



レドックスフロー電池 最近の開発動向

Recent Development Trends of Redox Flow Batteries

重松 敏夫

Toshio Shigematsu

地球温暖化の進展に伴い、太陽光・風力を初めとする再生可能エネルギーの導入が推進され、電力系統安定化対策として大容量蓄電池の導入が重要になっている。レドックスフロー（RF）電池は、こうした蓄電池の1種であり、活物質*1を含む水溶液中のイオンの酸化還元（レドックス）反応*2によって充電および放電を行う蓄電池である。大容量化に適し、長寿命で安全性が高いことなどの優れた特長を有している。当社では、1985年からRF電池の開発に着手し、これまでに約30件の納入実績がある。世界的な動きとして、特に2010年頃から米国、欧州、中国等で開発が活発に進められるようになり、最近では、有機化合物を使う新規な電解液などの報告も多く見られる。本稿では、RF電池の開発経緯、大容量システムの実証状況、最近の開発動向を紹介する。

Along with the progress of global warming, the introduction of renewable energy sources such as solar and wind power has been promoted, and large-capacity energy storage batteries have become important as a measure to stabilize electric power systems. A redox flow battery (RFB) is one of such batteries. It is charged and discharged by a redox reaction of ions in an aqueous solution containing an active material. The RFB is suitable for large capacity storage and has excellent features such as long life and high safety. We began developing RFBs in 1985 and have delivered approximately 30 units. As a global trend, research and development have been actively promoted particularly in the United States, Europe, and China since around 2010, and recently, there have been many reports on new electrolytes using organic compounds. This paper introduces the development history of RFBs, the demonstration state of large capacity systems, and the recent development trends.

キーワード：再生可能エネルギー、電力系統安定化、電力貯蔵、蓄電池、レドックスフロー電池

1. 緒言

近年、世界的に再生可能エネルギーの導入が推進され、電力系統安定化対策として大容量蓄電池の導入が重要になっている。RF電池は、大容量化に適し、長寿命で安全性が高いことなどの優れた特長を有している。バナジウム（V）系電解液を用いたRF電池は、すでに世界中で実証試験や実運用が進められている。北海道電力で運用されている15MW×4h容量のRF電池システムは世界的にも最大級の規模である。

一方で、RF電池の本格導入が進展するには、経済合理性の観点からコスト低減が重要な課題である。現在、RF電池の研究開発は米国を初めとして世界的に非常に活発化している。本稿では、RF電池の大容量システムの実証状況と最近の開発動向について紹介する。

2. レドックスフロー電池の原理と特徴

V系電解液を用いたRF電池の原理を図1に示す。電解液は正負の外部タンクに貯蔵され、充電および放電の際には、ポンプによってセルへと循環され、下記の反応に従って酸化還元反応が行われる。測定される起電力は約1.4Vである。



電池容量（kWh）はタンク内のV量で決まり、電池出力（kW）は、セルの大きさ（面積×セル数）で決まる。出力と容量を独立に設計できるため用途に応じた最適設計が可能である。運用面では、充放電中においても電解液電位の測定により正確に充電状態を把握できる利便性があり、電

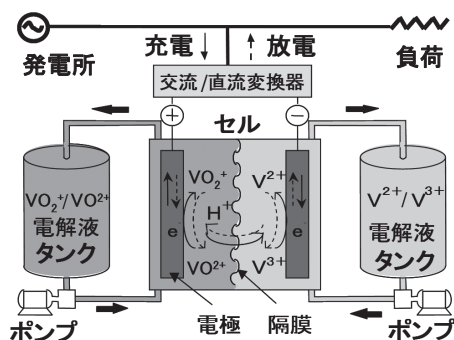


図1 RF電池の原理・構成

池反応はイオン価数の変化のみであり原理的には充放電サイクル数の制限がない。また電解液は半永久的に使用できるためライフサイクルコストは小さく、長時間容量のシステムになるほどkWhコストは低減する。

安全面では、電解液は常温で使用される水溶液であり発火などの危険性は小さく設置上の制約もほとんどない。一方で、水溶液の溶解度制約のため他電池に比べるとエネルギー密度が比較的小さいことが欠点である。

RF電池は、このように他電池と比べてユニークな特徴を有しており、蓄電池に要求される多様な要求に対して最適に設計対応することができる。RF電池システムを設計する際には、これらの特徴、特性を理解しておくことが重要である。

