

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—

平成27年3月

Secondary battery system (vol.2):

Cost Estimation and Future Perspective of High-capacity Active Materials for
Lithium-ion 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-FY2014-PP-04
(平成27年4月印刷版)

概要

低炭素社会戦略センター (LCS) では、性能の向上と製造コストの低減を達成するための要素技術を評価し、その技術の導入効果を定量的に明らかにする蓄電池評価システムを構築している。前年度の蓄電池に関する提案書には、蓄電池の製造工程を詳細に分析し、現状の蓄電池製造コストが 17.6 円 /Wh_{ST}であることを示した。また、将来の技術進展を考慮し、生産規模の拡大、収率改善および高エネルギー密度化により、製造コストを概算した。本稿では前年度の提案書の続報として、特定の新規正極活物質 (酸化リチウム系) と新規負極活物質 (シリコン系) を組み合わせた電池の製品形状を規定したうえで、その性能と製造コストを定量的に評価した。酸化リチウム系正極活物質とシリコン系負極活物質の採用により、製造コストは現行活物質を用いた電池の 17.6 円 /Wh_{ST} から 2030 年に 5.1 円 /Wh_{ST} まで低減の可能性があることを示した。さらに、製造コストの解析の結果に基づき、今後の技術開発課題を示した。

Summary

Center for Low Carbon Society Strategy (LCS) has been constructing an evaluation system for batteries, which enables to quantitatively clarify the effect of each elemental technology relating to better performance of battery and cost reduction of battery production. In the proposal published last year, production cost of battery in present was calculated as 17.6 JPY/ Wh_{ST}, based on detailed process analysis. Moreover, battery cost was preliminary estimated, considering future technology development, scale-up effect and the use of high energy density materials. In the follow-up proposal, a novel battery using innovative cathode and anode activity materials was determined based on product shape and evaluated by the process design approach. The results reveals that production cost of battery is likely to be reduced from 17.6 JPY/ Wh_{ST} to 5.1 JPY/ Wh_{ST} in year 2030. Furthermore, research and development subjects were discussed based on the evaluation results.

目次

概要

1. 緒言	1
2. 高容量化活物質を用いた新型リチウムイオン電池	1
2.1 新型電池仕様設計および各評価対象の設定	1
2.2 製造コスト試算の概要	3
3. コスト評価結果	3
4. 技術開発に関する将来展望	5
5. まとめ	6
参考文献	6

1. 緒言

蓄電池技術は近年エネルギー転換における重要な役割を持つ技術として、各方面から高い関心が集まっている。携帯機器の電源としてのみならず、電気自動車などの次世代自動車の駆動電源、或いは太陽光発電や風力発電のような変動が大きな再生可能エネルギーの電力調整電源としての重要度はさらに高まっている。しかし、広範囲な普及にあたって一層の性能向上とコスト低減が課題である。より効率的な技術開発と技術普及のためには、電池性能と将来のコストと、具体的な要素技術開発との関係を定量化し、評価する必要がある。

低炭素社会戦略センター (LCS) ではこれまでに現状のリチウムイオン電池を対象とした製造コストを計算し、コスト低減のため、技術的に検討した定量的技術シナリオを構築してきた。前年度の蓄電池に関する提案書には、蓄電池の製造工程を詳細に分析した結果、現状の蓄電池製造コストが 17.6 円 /Wh_{ST} (Wh_{ST}: 蓄電池 1 回の充放電容量(単位: Wh), ST: Storage)であることを示した。また、将来の技術進展を考慮し、生産規模の拡大、収率改善および高エネルギー密度化により、製造コストを試算した^[1]。本稿では、前年度の提案書に続き、高容量密度の新材料を用いたリチウムイオン電池について具体的に検討する。容量密度が現行より 2 倍の新材料 (酸化リチウム系正極活物質) 並びに容量密度が現行より 5 倍以上の新材料 (シリコン系負極活物質) について、これらの正極材、負極材の組み合わせによる高エネルギー密度電池を算定し、プロセス設計に基づき製造コストを試算する。

