

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

蓄電池システム (Vol.4)

ーレドックスフロー電池システムの構成解析とコスト評価ー

平成29年3月

Secondary Battery System (vol.4):

Structure Analysis and Cost Evaluation of a Redox Flow Battery System

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2016-PP-02

概要

低炭素社会を実現するために、再生可能エネルギーの普及が進められているが、太陽光発電や風力発電などは出力変動を生じる。このため、系統連系での利用においては、出力変動を吸収して安定供給を可能とする、大型で長寿命、かつ、低コストとなる大規模電力貯蔵技術確立することが不可欠である。本報告では、大規模電力貯蔵用として期待される定置型蓄電池の 1 つであるレドックスフロー電池について着目した。具体的には、定格出力 1MW、定格容量 5MWh のバナジウム系レドックスフロー電池システムについて、年産 100MWh とした場合の製造コストを試算した。その結果、現状技術におけるレドックスフロー電池システムの製造コストは 91 円/Wh であった。この電池システムは、他の蓄電システムよりも耐用年数が長いという特徴があるが、普及させるためには大幅なコスト低減を要する。今後、より安価・より高容量となる活物質を用いることによる電解液の製造コストの低減、並びに、隔膜、電極、中間フレーム及び双極板について、材料の性能や量産化技術の将来予測を含めることによる製造コストの低減を検討する。

Summary

Dissemination of renewable energy is moving forward to realize a low carbon society. However, fluctuations in output occur with sources such as solar energy and wind. For this reason, it is essential to create low cost, large scale, long duration electrical energy storage technology which can ensure grid stability by absorbing output fluctuations.

In this study, we focused on a redox flow battery, regarded as one of the promising large scale stationary storage technologies. Specifically, for a state-of-the-art vanadium redox flow battery system of 1 MW / 5 MWh, manufacturing cost was estimated to be 91 JPY/Wh for annual production of 100 MWh in battery capacity. Although the system has a much longer life time than other power storage systems, it is thus still necessary to significantly reduce manufacturing cost.

In the future, we will explore the possibilities of reducing manufacturing cost by using cheaper, high performance materials for the electrolytes, separators, electrodes, intermediate frames and bipolar plates, as well as by improving manufacturing technology and battery evaluation methodologies.

目次

概要

1. 緒言 1

2. レドックスフロー電池の原理とコスト試算用電池システム設計 1

 2.1 原理と特徴 1

 2.2 コスト試算用レドックスフロー電池システムの設計 2

3. 製造コストの試算と課題 5

4. 政策立案のための提案 6

参考文献 7

1. 緒言

再生可能エネルギーの導入においては、太陽光発電や風力発電などの発電技術に加えて、電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド自動車 (PHEV)、定置用蓄電池システムなどの蓄電池の大量使用に適した低炭素化技術の確立が必要である。太陽光や風力などを利用した再生可能エネルギーの出力は天候により左右される。このため、系統連系での再生可能エネルギーの普及には、出力変動を吸収して安定供給を可能とする、大型で長寿命、かつ、低コストとなる大規模電力貯蔵技術の確立することが重要である。本検討では、系統安定化のための大規模電力貯蔵用として期待される定置型蓄電池の 1 つである、レドックスフロー電池システムの製造コストについて検討する。

2. レドックスフロー電池の原理とコスト試算用電池システム設計

2.1 原理と特徴

レドックスフロー電池は、液循環型の二次電池であり、一般的には、電解セル、その外部に活物質を含む電解液を蓄えるタンク、および電解液を電解セルに流動させるポンプで構成される¹⁾。この電池は、電解セル内においてイオン交換膜 (隔膜) を隔てた両電極上で活物質イオンの酸化還元反応を進行させて充放電を行う (図 1 参照)。