3. 開発の経緯

電池外部からエネルギー源となる物質を供給して発電する電池を燃料電池と呼び、化学的あるいは電気的に充電できるものを再生型燃料電池という。RF電池は再生型燃料電池の一種であり、研究の歴史は非常に古いが、RF電池システムとしての原理提案がされたのは、1974年の米国NASAのL. H. Thallerが最初である⁽¹⁾。日本でもほぼ同時期に産業技術総合研究所（産総研）の野崎らによってFe/Cr系を初めとする基礎研究がスタートしている⁽²⁾。その後、1985年頃に、オーストラリアのNSW（New South Wales）大学のSkyllas-Kazacos教授が発明したV/V系⁽³⁾の出現によってRF電池の性能は飛躍的に向上し実用化へと進んだ。

1980年頃、日本では昼夜間の電力需要差が課題となっていた。電力負荷平準化を目的に揚水発電を代替する大容量蓄電池を開発する国家プロジェクトが始まり、RF電池を初めとする4種類の蓄電池（Fe/Cr, Zn/Br, Zn/Cl, NaS）の開発が進められた。併行して、電力会社と電池メーカーとの共同開発も行われた。当社は、2001年にV系RF電池を製品化した。この時期には、電力事情も変化し、電力会社に大容量蓄電池を設置するのではなく、需要家に分散して設置された。需要家は安価な夜間電力を貯蔵し昼間ピーク時に放電させることで電気料金メリットを得て、電力会社は負荷を平準化するメリットを得た。

その後、地球温暖化対策として世界的に再生可能エネルギーの導入が推進されるようになると、電力系統安定化対策として大容量蓄電池の導入が重要になった。2010年頃から、米国や中国を中心に急速に研究が活発化した。

米国では、2009年の「米国復興・再投資法」ARRA（The American Recovery and Reinvestment Act）の成立に伴って、再生可能エネルギー等への投資が促進され、RF電池等のエネルギー貯蔵技術開発にエネルギー省（DOE）から多額の支援が実施されている。2010年に米国カリフォルニアで州法AB2514が制定され、電力会社に2020年までに1.3GW相当の電力貯蔵技術を導入する目標が設定され、2

年ごとに調達が進められている。欧州では、2010年6月にRF電池に特化した学会IFBF（International Flow Battery Forum）が発足し、毎年盛況に開催されている。こうした活発な動きを受け、2014年にはRF電池に関する論文発表数は年間400報を超えるまでになっている（表1参照）。

表1 RF電池開発の歴史

・ 1949 Kangro (独特特許) Ti/Fe 等
・ 1974 Battelle Cr/Cr, Fe/Cr, V, Mo, Mn等
・ 1974 NASA RF電池の原理発表、米基本特許（'75出願） ・ Fe/Cr系1kW（'78） Final Report（'84） [Lawrence H. Thaller] 産総研（当時、電総研）研究開発スタート [野崎健、他]
・ 1980 NEDO（ムーンライト計画）「新型電池電力貯蔵システム」発足 ・ RF（電総研/三井造船）NAS（ユアサ）Zn/Br（明電舎）Zn/Cl2（古河電工） ・ 産総研 Fe/Cr系1kW×4h（'82）→三井造船 60kW×8h（'84～'87） NEDO（サンシャイン計画）太陽光発電用として研究（産総研、荏原製作所）
・ 1985 当社-関西電力 Fe/Cr系60kW×8h（'89）、V系450kW×2h（'96） 豪NSW大学 V系RF電池発表 基本特許（'86出願） [Prof. Maria Kazacos]
・ 1989 鹿島北共同発電-産総研 煤からのV利用研究としてV系RFを開発 ・ V系 1kW（荏原：'90） 10kW（三井：'91） 200kW（鹿島北：'97）
・ 1998 産総研-鹿島北 10kWレドックススーパーキャパシター（液静型止型）車載試験
・ 2001 当社 V系RF電池を実用化（数百kW級：負荷平準化、瞬低補償、非常用等） NEDO/SEI 風力用として検証 170kW×6h（'00）→6MW×1.5h（'05）
・ 2009 米国にてARRA「米国復興・再投資法」成立に伴いDOEが支援しRF電池開発活発化 カリフォルニア州で電力会社に2020年までに1.3GWの電力貯蔵を義務づけ（AB2514）
・ 2010 レドックスフロー電池に特化した学会IFBFが発足（欧州）
・ 2015 経産省 蓄電池実証 北海道電力にてRF電池運転開始（15MW×4h）
・ 2016 電気化学会 電力貯蔵技術研究会 レドックス系エネルギー技術研究WG発足

