

【燃料電池・水素特集】**電動車両用二次電池**

## 米国エネルギー省における電動車両用二次電池の研究開発

NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部  
小林弘典

### 1. はじめに

石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全の観点から、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車等を中心とする次世代クリーンエネルギー自動車の技術開発及び導入の促進は喫緊の課題である。この場合、駆動時の電力供給、制動時のエネルギー回収・貯蔵を走行に合わせて瞬時に行う二次電池の活用は、エネルギーの高効率利用に欠くことができない。車載用二次電池としては、現状ではリチウムイオン二次電池が最も有力な候補であり、次世代クリーンエネルギー自動車の高効率性を最大限に生かしたシステムを成立させるためのキーとなる技術である。そのため、近年、海外においても産官学が連携した研究開発が盛んになってきている。本レポートでは、米国エネルギー省における最近の電動車両用蓄電池の、研究開発動向について報告する。

### 2. 米国の国家プロジェクト

#### 2.1 プロジェクトの体制

米国エネルギー省自動車技術局 (DOE-OVT) は米国政府機関の1つであり、自動車技術プログラム (VT: Vehicle Technology Program) を通じて、ハイブリッドドライブ技術、エネルギー貯蔵デバイス (先進自動車用バッテリー並びにウルトラキャパシター)、パワーエレクトロニクス並びにモーター、先進構造材料、先進燃料エンジン等の研究及び性能向上に関する技術開発を実施している。

プログラムを成功させるために、DOE-OVT は米国の自動車会社であるクライスラー (Chrysler LLC) 社、フォード (Ford Motor Company) 社、並びに GM (General Motors Corporation) 社が中心となって設立した USCAR (United State Council for Automotive Research) を通じてパートナーシップを結んでいる。

エネルギー貯蔵デバイスとしては、ハイブリッド電気自動車 (HEV)、プラグインハイブリッド自動車 (PHEV)、電気自動車 (EV) 等用の先進自動車用バッテリー並びにウルトラキャパシターを研究開発対象にしており、米国先進バッテリー協会 (USABC: United State Advanced Battery Consortium) に代表される自動車産業界及びその他の産官学と協力して活動を行っている。USABC は、米国内の電気化学的エネルギー貯蔵デバイス業界における長期的な研究開発を促進し、自動車会社、電気化学的エネルギー貯蔵デバイス会社、国立研究所、大学、その他主要なステークホルダーとの連携を維持している。

DOE-OVT の下で様々な自動車技術プログラムが同時進行中であるが、エネルギー貯蔵デバイスを対象としたものとしては、USABC 支援プログラム、応用技術開発( ATD: Applied Technology Development ) プログラム並びに応用電池研究 ( ABR: Applied Battery Research ) プログラム、先進輸送技術用バッテリー ( BATT: Batteries for Advanced Transportation Technologies ) プログラムが主要なプログラムとして挙げられる。開発対象は、USABC 支援プログラムではリチウムイオン電池システムの技術開発、ATD 並びに ABR プログラムではセルレベルでの研究開発、BATT プログラムでは材料レベルでの基礎研究を行っており、各プログラムが密接に関連することで、効率的にプログラムを推進している。図 1 に USABC 支援プログラム、ATD プログラム、BATT プログラム間の関係をまとめた図を示す。