2. 高容量化活物質を用いた新型リチウムイオン電池

リチウムイオン二次電池の一層の高容量化のために、様々な新しい材料の開発が行われている。例えば、酸化リチウム系正極材の理論容量密度^[2]が現行の正極 (コバルト系やマンガン系など) の 2 倍以上に達し、しかも高価なコバルト金属などの使用が少ないため、次世代電池の正極材料として期待できる。また、負極は、現行の黒鉛負極より 10 倍程度の高い理論容量を持つシリコン系負極材が注目されている。その中でも一酸化ケイ素 (SiO) はサイクル特性や体積膨張の面で優れ、有力な電池材料として開発が進んでいる。本検討では、酸化リチウム系正極 (Co-doped Li₂O) と SiO 負極を対象としたプロセスを設計し、新型リチウムイオン電池の製造コストを試算する。

2.1 新型電池仕様設計および各評価対象の設定

高容量化、高エネルギー化電池の実現に向けて、新規材料の研究開発が活発に行われている。一方、新規材料を用いた「電池 (セル)」としての仕様設計の指針とそれに基づいたエネルギー密度の定量的な計算はなされていない。本取り組みでは、電池における各構成部材の物性を考慮し電池仕様を定めた。図 1 に蓄電池設計評価の手順を示す。LCS の蓄電池コスト構造分析では、電池仕様、製造条件を明確にし、製造プロセスを設計することにより、製造コストを計算し評価する^[1,3]。新規材料を用いた電池 (以下、新規電池) を評価する場合は、新規電池の仕様がないため、まずは電池仕様を設計する。既存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) や電池形状 (円筒型、ラミネート型など)、電極の充填密度、活物質の塗布厚みなどの要素を抽出してパラメータ化する設計手法を構築している。新規電池では、既存電池と同様の手順を用い、材料の組み合わせに基づき電池の製造プロセスを再設計し、コスト計算と評価する。本取り組みでは、円筒型 (18650 型) を対象として新型電池を設計した。

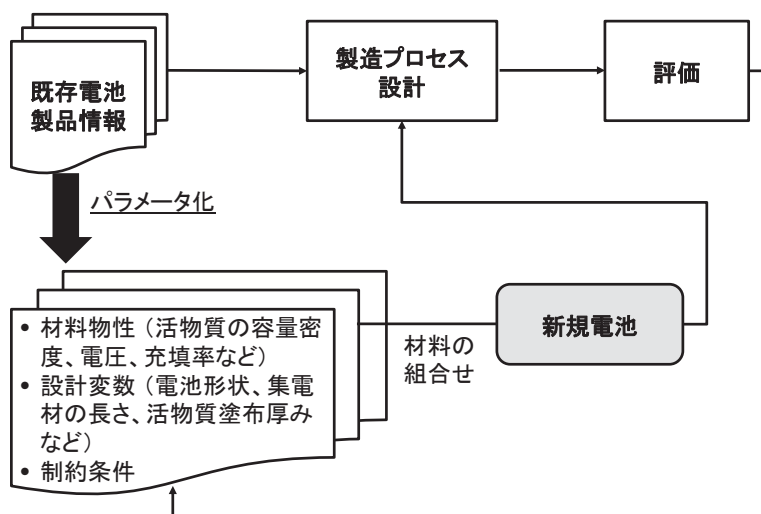


図 1 蓄電池設計評価

表 1 に示すように、本取り組みでは既報^[1]のシナリオと比較の上で、生産規模拡大 (1GWh/y → 10GWh/y)、収率改善 (66% → 90%) および電極材性能の異なる 3 つのシナリオを評価する。酸化リチウム系正極とシリコン系負極の組み合わせにより各ケースの仕様を決めた。実験室レベルシナリオは現状の Co-doped Li₂O 正極材^[2] (容量密度 200mAh/g) と SiO 負極材^[4] の組み合わせである。2020 年と 2030 年シナリオでは、正・負極活物質の技術進展を想定し、容量密度を設定する。各ケースにおいて電池を設計し、蓄電容量とエネルギー密度を推算した。

