

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

革新的エネルギー技術開発と
ARPA-E の動向

令和 2 年 2 月

Innovative Energy Technology Research & Development
and ARPA-E

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-FY2019-PP-04

概要

Advanced Research Projects Agency Energy (エネルギー高等研究計画局、ARPA-E) は、2007 年米国競争力法のもとで設立され、2009 年から活動を開始した、アメリカ連邦エネルギー省の組織であり、エネルギー分野でのイノベーションを目的に、ハイリスクであるがハイインパクトな成果を上げることが意図している。その運営システムには、多様性、オープン形式、プログラム・ディレクターの予算配分や人員構成およびプロジェクト進捗管理における大きな権限、迅速な中間成果見極めによる継続判断などの特徴がある。構成するプログラムのカバーするエネルギー分野の範囲は広範であり、発電・送電・配電、省エネ・省資源、運輸に分類されている。プロジェクト開始時点における成熟度については、比較的低いものが多いため、その成果を評価するためには、将来にわたる期間をみていく必要がある。

Summary

The Advanced Research Projects Agency Energy (ARPA-E) is an organization of the US Department of Energy, which was established under the America COMPETES Act of 2007 and officially launched in 2009. It aims for high-risk and high-impact results for innovation in the energy sector. Its management system is defined by features such as diversity, open format, the large authority of program directors in budget allocation, personnel structure, project progress management, and quick decisions on continuing projects based on intermediate achievements. The programs cover a wide range of energy-related subjects, and are classified into power generation-transmission-distribution, energy and resource efficiencies, and transportation. Since the maturity level at the start of the projects is often relatively low, it is necessary to evaluate the results from the long-run view.

目次

概要

1. ARPA-E の概要 1

 1.1 設立の経緯 1

 1.2 公募とプロジェクト選定 1

 1.3 年間予算 1

2. ARPA-E のプログラム 1

 2.1 萌芽段階にある技術群開発の支援 1

 2.2 プログラムのカバーする分野 2

3. ARPA-E の成果 5

4. 今後の課題と展望 6

5. まとめ 6

6. 政策立案のための提案 6

参考文献 7

1. ARPA-E の概要

1.1 設立の経緯

Advanced Research Projects Agency Energy（エネルギー高等研究計画局、ARPA-E）は、2006 年の米国アカデミーによる「強まる嵐を超えて（Rising Above the Gathering Storm）」報告書におけるアメリカの技術優位性に関する危機感を踏まえて、2007 年米国競争力法のもとで設立され、2009 年から活動を開始したアメリカ連邦エネルギー省の組織である[1]。

設立の構想にあたっては、国防高等研究計画局（Defense Advanced Research Project Agency, DARPA）がインターネットの原型や GPS を開発した成功事例にならい、エネルギー分野でのイノベーションを目的に、ハイリスクだがハイインパクトな成果を上げることが意図している。

1.2 公募とプロジェクト選定

公募形式は、領域を定めない包括公募（OPEN 型）、領域指定型、および中小企業向けの 3 種類に分類される。プロジェクト選定プロセスは、公開ワークショップによる議論などを経て、まず技術目標が Funding Opportunity Announcement（FOA）として提示され、提案者はその達成に向けた提案を行う。プロジェクト選定は 2 段階に分かれ、選定においては革新性が重視される。採択プロセスは予備審査、本審査の 2 段階選抜となっており、予備審査では、提案技術の最先端技術に及ぼすインパクトや、科学的・技術的メリットや革新性等が評価対象である。本審査では、それらの項目に加え、プロジェクトマネジメントも評価対象になる。プロジェクト期間は 3 年程度が原則である。プロジェクトは 2009 年から開始され、多様なエネルギー分野が対象である。

1.3 年間予算

年間予算は、約 3 億ドルで推移してきたが、2018 および 2019 予算年度では 3 億 5000 万ドル程度に増加している。トランプ大統領政権下では毎年大統領教書段階の廃止提言にもかかわらず、議会予算段階で復活している。