4. RF電池の実績

当社では、工場、電力会社等での実用設備、実証設備および国家プロジェクトでの試験設備等を含めて、これまでに約30件の設置実績がある（表2参照）。

電力系統で運用されている大容量設備としては、経済産業省の実証事業として北海道電力に設置された15MW/60MWhの設備がある⁽⁴⁾。また、NEDO事業とし

表2 RF電池システムの実績

	設置先	用途	出力、容量	竣工
1	オフィスビル	負荷平準化	100kW × 8h	2000
2	電力会社	研究、実証	200kW × 8h	
3	NEDO	風力発電出力平滑化検証（単基）	170kW × 6h	
4	建設会社	研究開発（太陽光とのハイブリッド）	30kW × 8h	2001
5	工場	瞬低補償、ピークカット	3MW × 1.5sec, 1.5MW × 1h	
6	電力会社	瞬低補償、ピークカット	250kW × 2h	
7	大学	負荷平準化、ピークカット	500kW × 10h	
8	研究所	負荷平準化	42kW × 2h	2003
9	電力会社	研究開発	100kW × 1h	
10	オフィスビル	負荷平準化	120kW × 8h	
11	鉄道会社	瞬低補償、負荷平準化	30kW × 3h	
12	オフィスビル	研究開発	100kW × 2h	2004
13	データセンター	瞬低補償、非常用電源	300kW × 4h	
14	研究所	負荷平準化	170kW × 8h	
15	オフィスビル	負荷平準化、非常用電源	100kW × 8h	
16	大学	負荷平準化、非常用電源	125kW × 8h	2005
17	博物館	負荷平準化、非常用電源	120kW × 8h	
18	電力会社	研究開発（太陽光とのハイブリッド）	100kW × 4h	
19	NEDO	風力発電出力平滑化検証（ウインドファーム）	4MW × 1.5h	2011
20	住友電工社内	実証設備（直流マイクログリッド）	2kW×5h	
21	住友電工社内	実証設備（太陽光発電併設検証）	1MW × 5h	2012
22	電力会社	実証設備（マイクログリッド）	2kW × 5h	
23	建設会社	実証設備（マイクログリッド）	500kW × 6h	2015
24	電力会社	実証設備（系統運用）	15MW × 4h	
25	住友電工社内	実証設備（需要家設置運用）	300kW × 4h	2016
26	電力会社	実証設備（マイクログリッド）	125kW × 6h	
27	電力会社	実証設備（系統運用）	200kW × 4h	

て北米カリフォルニア州の電力会社で2MW/8MWhの設備が稼働している⁽⁵⁾。

電力システムでは、周波数や電圧を維持するために、秒～分オーダの短周期出力変動や時間オーダの長周期出力変動を調整する必要がある。RF電池は長時間容量にも適しており、いずれにも対応可能な設計にすることができる。

(1) 北海道電力で運用中のRF電池システム [15MW×4h]

設備の外観を写真1に示す。定格出力は15MWであるが、短周期変動に対しては、定格の2倍となる30MWの運用が可能である。2015年12月の運転開始から3年間にわたり実証試験が行われた。システム用蓄電池としての制御・運転技術の開発や性能・保守性等の評価が実施された。制御手法には、短周期および長周期の変動抑制制御、これらを合わせたハイブリッド制御、余剰電力回避のための下げ代不足対策運転などがある。

