

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.5)

－ Li-S 電池のコスト試算と研究開発課題－

平成 30 年 1 月

**Secondary Battery System (vol.5):**

Cost Evaluation and Technological Challenges of a Lithium Sulfur Battery

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-FY2017-PP-02

## 概要

持続可能な低炭素社会を実現するには、再生可能エネルギーや定置型蓄電池システムの導入に加え、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド自動車 (PHEV) などの CO<sub>2</sub> 排出量の少ない自動車の普及が求められている。EV 用蓄電池については 2030 年までにエネルギー密度を 500Wh/kg 以上とすることが目標とされているが (NEDO Battery RM2013 (2013 年 8 月) 参照)、既存型のリチウムイオン電池 (LIB) では限界に達しつつある。本報告では、理論エネルギー密度が高く、次世代蓄電池として期待されるリチウム硫黄 (Li-S) 電池の製造コストについて、現状および将来の技術進展を考慮して試算した。その結果、製造コストは、現状 22.6 円/Wh、2030 年には 6.7 円/Wh まで削減し得る可能性を示した。また、2030 年におけるリチウム硫黄電池のエネルギー密度は 530Wh/kg まで向上し得ることを示した。さらに、解析結果に基づいて製造コスト低減に係る技術課題を明らかにした。

## Summary

To realize a sustainable low carbon society, it is necessary to disseminate cars of low carbon emission such as electric vehicles (EV) and plug-in hybrid vehicles (PHEV), as well as to introduce renewable energy and stationary storage systems. The development target for the energy density of batteries for EV is 500Wh/kg or higher by 2030 (NEDO Battery RM2013 (August 2013)). It is widely acknowledged however, that conventional lithium ion batteries (LIB) will fail to meet this target. In this proposal, the manufacturing cost of a lithium-sulfur battery, which is regarded as a promising next-generation battery due to its high theoretical energy density, was studied based on the present technology and forecasts for future technology. The results revealed that the manufacturing cost of lithium sulfur batteries is likely to fall from 22.6 JPY/ Wh at present to 6.7 JPY/ Wh by 2030, while the energy density is expected to reach 530 Wh/kg by that time. In addition, technological obstacles to reducing the manufacturing cost were discussed based on the evaluation results.

## 目次

### 概要

1. 緒言.....	1
2. リチウム硫黄電池の特徴.....	1
3. 製造コスト試算用電池の設計.....	3
3.1 電池設計.....	3
3.2 電池製造コストの概要.....	4
4. 製造コスト試算結果と技術課題.....	5
4.1 製造コストと電池構成の解析.....	5
4.2 製造コスト低減に係る技術課題.....	7
5. 政策立案のための提案.....	8
参考文献.....	9

## 1. 緒言

持続可能な低炭素社会の実現には、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーや定置型蓄電池システムの導入に加え、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド自動車 (PHEV) などの CO<sub>2</sub> 排出量の少ない自動車の普及が求められている。特に、EV 用蓄電池や住宅用定置型蓄電池などの中小規模の蓄電池の導入・普及を推進するためには、高容量、高出力、且つ、低コストとなる電力貯蔵技術を確立することが重要である。

LCS ではこれまでに、Co、Mn、Ni 系正極活物質と黒鉛負極活物質を組み合わせた従来のリチウムイオン電池 (LIB)、および、新規 Li<sub>2</sub>O 正極活物質とシリコン系負極活物質を組み合わせた高容量のリチウムイオン電池を設計して蓄電池製造コストを算出している。既報[1]において、現状の技術水準での蓄電池製造コストは、従来、高容量のリチウムイオン電池でそれぞれ 12.5 円/Wh、12.0 円/Wh であり、さらに今後の技術革新によって現状の 3~6 割程度まで低減し得ることを示した。一方、EV 用蓄電池については 2030 年までにエネルギー密度を 500Wh/kg 以上とすることが目標とされているが[2]、従来のリチウムイオン電池はもちろん、高容量のリチウムイオン電池でも達成が困難であり、これらの既存型のリチウムイオン電池 (既存型 LIB) では設計限界に達しつつある。本稿では、理論エネルギー密度が高く、次世代蓄電池として期待されるリチウム硫黄 (Li-S) 電池の製造コストについて検討し、製造コスト低減に係る技術課題を明らかにする。

