

2022 年度実施方針

スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

1. 件名

電気自動車用革新型蓄電池開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 号ニ及び第 9 号

3. 研究開発の目的・目標

3.1 研究開発の目的

(1) 政策的な重要性

① 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019 年 6 月閣議決定)

我が国は今世紀後半のできるだけ早期に脱炭素社会を実現することを目指す。蓄電池は脱炭素のキーテクノロジーの 1 つであり、コスト、効率等の具体的な目標を掲げ、大胆に政策・経営資源を投入するとともに、官民一体で取り組むとしている。また、運輸分野における気候変動問題への積極貢献対策として、2050 年までに世界で供給する日本車について世界最高水準の環境性能(具体的には日本車 1 台あたりの温室効果ガス排出量を 2010 年比で 8 割程度削減)を実現するとしている。この場合、自動車の電動化が重要となるが、そのキーテクノロジーである蓄電池については、技術革新が進み、価格低下が進んでいるものの、電動車が内燃機関自動車と同等の価格・スペックを実現するまでには更なる技術革新が必要としている。

② 「革新的環境イノベーション戦略」(2020 年 1 月統合イノベーション戦略推進会議決定)

運輸分野においては、2050 年までに日本車 1 台あたりの温室効果ガス排出量を 2010 年比で 8 割程度削減を長期のゴールと定めた上で、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、ハイブリッド車(HEV)等、電動車の普及拡大に向け、高性能蓄電池の技術開発に取り組むとしている。また、この技術開発に際しては、基礎基盤研究を進めつつ、大学・ベンチャー等の知識を取り込みながら、国内外の研究機関との連携体制を構築するとしている。さらに、電池特性に係る基礎的課題の解明のための拠点を設置し、次世代モビリティ用途も含め、電池設計から電極や電解質等の材料開発、電池作製・評価解析までを一気通貫で行う体制を整備するとしている。

③ 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2020 年 12 月経済産業省策定)

EV の導入を強力に進め、2030 年代半ばまでに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう包括的な措置を講じ、特に軽自動車や商用車等の、EV や燃料電池自動車への転換について特段の対策を講じていくとしている。また、2030 年までのできるだけ早期に、EV とガソリン車の経済性が同等となる車載用の電池パック価格 1 万円/kWh 以下を目指すとしている。2030 年以降、更なる蓄電池性能の向上が期待される次世代電池

の実用化を目指し、2035年頃に革新型電池(フッ化物電池・亜鉛負極電池等)の実用化を目指すとしている。

④「第6次エネルギー基本計画」(2021年10月閣議決定)

運輸部門のCO₂排出量の86%を占める自動車のカーボンニュートラル化に向け、燃料・エネルギーのカーボンニュートラル化の取組を通じて、多様な選択肢を追求し、2050年に自動車の生産、利用、廃棄を通じたCO₂ゼロを目指すとしている。乗用車については、2035年までに、新車販売で電動車100%を実現できるよう、電動車・インフラの導入拡大、電池等の電動車関連技術の強化等の包括的な措置を講じるとしている。また、国内の自動車製造の安定的な基盤を確保するため、2030年までのできるだけ早期に、国内の車載用蓄電池の製造能力を100GWhまで高めるとともに、蓄電池サプライチェーンの強化に向け、蓄電池材料を含めた大規模投資を促すとしている。

(2) 電動車及び車載バッテリーの課題

主要国は自動車の燃費規制や排出ガス規制を強化すると同時に、自動車メーカーに対して一定比率以上の低公害車の販売を義務付ける政策を推進している。また、将来、段階的に内燃機関自動車の販売を禁止する政策を打ち出している国も数多く出始めている。そのため、昨今、大手の自動車メーカー各社はEV・PHEVのラインアップ拡充計画を競うように公表している。

現在のEV・PHEVには液系リチウムイオン電池(以下、液系LIBという。)が使われているが、有機溶媒電解液を使用するため、一歩間違えると発火の危険性があり、また、高レート of 充放電による温度上昇で劣化が進むため、バッテリーパックには安全系や冷却系のシステム部品が数多く組み込まれている。この結果、航続距離が400kmを超えるEVであれば、重量で300kg以上、体積で250L以上と重く嵩張るバッテリーパックを搭載しており、車両デザインに大きな制約を与えている。また、バッテリーパックのコストも高く、車両コストの約1/3を占めると言われており、低価格帯の車両モデルではガソリン車と同レベルの収益性を確保することが困難となっている。