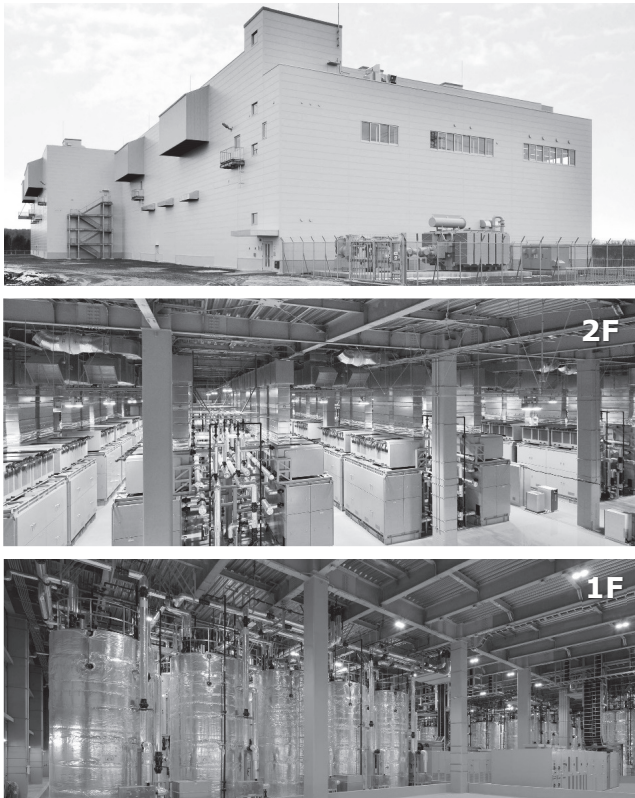


写真1 60MWh RF電池システム

図2は、短周期変動抑制制御の試験例であり、周波数偏差の抑制効果が確認されている。この設備は、3年間の実証試験を終了し、現在は実設備として運用されている。現在に至るまで、ほぼ連続で運用されているが、図3に性能変化の推移を示すように、電池の放電容量やシステム効率

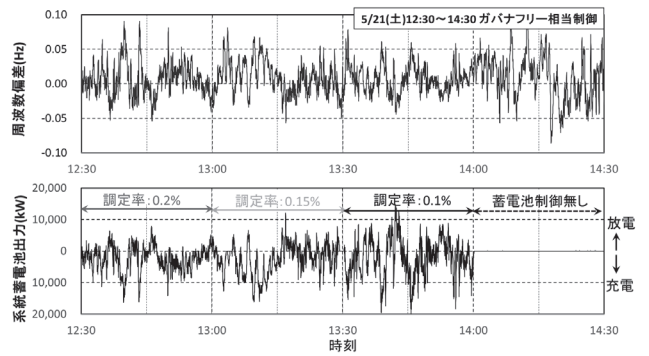


図2 ガバナフリー相当制御の試験結果例

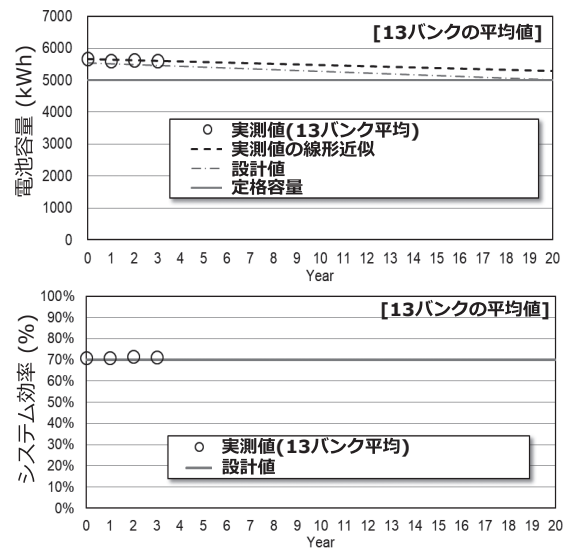


図3 RF電池システムの性能変化

に顕著な変化は見られず、設計寿命20年の耐久性が検証されつつあると考えられる。

(2) 米国カリフォルニア州のRF電池システム [2MW×4h]

米国カリフォルニア州では、太陽光発電の導入が進み、昼間の負荷が落込み、電力負荷カーブはその形状からダックカーブと称されている。システム運用面からは次の課題がある。①朝夕の数時間の急激な需要変動、②昼間の余剰電力の夜間ピーク時へのシフト、③配電網における短時間の電力品質対策（電圧調整）

このNEDO事業の目的は、配電システムだけでなく、送電系電力卸売市場での取引も含めて多目的かつ複合用途の運用実証を行い、その経済性を評価することにある。2017年3月に運転が開始されている。図4にシステム外観、図5に実証運転の概念図を示す。