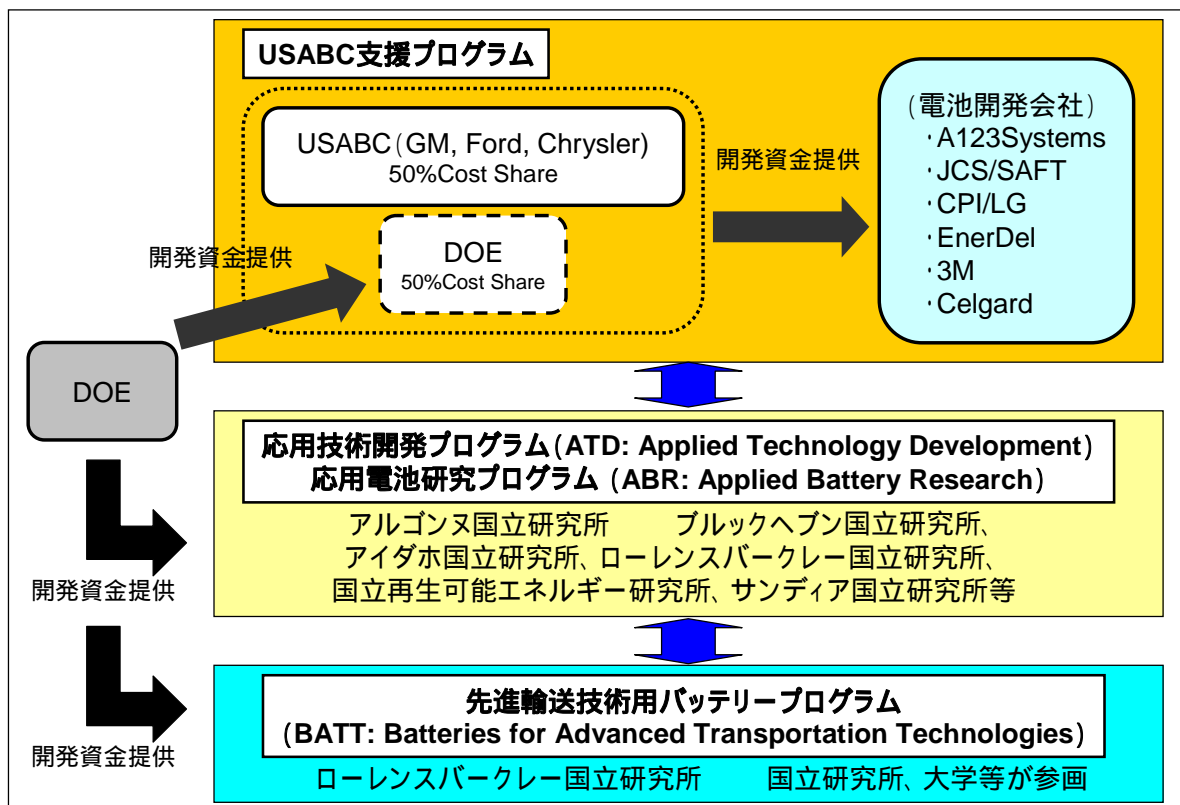


図 1 米国の自動車用蓄電池プログラムの関係図

### USABC 支援プログラム

車載用蓄電池の研究開発については、DOE と USABC がコストを分担することにより電池開発会社への支援を実施している。支援した企業としては、Johnson Controls-SAFT (JCS) 社、A123Systems 社、Compact Power Inc. (CPI) 社、EnerDel 社、3M 社等が挙げられるが、詳細については、「2.3 民間企業によるリチウムイオン電池開発」に述べてある。

ATD プログラム ( ABR プログラム )

最近の大きな変更点としては、新たに ABR プログラムが 2008 年 10 月 1 日に開始されたことである。2008 年まで DOE では HEV 用のリチウムイオン二次電池を対象とした ATD プログラムを推進してきたが、HEV 用リチウムイオン二次電池の技術が成熟してきたことを反映して、DOE-OVT では研究開発プログラムを PHEV 用のリチウムイオン二次電池の開発にシフトした。図 2 に新しいプログラムの組織図を示す。PHEV 並びに HEV 用リチウムイオン二次電池において、解決すべき基本的な研究課題としては共通部分が多いが、特に、新たに二つの解決すべき課題が設定されている。