加えて、LIBの電極活物質及び電解質に用いられるリチウム及びコバルトはレアメタルであり、短・中期的に見て資源自体が枯渇する心配はないものの、経済的に採掘可能な地域に偏りがあり、また供給構造も寡占的であるため、将来のEV・PHEVの大量普及時には投機的取引による価格高騰の可能性がある。

(3) 技術開発動向

前記(2)で述べたように、今後、自動車メーカーのEV・PHEVビジネスの展開を加速させると同時に、自動車ユーザーのEV・PHEV購入意欲を掻き立てるには、車載バッテリーについて信頼性・安全性を損ねることなく、高エネルギー密度化を向上させることでバッテリーパックの低コスト化及び軽量・コンパクト化を実現する必要がある。

しかしながら、この課題を液系LIBで解決するのは難しい。その理由としては、LIBの充放電にはインサージョン反応を用いるため、リチウムを挿入・脱離するホスト材料が必要なこと、リチウムの挿入・脱離量はホスト材料のリチウムの結晶学的位置の数で決まること、リチウムの

脱離量が多くなるとホスト材料に構造相転移が起こって可逆性が低下すること等により、数倍レベルのエネルギー密度の向上は困難であるからである。仮に数割レベルの向上を図るにしても、例えば、正極活物質の高容量化に有効なニッケル含有量の増加は、結晶構造の分解温度を低下させ、分解時の放出酸素と電解液の反応による発火リスクを高めることになる。難燃性の電解液も検討されているが、性能・経済性を損ねずに、安全性を抜本的に改善するものはまだ見出されていない。

このようなことを背景として、液系 LIB とは反応原理が異なる革新型蓄電池の研究開発が以下に示すように世界全体で活発化しており、主要国は種々の蓄電池タイプについて万遍なく、研究開発に取り組んでいる。

日本では、NEDO の「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (RISING)」(2009～2015 年度) 及び「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2)」(2016～2020 年度) において産学官連携によるフッ化物電池、亜鉛空気電池、金属硫化物電池及びコンバージョン電池の研究開発が行われている。

また、文部科学省の「国家課題対応型研究開発推進事業／元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」(2012 年度～) においてナトリウムイオン電池の研究開発が、科学技術振興機構の「戦略的創造推進事業／先端的低炭素化技術開発／次世代蓄電池研究加速プロジェクト」(2013 年度～) においてリチウム硫黄電池、リチウム空気電池、マグネシウムイオン電池等の研究開発が大学・研究機関によって行われている。

米国では、エネルギー省 (DOE) のエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE) が所管する「Advanced Battery Materials Research」(2015 年～) 及び「Battery500」(2018 年～) において企業、大学・研究機関等によるリチウム硫黄電池、リチウム空気電池、リチウム金属負極電池、ナトリウムイオン電池等の研究開発が行われている。また、DOE の科学局 (Office of Science) が所管する「Basic Energy Science」(2012 年～) において次世代蓄電池の研究開発拠点「Joint Center for Energy Storage Research」(JCESR) が Argonne 国立研究所に設立され、リチウム硫黄電池やリチウム空気電池等の研究開発が行われている。

欧州では、欧州連合 (EU) の研究開発支援制度「Horizon2020」(2014 年～) や欧州グリーンカー・イニシアティブ (EGCI) の資金提供プログラムにおいてリチウム硫黄電池やリチウム空気電池等の研究開発が行われている。また、EU の取組みとは別に、英国はビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) が所管する「Faraday Battery Challenge」(2017 年～)、フランスは高等教育・研究省 (MESRI) が所管する「Research Network on Electrochemical Energy Storage」(2011 年～)、ドイツは教育研究省 (BMBF) が所管する「Excellent Battery Centers」(2012 年～) 及び「Batterie2020」(2016 年～) といった研究開発プログラムを推進しており、その中でリチウム硫黄電池、リチウム空気電池、マグネシウムイオン電池、ナトリウムイオン電池等の研究開発が行われている。

中国では、科学技術部が所管する「新エネルギー試行特別プロジェクト」(2016 年～) においてリチウム硫黄電池やリチウム空気電池等の研究開発が行われている。

韓国では、未来創造科学部やエネルギー技術評価院 (KETEP) が所管する研究開発プログラムにおいて、リチウム硫黄電池や亜鉛空気電池等の研究開発が行われている。

(4) 本事業のねらい

本事業においては、以下に示す 5 つの車載バッテリーの基本要件全てについて、現行の液系 LIB を凌駕する革新型蓄電池を搭載した EV・PHEV を我が国自動車メーカーが世界に先駆け、グローバルに市場投入することにより、運輸部門における CO₂ 排出量削減に貢献するとともに、我が国の自動車・蓄電池関連産業の競争力を維持・向上することをねらいとした研究開発を実施する。