表 1 各評価シナリオの仕様比較

	現状 ^[1] (1GWh/y, 収率 66%)	現状 ^[1] (10GWh/y, 収率 90%)	現状 (新材料 実験室データ ; 10GWh/y, 収率 90%)	2020 年 (10GWh/y, 収率 90%)	2030 年 (10GWh/y, 収率 90%)
正 / 負極 活物質	LiCoO ₂ / 黒鉛	LiCoO ₂ / 黒鉛	Co-doped Li ₂ O ^[2] / SiO ^{**}	Co-doped Li ₂ O/ SiO ^{**}	Co-doped Li ₂ O/ SiO ^{**}
サイズ	18mm φ × 65mm				
正 / 負極容量 密度 [mAh/g]	150/400	150/400	200/900	350/900	580 [*] /1400
電圧 [V/ 電池]	3.6	3.6	2.4	2.4	2.4
容量 [Ah/ 電池]	2.4	2.4	2.8	3.9	6.4
蓄電容量 [Wh _{ST} / 電池]	8.6	8.6	6.1	9.5	15.4
エネルギー 密度 [Wh _{ST} /kg]	200	200	170	260	430

*、Li 酸化物系正極活物質の容量密度理論値。

**、SiO:C=80wt%:20wt%。^[4-5]

2.2 製造コスト試算の概要

新型電池の製造コスト評価については、既報の円筒型蓄電池コスト評価と同様に、電池仕様、製造条件を明確にし、製造プロセスを設計することにより製造コストを計算した。電気自動車、定置用蓄電池などの普及が予想されるため、年産 10GWh_{ST} の製造プラントを想定した。また、将来の収率は 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る。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き設備費と、工程毎の操業に必要な運転人員から人件費を算出した。

Co-doped Li₂O 正極材と SiO 負極材の製造工程は文献や特許の調査^[2,4,6]に基づき機器構成と操作条件を設定し、初歩的なプロセス設計を行った。Co-doped Li₂O 正極材は Li₂O と Co₃O₄ を遊星ボールミルを用いて粉碎、混合して製造する。また、SiO 負極材は、原料としてフュームドシリカ (SiO₂) と金属 Si を用い、レーディゲミキサーで均一に混合する。次に、このシリコン混合物を、冷却管付加熱装置にて、圧力 100Pa、温度 1300℃、滞留時間 10 時間の操作条件で、不均化反応を進行させることにより製造する。その後、SiO 負極のリサイクル特性の向上のため、ロータリキルンを使い熱 CVD で SiO の表面に炭素被膜を行う。

3. コスト評価結果

各評価ケースのコスト構造分析結果を表 2 に示す。Li 酸化物系正極 (200 mAh/g) とシリコン系負極活物質の利用により、製造コストは 17.6 円 /Wh_{ST} → 12.0 円 /Wh_{ST} に削減できる。更に、正・負極活物質の開発進展により、2020 年に 7.9 円 /Wh_{ST}、2030 年に 5.1 円 /Wh_{ST} に低減する可能性が示された。

表 2 蓄電池システムの製造コスト展望

	現状 (1GWh/y, 収率 66%)	現状 (10GWh/y, 収率 90%)	現状 (新材料 実験室データ ; 10GWh/y, 収率 90%)	2020 年 (10GWh/y, 収率 90%)	2030 年 (10GWh/y, 収率 90%)		
正 / 負極活物質	LiCoO ₂ / 黒鉛	LiCoO ₂ / 黒鉛	Co-doped Li ₂ O/ SiO	Co-doped Li ₂ O/ SiO	Co-doped Li ₂ O/ SiO		
サイズ	18mm φ × 65mm						
生産規模 [GWh/y]	1	10	10	10	10		
収率 [%]	66	90	90	90	90		
蓄電容量 [Wh _{ST} /電池]	8.6	8.6	6.1	9.5	15.4		
エネルギー密度 [Wh _{ST} /kg]	200	200	170	260	430		
製造コスト [円 /Wh _{ST}]*	変動費	原材料費	13.2	10.0	9.0	5.7	3.5
		用役費	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3
	固定費 (設備費・人件費)	3.9	2.1	2.6	1.8	1.3	
	合計	17.6	12.5	12.0	7.9	5.1	

