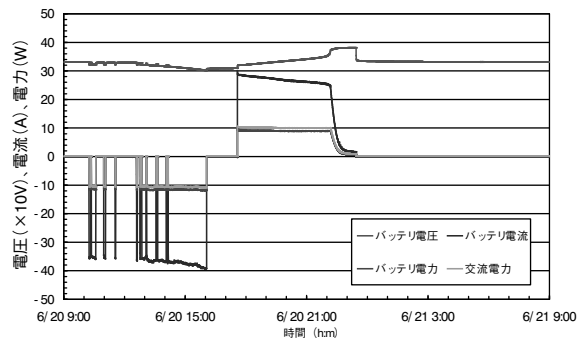


図6 ピークカット運転
Fig.6 Mode of peak-cut operation



図7 蓄電システム (針貝工場)
Fig.7 Electric power storage system (in HARIGAI Factory)

3.3 効率算出方法

本実証試験では3種類の効率を算出しシステム評価を行った。①交流部の有効電力Pから算出するシステム総合効率②インバータ効率、電池充放電効率から算出する総合効率A③インバータ効率、電池の充放電時の電圧効率と電流効率の積から算出する

総合効率 B。①をシステム全体の効率②を各部分の効率とし、③を参考値とした。以下に各効率算出方法を示す。

①システム充放電効率

$$\eta = \sum_{\text{放電時}} P / \sum_{\text{充電時}} P \times 100 (\%)$$

②総合効率 A

$$\eta = \eta_1 \times \eta_A \times \eta_2 \times 100 \times 100 (\%)$$

③総合効率 B

$$\eta = \eta_1 \times \eta_B \times \eta_2 \times 100 \times 100 (\%)$$

※ η_1 、 η_2 ：インバータ充放電効率算出

η_1 ：インバータ充電効率 (AC → DC)

充電時 $(I_{DC} \times V_{DC}) / P \times 100 (\%)$ の平均値

η_2 ：インバータ放電効率 (DC → AC)

充電時 $P / (I_{DC} \times V_{DC}) \times 100 (\%)$ の平均値

※ η_A 、 η_B ：電池充放電効率算出

η_A ：直流電力の充放電効率

$$\sum_{\text{放電時}} (I_{DC} \times V_{DC}) / \sum_{\text{充電時}} (I_{DC} \times V_{DC}) \times 100 (\%)$$

η_B ：電池の充放電時の電圧効率と電流効率の積

$$(V_{DC \text{ 放電時平均電圧}} \times \sum_{\text{放電時}} I_{DC}) / (V_{DC \text{ 充電時平均電圧}} \times \sum_{\text{充電時}} I_{DC}) \times 100 (\%)$$

4. データ解析

4.1 効率

スケジュール運転、ピークカット運転時のシステム充放電効率月平均値の推移を図 8 に示す。ピークカット運転は 2003 年 7 月に 1 ヶ月間のみ行った。

また表 4 に各運転パターンの測定データ一例を示す。試験時の蓄電池の放電状態は、図 5、図 6 から放電平均電流約 37A、放電量約 130Ah で、約 0.2C (= 37 / 200) 放電、DOD65% (= 130 / 200) である。また充電 Ah 量は約 101% で安定している。

図 8 に示すようにシステム充放電効率等は、運転パターンによる影響は認められず、また 2 年以上にわたり 74 ~ 75% で安定している。

特定曜日 (水曜日) のシステム充放電効率、各部分効率の推移を図 9 に示す。

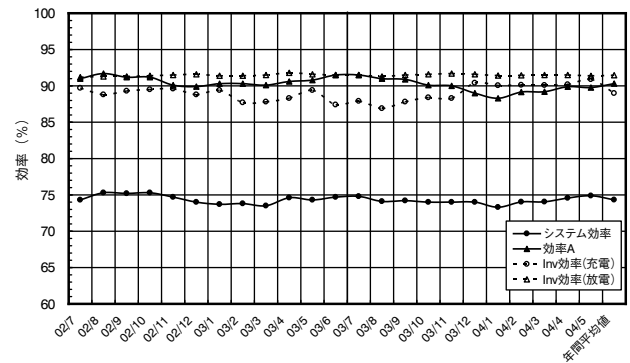


図 8 効率推移 (2002/7 ~ 2004/5)
Fig.8 Total Energy Efficiency (July 2002 ~ May 2004)

表 4 測定データ一例
Table.4 Measurement date (example)

項目	交流：kWh		システム充放電 効率%	直流：kWh		電池充放電 効率 A%	インバータ効率：%		総合効率 A%	
	充電	放電		充電	放電		充電	放電		
スケジュール運転	月	48.70	36.32	74.6	43.51	39.65	91.1	88.0	91.6	73.4
	火	48.48	36.43	75.1	43.51	39.77	91.8	87.9	91.6	73.9
	水	48.83	36.76	75.3	43.64	40.10	91.9	88.1	91.7	74.2
	木	48.21	36.11	74.9	43.04	39.44	91.6	86.7	91.6	72.8
	金	48.04	36.15	75.3	42.88	39.47	92.1	87.9	91.6	74.1
ピークカット運転	月	49.60	37.30	75.2	44.85	40.75	90.8	88.2	91.7	73.3
	火	49.36	36.90	74.8	44.08	40.30	91.4	88.2	91.6	73.8
	水	49.48	37.06	74.9	44.25	40.46	91.4	88.2	91.6	73.9
	木	49.62	37.10	74.8	44.30	40.53	91.5	88.0	91.5	73.7
	金	49.50	36.82	74.4	44.09	40.27	91.3	86.7	91.4	72.4

