

2023 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 「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。

② 「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。

③ 「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。

④「蓄電池産業戦略」（2022年8月蓄電池産業戦略検討官民協議会策定）

蓄電池に対する産業戦略として、上流資源の確保を含めた液系 LIB の国内製造基盤を確立（遅くとも 2030 年までに蓄電池・材料の国内製造基盤 150GWh/年を確立）するとともに、国内で確立した技術をベースに国内企業が競争力を維持・強化できるよう、海外展開を戦略的に展開し、グローバルプレゼンスを確保（グローバル市場において、2030 年に、我が国企業が製造能力 600GWh/年を確保）していくこと、全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化するために技術開発を加速し次世代電池市場を着実に獲得することが今後の方向性として掲げられている。次世代電池については、研究開発能力目標として全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化し製造技術の優位性・不可欠性を確保するため、産学官の研究開発力を結集し、2030 年頃に全固体電池の本格実用化、2030 年以降も我が国が技術リーダーの地位を維持・確保することを目標とするとしている。

(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、高レートでの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きた。

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>」(2012～2021 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」(2013～2022 年度) において金属空気電池、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た。

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・研究機関等によるナトリウムイオン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各種革新電池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、その中でマグネシウムイオン電池や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～) において各種革新電池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、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気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 今田 俊也 部長 兼 蓄電技術開発室長(2022 年 4 月~2022 年 7 月)、及び NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 臼田 浩幸 蓄電技術開発室長(2022 年 8 月~)を、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(2022 年 7 月~)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 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」

材料探索においては、コンビナトリアル的探索のための組成傾斜可能な真空成膜装置を導入し、年間数千組成の材料の合成が可能になった。また、コンビナトリアル合成された材料群に対して組成分析・結晶構造解析も可能となっており、年間数千件の組成と構造のデータセットが材料探索の基礎データとして蓄積されつつある。更に、電池特性に関連する物性の迅速測定装置が整備されたため、電池特性の関連物性を目的変数として機械学習を適応した新規材料探索が可能となった。現在、固体電解質と活物質を対象として材料探索を実施中である。

電極設計においては、電極を構成する活物質と電解質それぞれの材料開発に加え、それら電極形成プロセスの検討により、正負極それぞれにおいて充放電時の活物質利用率が向上した。特に従来では利用率が著しく低かった低温での向上が大きく、電池の動作温度低温化に寄与することが期待される。

電極設計に関する解析技術として、従来から用いられている共焦点 XRD はフッ化物電池の材料構造変化を解析の他に、「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)」との連携テーマとして、それぞれの電池系に対して応用されている。また、中性子線を用いた解析技術も強化し非晶質材料の構造解析に適した高輝度中性子線回折装置は、フッ化物電池および「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」の材料の構造解析に利用している。

これら材料および電極開発の成果を元にセル化する事で、中間目標のエネルギー密度目標の達成できると期待している。

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、21 年度に引き続き理論容量などの電気化学的要件の他、資源性や環境適合性も念頭に炭素系材料と酸化物系材料の 2 つの正極活物質群を中心に研究を進めた。特に正極活物質と電解質の組成が反応過程や活物質利用率、ひいてはエネルギー密度などに大きな影響を及ぼすため、これらを網羅的に検討したうえでいくつかのモデル電池について机上のセル設計を実施し、注力すべき材料・電池を選定した。

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。

また、セル化検討においてはニッケル亜鉛電池をモデルとして大型化に対応した電極設計・プロセスの観点で検証を実施し、Ah 級の電池作製を実証した。23 年度は本事業で開発した正極材料を用いて電池化し中間目標の達成を目指す。

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	2022 年度
	委託	委託
実績額推移 需給勘定(百万円)	2,731	2,375
特許出願件数	3	7
論文発表数(報)	9	14
フォーラム・新聞発表等件数(件)	42	86

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 白田 浩幸 蓄電技術開発室長を、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 2023 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」

23 年度は、22 年度までに開発した材料をもとに中間目標を達成するセルの実証を目指す。一方でセルの評価結果とその解析結果をもとに、中間評価時点での材料および電極設計の課題を抽出し、材料・電極設計・電池化プロセスにフィードバックする。

具体的には、材料・電極内の反応の不均一性の把握や、活物質・電解質界面の変化の把握など、エネルギー密度の向上だけでなく、動作温度の低温化やサイクル特性の向上といった、その他の電池特性の向上に必要な材料物性や電極課題を明らかにする。その結果を踏まえて事業後半の研究計画を見直す。

また、Ah 級セルの実証のためセルの大型化に必要なプロセス要件を抽出し、最終目標達成に向けた準備を始める。

「研究開発項目② 亜鉛負極電池の研究開発」

22 年度までの検討で、正極材料の種類・反応によって、適した電解液の種類・特性が異なる事を見出した。亜鉛負極側の充放電反応は、電解液の種類や物性により異なる技術課題が生じることとなる。そのため、正極材料の取捨選択を行いながら、正極設計を中心として電解質・負極の材料構成・設計を決定するというセル設計の指針に落とし込んだ。

23 年度は、これまでに選択した正極・電解質材料をもとにセル化し中間目標の達成を目指す。現状想定セルではサイクル特性に課題が残ると予想されるが、それ以外の特性においても実セルの充放電特性の評価結果から実用化に向けた課題を明らかにし、重点開発項目を抽出のうえ開発計画に反映させる。

5.2 2023 年度事業規模

需給勘定 2,400 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 評価

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規定に基づき、外部有識者による研究開発の中間評価を 2023 年 6 月頃に実施する。

6.3 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。

6.4 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。

6.5 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

2023年2月 制定

(別紙) 事業実施体制