*. 四捨五入した値を示しており、合計値と個別値の和が一致しない場合がある。

表 2 に示したように、製造コストに占める原材料費の割合が高いため、原材料費の削減は蓄電池コスト低減に有効である。構成部材別における原材料費内訳を図 2 に示す。現状の原材料費は 13.2 円 /Wh_{ST} であり、そのうち正・負極材料の割合が 70% を占めている。正・負極材共に微細構造設計、製造技術などの開発により、正・負極原材料費の削減効果が大きいことがわかる (2030 年に正極材料 : 6.8 → 0.9 円 /Wh_{ST}、負極材料 : 2.4 → 0.9 円 /Wh_{ST})。

製造固定費は、設備費と人件費からなる。設備費は製造プロセスに基づき製造機器の仕様を定め、それらの機器コスト、配管、建屋等の工事を含めた工場の総建設費から算出する。人件費はプロセス運転において必要人員数から計算する。表 3 に各評価シナリオにおける設備費と必要人員数をまとめる。正・負極製造設備費は正・負極活物質の製造から、作製された活物質、導電助剤、バインダーの溶解・混合・ペースト化による電極合剤の製造までの工程となる。

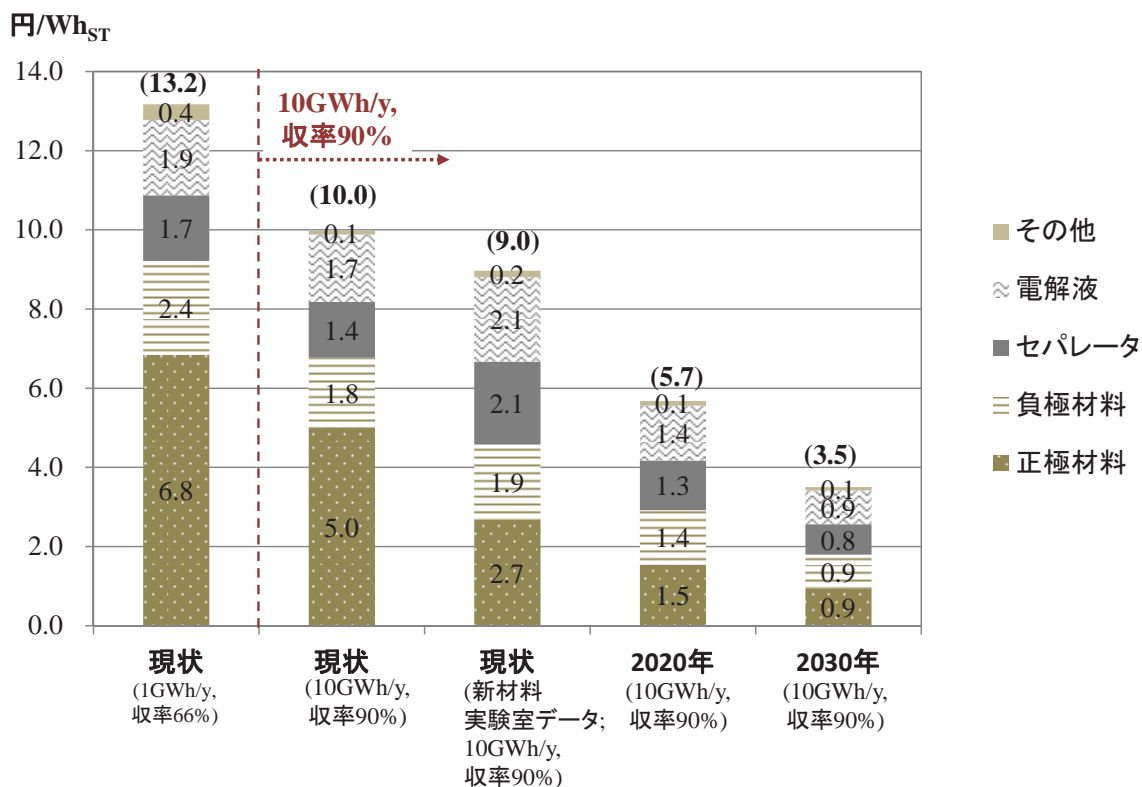


図 2 構成部材別における原材料費内訳
 (四捨五入した値を示しており、合計値と個別値の和が一致しない場合がある。)

