

1. 件名

革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発

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

「エネルギー基本計画」（2014 年 4 月閣議決定）においては、蓄電池はエネルギーの需給構造の安定性強化に貢献する大きな可能性を持った技術であり、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていくとしている。また、同計画においては、自動車の省エネルギー化が重要であるとし、ハイブリッド自動車、電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）等、次世代自動車の新車販売に占める割合を 2030 年までに 5 割から 7 割とすることを目指して、研究開発とインフラ整備に努めるとしている。

「科学技術イノベーション総合戦略 2014」（2014 年 6 月閣議決定）においては、電気エネルギーを有効に貯蔵する次世代蓄電池の研究開発を推進するとしている。また、同戦略においては、現在、次世代蓄電池の研究開発施策として産学官の連携体制と研究拠点を構築し、出口から見た基礎研究（課題解決型の基礎研究）を推進しているが、この体制は革新的なシーズの創出とその磨き上げにおいて重要な機能を果たすことが期待され、これを一層強化していくとしている。

「自動車産業戦略 2014」（2014 年 11 月、経済産業省）においては、燃費規制や排ガス規制の強化に向けた世界的な動きや我が国のエネルギー供給体制の脆弱性に対応するためには、エネルギー効率の向上や CO2 排出量削減につながる EV・PHEV の普及促進が重要であり、EV・PHEV の新車販売に占める割合を 2030 年までに 2 割から 3 割とすることを目指すとしている。また、同戦略においては、技術開発の効率化とより高度なすり合わせを実現するために産産・産学で協調して研究開発を進める重点分野の一つとして蓄電池が選定されている。

② 車載用蓄電池の技術課題

2015 年時点で民生用のリチウムイオン電池（LIB）セルのエネルギー密度は 200～250Wh/kg であるが、自動車の主動力源としての使用環境及び求められる性能は一般的な民生用に比べて格段に厳しく、エネルギー密度とトレードオフの関係にある

出力や耐久性等の性能に高いレベルが求められるため、現在の EV 量産車に使用されている LIB セルのエネルギー密度は 150Wh/kg 程度にとどめられており、数百 kg と重い電池パックを搭載しても走行距離は 120~200km と短い。

EV でガソリン車並みの走行距離を実現しようとした場合、エネルギー密度を現状の 5 倍程度まで高める必要があるが、理論エネルギー密度が 450~600Wh/kg である LIB では EV 量産車に適応させる場合の限界が 250~350 Wh/kg とみられ、LIB では対応が困難であり、電荷キャリア、材料及び構造等が全く異なった新原理の革新型蓄電池を開発する必要がある。

③ 産業・市場動向

国内自動車メーカーは、国内蓄電池メーカーとの垂直統合型の開発によって、高いレベルで性能、安全性及び耐久性等を確保した車載用蓄電池を開発し、それを搭載した EV・PHEV を普及価格帯に近いレベルで先行的に市場投入してきた。その結果、2014 年までの世界累計販売で国内自動車メーカーのシェアは EV が約 5 割、PHEV が約 4 割となっており、グローバル市場で存在感を示している。ただし、海外自動車メーカーも積極的に EV・PHEV の開発を進めており、今後、ラインナップが拡大しての競争激化が予想される。

車載用蓄電池の場合、蓄電池自体に高い技術水準が求められることに加え、車載化に係る車両設計・製造技術との摺り合わせにも高い技術水準が求められるため、技術力がビジネスの競争力に結び付く領域となっている。そのため、国内蓄電池メーカーは、国内外の自動車メーカーに車載用蓄電池を供給しており、グローバル市場での競争力を保持している。車載用蓄電池（起動用鉛蓄電池を除く）の 2014 年の世界市場規模は約 7,000 億円であるが、このうち、LIB の市場（約 6,500 億円）で約 70% のシェア、ニッケル水素電池の市場（約 1,300 億円）でほぼ 100% のシェアを確保している。ただし、欧米を始めとする自動車メーカー及び大手自動車部品サプライヤーは、今後、車載用蓄電池のグローバルな調達を進めることが予想され、韓国・中国等の蓄電池メーカーとの競争激化が予想される。

こうした車載用蓄電池市場を巡る国際競争が激化する中で、我が国が引き続き競争優位性を確保していくためには、エネルギー密度を飛躍的に向上させた、安全性・信頼性が高い、低コストの革新型蓄電池をより早期に開発し、これを搭載した EV・PHEV を他国に先駆けて市場に投入していくことが重要である。