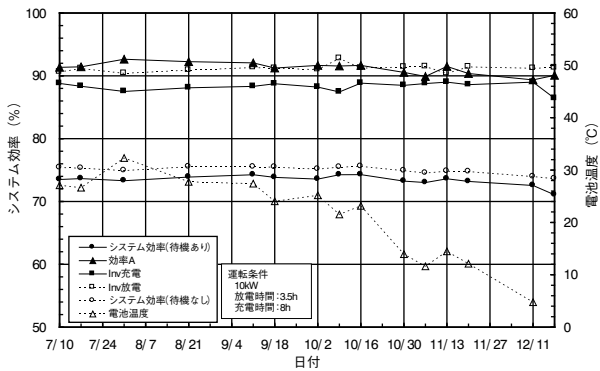


図9 効率の推移
Fig.9 Energy efficiencies measured every Wednesday

図8より、冬季に僅かながらシステム充放電効率が夏季に比べて低い、外気温が低下するためと推定される。システム充放電効率は効率A×インバータ充電効率×インバータ放電効率から算出されるため、電池温度低下によって効率Aが若干低下する。尚、効率Aは直流電力（蓄電池）の充放電効率である。効率Aと電池温度との関係を確認するため、強制的に電池室を加温し電池温度を高め、時系列的に電池温度が上がる状況で試験を行なった。結果を図10に示す。

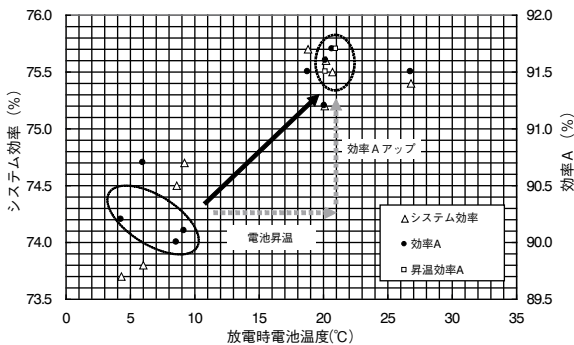


図10 季節による効率の変動
Fig.10 Efficiency vs battery temp

図10より電池温度上昇に伴い効率の改善が実証された。図8において春先にはシステム充放電効率が回復している。電池温度の変化が電池充放電効率を通じてシステム効率に影響することが確認できた。

ただし、約3年の運用試験を通じて、季節の電池温度影響による僅かな電池充放電効率（効率A）の変動はあるが、システム充放電効率は74～75%で安定している。

4.2 経時変化

実証試験開始後、定期的に蓄電池の各電池電圧、内部抵抗を測定した結果を図11、図12に示す。

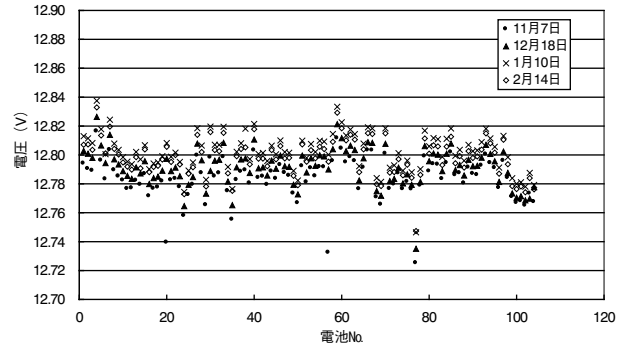


図11 単位電池電圧
Fig.11 Change of unit battery voltages

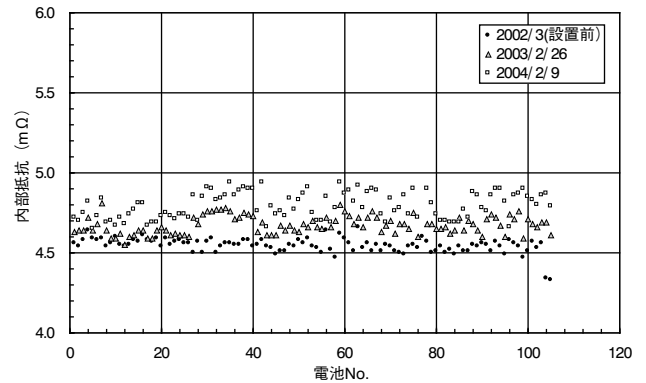


図12 単位電池内部抵抗
Fig.12 Change of unit battery internal resistances

本システムは単位電池26直列4並列で構成されている。単位電池間のばらつきを検証するため、充電終了時の開放電圧の測定を実施し、電圧ばらつきは小さく組電池として正常に動作していることが確認できた。

劣化に伴い内部抵抗が増加することが知られているが、初期値は平均で4.55mΩ、1年経過時4.67mΩ、2年経過時4.79mΩであった。若干増加傾向にはあるが、初期内部抵抗値の1.5～2.0倍が寿命期判定値と考えられるため、軽微な劣化程度であることがわかる。

5. まとめ

- ①10kW蓄電システムを製作し、約3年間の実証試験を行った。システム充放電効率は試験開始当初と変わらず74～75%で安定している。

- ②適用電池の寿命は3000サイクル以上（DOD70%；ただし継続中）であるので、蓄電システムは10年以上の寿命が期待できる。今後も本システムの運用を継続し組電池としての電池評価を進める。
- ③今後、製品化に向けた蓄電システムを、東北電機製造株式会社殿と一緒に構築する計画である。

6. 謝辞

小型蓄電システムのシステム設計、データ測定方法、運用評価にあたり、ご指導いただきました東北電力株式会社 研究開発センター殿に心から感謝申し上げます。

(参考文献)

- 1) 野口博正、菊池大介、高田利通、松本正幸、萬ヶ原徹、飯塚博幸、根兵靖之、FBテクニカルニュース、No.57 13 (2001)