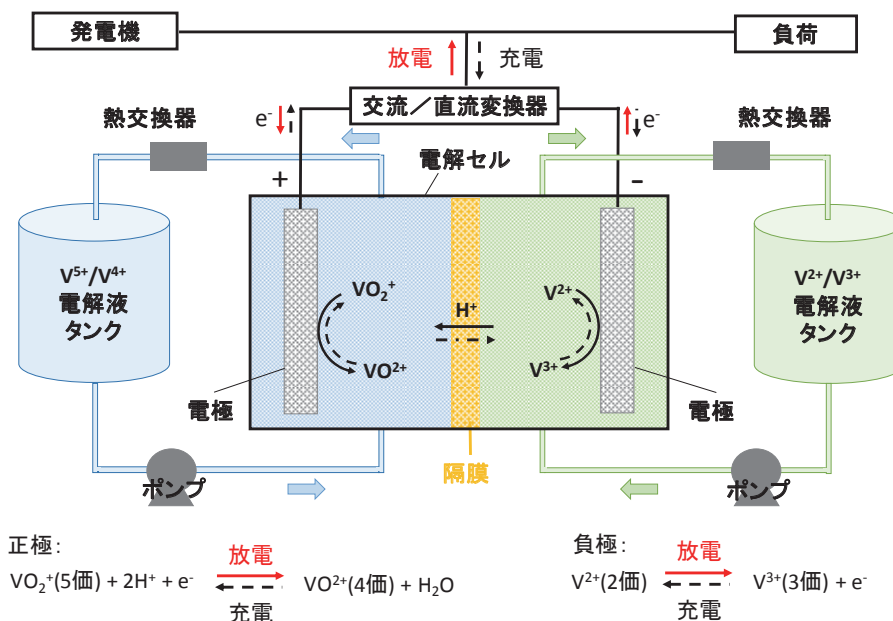


図 1 レドックスフロー電池の構造と動作原理

レドックスフロー電池の特徴としては、出力部（電解セル）と蓄電容量部（電解液タンク）が独立しているので、出力／蓄電容量を別々に設計することが可能であること、長寿命であること、および、水系電解液を用いるため火災の可能性が極めて低く安全性に優れること等が挙げられる。このような特徴から、レドックスフロー電池は大規模電力貯蔵用途において期待される。また、ミリ秒オーダーの瞬時応答性を有し、短時間であれば設計定格の数倍の高出力での充放電が可能であるため、再生可能エネルギーの不規則かつ短時間周期での出力変動を吸収するのに適している[1]。

¹⁾ 必要に応じて電解液を冷却する熱交換器も含む。

2.2 コスト試算用レドックスフロー電池システムの設計

今回の試算では、定格出力 1MW、定格容量 5MWh の定置型蓄電システムを設計した。電池形態についてはプラント型とし、電解セル、電解液用タンク、ポンプ等を 1 つのコンテナのような容器に収納するものではなく、建屋内に各々独立して配置するものとした。また、正負極の活物質はいずれもバナジウムを用いることとして設計し、コスト評価を行った。

(1) セルスタック

<基本構成>

セルスタックは、実用的な電圧を得るために複数の電解セル（単セル）を積層した形態で用いられる。図 2 に示すように、単セルは、主に、隔膜、電極、双極板²⁾、中間フレーム³⁾ および封止用の O リング⁴⁾ で構成され、サブセルスタックは、複数の単セル、給排板⁵⁾、端部フレームおよび通電端子等⁶⁾ で構成される。セルスタックは、図 3 に示すように、複数のサブセルスタック、エンドプレートおよび締付治具等で構成される。