## 2. リチウム硫黄電池の特徴

リチウム硫黄電池は、既存型 LIB と同様にリチウムイオン (Li<sup>+</sup>) が正極と負極の間を移動することで充放電を行う二次電池であり、正極活物質として硫黄 (S) 又は硫化リチウム (Li<sub>2</sub>S)、負極活物質としてリチウム金属又はシリコンやスズなどの高容量材料<sup>1)</sup>が検討されている。例えば、負極活物質に 3,860mAh/g の理論容量を有するリチウム金属、正極活物質に 1,675mAh/g の理論容量を有する硫黄を用いると、2,500Wh/kg という非常に大きな理論エネルギー密度の蓄電池となる[3]ことから、次世代蓄電池として期待されている。リチウム金属負極を用いたリチウム硫黄電池は、充放電時における Li<sup>+</sup>イオンの挙動について既存型 LIB と異なる。既存型 LIB では、放電時に Li<sup>+</sup>イオンが負極の黒鉛層から脱離し、充電時に黒鉛層に挿入する。一方、リチウム硫黄電池では、放電時に負極のリチウム金属から Li<sup>+</sup>イオンが溶解し、充電時にリチウム金属上に析出する。具体的には、図 1 に示すように、放電時において、負極のリチウム金属から Li<sup>+</sup>イオンが電解質中に溶解し、正極側で硫黄と反応して Li<sub>2</sub>S を生成し、外部回路に電流が流れる。放電時の電池全体の反応を式(1)に示す。

<sup>1)</sup> 正極活物質が硫化リチウムの場合に用いることができる。

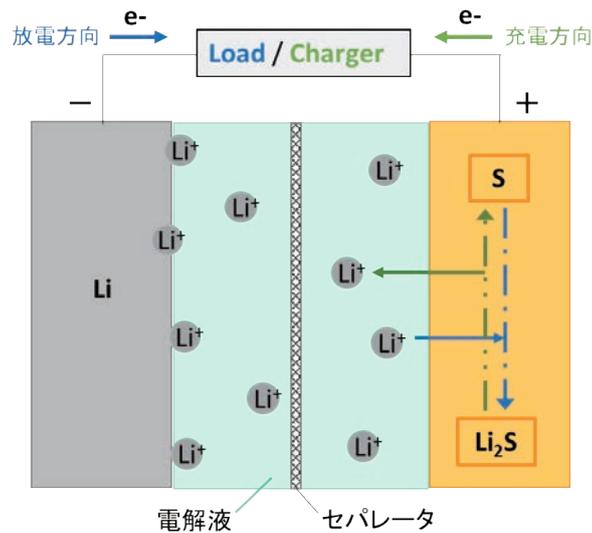


図 1 リチウム硫黄電池の原理簡略図



反応式(1)は簡略的に示したものであり、実際には硫黄は室温で環状構造 ( $\text{S}_8$ ) であるため、放電時において式(2)～式(7)の硫黄の還元反応が生じる[4]。



式(2)～式(4)の還元反応で生じる反応中間生成物の多硫化リチウム ( $\text{Li}_2\text{S}_x$ ,  $x=4,6,8$ ) は、テトラヒドロフラン (THF)、1,3-ジオキソラン (DOL)、1,2-ジメトキシエタン (DME)、およびテトラエチレングリコールジメチルエーテル (TEGDME) などのエーテル系有機溶媒とリチウム塩を含んだ電解液に溶解して電解液中に拡散する。拡散した多硫化リチウムは負極側で還元され、さらに拡散して正極側で酸化され、多硫化リチウムが  $\text{Li}_2\text{S}$  組成となるまで電解液中で電気化学反応が進行する。この現象はレドックスシャトルと呼ばれ、自己放電を生じさせて充放電効率の低下を招く[5]。なお、多硫化リチウムは求核性が高く、既存型 LIB で一般的に用いられるカーボネート系電解液を分解してしまうため、主にエーテル系電解液での検討が進められている[5]。