2. ARPA-E のプログラム

2.1 萌芽段階にある技術群開発の支援

ARPA-E では、いわゆる研究とプロトタイプの間にある「死の谷」段階の技術群の開発を中心に支援を行っている（図 1[1]）。研究開発のリスクを考慮してプログラムの多様性を確保し、アプローチの異なるプロジェクトが選ばれている。その理由は、現時点ではコストや技術性能が相対的に劣るが、将来において破壊的変革をもたらす可能性のある技術を残すことができれば、プログラムとしては成功という思想に基づいている（図 2[1]）。

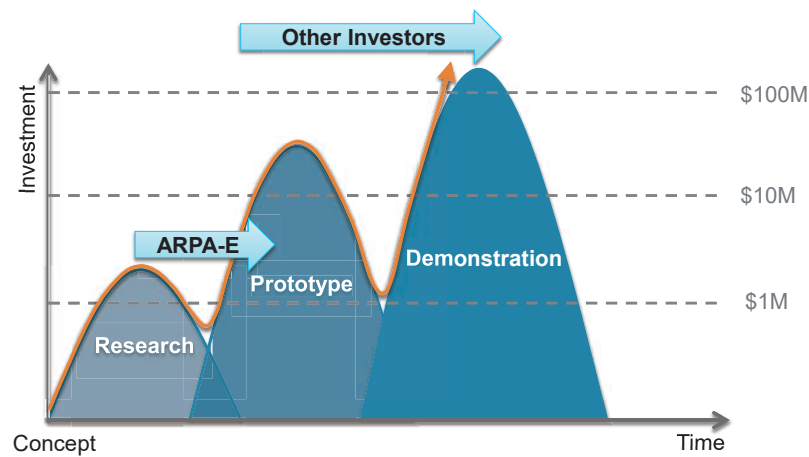


図 1 ARPA-E の対象とする研究開発段階[1]

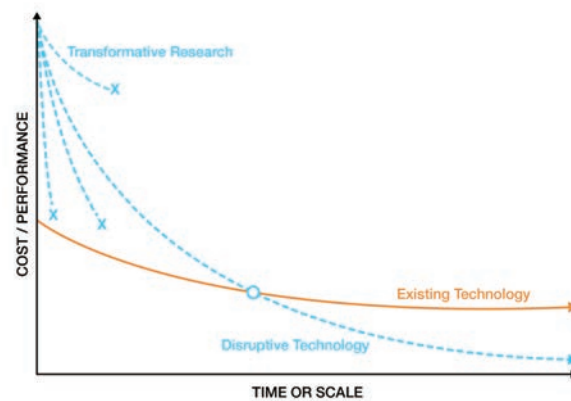


図 2 多様な技術群の選択による創造的破壊の可能性[1]

ARPA-E のシステムは、多様性・網羅性、オープン形式、採択が大規模な大学や企業または国立研究所に偏らない、プログラム・ディレクターの予算配分や、人員構成およびプロジェクト進捗管理における大きな権限、迅速な中間見極めによる継続判断などの特徴がある。プロジェクトの数値目標が達成見込みなしと判断された場合、中途でも資金提供を停止する。

2.2 プログラムのカバーする分野

プログラムの種類は、発電・送電・配電、省エネ・省資源、運輸に分類されている。この分類は便宜的なもので、電池のような技術は、発電・送電・配電および運輸の両方にメリットをもたらすとしている。Web ページ[1]にアクセスすると、個別プロジェクトの状態は、終了、実施中、キャンセルに分類され、途中でキャンセルされたプロジェクトも多い。

発電・送電・配電関係のプログラム一覧を表 1 に示す。発電には、太陽、風力、CO₂回収、原子力、核融合、分散発電（燃料電池等）があり、加えて電力貯蔵や送電関係技術がある。

