

# レドックスフロー電池の 評価試験



中島 等\* 尋田 伸幸\*

レドックスフロー電池やNaS電池は負荷平準化を目的に開発された新型二次電池であるが、その用途にはいろいろな可能性が考えられる。特にレドックスフロー電池は、出力と電力量を別々に設計できるという特徴を持っている。そこでレドックスフロー電池のミニモデルをJR東日本研究開発センター内に設置し、鉄道施設への適用を検討するため評価試験を実施している。

●キーワード：環境、エネルギー、電力貯蔵

## 1 はじめに

地球温暖化防止のために、省エネルギーや環境に優しい新エネルギーへの取り組みが求められ、エネルギーに関する新しい技術開発が活発に行われている。JR東日本研究開発センターではこれらの新技術を適用した鉄道施設のための高効率供給システムの開発を目指している。

電気の使用量は昼夜で大きな格差があるが、電力需要の少ない夜間に電力を貯蔵し、需要の多い昼間に放電することにより平準化を図ることができる。このように負荷を平準化することにより、ピークにあわせて行う必要のある発電設備への投資が抑制され、電源構成上CO<sub>2</sub>発生量が比較的少ない夜間電力の活用によりCO<sub>2</sub>排出量も低減される。

レドックスフロー電池はこのような負荷平準化用途に開発された新型二次電池であるが、瞬時電圧低下補償機能（以下瞬低補償機能という）や非常用電源機能を持たせることも可能である。

従ってレドックスフロー電池を鉄道施設に導入することにより、夜間電力の活用によるCO<sub>2</sub>排出量低減への貢献とともに、最近、多くなった瞬低補償を必要とする重要負荷への電力の安定供給や、安価な夜間電力利用とピーク電力低減による電気料金の削減、受電設備や非常用発電設備への投資の抑制等といった効果が期待できる。また不安定な自然エネルギーである太陽光発電や風力発電と組み合わせることにより安定的な電源システムを構築できる可能性もある。

そこでJR東日本研究開発センター内に30kWのレドックスフ

ロー電池を設置し、充放電効率などの基本性能、設置方法やメンテナンス、信頼性等を評価するための試験を行っている。

## 2 レドックスフロー電池の原理と特徴

レドックスフロー電池の原理と構成を図1に示す。レドックスフロー電池は正負極の電解液としてバナジウムイオンを含む硫酸水溶液を用いる。正負極の電解液は各々、タンクに貯蔵されていて、ポンプによって配管を通じて電池セルとの間を循環させ、電池セル内では次式で表される反応が生じ、充放電が行われる。

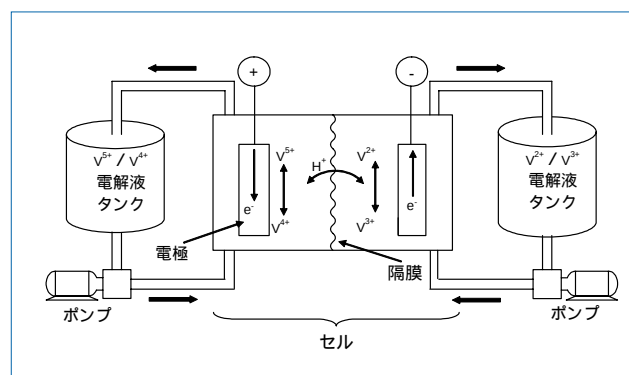
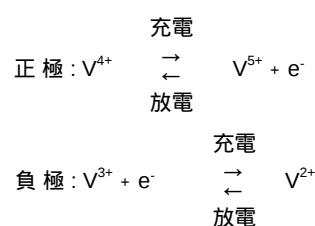


図1：レドックスフロー電池の原理と構成

電池セルの構造を図2に示す。イオン交換膜を挟んだカーボンフェルト内を正極と負極の電解液が通過することで反応が起こる。このセルが積層されてセルスタックを構成している。