表 3 各評価シナリオにおける設備費および人員数*

	現状 (1GWh/y, 収率 66%)	現状 (10GWh/y, 収率 90%)	現状 (新材料 実験室データ ; 10GWh/y, 収率 90%)	2020 年 (10GWh/y, 収率 90%)	2030 年 (10GWh/y, 収率 90%)
電池生産 (個数 / 年)	1.2 億	11.6 億	16.3 億	10.6 億	6.5 億
正極製造設備費 (億円)	60	326	281	215	173
負極製造設備費 (億円)	23	137	100	100	92
その他の設備費 (億円)	76	467	708	472	307
合計 (億円)	160	930	1089	788	572
人員数 (人)	183	631	934	653	442

*、四捨五入した値を示しており、合計値と個別値の和が一致しない場合がある。

図3は今年度と前年度の試算結果の比較である。前年度は現状で (Co 系 / 黒鉛) 18 円 /Wh_{ST} (200Wh_{ST}/kg-battery)、生産規模の拡大および収率改善により 13 円 /Wh_{ST}、さらに高エネルギー密度化により、2020 年に 7 円 /Wh_{ST} (340Wh_{ST}/kg-battery)、2030 年に 4 円 /Wh_{ST} (600Wh_{ST}/kg-battery) とコスト低減する可能性を示した。本検討では具体的実現可能な技術を特定し、高容量密度をもつ正・負極活物質を用いて、プロセス設計に基づきコストを評価した。新たな正・負極材料を用いた蓄電池の製造コストは現状 12 円 /Wh_{ST} (170Wh_{ST}/kg-battery)、2020 年に 8 円 /Wh_{ST} (260Wh_{ST}/kg-battery)、2030 年に 5 円 /Wh_{ST} (430Wh_{ST}/kg-battery) となった。本検討で対象とした正極活物質の電位 (2.5V) が低いため、エネルギー密度が前年度の見通しより低くなった。従って、今年度の製造コストの推算値の方が高い値となった。

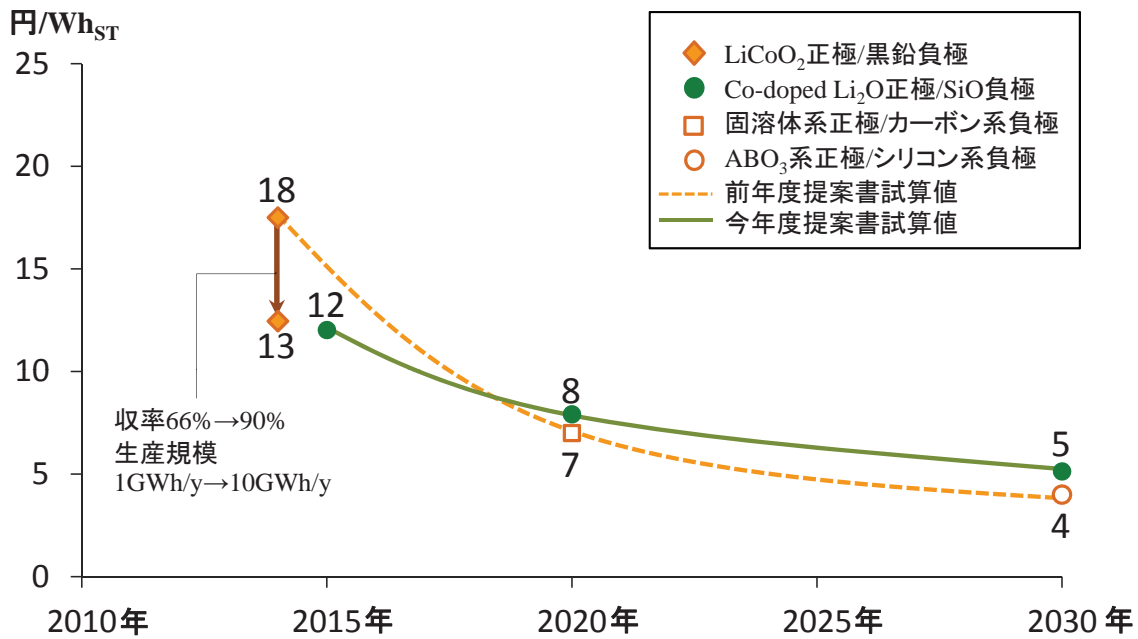


図3 各蓄電池技術シナリオにおける製造コストの比較

4. 技術開発に関する将来展望

新規材料を用いた蓄電池のプロセス検討から、蓄電池の製造コストが 5 円 /Wh_{ST} に低減する技術が示された。その実現に向けて以下のような技術開発課題を述べる。