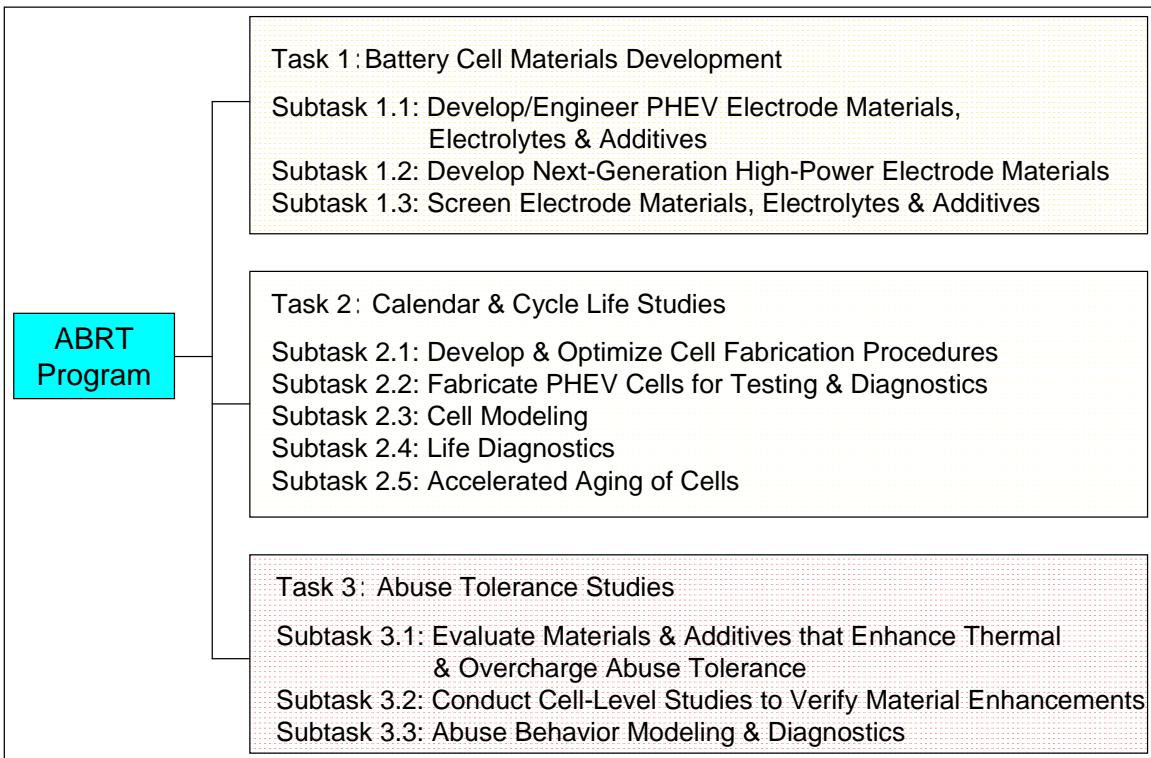


図 2 DOE の ABR プログラムの体制図

- (1) 中型サイズの PHEV で 40 マイルの電気走行を可能とするための適切なエネルギー密度を実現すること (但し、CD (charge-depleting) モード<sup>注1</sup>での要求エネルギーを満たし、かつ、適切な重量及び体積の範囲内で収まっていること)
- (2) 5000 サイクルに至る十分なサイクル寿命安定性を実現すること (CD モードで広い DOD (Depth of discharge) 範囲で充放電サイクル<sup>注2</sup>をした場合)

<sup>注1</sup> PHEV の電気走行モードとしては、All-Electric モードと Charge-depleting モードが想定されている。All-Electric モードではバッテリーに蓄電量があるうちは電気モードのみで走行するためにエネルギー効率が良い反面、高コストになる。一方、Charge-depleting モードでは電気モードとエンジンモードの組み合わせで走行するためにエネルギー効率は若干劣るが、低コストである特徴を有する。

<sup>注2</sup> 自動車用蓄電池は 10 年以上の長期寿命が要求される。HEV 用リチウムイオン二次電池では、SOC (State of charge) 50% 付近で DOD (Depth of discharge) 3-10% の狭い範囲で充放電を繰り返すことで長寿命化を実現させた。一方、PHEV 用リチウムイオン二次電池では、例えば SOC90%-SOC30% 間での広い範囲で放電した後に、さらに、SOC30% 付近で DOD3-10% の狭い範囲で充放電を繰り返すという電池にとって厳しい

また、この広い DOD 範囲での充放電モードにおけるリチウムイオン二次電池の寿命並びに濫用時の耐性<sup>注3</sup>に与える影響を抑えることによる車載用電池のエネルギー密度向上、さらに、300\$/kW のコスト目標が挑戦すべき課題として挙げられている。

プログラムの内容については、3つのタスクに分けられている。タスク1では、「電池セルのための材料開発」を、タスク2では、「カレンダー寿命並びにサイクル寿命の研究」を、タスク3では「濫用時の安全性に関する研究」である。新しいプログラムにおいてもアルゴン国立研究所 (ANL: Argonne National Laboratory) が中心的な役割を果たすが、ブルックヘブン国立研究所 (BNL: Brookhaven National Laboratory)、アイダホ国立研究所 (INL: Idaho National Laboratory)、ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory)、国立再生可能エネルギー研究所 (NREL: National Renewable Energy Laboratory)、サンディア国立研究所 (SNL: Sandia National Laboratory) が ATD プログラムと同様に参加するのに加えて、新たに陸軍研究所 (ARL: Army Research Laboratory) が高電位で安定な電解質開発の分野においてサポートすることになっている。