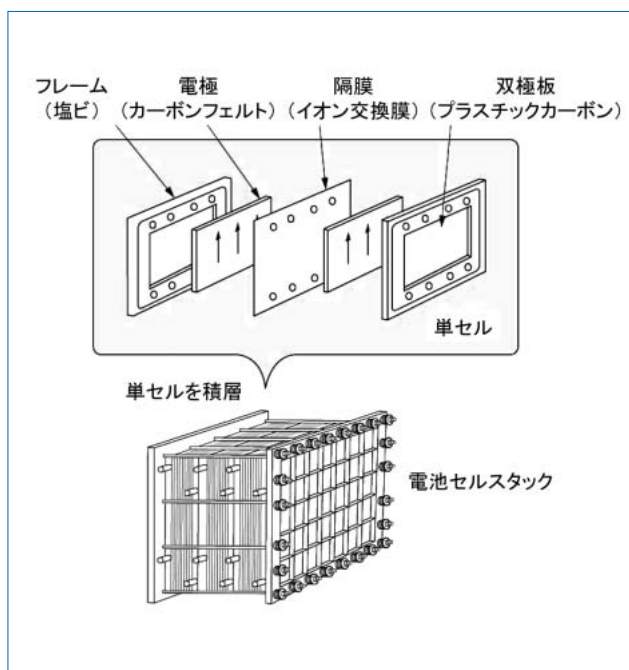


図2：セルスタックの構造

レドックスフロー電池には次の特徴があるといわれている。

(1) 原理が単純で長寿命である。

活物質として電解液中の金属イオンを用いており、電池反応が電解液中のイオンの価数変化のみであるため、固体活物質を使う場合のような活物質の脱落や電析などの寿命阻害要因が無い。また常温動作であるため温度による電池素材の劣化促進作用などが少ない。

(2) 設置レイアウトの設計が容易

電池出力（セル部）と電池容量（タンク部）が分離できる構造であるため、設置場所に応じたレイアウトやタンク形状の設定が可能である。また、出力、容量のそれぞれに対して容易に設計変更が可能である。

(3) 待機損失がなく起動が早い

充電された電解液は正・負極別々のタンクに貯蔵されるため、長期間停止しても自己放電がなく、また停止中の補機動力も不要である。

(4) 保守管理が容易

同じタンクから電解液が供給されるため、各電池セルの充電

状態は同一であり、均等充電などの特別な作業が不要である。また常温動作で電解液が比較的安全なため保守管理も容易である。

(5) 環境に優しい

CO<sub>2</sub>等の排気ガスを発生しない。また原子力発電所からの廃バナジウムが利用可能であり、電解液中のバナジウムは半永久的に利用できる。

また、最近では充放電の応答速度の速さや、短時間（～数分）の充放電に限れば、常用仕様の2倍以上の高出力で利用できる、という特徴も注目されている。

### 3 試験装置

JR東日本研究開発センター内に設置したレドックスフロー電池の概観を図3、仕様の概要、構成を図4に示す。試験装置は大宮変電所からの電源と低圧で系統連係し、負荷平準化機能と瞬低補償機能と非常用電源、それぞれの機能を持ったものとした。

高速スイッチは常時閉じており、夜間電力をレドックスフロー電池に貯蔵、昼間帯に放電し、負荷に供給する。系統側瞬低、停電時にはこのスイッチを高速で開放し、重要負荷に対しレドックスフローから供給する。また、電池側で重大な故障が発生した時に重要負荷に影響を与えないよう、故障発生時にはバイパス回路を投入後、電池系を切り離す連動となっている。

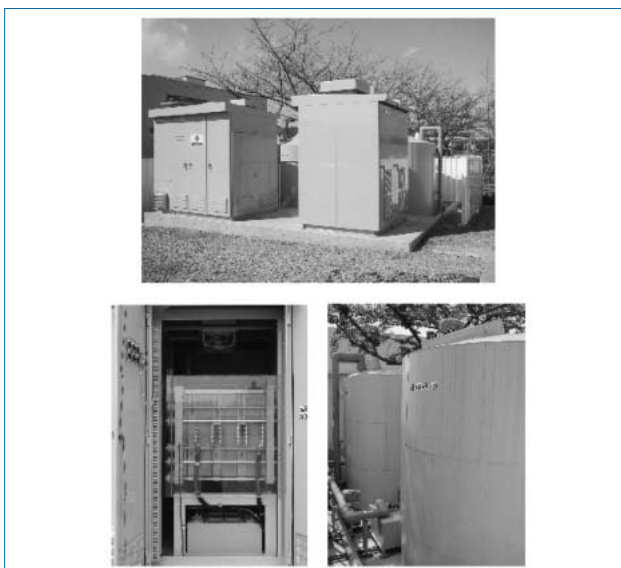


図3：試験装置（JR東日本研究開発センター内）

表1：試験装置の仕様

|          |        |                          |
|----------|--------|--------------------------|
| 電池セルスタック | 定格直流出力 | 34k W                    |
|          | 定格直流電圧 | 平均約 90V                  |
|          | 定格直流電流 | 平均約370A                  |
|          | 直流電圧   | 71~120V                  |
| 電解液      | タンク材質  | ポリエチレン                   |
|          | タンク容量  | 約 8 m <sup>3</sup> / 基×2 |
|          | 電解液    | 10m <sup>3</sup>         |
| 系統連系盤    | 定格容量   | 入力70k VA                 |
|          | 交直変換器盤 | 出力30k VA                 |