④ 本事業のねらい

世界各国において革新型蓄電池の研究開発が展開されているが、実用化に向けて解決すべき課題は多く、またそのハードルも高いため、それらのいずれもが現時点では基礎研究の領域を出ていない。エネルギー密度で LIB と同等の実験データが示された報告例もあるが、耐久性はまだ実用レベルにはほど遠い状況にある。

一見すると実用化が期待される 2030 年にはまだ長い期間があるが、実際の製品化

までのリードタイムを考慮すると、2020 年代前半にはセルの基本仕様を固め、企業による開発フェーズに移行する必要がある。そのためには、今後、5 年間程度の短期間において、エネルギー密度のみならず、耐久性や安全性等も実際の単電池（実セル）で技術確立する必要がある。しかしながら、自動車として想定すべき様々な運転状態で求められる性能・条件を満足させるレベルでの技術確立となると、その開発リスクとハードルは極めて高く、民間企業単独の取組で実現することは困難である。

そのため、本事業において、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、車載用蓄電池の開発・製品化で豊富な実績を有する蓄電池メーカー、さらにはエンドユーザーとなる自動車メーカー等による緊密な産学官連携の体制を構築して、産業界による革新型蓄電池の実用化を促進するための基礎科学に立脚した共通基盤技術を開発する。

3. 2 研究開発の目標

以下に示す性能・諸元を有した EV 及び電池パックを 2030 年に実用化するために革新型蓄電池の共通基盤技術の開発として、「研究開発項目① 高度解析技術開発」及び「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」を実施する。

2030 年に実用化を目指す EV 及び電池パックの性能・諸元を以下に示す。

- ・車両走行距離（1 回充電あたり）：500km
- ・車両コスト：190 万円（10 万台/年/社 生産ケース）
- ・電池パックコスト：40 万円（容量あたりコスト：1 万円/kWh）
- ・電池パック容量：40kWh
- ・電池パック出力：120kW（重量あたり出力密度：1,500W/kg）
- ・電池パック重量：80kg（重量あたりエネルギー密度：500Wh/kg）
- ・電池パック体積：70L（体積あたりエネルギー密度：570Wh/L）
- ・車両環境温度：-30℃～60℃
- ・電池パック寿命：カレンダー10 年以上、サイクル1,000～1,500 回
- ・電池パック安全性：現行の車載用 LIB パックと同等以上のこと。

「研究開発項目① 高度解析技術開発」

【最終目標】（平成 32 年度末）

革新型蓄電池の高性能化や高耐久化を実現する実セル及び電極の設計・製造に活用可能な新規の解析技術を開発する。

- ・実セル作動条件下における電極活物質-電解質界面の反応解析技術
- ・実セル作動条件下における電極活物質の反応解析技術
- ・実セル作動条件下における電極合剤内の反応分布及び劣化現象解析技術

なお、上記の解析技術には、空間分解能で 10 μm、時間分解能で 10 ミリ秒、深さ

分解能で10ナノメートルを超える技術が含まれるものとする。

開発した解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の性能や耐久性等の支配因子とその影響度を提示する。

【中間目標】（平成30年度末）

開発中の解析技術を組み込んだ計測分析装置・設備の設置を完了する。

また、開発中の解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の解析評価に着手していること。

「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」

【最終目標】（平成32年度末）

開発した共通基盤技術を基に試作した実セル（容量5Ah級）^{注1)}について、下記を満足することを確認する^{注2)}。

- ・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
- ・重量出力密度：100W/kg以上^{注3)}
- ・サイクル寿命：100回以上^{注3)}
- ・環境性：カドミウム、水銀、六価クロム等の環境負荷物質をセル構成材料として大量に使用していないこと。
- ・車両環境への対応：-30～60℃の動作環境温度において変質しないこと。
- ・経済性：貴金属等、高コスト元素を大量に使用しないこと。
- ・安全性：内部短絡、圧潰・過充電時の異常発熱、発火、熱暴走等に対する安全策を講じることが技術的に可能なこと。
- ・充電性：普通充電（6時間）が可能なこと。急速充電が可能なこと^{注3)}。