第1段階（2017/3～）では、配電網にて、電圧調整・余剰電力対応などの複合的運転を行いながら蓄電池の基礎特性や信頼性の評価が行われた。第2段階（2018/12～）で

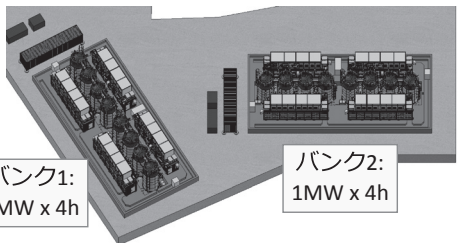


図4 8MWh RF電池システム

としては、金属系に加えて有機系も候補となり、活物質を溶解する溶媒にも水溶液系と有機系が考えられている。

1970年代にNASAや産総研においてFe/Cr系を初めてする金属イオンについて基礎研究が始められた。日本では1980年代にFe/Cr、Zn/Br、Zn/Clの3種類のRF電池が開発された。負極に亜鉛を使う系には、他にもZn/Ce、Zn/Fe等がある。正負で同一活物質の系にはFe/Fe系がある。また英国で大規模に開発が進められた特徴のあるレドックス系としてRegenesysと呼ばれるNa/Br系がある。

現在、世界的に主流となっているのはV/V系である。V/V系は正負の活物質が同一のため隔膜を通じた混合による電池容量低下が生じないことや副反応が少ないこと等の利点がある。

最近、特に活発に研究されているのは有機化合物を使うレドックス系である⁽⁶⁾。2014年にNature⁽⁷⁾、2015年にScienceにハーバード大学のAziz教授のグループから発表された論文が注目を集めた。これまでの金属イオンに代わり有機化合物であるアントラキノン類を負極活物質に用いている。図6に充放電反応を示すが、アントラキノンのレドックス反応は可逆で安定であり、電子移動が速く、植物由来の安全なレドックス系として、将来、低コストに製造できると報告されている。キノンを適用した研究例は米国の南カリフォルニア大学やスペイン等からも報告されている。

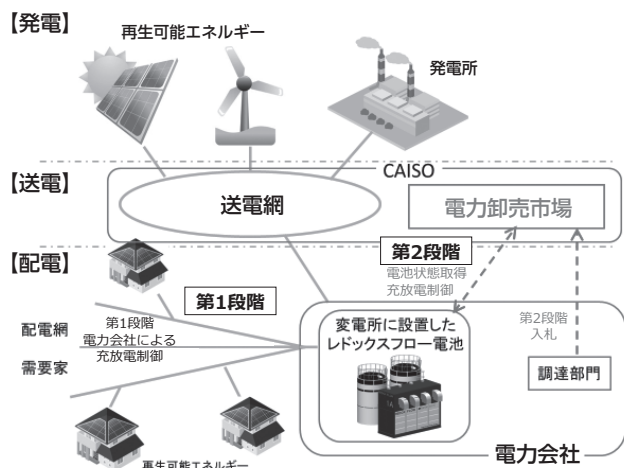


図5 米国での実証運転の概念図

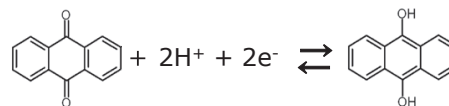


図6 アントラキノンのレドックス反応

は、CAISO（カリフォルニア独立系統運用者）が開設する電力卸売市場での電力取引が始まっている。今後、周波数調整等のアンシラリーサービス市場やエネルギー取引市場等で複数の取引を柔軟に組合せ、季節や時間帯に応じて最も収益が見込める運用手法が検証される。

5. 最近の開発動向

RF電池システムは大別すると、電解液、セルスタック、循環システムから構成される。ここでは、電解液とセルスタックの開発動向を紹介する。

5-1 電解液（レドックス系）

電解液は、起電力、溶解度が大きく、安全で安価であることが望まれる。水溶液系では水の分解に伴う水素発生や酸素発生副反応が少ないことが好ましい。レドックス系

その他、キノン類と同様に、有機化合物であるTEMPOやメチルピオローゲンを活物質として用いる例もあり、正負極とも有機化合物による水系RF電池として報告されている⁽⁸⁾。この電池は電解質が中性の塩化ナトリウムであり安全性も高いとされている。