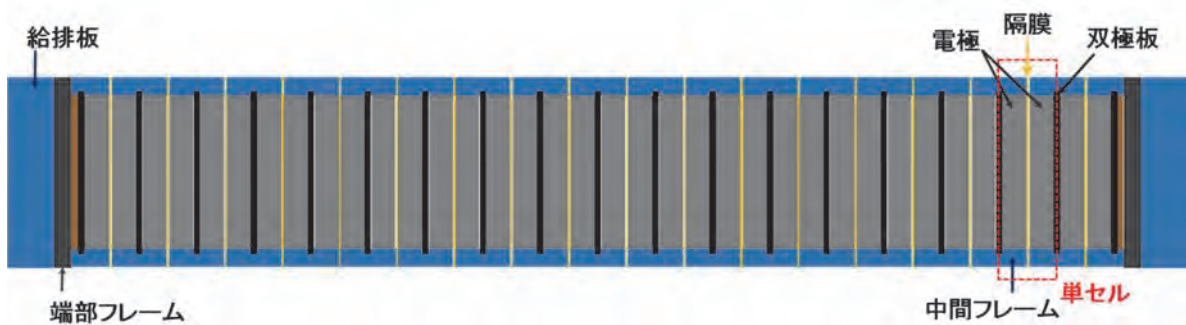


図 2 サブセルスタックの構造概略図

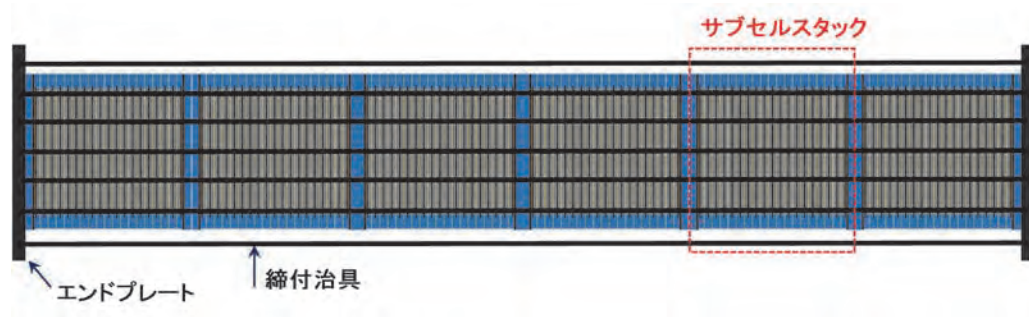


図 3 セルスタックの構造概略図

- 2) 双極板は、隣り合う正極と負極を電氣的に接続することと、隣り合う正負極の電解液を混合させないことが主な役割である[1]。
- 3) 中間フレームは、給排板から送排された電解液を単セルの正または負極側へと送排させ、かつ、外部および正負極間の電解液シール機能を担う構造体を有するものであって、単セルを形成する枠上の部材のことである[1]。
- 4) O リングは、隣り合う中間フレーム間に位置し、外部および正負極間の電解液シール機能を担うものである。
- 5) 給排板は、外部から送排された電解液を中間フレームへと送排させる構造体を有するものである。
- 6) 端部フレームは、中間フレーム側の面の一部に銅板を張り合わせたものを想定しており、銅板とサブセルスタックの端部に位置する双極板とを接触させて集電体のような機能を担うものであり、通電端子は、サブスタックと外部電源を電氣的に接続させるための端子であり、ここでは図示しないが端部フレームの上方に位置するものとした。

＜コスト試算用セルスタックの構成＞

今回の試算において、電極面積 5,000cm² の単セルを 108 個積層したセルスタック⁷⁾とした。セルスタックの構成および寸法については、文献[2]を参考にして設計した。セルスタックの主な構成部品とその材料を表 1 に示す。また、上記のセルスタックを寸法 112cm×90cm×155cm、重量約 1.2ton とした場合における構成部品の重量割合を図 4 に示す。

表 1 セルスタックの主な構成部品と材料

	材料
エンドプレート	鉄
締付治具	SUS
給排板	塩化ビニル
端部フレーム	塩化ビニル
通電端子	銅
中間フレーム	塩化ビニル
双極板	G/C コンポジット
電極	炭素繊維不織布
隔膜	イオン交換膜
O リング	EPDM