正極活物質である硫黄は、資源量が豊富であり、安価である。しかし、上記のように放電時に多硫化物イオンが電解液に溶出してしまうほか、電子導電性が低いため、厚膜での使用に適しておらず、また、導電材料と複合化しなければ十分な電子導電性を確保することはできない。さらに、放電最終生成物である  $\text{Li}_2\text{S}$  は元の硫黄の 1.8 倍の体積となるので、充放電による体積変化により正極の割れや破砕が生じるおそれがある。一方、正極活物質として硫化リチウムを用いた場

合は多硫化物イオンの溶出は抑制されるが、硫黄と同様、電子導電性や体積変化の課題は残る。

負極活物質であるリチウム金属は、充放電を繰り返すごとに構造が不安定となり、また、レドックスシャトル現象により拡散された多硫化リチウムが  $\text{Li}_2\text{S}$  となり負極上に析出すると、負極の作動が阻害される。さらに、充電時にリチウムデンドライトが生成・成長して短絡するおそれがある。また、リチウムは還元力が高く、電解液と副反応を生じて充放電効率の低下を招く。

リチウム硫黄電池は 1960 年代頃から研究されているが[6]、上述のことなどを背景に、室温での充放電速度や容量、サイクル寿命などの電池性能に係る課題があり未だ実用化に至っていない。1990 年代に LIB の商業生産が開始されて以来、より小型で大容量、高出力となる電池への要求が急速に高まり、2000 年代初頭から金属空気電池とともにリチウム硫黄電池の研究が徐々に盛んになってきた[6]。最近では複数の企業や研究機関において積層ラミネート状のリチウム硫黄電池の試作が行われ、サイクル寿命は従来の LIB に比べて短いが 220~350Wh/kg の高エネルギー密度を有する電池も開発されており[5]、実用電池への進展が期待される。

### 3. 製造コスト試算用電池の設計

#### 3.1 電池設計

本稿では、これまでに LCS で設計した円筒型 (18650 型) 電池の仕様に準じてリチウム硫黄電池を設計し、電極材性能等の異なる 4 つのシナリオ (現状モデル、2020 年モデル、2025 年モデル、2030 年モデル) を評価することとした。なお、設計基準とした電池仕様は、既存のリチウムイオン電池の製品情報から材料物性 (正・負極活物質の容量密度、電圧) や電極の充填密度、活物質の塗布厚みなどの要素を抽出し、これらをパラメータ化して円筒型電池に適応した設計手法により構築したものである[1]。

図 2 に製造コスト試算用のリチウム硫黄電池の構造概念図を示す。

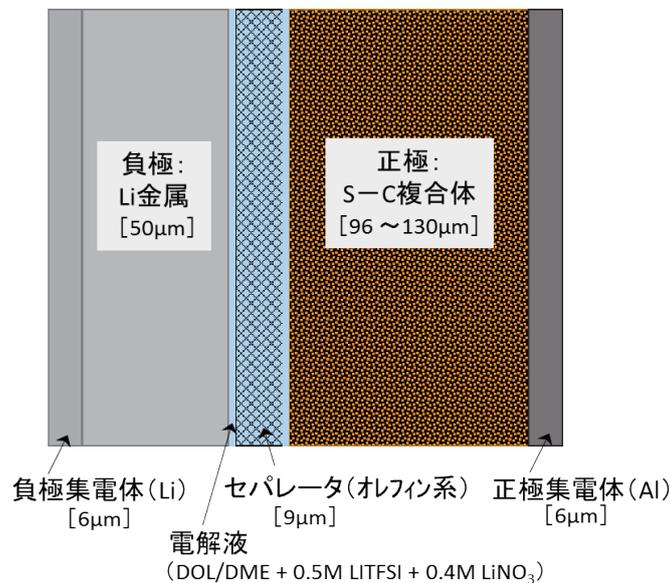


図 2 製造コスト試算用リチウム硫黄電池の構造概念図  
(図中、角括弧内の数値は円筒型電池とした場合の各部材の厚みを示す。)