活物質を電解液に溶解させるのではなく、有機ポリマー微粒子の形態で分散させる検討もされている⁽⁹⁾。分子量の大きいポリマー微粒子を高濃度に分散できれば、低粘度で高エネルギー密度化できる可能性がある。隔膜を通じた正負活物質の混合が抑制できるため、安価な多孔膜の適用も考えられる。また、微粒子として、ポリマー以外にも活性炭とキノン類の複合体を用いる報告もある。

こうした有機レドックス系の報告によってこれまでの電池研究者以外からの興味を惹いているのも最近の特徴である。有機レドックス系は官能基の選択と導入によって電位

制御など分子設計の自由度が大きく、今後の大きな発展の可能性を秘めていると言える。

5-2 セルスタック

レドックス系が選択されると、この反応を効率良く生じさせるのがセルスタックの役割である。図7に示すように、一般に平板状の電極、隔膜、双極板の部材を積層した構造が採られる。

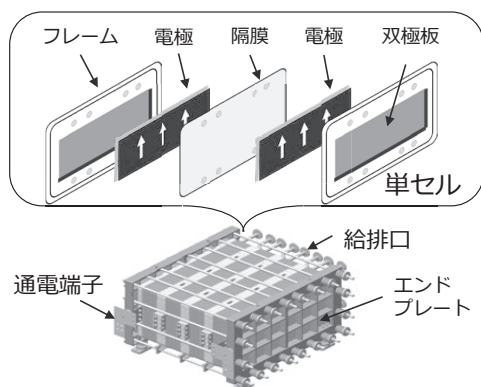


図7 セルスタックの構造例

適用する電解液の活物質濃度、粘度、反応性等を考慮し、電極や隔膜材料を選択し、セルスタックの構造が設計される。コスト低減には高出力化が重要であり、内部抵抗が小さく、電解液送液時の圧力損失が小さいことが望ましい。

電極材料には、一般にカーボン材料が使用され、レドックス系に応じて様々な形態、構造、さらに反応性向上の点から表面修飾が行われる。隔膜は、電池内の荷電キャリアの透過と正負活物質の隔離機能が必要であり、一般にはイオン選択性を有する隔膜が使用される。正負で異なる活物質を適用する場合には、隔膜を通じた活物質移動が課題となり、正負活物質を混合した1液型組成も採用される。

これらの材料選定と併せて電極へ効率的に電解液を供給する流路も重要である。図8に示すように、流路について

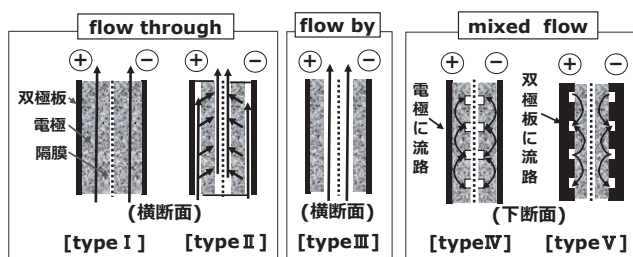


図8 電解液に応じて適用される様々な流路構造

もレドックス系の特性に応じて様々な構造が提案されている。Fe/Cr系のような反応性の低い系では、電極内に強制的に送液するフロースルー方式が有効であり、BrやClのような活性の高い系では、拡散性を利用し、低圧力損失で送液するフローバイ方式も採用される。

近年、燃料電池セル技術に倣って双極板に流路を設けて高活性の薄型電極を適用し、低圧力損失で電解液を供給する構造等、新規なセル構造が提案されており⁽¹⁰⁾、セルスタックの高出力化がさらに進展することが期待される。

6. 当社における取組み

述べてきたような新たな開発動向も踏まえて、当社においてもコスト低減を主眼とした改良開発を進めている。基本的な考え方は、セルの高出力化、安価なレドックス系の適用、システムの簡素化および小型化である。

6-1 システムの小型化

セルスタックについては、電極材料や隔膜材料の改良および電解液循環時の圧力損失を低減するセル構造の開発を行い、内部抵抗の低減により高出力化を図っている。

RF電池はシステム設計の自由度が高く、使われる用途・設置場所に応じて、様々なレイアウトが可能である。最近では、他の蓄電池同様にすべての機器をコンテナに収納し、輸送費、現地工事を簡素化する設計が一般的である。