- ・ 現行の酸化リチウム系正極、シリコン系負極の性能を上げるために、正・負極共に微細構造設計、容量密度を向上する技術開発が必要である。
- ・ 今後は新たな高容量化・高電位化電極活物質の開発や探索が必要である。
- ・ 活物質以外の部材 (セパレータ、電解液) の高性能化も必要である。例えば、Li に対する電位を 5V 程度まで高めることで高容量化が期待できる正極材料では、電解液の高性能化が実用化の障壁となっている。現行の電解液は高電圧に耐えられず分解してしまうため、新たな電解液の開発が必要である。また、高エネルギー密度化のため、電極の厚膜化が必要であるが、バインダーや高強度の集電材の開発を求める。
- ・ 材料開発だけでなく、製造プロセスの技術革新 (収率向上など) も必要である。

5. まとめ

蓄電池について、上述の評価シナリオに基づき、以下に結果および技術開発課題をまとめる。

- ・高容量密度活物質（酸化リチウム系正極とシリコン系負極）を利用した電池の製造コストは 17.6 円 /Wh_{ST} → 5.1 円 /Wh_{ST} まで削減可能である。
- ・電池製造技術の構造化は電池設計の視点から、新たな材料を用いた新規電池の性能と製造コストの試算が可能であり、材料に求められる要件、組み合わせに関する知見が蓄積されることにより、蓄電池開発にあたって材料探索やより低コストの製造プロセス設計に有用である。
- ・新たな高性能正・負極活物質、セパレータ、電解液材料に関する研究開発が重要である。また、蓄電池において技術開発および政策推進の観点から、新材料を用いた高性能蓄電池の将来展望についてより迅速かつ適切な評価が重要である。今後は LCS が開発している支援ツールと基盤データベースの適用によって、正・負極材料、電解液材料などを組み合わせた要素技術の検討を含めて他の蓄電池を評価する予定である。

参考文献

- [1] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「低炭素社会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：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」（LCS-FY2013-PP-03），p.1-7，2014 年 3 月（<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/index.html>）。
- [2] Shin-ichi Okuoka, Yoshiyuki Ogasawara, Yosuke Suga, Mitsuhiro Hibino, Tetsuichi Kudo, Hironobu Ono, Koji Yonehara, Yasutaka Sumida, Yuki Yamada, Atsuo Yamada, Masaharu Oshima, Eita Tochigi, Naoya Shibata, Yuichi Ikuhara, Noritaka Mizuno. A new sealed lithium-peroxide battery with a Co-doped Li₂O cathode in a superconcentrated lithium bis (fluorosulfonyl) amide electrolyte. *Sci. Rep.*, **4**, 5684 (2014).
- [3] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「低炭素社会づくりのための総合戦略とシナリオ」，p.35-38，平成 24 年 7 月。
- [4] 渡邊浩一郎，西峯正進. 非水電解質二次電池用負極活物質の製造方法、非水電解質二次電池用負極活物質、リチウムイオン二次電池及び電気化学キャパシタ. 特開 2013-8654. 2013-01-10.
- [5] 樋口太規，森本英行，鳶島真一. オリビン型化合物を添加した SiO-C 系リチウム二次電池高容量負極の特性. 第 55 回電池討論会講演要旨集，京都，2014-11-19/21，電気化学会 電池技術委員会，p.107.
- [6] 福岡宏文. 酸化珪素粉末の製造方法. 特開 2007-290890. 2007-11-08.

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—

平成 27 年 3 月

Secondary battery system (vol.2):
Cost Estimation and Future Perspective of High-capacity Active Materials
for Lithium-ion 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,
2015.3

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

(平成 27 年 4 月印刷版)

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 陳 怡静 (I-Ching CHEN)
- 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/>

© 2015 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。