### BATT プログラム

BATT プログラムは DOE-OVT が支援している。BATT プログラムの主要目的は、HEV、PHEV 並びに EV で利用される高性能の次世代蓄電池の新材料の開発及び分析である。2008 年は PHEV と EV 用の高エネルギー密度材料に関する研究を実施してきている。LBNL が他の 4 つの研究所、11 の大学等と協力して、複数の BATT 研究開発任務を管理している。プログラムでは、(1)新しい正極システム、特性並びに限界、(2)新しい負極材料、(3)新奇な電解質及びその特性、(4)リチウムイオンのモデリング、診断並びにセル解析。特に正極については、リン酸系、層状系、マンガンスピネル並びにスピネルコンポジット系を研究開発対象としている。

## 2.2 プロジェクトの目標値

様々な自動車用のエネルギー貯蔵技術に関する最新の要件は、「2008 年度エネルギー貯蔵技術研究開発経過報告書<sup>注4</sup> (FY2008 Progress Report for Energy Storage Research and Development)」で公開されている。表 1 に PHEV 用エネルギー貯蔵デバイスの目標値・条件を示している。より詳細については、USABC のホームページ上<sup>注5</sup>で公開されている。

---

運用条件となる。

<sup>注3</sup> 濫用時の耐性とは、通常の使用時には想定できない現象が生じたときの電池の安全性について規定している。例えば、過充電試験が想定される。

<sup>注4</sup> DOEのVehicle Technologies ProgramのAnnual Progress Reportsのトップページ  
[http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/resources/fcvt\\_reports.html](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/resources/fcvt_reports.html)  
 2008 年 FY2008 Annual Progress Reports ( Energy Research Development )  
[http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/2008\\_energy\\_storage.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/2008_energy_storage.pdf)

<sup>注5</sup> USABCのトップページ  
[http://www.uscar.org/guest/view\\_team.php?teams\\_id=12](http://www.uscar.org/guest/view_team.php?teams_id=12)

**表 1 USABC における PHEV 用電池の目標値のまとめ**

Characteristics at End of Life		PHEV10	PHEV40
Reference Equivalent Electric Range	miles	10	40
Peak Pulse Discharge Power (2 sec/10 sec)	kW	50/45	46/38
Peak Regen Pulse Power (10 sec)	kW	30	25
Available Energy for CD (Charge Depleting) Mode, 10 kW Rate	kWh	3.4	11.6
Available Energy for CS (Charge Sustaining) Mode	kWh	0.5	0.3
CD Life	Cycles	5,000	5,000
CS HEV Cycle Life, 50 Wh Profile	Cycles	300,000	300,000
Calendar Life, 40°C	year	15	15
Maximum System Weight	kg	60	120
Maximum System Volume	Liter	40	80
System Recharge Rate at 30°C	kW	1.4 (120V/15A)	1.4 (120V/15A)
Unassisted Operating & Charging Temperature Range	°C	-30 to +52	-30 to +52
Maximum System Production Price @ 100k units/yr	\$	\$1,700	\$3,400

### 2.3 民間企業によるリチウムイオン電池開発

民間企業は、様々な米国政府機関を通じたコスト分担プロジェクトを獲得している。それらの企業の多くは中小企業技術革新制度（SBIR: Small Business Innovation Approach）のプログラム資金を元手として事業を始めている。ここでは、DOE-OVT が、USABC とコストを分担して研究開発活動を行う企業プロジェクトを紹介する。高エネルギー密度型電池（PHEV 用電池）及び高出力型電池（HEV 用電池）のいずれにおいても、コスト、特性、濫用時の安全性並びに寿命が技術開発要素として提示されている。

#### PHEV 用蓄電池の開発

PHEV 用蓄電池の開発については、2007 年 4 月に 4 つのプロジェクトが選ばれている。10 マイル電気走行可能な PHEV（PHEV10）並びに 40 マイル電気走行可能な PHEV（PHEV40）として別々の目標値が設定されている。JCS 社と A123Systems 社では PHEV10 並びに PHEV40 を目指した技術開発を、Compact Power Inc.（CPI）社と EnerDel 社は 10 マイル電気走行可能な PHEV を目指した技術開発を行っている。