写真2は、当社において開発されたコンテナ型の250kW×3hのシステムの例である。高出力セルを適用し、循環機器を小型化し、構成機器を一体収納させている。

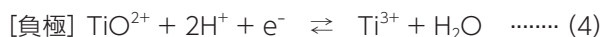


写真2 コンテナ型RF電池システム例

6-2 新電解液の開発

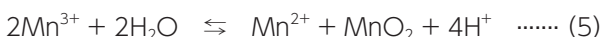
電解液については、より安価な原料のレドックス系の適用が望まれる。当社では、負極にチタン (Ti) と正極にマンガン (Mn) を適用するTi/Mn系の電解液を開発している。基本的な電池反応は、下式のとおりである。起電力は

V系同等の約1.4Vである。



開発課題は、充電時に正極でMn(3価)イオンの一部が固体微粒子の二酸化マンガ(MnO₂)に変化し(下式に示す不均化反応^{*)}、この微粒子が凝集し、電池性能を低下させることにある。MnO₂は、乾電池にも使われる電池の活物質であるが、RF電池で使うには、電解液中で分散している必要がある。また固体のため反応性向上の必要がある。

[不均化反応]



改良策として正極のMnイオンに負極Tiイオンを混合させることで、この不均化反応をある程度抑制できることが見出されている⁽¹¹⁾。写真3は、電解液中でのMnO₂微粒子の形態を示しているが、Tiイオンを混合した場合は、その粒子径が小さくなっていることが示されている。

クル以上を繰返しても安定した性能が確認された。

(2) Ti/Mn系の実機サイズセルでの特性試験⁽¹²⁾

電極材料等の改良と共に、電極面積1,800cm²を有する30セルで構成した10kW級のセルスタックの試作試験が行われた。図9に試験結果の一例を示すが、140サイクル以上にわたり長期的に安定して稼働することが確認されている。

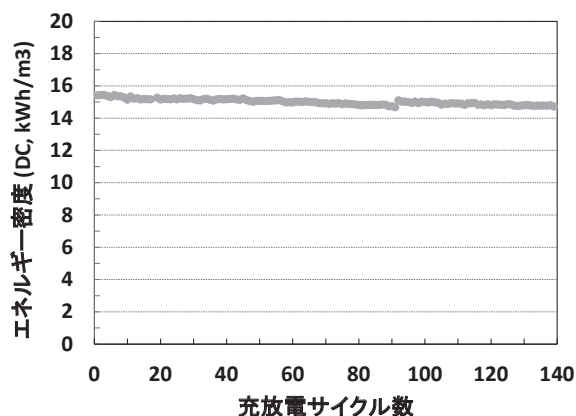


図9 実機セルを用いたTi/Mn系RF電池の試験例

7. 結 言

再生可能エネルギーは、年々発電コストが低減しており、導入がさらに拡大していくことが予測されている。こうした電力系統において、短時間から長時間での出力変動調整力として蓄電池の必要性はますます高まるものと思われる。その使用形態も多様化しており、電力会社で大規模に設置する形態、発電事業者サイトに設置する形態、一般需要家に個別あるいは共有設置する形態、最終的にはこれらの蓄電池を統合制御する新たな試みも実施されている。

RF電池は、性能面では、すでに電力系統で実運用される技術レベルにある。今後の様々なニーズに対しても原理的な設計自由度が大きく柔軟に対応できるものと考えられる。現在、世界中で、様々な観点から研究開発が活発に行われており、これらの開発によって、RF電池の性能がさらに向上し、コストが低減され、様々な用途で広く活用されることを期待する。

8. 謝 辞

本研究の一部は、経済産業省の「再生可能エネルギー余剰電力対策技術高度化事業」の助成を受けて実施したものである。また、本稿4章(1)節、(2)節に記載した実証試験の成果は、各々、経済産業省の補助事業「大型蓄電システム緊急実証事業」および国立研究開発法人新エネルギー・