【中間目標】（平成30年度末）

開発した共通基盤技術を基に試作した実セルで重量エネルギー密度300Wh/kg以上が得られていることを確認する^{注2)}。

また、当該蓄電池の性能・耐久性等の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を満足させるための技術開発の方向性を提示すること。

注1) 一対の正極、負極、セパレータ及び電解質（電解液）で構成され、充放電が可能な単電池の状態。ただし、端子や電子制御装置等は含まれない。

注2) 試作する実セルの容量と最終・中間目標は、開発する革新型蓄電池タイプの特性、実用化課題、試作・評価に使用する研究開発設備及び研究開発時の安全性等を勘案した上で、提案者が公募時に提案し、採択決定後にNEDOと協議の上、実施計画書において定めるものとする。

注3) 事業終了後における更なるプロセスエンジニアリング開発等によって、前記した2030年実用化を想定する電池パックの出力、サイクル耐久性、充

電性まで向上する見通しがあること。

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 (PM) に NEDO スマートコミュニティ部 桜井 孝史 統括主幹を任命して、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 松原 英一郎 氏をプロジェクトリーダー(PL)、産業技術総合研究所 総括研究主幹 小林 弘典 氏をサブプロジェクトリーダー(SPL)とし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 平成 28 年度 (委託) 事業内容

「研究開発項目① 高度解析技術開発」

解析技術の高度化に資する設備を導入した。具体的には SPring-8 及び立命館大学 SR センターの放射光設備については新規ビームラインの設計や立ち上げを実施した。解析精度向上のための既存設備の改修では初年度目標の $20\mu\text{m}$ の分解能を得ることができた。革新型蓄電池開発での活用も水系空気電池、硫化物電池、ナノ界面制御電池で継続中であり、充放電中の活物質の構造変化等の解析結果を得て反応原理の解明を進めた。中性子では小角散乱の導入が完了し計測を開始した。計測のための試料調整手法の検討も進め円筒形電池と同様にラミネートセルでの充放電中の Li イオンの挙動解析の目途を得た。

その他精密充放電装置では超高精度な電流値の計測により充放電中の副反応の定量化に取り組んだ。解析対象としてスパッタリングを用いた固体電解質薄膜の調整を実施した。電子顕微鏡、NMR、計算科学についてもホルダー等の設備改修の設計や導入等も一部完了し材料の調整技術、シミュレーション用モデル等の開発を進めており、平成 28 年度目標をいずれも達成した。

「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」

革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (平成 21 年度～平成 27 年度) で開発した水系空気電池、ナノ界面制御電池、硫化物電池の活物質について 500Wh/kg の最終目標に向けた材料の開発と開発環境の整備を推進した。

水系空気電池では正極用の酸素発生触媒 (充電用) についてブラウンミラーライト型を超える RP 型酸化物触媒の開発に成功し特性を評価した。また、酸素発生のメカニズムについて高度解析技術を活用し酸素発生の活性化に優位な構造の分析を進めており平成 29 年度の改良に反映していく。フルセルの構造については中間目標の 300Wh/kg を実現可能な高容量亜鉛を搭載した 5Ah 級 5cm 角フルセルを構築し、試験を開始した。

ナノ界面制御電池ではハロゲン化物の固体電解質系について、フッ化物イオン伝導性を有する活物質材料、電解質材料を探索中であり、平成 29 年度の基本仕様の設定に向けて、

現在そのスクリーニング段階にある。また、室温で作動する活物質も見出した。液体電解質系では、電解液の探索についても平成 29 年度の決定に向けて継続して行っている。コンバージョン反応を用いる材料系ではフルセルとして 500Wh/kg を達成するために必要な 1200Wh/kg を超える正極材料について初期値で達成する材料を複数得た。得られた材料に対して耐久性を向上するためのアモルファスの構造、導電材、バインダー等の開発を継続中であり中間評価までに絞り込みを行う。

硫化物電池については正極の金属硫化物の金属種と硫黄数を平成 29 年度に決定するため容量と抵抗、耐久性の評価を実施した。また、コンバージョン系と同様、耐久性と出力向上を目的に最適な極板構造を得るための導電材、バインダー、表面被覆等の開発も併せて進め向上効果のある材料の候補も得られた。

4. 2 実績推移

| | 平成 28 年度 |
|---------------------|----------|
| | 委託 |
| 実績額推移 需給勘定 (百万円) | 3,580 |
| 特許出願件数 | 4 |
| 論文発表数 (報) | 14 |
| フォーラム・新聞発表等件数(件) | 87 |