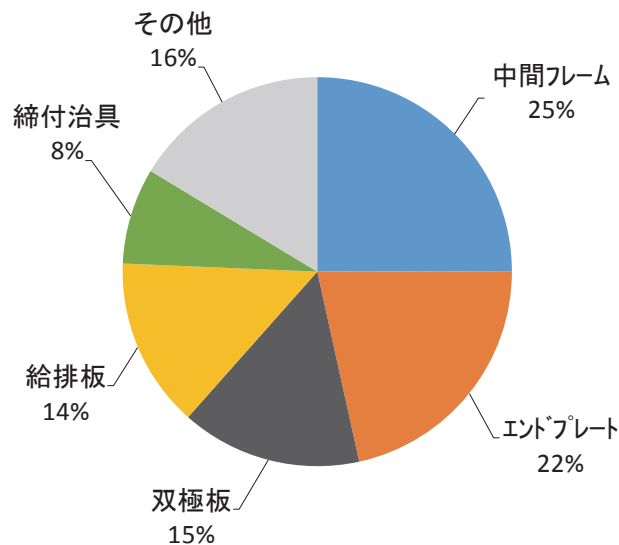


図 4 セルスタックの構成部品の重量割合

(2) 蓄電システムの構成

今回の試算では、定格出力 1MW、定格容量 5MWh の定置型蓄電システムとした。蓄電システムの構成機器、回路については文献[2]を参考にして設計した。表 2 に示すように、主に、レドッ

⁷⁾ 18 個の単セルを積層して構成したサブセルスタックを 6 個使用し、これらのサブスタックを電氣的に直列接続となるように構成した（サブスタック[単セル×18 個]×6 個 = 単セル 108 個）。

クスフロー電池の基本構成であるセルスタック、電解液用タンク、ポンプのほか、セルスタックからタンクに戻す電解液を冷却する熱交換器、配管、電池制御装置⁸⁾、および、交直変換装置で構成した。また、セルスタックを 1 台ごと筐体に収納して設置し、電解液用タンク、ポンプ、セルスタックおよび熱交換器との間の電解液の流路を配管で形成することとした。この蓄電システムの電氣的な回路構成および電解液の経路の概念図を図 5 に示す。セルスタックの定格出力を 45kW[2]とし、電解液や運転の諸条件については、文献[2]や有識者・専門家へのヒアリングを参考にして下記の条件を設定した。

表 2 コスト試算用レドックスフロー電池システムの主な構成機器とその数量

構成機器	数量	備考
セルスタック	24	1 台あたりの定格出力:45kW
熱交換器	4	空冷式
電解液用タンク (正極・負極用)	各 4	容量:50m ³ 、補強枠付
電解液循環ポンプ (正極・負極用)	各 4	吐出量:780L/min
電池制御装置	1	
交直変換装置	1	