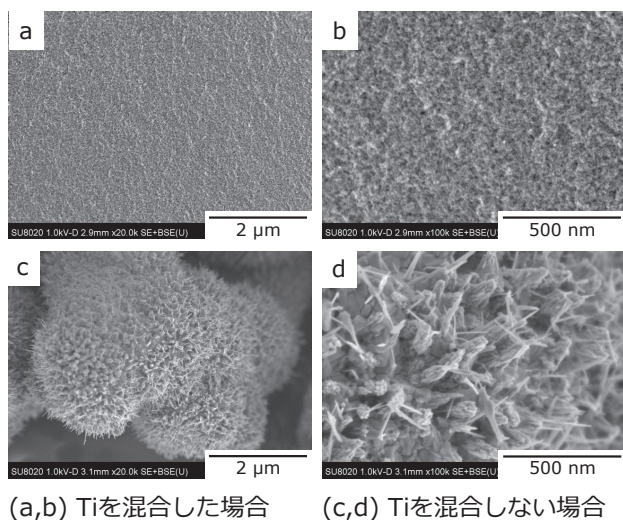


写真3 MnO₂の電解液中での形態⁽¹¹⁾

(1) Ti/Mn系の小型電池での特性試験⁽¹¹⁾

電極面積9cm²の小型セルで電解液(TiOSO₄ 1.5M, MnSO₄ 1M, H₂SO₄ 3M)の基礎特性が測定された。電流密度50mA/cm²、流量0.6cc/分・cm²の条件でV/V系同等のエネルギー密度(23.5kWh/m³)が確認され、MnO₂もRF電池において活物質として機能することが確認された。

続いて、電極面積500cm²を有する2セルスタックでの充放電サイクル試験が行われた。同様試験条件にて、40サイ

産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「北米加州における蓄電池の送電・配電併用運転実証事業」において得られたものです。

執筆者

重松 敏夫 :フェロー
パワーシステム研究開発センター
担当技師長



用語集

※1 活物質

電池の正極と負極で化学反応（電極反応）する物質。

※2 酸化還元反応

ここでは、化学反応において、イオンあるいは化合物間で電子の授受がある反応のこと。

※3 不均化反応

同一物質が2分子以上反応して2種類以上の異なる種類の物質を生じる化学反応のこと。

参考文献

- (1) L. H. Thaller, Electrically Rechargeable Redox Flow Cells, Proc. of the 9th IECEC, pp.924 (1974)
- (2) 野崎健、金子浩子、小沢丈夫、浜本修、「レドックスフロー型二次電池による電力貯蔵の可能性」、電気化学・電熱研究会資料、CH-75-3、電気学会 (1975)
- (3) E. Sum, M. Rychcik and M. Skyllas-Kazacos, Investigation of the V(V)/V(IV) system for the positive half-cell of a Redox Battery, J. of Power Sources, 16, P.85-95 (1985)
- (4) 井上彬、柴田俊和、「南早来変電所大型蓄電システム実証事業について」、電気設備学会誌、pp.194-198 (2019年4月)
- (5) Y. Nagaoka, A pilot project using a VFB in a multiple-use application, IFBF, pp.92-93, Swiss (July 2018)
- (6) 佐藤縁、「有機レドックスフロー電池」、レドックスフロー電池の開発動向、pp.221-229、CMC出版 (2017年)
- (7) B. Huskinson, M. P. Marshak, C. Suh, S. Er, M. R. Gerhardt, C. J. Galvin, X. Chen, A. Aspuru-Guzik, R. G. Gordon, and M. J. Aziz, Nature, 505, 195 (2014)
- (8) T. Liu, X. Wei, Z. Nie, V. Sprenkle, and W. Wang, Adv. Energy Mater., 6, 1501449-1501457 (2016)
- (9) T. Sukegawa, I. Masuko, K. Oyaizu, H. Nishide, Macromolecules, 47, 8611 (2014)
- (10) 津島将司、鈴木崇弘、「第2世代レドックスフロー電池」、レドックスフロー電池の開発動向、pp.176-184、CMC出版 (2017)
- (11) Y. R. Dong, H. Kaku, K. Hanafusa, K. Moriuchi, and T. Shigematsu, "A Novel Titanium / Manganese Redox Flow Battery," *ECS Trans.*, 69 (18), 59 (2015)
- (12) H. Kaku, H. Yamaguchi, Y. R. Dong, R. Tatsumi, K. Miyatake, K. Moriuchi, Y. Tsutui and T. Shigematsu, "A 10kW class Ti/Mn Redox Flow Battery," 235th ECS Meet. Abstr., 2019 MA2019-01:401A03-0401 (2019)