表 1 ARPA-E のプログラム（発電・送電・配電）

プロジェクト略称	内容
終了したもの	
IMPACCT	先進的な CO ₂ 回収技術のための革新材料およびプロセス
GRIDS	ランピング・間欠送電が可能なグリッド規模の電力貯蔵
HEATS	先進的熱貯蔵技術
GENI	グリーン電力の送電網統合
Solar ADEPT	ソーラー発電の変換効率向上
FOCUS	フルスペクトル太陽エネ変換（熱&電気）（革新エネ貯蔵含む）
REBELS	中温型燃料電池（一部継続中）
実施中のもの	
CHARGES	電力系統用の電力貯蔵性能試験
ALPHA	磁気慣性核融合
GENSETS	分散コジェネ
MOSAIC	集光型太陽電池（マイクロアレー）
NODES	分散エネシステム最適化
GRID DATA	電力系統運用ソフト開発
IONICS	固体電解質（電池への応用を意図）
INTEGRATE	天然ガス利用高効率分散電源
MEITNER	低コスト小型原子力発電
GO COMPETITION	電力系統に関するソフトウェアコンペ
BREAKERS	直流遮断機
DAYS	長期間充放電型電力貯蔵
ATLANTIS	洋上風力

最近スタートした DAYS (Duration Addition to electricitY Storage) プログラムでは、風力発電などが長時間停止した場合に備え、日負荷変動より長期の充放電時間、および設置場所を選ばないエネルギー貯蔵の開発を目指している。カテゴリー1（日負荷変動対応＋長時間貯蔵機能）、カテゴリー2（長時間貯蔵機能のみ）における要求達成目標や条件が公募条件に示され、それらは、充放電持続時間 10～100 時間、蓄電コスト 5 US¢ /kWh、電力購入価格 2 US¢ /kWh、サイト制約なし、入出力は電力に限定、最小出力容量 100kW などであり、想定する充放電サイクルも明示されている。

DAYS では、10 プロジェクトが採択されているが、エネルギー貯蔵および回収方式は熱エネルギー、化学エネルギー、機械エネルギーなど多様性を確保している。具体的には、ブレイトンサイクルと固体粒子熱貯蔵、酸化還元熱利用、ヒートポンプによる熔融塩蓄熱、硫黄フローバッテ

リー、岩石中水注入貯蔵、単一タンク型亜鉛臭素フロー電池、過酸化水素利用電解と燃料電池、ヒートポンプ蓄熱と超臨界 CO₂ タービン、硫黄マグネシウムフローバッテリー、黒鉛熱貯蔵と熱光起電力発電など様々である。

省エネルギーおよび省資源に分類されるプログラム一覧を表 2 に示す。電力変換デバイス、光デバイスに加え、空調、窓、センサー、レアアース、軽金属、水節約型発電、メタン漏洩検知、植物炭素固定といった技術群がある。人工知能を用いた設計効率化技術なども着目される。

表 2 ARPA-E のプログラム（省エネ・省資源）

プロジェクト略称	内容
終了したもの	
ADEPT	電力変換の高効率化
BEET-IT	革新的空調機器を用いた建物のエネルギー効率向上（一部継続中）
REACT	重要技術に使用するレアアース代替物質
METALS	電気/熱化学を活用した先進的軽量金属製造（一部継続中）
SWITCHES	高効率システム制御用ワイドバンドギャップかつ低価格の電子デバイス
実施中のもの	
DELTA	局所冷暖房システム
ARID	発電所冷却システム（水節約型）
MONITOR	メタン検知
ROOTS	植物地下部への炭素固定
SHIELD	高効率窓（単板）
CIRCUITS	パワエレ半導体
ENLIGHTENED	光 ICT デバイス
PNDIODE	窒化ガリウムデバイス
SENSOR	省エネ建築物用センサー
HITEMP	高温高圧の熱交換器用材料
DIFFERENTIATE	人工知能(機械学習)を利用した設計効率化