- 高エネルギー密度
- 高耐久・長寿命
- 発火リスク無し又は極少
- 構成材料が安価（加えて、原材料調達リスクが無い）
- 製造プロセスがシンプル（加えて、タクトタイムが短い）

本事業の推進にあたっては、先端的な材料科学や高度な解析技術を得意とする大学・公的研究機関、車載バッテリー及びその構成材料の開発・製品化で豊富な実績を有する蓄電池メーカー及び材料メーカー、さらにはエンドユーザーとなる自動車メーカーで構成される産学連携・企業間連携のコンソーシアム体制を構築する。そして、NEDO がこれらプレイヤーの英知を事業内で好循環させるマネジメントを行い、電極・電解質等の材料開発～電池設計～電池試作～評価解析までの共通基盤技術を一通貫で構築することにより、革新的車載バッテリーの実用化を実現する技術的ブレークスルーを獲得する。

(5) 研究開発対象とする蓄電池タイプ

本事業では、「研究開発項目① フッ化物電池の研究開発」及び「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」を実施する。

フッ化物電池の特長は次のとおりである。

- 多価金属のフッ化・脱フッ化反応を充放電反応に利用するため、高いエネルギー密度が得られる。特に体積エネルギー密度でトップクラスのポテンシャルがある。そのため、様々な EV・PHEV モデル(車体形状・セグメント)に対応可能な軽量性・コンパクト性を有したバッテリーパックを実現可能である。
- 液系 LIB では過充電等によって電極活物質から放出される酸素と有機溶媒電解液との反応による発火リスクがあるが、フッ化物電池ではそれが無い。
- 電極活物質候補である多価金属(銅、鉄、アルミニウム、マグネシウム等)は安価で調達リスクは無い。また、フッ素もリチウムに比べて調達リスクは小さい。
- 前記の NEDO 事業 RISING 及び RISING2 を通じて着実に基礎・基盤技術の研究開発を進めてきた日本オリジナルの蓄電池であり、海外も含めて研究成果の報告例や障害となる特許は無い。オープン・クローズの知財戦略、標準化と特許権との組合せにより、ビジネス段階での優位性が構築可能である。

また、亜鉛負極電池の特長は次のとおりである。

- 亜鉛負極は高い理論容量密度を有し、高エネルギー密度が求められる車載バッテリーには好適である。正極活物質として空気を用いて亜鉛空気電池とすれば、エネルギー密

度は極めて高くなるが、空気極の可逆性や過電圧によるエネルギーロス等の課題がある。また、セルが開放型となるため、電解液の揮発であったり、空気中の二酸化炭素や不純物の混入による空極触媒及び電解液の失活を防止する対策をバッテリーパックに講じる必要がある。一方、亜鉛負極電池のセルは密閉型であるため、これらの課題が無い。そのため、亜鉛空気電池と比べて信頼性や経済性に優るバッテリーパックを実現できる。

- 亜鉛負極電池ではアルカリ水溶液を電解液に用いるため、発火リスクが無い。また、この電解液は LIB の有機溶媒電解液に比べて安価である。
- 亜鉛及び正極活物質候補である黒鉛、マンガン等は安価で調達リスクが無い。黒鉛を用いる場合でも、電解液との界面には Solid Electrolyte Interphase (SEI) 被膜が不要であるため、LIB で使用している黒鉛よりも安価なものが適用可能である。
- 亜鉛負極電池の製造には、ニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池等の製造プロセス技術が応用可能であり、セルのベンチ・パイロット生産にはこれらアルカリ二次電池の既存製造ラインが活用可能である。

3.2 研究開発の目標

表-1 に示す性能・諸元を有したバッテリーパックを実現するための共通基盤技術を確立することを目標とする。

表-1 革新型蓄電池を用いたバッテリーパックの実用化目標

目標項目	実用化目標 (革新型蓄電池)	参考 (現行の液系 LIB)
コスト	1 万円/kWh 以下	2 万円/kWh 程度
重量エネルギー密度	フッ化物電池:400Wh/kg 以上 亜鉛負極電池:200Wh/kg 以上	130~160Wh/kg 程度
体積エネルギー密度	フッ化物電池:900Wh/L 以上 亜鉛負極電池:400Wh/L 以上	150~240Wh/L 程度
カレンダー寿命	15 年以上	7~8 年程度
サイクル寿命	2,000 回以上	1,000 回程度
安全性	内部短絡や過充電等、 異常時の発火リスク無し	リスク有り
原材料調達リスク	無し	有り(Li, Co)
急速充電時間	20 分以下	40 分程度