電極材、集電材および電解液の構成は、文献や特許の調査に基づいて設計した。具体的には、現状モデルについては、文献[7]を参考にして主な電池構成と、電極面積<sup>2)</sup>あたりの硫黄量、硫黄 1mg に対する電解液量 (E/S)、電極利用率<sup>3)</sup>などの条件を設定して電池設計を行った。正極活物質の硫黄は炭素材料と複合化し S-C 複合体として用いるものとし、負極の電極材と集電材はリチウム金属で構成した。セパレータと正極集電材は従来のリチウムイオン電池<sup>4)</sup>と同じ材料で構成した。電解液は、1, 3-ジオキソラン (DOL) と 1, 2-ジメトキシエタン (DME) の混合溶媒中に 0.5M のリチウムビス (トリフルオロメチルスルホニル) イミド (LITFSI)、さらにレドックスシャトル現象を抑制するとされる硝酸リチウム (LiNO<sub>3</sub>) を含む構成とした。また、現状モデルにおいては、正極 (硫黄) 利用率を 70%、負極 (リチウム金属) 利用率を 50%と仮定した。

表 1 にリチウム硫黄電池の各評価シナリオの仕様比較を示す。2020 年モデルについては、現状モデルの電池構成を基にして、上述の最近報告された高エネルギー密度 350Wh/kg を有するリチウム硫黄電池と同等のエネルギー密度となるように設計し、他の 2 つの未来モデル (2025 年モデルと 2030 年モデル) は電極材等の材料開発の更なる進展を想定して設計した。

表 1 リチウム硫黄電池の各評価シナリオの仕様比較

モデルケース		現状	2020 年	2025 年	2030 年	
電池 構成	円筒型電池のサイズ	φ18mm × 65mm				
	正極容量	[mAh/g]	1170	1340	1390	1510
	正極利用率	[%]	70	80	83	90
	負極容量	[mAh/g]	1930	2590	2700	2900
	負極利用率	[%]	50	67	70	75
	電極面積あたりの硫黄量	[mg-S/cm <sup>2</sup> ]	1.8	5.0	5.0	5.0
硫黄 1mg に対する電解液量 (E/S)	[μL/mg-S]	5.0	3.0	2.0	1.5	

### 3.2 電池製造コストの概要

リチウム硫黄電池の製造コストは、既報[1]の円筒型蓄電池のコスト評価と同様に、電池仕様とともに製造プロセスを設計して製造コストを算出するものとした。リチウム硫黄電池の製造プロセスは、基本的にはこれまでに LCS で作成したリチウムイオン電池製造プロセスに基づいて設計したが、電極材製造に係るプロセスの一部は本稿の電極材料に合わせて新たに設計した。正極材製造工程は、文献や特許の調査[7],[9]に基づいて機器構成と操作条件を設定し、プロセス設計を行った。具体的には、遊星ボールミルを用いて硫黄と活性炭を粉砕、混合して S-C 複合体を得るものとした。各評価シナリオにおいて、年産 10GWh の製造プラントを想定し、収率は 90%と設定した。製造コストは、製造工程毎に変動費と固定費から求めた。変動費は、投入する原材料費と、製造に要する電力・燃料・工業用水等の用役費からなる。固定費は、製造プロセスを構成する製造機器に基づく設備費と、工程毎の操業に必要な運転人員から算出した人件費からなる。

2) ここでの電極面積は投影面積のことをいう。

3) 理論容量に対する実際に利用できると仮定した容量の割合。

4) 既報[8]の Co 系 LIB (円筒型蓄電池) のこと。

## 4. 製造コスト試算結果と技術課題

### 4.1 製造コストと電池構成の解析

表 2 に、リチウム硫黄 (Li-S) 電池の各評価シナリオの製造コスト内訳を示す。表中において、既報[1]のリチウムイオン電池 (LIB) の現状モデルと改良型の 2030 年モデルの製造コスト内訳についても併せて示す。リチウム硫黄電池の現状モデルの製造コストは 22.6 円/Wh となり、LIB の現状モデルの約 1.8 倍となった。一方、リチウム硫黄電池の 2020 年、2025 年、2030 年モデルの製造コストはそれぞれ 9.2 円/Wh、7.8 円/Wh、6.7 円/Wh となり、正・負極の材料開発の進展によって大幅に製造コストを低減できる可能性を示した。しかし、LIB の 2030 年モデルと比べて高い値となった。