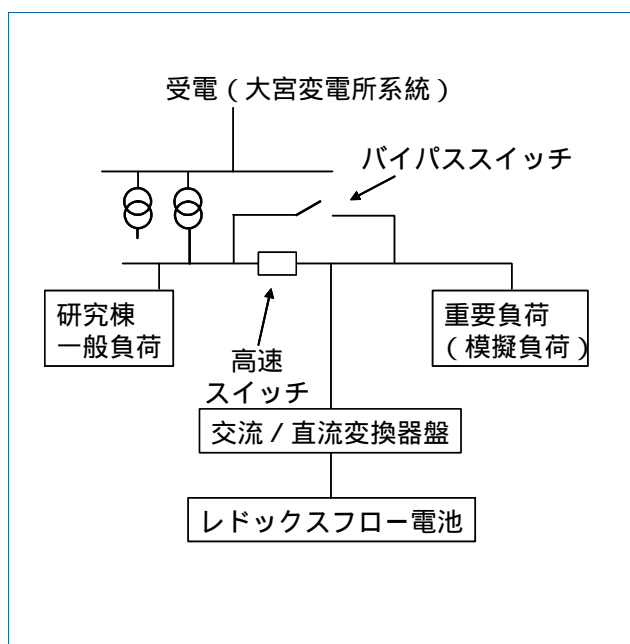


図4：試験装置の構成

## 4 評価

### 4.1 負荷平準化機能

運転はスケジュール制御で行い、カレンダーにより平日、休日等の運転パターンを設定する。平日1日の運転例を電池電力、電圧、電流の絶対値により図5に示す。このパターンでは深夜2300から充電した電力を昼間9:00~12:00の間に放電する設定としており、その間は瞬低補償に備えて待機状態となっている。

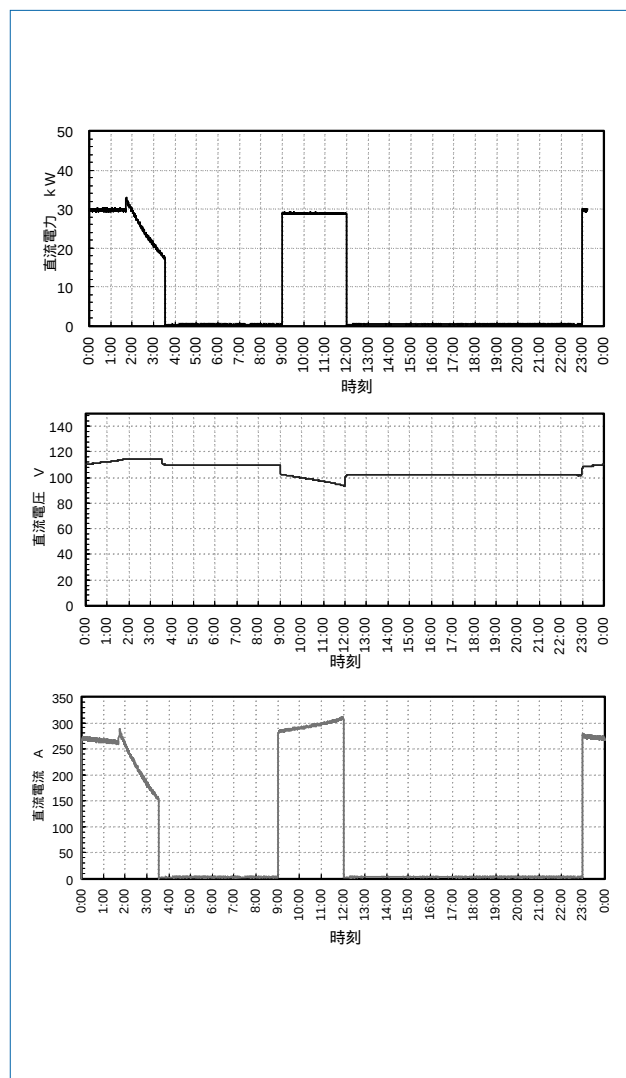


図5：1サイクルの運転記録（平日の運転例）

2300からの充電モードでは、当初は30kWの定電力で充電し、過充電を防ぐため、電池電圧が116Vに上昇したところで定電圧充電に移行し充電電流が150Aになったところで充電を終了する。9:00~12:00の放電モードでは30kWの定電力放電を行い、放電とともに電池電圧は低下する。充電と放電の間の待機モードでは、瞬低補償のため常時液を循環させるためにポンプを運転している。