「研究開発項目① フッ化物電池の研究開発」(委託)

○ 最終目標(2025 年度末)

2Ah 級セルを試作し、下記する性能特性を実証する。

- 充放電効率:90%以上
- 重量エネルギー密度:500Wh/kg 以上
- 体積エネルギー密度:1,000Wh/L 以上

- サイクル容量劣化:10%以下(100 サイクル後)
- 充電受入性:1C レート以上
- 安全性:内部短絡・過充電等の異常時に発火・発煙無し

また、セル試作・特性評価の結果に基づき、今後の実用化開発を経て実現されるバッテリーパックの性能・コストを推定し、表-1 の実用化目標を達成可能なことを確認する。

○ 中間目標(2023 年度末)

0.1Ah 級セルを試作し、重量エネルギー密度 400Wh/kg 以上、体積エネルギー密度 800Wh/L 以上を実証する。また、セルの性能特性の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を達成するために注力すべき研究開発アイテムとそのアプローチを提示する。

「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」(委託)

○ 最終目標(2025 年度末)

5Ah 級セルを試作し、各種特性評価試験を行って下記を実証する。

- 充放電効率:90%以上
- 重量エネルギー密度:200Wh/kg 以上
- 体積エネルギー密度:500Wh/L 以上
- サイクル容量劣化:10%以下(100 サイクル後)
- 充電受入性:3C レート以上
- 安全性:内部短絡・過充電等の異常時に発火・発煙無し

また、セル試作・特性評価の結果に基づいて、今後の実用化開発を経て実現されるバッテリーパックの性能・コストを推定し、表-1 に示した実用化目標を達成可能なことを確認する。

○ 中間目標(2023 年度末)

0.2Ah 級セルを試作し、重量エネルギー密度 150Wh/kg 以上、体積エネルギー密度 400Wh/L 以上を実証する。また、セルの性能特性の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を達成するために注力すべき研究開発アイテムとそのアプローチを提示する。

4. 実施内容及び進捗(達成)内容

プロジェクトマネージャー(PMgr)に NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 古川 善規 部長 兼 蓄電技術開発室長を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

京都大学大学院工学研究科 教授 安部 武志 氏をプロジェクトリーダー(PL)とし、また、京都大学産官学連携本部 特任教授 森田 昌行 氏をサブ PL とし、以下の研究開発を実施した。

4.1 2021 年度(委託)事業内容

「研究開発項目① フッ化物電池の研究開発」

事業初年度である 21 年度は最終目標の 500Wh/kg を達成するために、フッ化物電池の現状把握と材料特性などの要素技術開発への落とし込みを実施した。具体的には電解質の電位窓の拡大や電極中の活物質利用率の向上が必要である。目標達成のために材料開発と界面制御・電極設計の技術開発を重点的に推進した。

材料開発においてはより高性能な新規材料探索のためにコンビナトリアル的探索を可能にする組成傾斜可能な真空成膜装置の導入と、得られた材料の組成や構造の迅速評価システムを導入した。成膜と評価で得られたデータにインフォマティクス手法を適応することで組成の最適化や未知の材料組成の探索が可能になると期待している。

電極設計に関しては、共焦点 XRD を用いて動作中の電池内部の材料構造変化を解析が可能になってきた。従来技術では電池の動作電圧を印加した状態での測定 (operando 解析) が可能だったが、測定技術及び測定用セル開発により電池を充放電させながら測定する事が可能になった。現在、この技術によって充放電中に電極内で起きている現象を解析中である。なおこの解析技術は「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」や別事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第 2 期)」との連携テーマともなっており、それぞれの電池系に対して応用されている。

材料開発・電極設計ともに当初計画通り進展している。

「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」

亜鉛負極電池の研究開発では、最終目標の 200Wh/kg を念頭に正極活物質に 2 つの材料群を選定し、電池としての成立性及び電池特性の評価を開始した。その際、反応電位や理論容量密度などの電気化学的要件に加えて、資源性や環境適合性についても材料選定の基準とした。その結果、正極活物質は炭素系材料と酸化物系材料を合成・評価しており、特に炭素系材料にはインフォマティクス手法を適用し、充放電に適した構造的特徴の抽出を開始した。