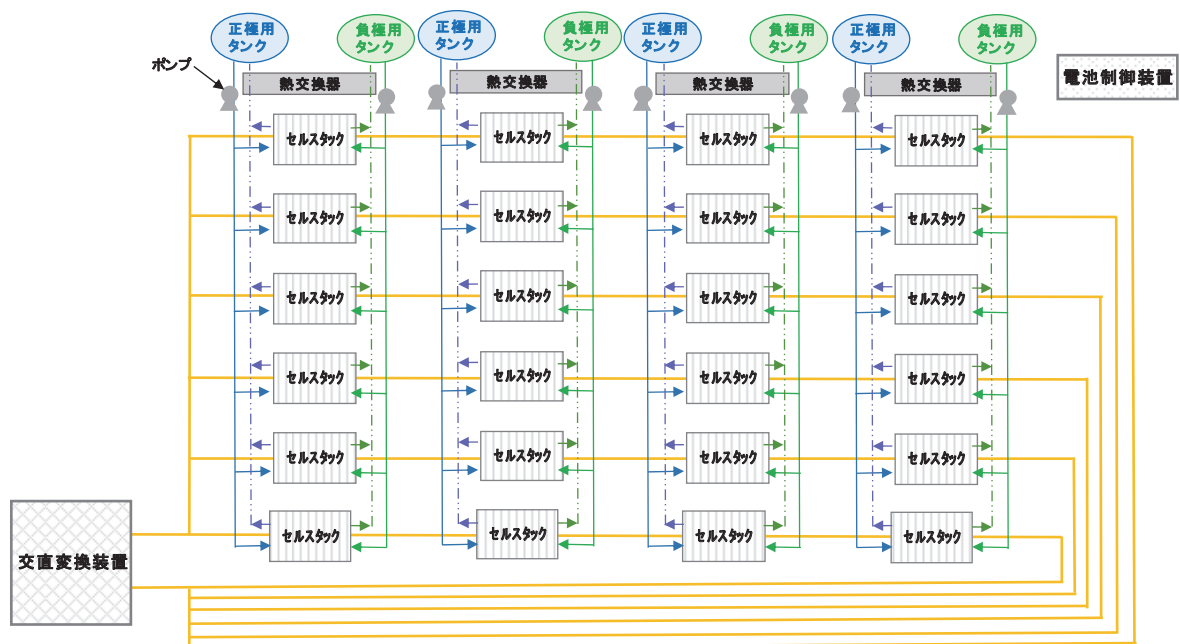


図 5 コスト試算用レドックスフロー電池システムの回路構成および電解液経路の概念図

(図中、黄色線は電氣的な回路構成、青色線および点線は正極用電解液の経路、
 緑色線および点線は負極用電解液の経路を示す。)

⁸⁾ レドックスフロー電池の状態管理を行うものであり、具体的には、ポンプ制御、温度管理、電池電圧の管理を行うものである[2]。

[電解液および運転条件]

- ・ 電解液 溶 媒：硫酸水溶液 (24.7wt%)
 活物質：バナジウム (11.3wt%、バナジウムイオン濃度 1.67mol/L)
- ・ 電解液温度 (タンク内)：27℃
- ・ 電流密度：66mA/cm²
- ・ 充電状態：20～80%
- ・ 充放電効率 (セルスタック単体)：80%
- ・ エネルギー変換効率 (システム全体)：70%

3. 製造コストの試算と課題

本検討では、セルスタックについて現状の製造プラント能力を年産 20MW (定格出力 45kW、480 台) と仮定し、電池システムとしての年産量を 100MWh (定格容量 5MWh、20 基) と想定した。

定格出力 1MW、定格容量 5MWh のレドックスフロー電池システムの重量と製造コストの内訳を表 3 に示す。電解液の製造コストは 35 円/Wh、セルスタックは 20 円/Wh、タンク・ポンプ・熱交換器・配管・セルスタック用筐体は 18 円/Wh、電池制御装置・交直変換装置は 8 円/Wh、建屋は 10 円/Wh となった。また、電解液の重量割合は電池システム全体の 4 割程度となった。

表 3 定格出力 1MW、定格容量 5MWh のレドックスフロー電池システムの重量と製造コスト内訳

		重量 [トン/system]	システム当り 単価 [百万円/system]	製造コスト [円/Wh]
電解液	原材料費	543	159	32
	固定費	－	16	3
	小計	543	175	35
セルスタック	原材料費	30	92	19
	固定費	－	9	2
	小計	30	102	20
タンク、ポンプ、熱交換器、 配管、セルスタック用筐体	原材料費、 固定費	58	90	18
電池制御装置、交直変換 装置	原材料費、 固定費		40	8
建屋	原材料費、 固定費	699	49	10
	合計	1,329 ⁹⁾	456	91

⁹⁾ 重量合計は、電池制御装置および交直変換装置以外の重量総和である。

電解液の製造コストについては、活物質であるバナジウムの原材料費が高いことが要因となり、電池システム製造コスト全体の 39% となった。また、セルスタックの製造コストは、電池システム製造コスト全体の 22% であった。セルスタック構成部品のコスト割合では、隔膜、電極、中間フレームおよび双極板が 9 割以上を占めた (図 6 参照)。