このパターンで運転した1日の、充電電力量は168.1kWh、系統側に放電した電力量は68.9kWhであり、その比である総合効率は41%であった。その構成を図6に示す。

補機損失が27%と大きいのはポンプの運転によるものが大きい。これは全体のシステム（容量）が小さいことにより相対的に

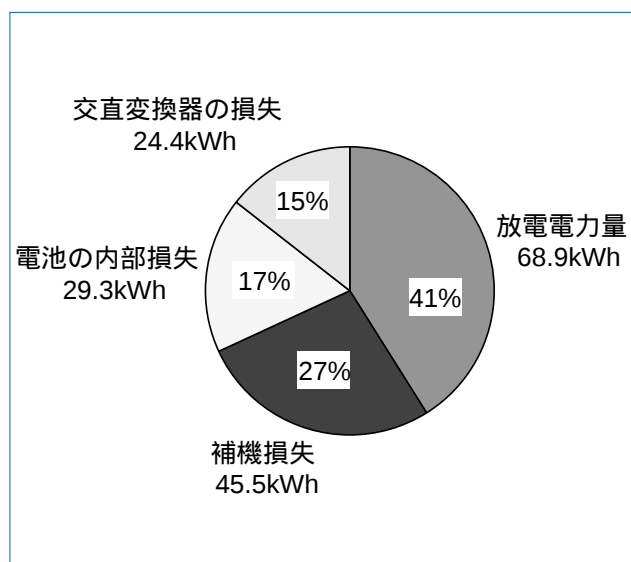


図 6：放電電力量と損失の構成

損失が大きく見えることもあるが、瞬低補償機能を持たせることにより、負荷平準化用では充放電時のみ運転すればいいポンプを瞬低時に備えて常時運転していなければならず、この損失が大きくなっていることも原因である。また、交直変換器の損失が15%あるが、これは本システムがミニモデルであるためで大型のシステムでは10%程度低い値となることわがわっている。

#### 4.2 瞬低補償機能

系統側に瞬低や停電が発生した時には高速スイッチを開放し、重要負荷に対して系統の停電の影響を受けることなく自立運転により電力の供給を行う。

系統復電時には60sec後に系統と同期をとって高速スイッチを投入する。充電、放電、待機各モードにおいてこれらの機能についての試験を行った。図7にその一例として充電モード時に系統が停電し、自立運転に移行して30kVAの負荷に対し放電を開始した時の各電圧、電流波形を示す。また、図8に系統が復電し60sec後に自立運転から待機モードに移行した時の波形を示す。それぞれのモードにおいて5msec以内に切替が終了していることが確認された。ただし、この切替速度は電力変換器に依存している。