5. 事業内容

PM に NEDO スマートコミュニティ部 桜井 孝史 統括主幹を任命して、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 松原 英一郎 氏を PL、産業技術総合研究所 総括研究主幹 小林 弘典 氏を SPL 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 平成 29 年度 (委託) 事業内容

「研究開発項目① 高度解析技術開発」

蓄電池の高性能化や高耐久化等に向けた実設計及び製造に展開可能な新規の解析技術として、その場測定法、高度分析手法の開発及び計算科学による解析手法の開発を引き続き継続する。

具体的には放射光関係では革新型蓄電池の種類に合わせた放射光全反射operando* 回折・分光測定用の蓄電池セルの改良や高エネルギー分散型共焦点X線回折の深さ分解能改善の技術開発等を行う。また、理化学研究所と共同でSPring-8にハイスループ

ットビームラインの建設を継続して実施する。

中性子関係では革新型蓄電池の反応場である界面並びに界面相の測定技術の開発のため、電池反応に伴う蓄電池内位置依存の電極構造変化をoperando測定し、データの解析技術を高度化させる。

その他、高精度電気化学計測技術、透過型電子顕微鏡(TEM)技術、核磁気共鳴(NMR)計測技術、第一原理計算による異相界面における原子構造とイオン伝導現象の解明の技術開発と合わせ、界面相(Interphase)のoperando測定について各解析要素技術開発の目途を付ける。

* operando ; 電池作動条件下

「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」

リチウムイオン電池の限界を超えたエネルギー密度(500Wh/kg)が得られる見通しのある革新型蓄電池タイプを対象として、電極・電解質及びセル化技術等の共通基盤技術の開発を継続する。具体的には、ナノ界面制御電池、水系空気電池、硫化物電池について、まずは平成30年度の目標であるエネルギー密度(300Wh/kg)を達成可能な材料の基本仕様を決定し、翌年度の評価用セル作成の準備を行う。

ナノ界面制御電池では500Wh/kgを達成すべく、ナノ界面を制御しつつ、より高電位かつ高容量を発現する正極活物質を酸化物や金属フッ化物を端緒とし、主に高次酸化物や金属ハロゲン化物等について探索し、実際の充放電反応や寿命試験の評価結果等により材料候補を決定する。

水系空気電池では負極について高容量亜鉛電極の反応分布解析を実施し、高利用率で充放電できる電極の構成及び作製条件を明らかにする。正極については、平成29年度に放電と充電時に高活性な触媒を継続して開発する。また、この開発した触媒を用いて作成した空気極に対して、放射光などを用いた高度解析技術を適用して、充放電による物理的・化学的な変化と経時的な変化に加えて、反応や劣化が主に起こる部位を突き止める空間分解的な解析を進める。

硫化物電池では、金属多硫化物 Li_xMS_y ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Ti}, \text{Nb}$ 等)を対象に、前年度までに見出してきた典型元素添加及び異種金属添加等の方法を組み合わせ、組織制御した金属多硫化物を作製し、高容量で高導電性を有する、サイクル特性の良好な複合硫黄正極を探索し材料候補を決定する。

5. 2 平成29年度事業規模

需給勘定2,900百万円(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

PMは研究開発責任者（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

PM 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

PM 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

PM、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、PM 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実施する。

④ 研究開発資産等の利活用のルール作り

PM、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、本事業で開発した解析技術及びそれが組み込まれた機械装置等を有効に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・ルール作りを実施する。

⑤ 他の NEDO 蓄電池関連事業との連携

PM は、本事業における成果の加速的な創出のため、NEDO 蓄電池関連事業との連携を図るものとする。

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平成 30 年度に実施する。

6. 3 複数年度契約の実施

委託事業

平成 28～30 年度の複数年度契約を行う。

6. 4 知財マネジメントにかかる運用

「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発における知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

7. 実施方針の改訂履歴

平成 29 年 2 月 制定

平成 29 年 3 月 改訂 再委託先の追加に伴う改訂

平成 29 年 5 月 改訂 再委託先の追加に伴う改訂

平成 29 年 9 月 改訂 事業実施体制の全体図の変更

平成 29 年 10 月 改訂 事業実施体制の全体図の変更

(別紙)事業実施体制の全体図