表 2 各種蓄電池の製造コスト内訳と展望

モデルケース		LIB[1] (現状)	LIB[1] (2030 年)	Li-S 電池 (現状)	Li-S 電池 (2020 年)	Li-S 電池 (2025 年)	Li-S 電池 (2030 年)	
開発段階		商業化	研究開発	研究開発				
電池構成	正極活物質	LiCoO <sub>2</sub>	Co-doped Li <sub>2</sub> O	S-C 複合体				
	負極活物質	黒鉛	SiO-C	Li 金属				
電池性能 <sup>※1</sup>	電圧	[V/電池]	3.6	2.4	2.15	2.15	2.15	
	容量	[Ah/電池]	2.4	6.5	1.6	3.6	4.6	
	エネルギー密度	[Wh/kg]	200	430	160	340	430	
製造コスト	変動費	原材料費 <sup>5)</sup>	[円/Wh]	10.0	3.5	19.4	7.7	6.6
		用役費	[円/Wh]	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
	固定費(設備費・人件費)	[円/Wh]	2.1	1.3	3.0	1.5	1.2	
	合計 <sup>※2</sup>	[円/Wh]	12.5	5.1	22.6	9.2	7.8	

※1: 電圧は文献[5]を参考にして仮定した値、容量およびエネルギー密度については表 1 の条件に基づいて円筒型電池を設計した際の計算結果。

※2: 四捨五入した値を示しており、合計値と個別の和が一致しない場合がある。

リチウム硫黄電池の現状モデルは表 2 に示すように製造コストに占める原材料費の割合が高く、原材料費の削減は電池製造コストの低減に有効である。図 3 に各評価モデルにおける原材料費の内訳を示す。LIB の現状モデルは、電極材が原材料費全体の約 6 割 (正極材 48%、負極材 10%) を占めた。一方、リチウム硫黄電池の現状モデルは、電極材は全体の約 4 割 (正極材 5%、負極材 36%) であり、電解液が約 3 割、セパレータが約 2 割を占めた。リチウム硫黄電池の 3 つの未来モデルについては、原材料費に占める電極材、電解液およびセパレータの割合はリチウム硫黄電池の現状モデルと同様の傾向であった。また、1Wh あたりの原材料費の総計は LIB の現状モデルよりも低い値であるが、1Wh あたりの電解液費は LIB の現状モデルと同等以上の高い値を示した。

<sup>5)</sup> LIB の正極材の原材料費については、炭酸リチウムの輸入価格(2015 年)やコバルトの国際相場(2017 年 2 月)をベースとすると、表中よりも約 0.5~2 円/Wh ほどコストが上がる。なお、Li-S 電池の負極材は Li 金属の輸入価格(2015 年)を参考にして設定した。