JCS 社では、DOE/USABC から 24 ヶ月間で 1,500 万ドルまでの資金提供を受け取ることで、コスト低減とエネルギー密度の改良に取り組む。CPI 社では、DOE/USABC から 27 ヶ月間で 1,290 万ドルまでの資金提供を受け取る。正極材料に層状酸化物とマンガンスピネル酸化物のブレンドを用いることでセルの改良に取り組む。A123 Systems 社では、DOE/USABC から 36 ヶ月で 1,250 万ドルまでの資金提供を受け取ることで、ナノオリビン酸鉄 ( $\text{LiFePO}_4$ ) の改良に取り組む。PHEV10 については円筒形状のデザインを利用して、PHEV40 はパウチセルを用いることに加え、オリビンマンガンを含むリン酸系正極材料の開発をすることで目標値達成のための研究開発を進めている。EnerDel 社では、DOE/USABC から 18 ヶ月で 650 万ドルまでの資金提供を受け取る。負極でのナノフェーズのチタン酸スピネル (LTO) の分散性の向上、正極に  $\text{LiMn}_{1.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_4$  等の高電位正極を用いることでエネルギー密度の向上に取り組む。また、Celgard 社が DOE/USABC から 18 ヶ月間で 230 万ドルまでの資金提供を受け取り、HEV と PHEV 用のセパレーターの開発に取り組むことが 2009 年 1 月にアナウンスされた。

### HEV 用蓄電池の開発

2009 年 3 月現在、HEV 用蓄電池の開発については、A123Systems 社と EnerDel 社が取り組んでいる。いずれも出力 25kW を目指した技術開発である。

A123 Systems 社では、DOE/USABC から 36 ヶ月間で 1,500 万ドルまでの資金提供を受け取り、ナノオリビン酸鉄 ( $\text{LiFePO}_4$ ) の改良に取り組む。2008 年は、ナノオリビン酸鉄のより効率的な製造技術、低温特性を改良する電解液、電極設計並びにセルコストの低減に注目して研究開発を進めている。EnerDel 社では、DOE/USABC から 18 ヶ月間で 650 万ドルまでの資金提供を受け取り、チタン酸スピネル (LTO) / マンガンスピネルで構成されたセルの改良及びスケールアップに取り組み、単セル (4~6Ah) 及びモジュールで特性、寿命並びにコストについて USABC の目標値を実現できるか検証する。最近、24 万サイクルに到達しており、30 万サイクルの目標値を達成しそうである。

### 3. おわりに

NEDO 技術開発機構では、平成 19 年度より次世代クリーンエネルギー自動車の早期実用化を促進するために、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発 (Li-EAD プロジェクト)」を開始している。特に、「要素技術開発」の「電池開発」では 2015 年を目途に、3kWh 級電池パック (試作は 0.3kWh 級モジュール) においてエネルギー密度 (100Wh/kg)、出力密度 (2000W/kg)、コスト (4 万円/kWh) の目標値の特性を有するリチウムイオン電池の開発を実施している。NEDO の開発目標値を USABC の PHEV10 と比較して見ると、大きな違いは無く、日米ともにほぼ同じ方向を目指して研究開発が実施されていることが確認された。また、国際標準化機構 (ISO)、国際電気標準会議 (IEC)、国連危険物輸送専門家小委員会等での車載用リチウムイオン二次電池を対象とした国際標準化・規格化活動も活発に行われるようになってきている。国際標準化の際、

自動車会社及び電池会社の国際的な競争力の確保及び研究開発を効率化するために、日本の実情に併せて国際規格を作成することは極めて重要である。NEDOとしては、今後とも海外動向について適宜調査を実施することにより、各国の研究開発動向及び国際標準化活動への取り組み状況を把握し、より効率的なプロジェクトマネジメントを実施していきたいと考えている。DOE より「2008 年度エネルギー貯蔵技術研究開発経過報告書( FY2008 Progress Report for Energy Storage Research and Development )<sup>注6</sup>」が本年の 1 月に発行されているので、詳細については参照されたい。

---

<sup>注6</sup> 2008 年 FY2008 Annual Progress Reports ( Energy Research Development )  
[http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/2008\\_energy\\_storage.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/2008_energy_storage.pdf)