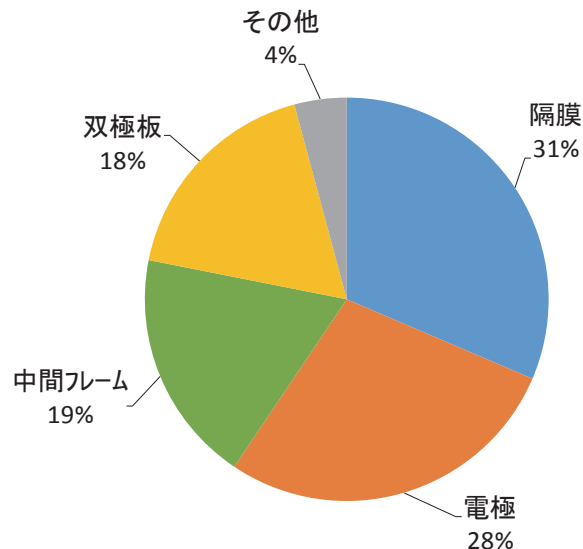


図 6 セルスタックの構成部品のコスト割合

以上のように、電解液、セルスタックともにシステム全体の製造コストに及ぼす影響は大きい。このため、これらの構成部品のコスト構造および製造工程についてさらに考慮して評価することが必要と考える。今後、電解液については、より安価・より高容量となる活物質を用いることで、また、隔膜、電極、中間フレームおよび双極板については、材料の性能や量産化技術の将来予測を含めることで製造コスト低減の可能性を検討する。

レドックスフロー電池は、「2.1 原理と特徴」でも述べたが、長寿命であるという特徴がある。本検討におけるレドックスフロー電池システムの耐用年数は 20 年と設定している。一方、定置用リチウムイオン電池の一般的な耐用年数は 6~10 年とされる。既 LCS 提案書[3]では、円筒型 Ni 系リチウムイオン電池 (6kWh) のシステムコストについて、19 円/Wh (交直変換装置コスト含まず) と報告している。この耐用年数の違いを考慮すると、レドックスフロー電池システムコストが 1/2 程度となれば、現状のリチウムイオン電池と同等となる。今後、耐用年数やランニングコストも考慮したコスト評価を行う。

4. 政策立案のための提案

低炭素社会を実現するために、再生可能エネルギーの普及が進められているが、太陽光発電や風力発電などは出力変動を生じる。このため、系統連系での利用においては、出力変動を吸収して安定供給を可能とする、大型で長寿命、かつ、低コストとなる大規模電力貯蔵技術確立することが不可欠である。

本検討では、定格出力 1MW、定格容量 5MWh のレドックスフロー電池システムを設計し、年

産 100MWh にあたる数量を製造することを想定して製造コストの試算を実施した。その結果、現状技術における電池システムでの製造コストは 91 円/Wh であった。一方、円筒型 Ni 系リチウムイオン電池 (6kWh) のシステムコストは 19 円/Wh (交直変換装置コスト含まず) である[3]。この電池システムは、他の蓄電システムよりも耐用年数が長いという特徴があるが、普及させるためには大幅なコスト低減を要する。今後のレドックスフロー電池の普及のためには、より安価・より高容量となる活物質を用いた電解液の開発、並びに、隔膜、電極、中間フレームおよび双極板の低コスト化に向けた材料探索・製造技術の開発が必要である。

参考文献

- [1] 電気化学エネルギー会議電力貯蔵技術研究会編, “大規模電力貯蔵用蓄電池”, 日刊工業新聞社, p63-76, 2011.
- [2] 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, “平成 20 年度成果報告書 風力発電電力系統安定化等技術開発一経年特性分析研究一”, 平成 21 年 3 月.
- [3] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, 技術開発編, “蓄電池システムー要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップー”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2014 年 3 月.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

蓄電池システム (Vol.4)
ーレドックスフロー電池システムの構成解析とコスト評価ー

平成 29 年 3 月

Secondary Battery System (vol.4):
Structure Analysis and Cost Evaluation of a Redox Flow Battery System
Strategy for Technology Development,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2017.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 研究員 米澤 美帆子 (Mihoko YONEZAWA)
主任研究員 三枝 邦夫 (Kunio SAEGUSA)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2017 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