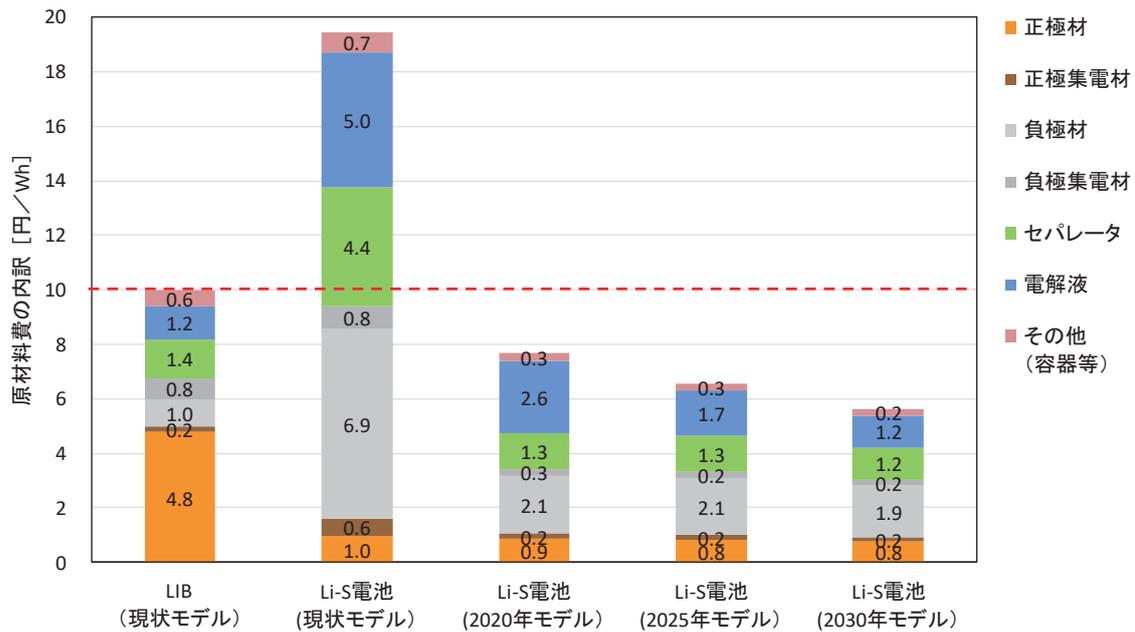


図 3 各評価モデルの原材料費の内訳

図 4 に各評価モデルにおける円筒型電池 1 個あたりの重量内訳を示す。LIB の現状モデルにおいて、電極材は重量全体の 53%、電解液は 11% を占めた。一方、リチウム硫黄電池の現状モデルにおいては、電極材は全体の 20%、電解液は 35% を占めており、電極材よりも電解液の占める割合が高い。リチウム硫黄電池の 3 つの未来モデルについては、電極材の割合が増加するものの、依然として電解液の占める割合は高い。このように、リチウム硫黄電池は、LIB の現状モデルと比べて電池重量全体に占める電解液の割合が高く、このことが原材料費を増大させる要因の 1 つと考える。

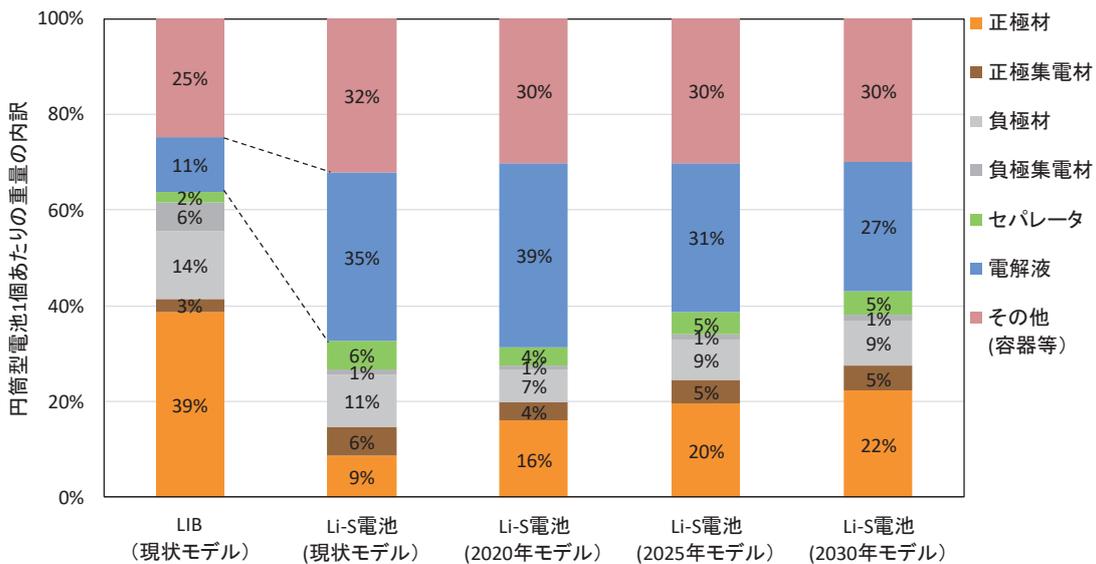


図 4 各評価モデルの円筒型電池 1 個あたりの重量内訳

図 5 に各評価モデルの製造コストとエネルギー密度の関係を示す。図中において、リチウム硫黄電池の現状モデルの硫黄量のみを増加させた場合 ( $1.8 \rightarrow 10 \text{mg-S/cm}^2$ )、又は、電解液量のみを低減させた場合 ( $5 \rightarrow 1 \mu\text{L/mg-S}$ ) を評価した結果も併せて示す。リチウム硫黄電池の現状モデルの製造コストを LIB の現状モデルよりも低い値とするためには、電解液量の低減のみでは到達が困難であり、硫黄量の増加のみでは  $5.7 \text{mg-S/cm}^2$  以上とすることが必要であることが分かった。リチウム硫黄電池の未来モデルは、電極材等の材料開発の進展により、電極面積あたりの硫黄量の増加、電解液量の低減、および、電極活物質の利用率の向上が実現すると仮定したモデルケースであり、リチウム硫黄電池において  $300 \text{Wh/kg-battery}$  以上の高エネルギー密度を有し、且つ、製造コストが  $10 \text{円/Wh}$  以下となる可能性を示した。