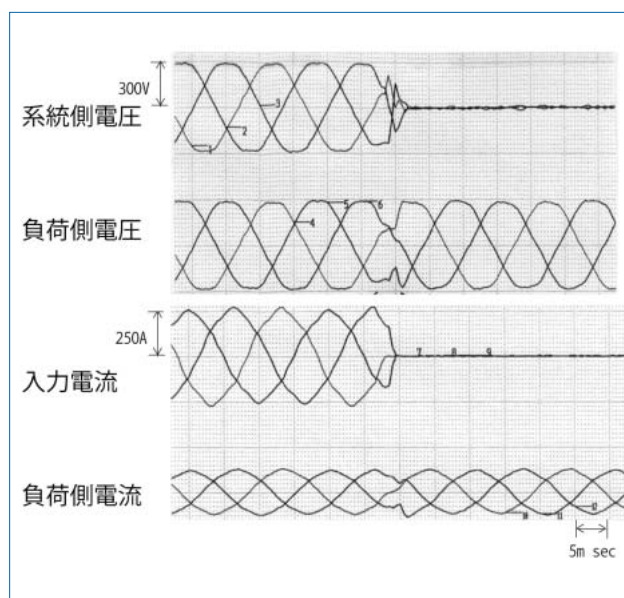


図 7：充電モードから自立運転への切替

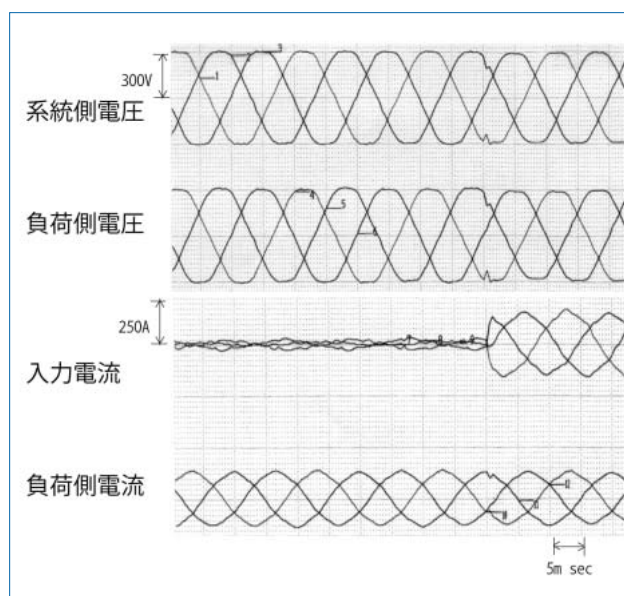


図 8：自立運転から待機モードへの切替

#### 4.3 非常用電源機能

非常用電源に必要な機能として、必要な電源容量が確保されていることと、常時その確認がされていることが必要である。レドックスフロー電池の充電量と無負荷電圧はほぼ比例するため、負荷に接続しないセル（モニタセル）に電解液を流し電圧を測定することにより充電量を把握している。そこで負荷平準化機能や瞬低補償機能に必要な電力量の他に非常用電力量を加え、非常用電力量を常時確保しておくように制御する

ことにより非常用電源とすることが可能である。また、消防法上必要とされる非常電源としての使用も認められている例もある。

#### 4.4 設置方法、メンテナンス

##### (1) レイアウト

タンクはゴム製にすることも可能でありビルのデッドスペースなどに形を合わせて設置可能であるが、タンク設置箇所には液漏れ防止のため耐酸塗装を施した防液堤が必要である。鉄道施設に適用する場合、屋外設置の可能性が高いが、タンクを屋外設置した場合には防液堤に雨水が溜まることを防ぐために排水設備が必要である。(排水ポンプ稼動中に液漏れが発生した場合には排水ポンプを停止するため、センサにより排水の導電率を測定している。)

また、電池セル部とタンク部が分離でき、レイアウトは自由ではあるが、この距離を長くすることは配管、直流主回路が長くなることから工事費や損失の面から好ましくないと考えられる。

##### (2) 系統連系

容量が一定以上になると高圧連系とした方がコスト上有利である。系統連系は「系統連系技術要件ガイドライン」、「高調波抑制対策ガイドライン」に留意する。

##### (3) メンテナンス

メンテナンスとしては、補機のポンプやファンを一定期間毎に行う必要があるが、電池本体は構造が単純であることから、半年以上の運転の間、故障は一度も発生しておらず、手のかからない設備といえる。

## 5 まとめ

新技術であるレドックスフロー電池のミニモデルを設置し、機能、設置方法、メンテナンス方法について評価試験を行った。レドックスフロー電池本体のみをみると単純な構造で電池効率もよいが、瞬低補償の機能を持たせた場合や、運転パターン等により効率は大きく変化すること、また、各種特性は交直変換器に大きく依存することなどが確認された。

現在、鉄道施設の負荷特性を調査中であり、昼夜の電力量に大きな差のある車両工場への導入が効果的であると考えら

れるが(図9)、今回の結果をもとに負荷実態や用途をよく調査して、運転パターンやシステム構築をすることが必要である。

なお、本研究は千歳電気工業株式会社との共同研究として実施している。試験設備は今後も継続して運転し、効率の変化等を検証する予定である。

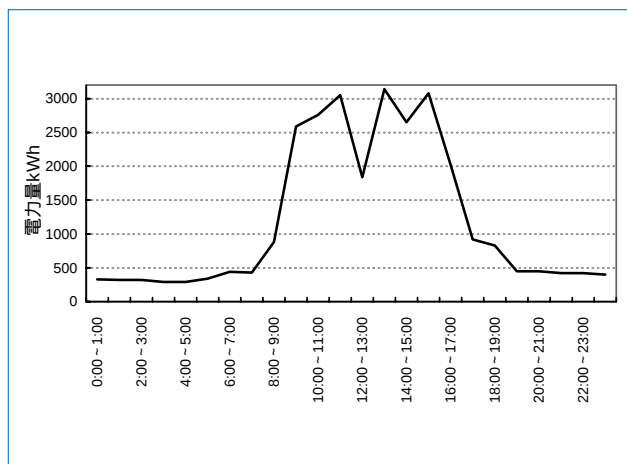


図9：車両工場の日負荷曲線

#### 参考文献

- 1) 佐藤 寛：レドックスフロー電池の各種用途への適用、建設設備と配管工事、pp.61～66, 2002.3