電解質は正極活物質とキャリアイオンの組み合わせに適した電解質を選択するため、各種電解質塩の正負極の反応への影響を見極めている。

亜鉛負極の課題である充放電時の dendrite 成長・シェイプチェンジへの影響は電極形態の SEM や X 線 CT などによる in-situ なマクロな観察から放射光などを利用した界面やイオンの微細構造解析を実施し、その結果を亜鉛負極合金や電解質のゲル化などの材料開発にフィードバックしている。

亜鉛負極電池も当初想定通りの進捗である。

4.2 実績推移

	2021 年度
	委託
実績額推移 需給勘定(百万円)	2,731
特許出願件数	2

論文発表数(報)	9
フォーラム・新聞発表等件数(件)	42

5. 事業内容

PMgr に NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 今田 俊也 部長 兼 蓄電技術開発室長、サブ PMgr に NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 齋藤 俊哉 主任研究員を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

京都大学大学院工学研究科 教授 安部 武志 氏を PL とし、また、京都大学産官学連携本部 特任教授 森田 昌行 氏をサブ PL とし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5.1 2022 年度(委託)事業内容

「研究開発項目① フッ化物電池の研究開発」

材料探索に関してはコンビナトリアル手法と機械学習の組み合わせで年間数千組成以上の新規材料の合成と評価を計画しており、中間及び最終目標を見通せる材料の電池評価による性能確認まで予定している。

電極の高性能化に関しては活物質材料の高性能化に加えて電極中の活物質・電解質の混合構造の最適化も進めて活物質利用率と電池容量の向上を目指す。電極内の反応解析及び反応の不均一性の評価には現状の共焦点 XRD や薄膜技術を応用した界面反応解析に加え、ナノ相分離材料の微細構造の把握と材料設計も実施する。

さらに中間評価に向けて、セル化・セル評価も加速する。有望材料の各研究機関での評価に加えて、標準的な材料を組み合わせるラミセル化とセル評価の検討も推進する。

「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」

22 年度は 21 年度での検討を基に注力すべき正極・電解質材料を選択し、中間及び最終目標のセルでの実証に繋げていく。材料選択にあたっては、とくに電解質の材料と組成が正極活物質の反応過程に大きな影響を及ぼすため、その相関性を系統的に検証することとする。選択した材料でのセル作製とセル化した時の課題を抽出・対策することで電池性能の向上を目指す。新規材料探索や材料組成の最適化に関しては、フッ化物電池の材料探索のデータベースと探索手法を共通基盤技術として共有・活用を図る。また、充放電中の電池内部や電解質活物質界面での現象はフッ化物電池と共通の解析技術を開発・適用する予定である。これらの検討結果をふまえ、23 年度以降に注力すべき正極材料群を絞り込み、またそれと連動する電解質組成群を提案することを 22 年度の目標とする。

5.2 2022 年度事業規模

需給勘定 2,500 百万円(継続)

ただし、事業規模については変動があり得る。

6. その他重要事項

6.1 研究開発の運営管理

PMgr 及びサブ PMgr は、PL、サブ PL 及び研究開発実施者との密接な連携を維持しつつ、本事業全体を運営管理する。

(1) 進捗管理

PMgr 及びサブ PMgr は、本事業の実施期間中、国内外の関連技術動向を把握するとともに、事業全体の進捗を把握・管理する。

(2) 資金配分、研究開発内容の見直し等

PMgr 及びサブ PMgr は、本事業の進捗状況を踏まえて、資金配分や研究開発内容の見直し、実施体制の変更を検討・実施する。

(3) 知的財産マネジメント

PMgr、サブ PMgr、PL 及びサブ PL は、オープン&クローズ戦略としての成果の秘匿化と海外も含めた権利化・国際標準化等を適切に組み合わせて、産業競争力の維持・向上に繋げる知的財産マネジメントを実施する。

また、PMgr 及びサブ PMgr は、本事業の成果の円滑な権利化及びその実用化・事業化を図るため、研究開発実施者間の知的財産権の調整を主導する。

(4) 研究開発資産等の利活用のルール作り

PMgr、サブ PMgr、PL 及びサブ PL は、事業の実施期間中及び事業終了後において、本事業で技術及びそれが組み込まれた機械装置等を有効に利活用するための運用体制、運用形態・方法等に関する枠組み・ルール作りを主導する。

6.2 複数年度契約の実施

委託事業

2021～2023 年度の複数年度契約を行う。

6.3 知財マネジメントに係る運用

本事業は、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

6.4 データマネジメントに係る運用

本事業は、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針(委託者指定データを指定しない場合)」を適用する。

7. 実施方針の改訂履歴

2022 年 2 月 制定

2022 年 7 月 サブ PMgr の追加

(別紙) 事業実施体制