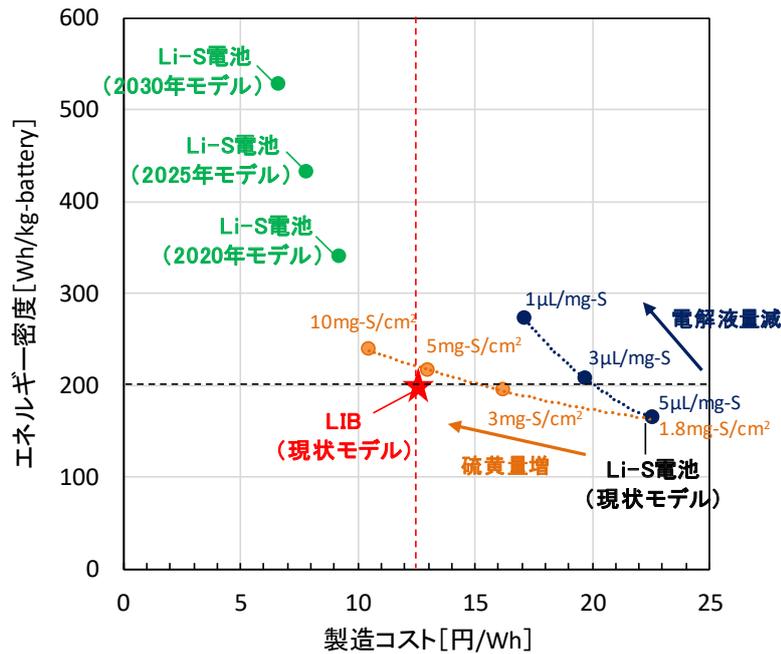


図 5 各評価モデルの製造コストとエネルギー密度の関係

#### 4.2 製造コスト低減に係る技術課題

リチウム硫黄電池の現状モデルは、図 5 に示すように、LIB の現状モデルと比べて製造コストが高く、エネルギー密度が低いという結果になった。リチウム硫黄電池の現状モデルは、理論エネルギー密度に鑑みて十分な能力を発揮しているとは言えず、改善の余地が多大にある。製造コスト低減の方策の一つとしては、エネルギー密度を向上させて  $1 \text{Wh}$  あたりの電池構成部材の必要量を減らすことが考えられる。表 2 に示すように、リチウム硫黄電池の平均電池電圧 ( $2.15 \text{V}$ ) は LIB の現状モデル ( $3.6 \text{V}$ ) よりも低く、エネルギー密度を向上させるためには電池容量を増大させることが必要である。電池容量の変動因子としては、主に電極活物質の使用量や利用率などが挙げられる。また、図 4 で示したように、リチウム硫黄電池は LIB の現状モデルに比べて電池重量に占める電解液の割合が高く、このことが電池重量を大きくし、加えて、製造コストを押し上げる要因の一つとなっている。円筒型電池の設計において、電解液の量は正・負電極材（電極活物質層）とセパレータ内の空隙量に影響されるものとしている。リチウム硫黄電池では、主に硫黄-炭素材料複合体 (S-C 複合体) で構成される正極活物質層の空隙量が電解液量に反映されるので、電解液量を低減するためには正極活物質層の空隙量を減らすことが効果的であると考えられる。以上に述べたように、製造コストを低減するには、電池容量の増大と電解液の使用量の低減

が必要であり、具体的には、正極活物質の使用量の増大、各電極活物質の利用率の向上、および、正極活物質層の空隙量の低減が必要である。特に、製造コスト低減に大きく影響を与える電池構成部材である正極活物質層については、良好な電子導電性を有するほか、硫黄をより多く担持でき、且つ、多硫化物イオンの溶出を抑制できる構造であり、良好なイオン輸送を可能とし、且つ、無駄な空間のない構造に最適化することが必要である。

## 5. 政策立案のための提案

本稿ではリチウム硫黄電池を設計し、現状および将来モデルの製造コストを試算した（表2参照）。また、製造コスト低減に係る技術課題を明らかにした（上記4.2節参照）。

### ■ 製造コスト：

リチウム硫黄電池の現状および将来の技術進展を考慮した解析結果から、現状コストは22.6円/Wh、2030年には6.7円/Whまで削減し得ることを示した。製造コスト低減には電池容量の増大と電解液の使用量の低減が有効であり、正極活物質の使用量の増大、各電極活物質の利用率の向上、および、正極活物質層の空隙量の低減に関する研究開発が重要である。

今後においてリチウム硫黄電池を普及させるためには、上記の製造コスト低減のほか、以下のように、電池性能（エネルギー密度、レート特性、サイクル特性）、および、安全性の面でさらなる研究開発が必要であると考えられる。

### ■ 電池性能：

リチウム硫黄電池の理論エネルギー密度は2,500Wh/kgであるが、本稿の現状モデルは160Wh/kgであり、2030年モデルでも530Wh/kgに留まる（表2参照）。エネルギー密度の向上には電池容量の増大が有効である。また、リチウム硫黄電池は従来のLIBと比べて充放電速度が遅く、さらに、サイクル寿命が極めて短い。これは主に正極活物質である硫黄の特性（低い電子導電性、充放電による収縮膨張の体積変化、多硫化物イオンの溶出）等に起因する。レート特性・サイクル特性の向上には正極材や電解質の適正化が必要であり、正極材については、良好な電子導電性を有し、多硫化物イオンの溶出を抑制でき、且つ、不要な空隙のない構造を有する材料の研究開発が重要である。電解質については、良好なイオン導電性を有し、且つ、多硫化物イオンの溶出を抑制する電解質（液体・固体）や添加剤の研究開発が重要である。

### ■ 安全性：

負極材にリチウム金属を用いたリチウム硫黄電池は、充電時にリチウムデンドライトの生成・成長により短絡を引き起こすおそれがある。安全性の向上には、リチウムデンドライトを抑制し得る電解質、添加剤、あるいはセパレータを研究開発することが重要である。また、負極材にリチウム金属を使用しないことで安全性の向上を図ることも有効である。この場合、理論エネルギー密度は従来のLIBより高いが、リチウム金属を用いたリチウム硫黄電池よりは低くなる。リチウム金属の代替材料として、例えば、リチウムをシリコンなどの高容量材料と合金化したリチウム含有負極材料の研究開発が重要である。また、リチウムを含有するLi<sub>2</sub>Sを正極材とし、リチウムフリーのシリコンやスズなどの高容量材料を負極材としたタイプのリチウム硫黄電池の研究開発も重要である。

## 参考文献

- [1] 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.2) –高容量化活物質を用いた蓄電池のコスト試算と将来展望–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2015 年 3 月.
- [2] NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 (Battery RM2013), 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 平成 25 年 8 月.
- [3] Lin Chen and Leon L. Shaw, “Recent Advances in Lithium – Sulfur Batteries”, *Journal of Power Sources*, 267, 770-783, 2014.
- [4] Derek Moy et al., “Direct Measurement of Polysulfide Shuttle Current: A Window into Understanding the Performance of Lithium-Sulfur Cells”, *Journal of The Electrochemical Society*, 162 (1) A1-A7, 2015.
- [5] 栄部比夏里, “リチウム硫黄電池の研究開発”, 電気評論, p.34-37, 平成 28 年 12 月号.
- [6] Ya-Xia Yin et al., “Lithium–Sulfur Batteries: Electrochemistry, Materials, and Prospects”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 52, 13186 – 13200, 2013.
- [7] “リチウム硫黄セルを充電する方法”, 特開 2013-232423 号公報.
- [8] 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–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–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2014 年 3 月.
- [9] “正極合材及び全固体型リチウム硫黄電池”, WO2014203575 A1.

---

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.5)**  
ー Li-S 電池のコスト試算と研究開発課題ー

平成 30 年 1 月

**Secondary Battery System (vol.5):**  
**Cost Evaluation and Technological Challenges of a Lithium Sulfur Battery**  
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,  
2018.1

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/>

© 2018 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。

---