運輸関係のプログラム一覧を表 3 に示す。電池、電気燃料、天然ガス自動車、バイオ燃料などに加え、交通制御、自律運転などに取り組んでいる。

表 3 ARPA-E のプログラム（運輸）

プロジェクト略称	内容
終了したもの	
BEEST	運輸用電気エネルギー貯蔵の蓄電池
Electrofuels	電気燃料（光合成によらないバイオ燃料合成）
PETRO	遺伝子操作植物による石油代替燃料
AMPED	電池の先進的制御・保護
MOVE	天然ガス自動車（ガス貯蔵）
TRANSNET	交通制御（ユーザー信号発信、高効率エンジン等）
実施中のもの	
RANGE	電気自動車用の高耐久性・低コスト次世代蓄電池
REMOTE	メタノトロフ細菌を利用した低排出の輸送用液体燃料製造
TERRA	バイオ燃料（自動化、遺伝子、ビッグデータ）
REFUEL	再エネ利用液体燃料
NEXTCAR	次世代自律運転
MARINER	大型藻類エネルギー

3. ARPA-E の成果

DARPA では、軍が直接成果を買い上げるシステムになっているのに対して、ARPA-E のプロジェクトについては、国が成果を直接買い上げるわけではない。そのため、市場化支援チームが支援を行っている。

成功基準として、新規民間投資、別の政府系プロジェクトへの移行などをあげている。2019 年 3 月時点で、2009 年の開始以降、800 以上のプロジェクトに 20 億ドルの累積投資を行い、76 企業設立、131 プロジェクトが政府系プロジェクトの資金を獲得、145 プロジェクトによる 29 億ドルの民間投資誘発効果（スタートアップとして買い上げ、起業などを含む）。2,489 の査読論文、および 346 の特許などの成果が報告されている。

ARPA-E が判断した成功事例プロジェクトは、レポートにまとめられている[2][3][4]。電気自動車用のバッテリーのエネルギー貯蔵能力とコストを目標とする RANGE プログラムのうち、Cadenza Innovation 社を中心としたプロジェクトチームは、小型円筒形リチウムイオン電池を 1 つの容器にまとめた大型のセルを設計、製造し、単一セルの熱暴走、機械的外力、ガス生成による過加圧などに対する安全性を確保する一方で、パックの目標である 125 ドル/kWh を達成したとしている[4]。また、金属に関する省エネ・省資源技術を扱う METAL プログラムのうち、Alcoa 社プロジェクトでは、アルミニウム精錬における従来手法と比較して、大幅な省エネを目指すとした。TiB₂をコーティングした傾斜型カソード採用により電極を傾斜配置して接触面積を増加させ、11.2kWh/kg と目標値を大幅に上回る性能を達成したとしている（図 3[3]）。

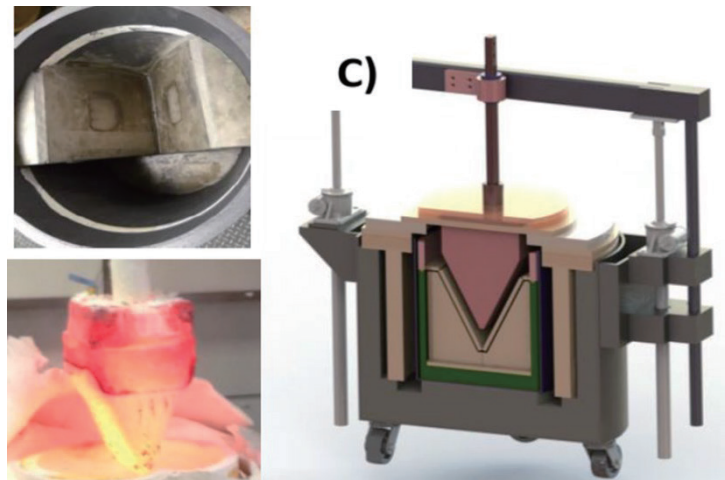


図 3 METAL プログラムのプロジェクトで採用された省エネ型アルミ精錬電極[3]

4. 今後の課題と展望

今後は、EU における Horizon プログラムのような、ARPA-E 以外の海外におけるイノベーションを目的とした研究開発プログラムについて、環境・エネルギー分野での研究開発内容とその成果についてまとめていく予定である。

5. まとめ

先端エネルギー技術研究を推進する ARPA-E 設立から 10 年を迎えた。研究開発リスクを意識しつつ、多様なアプローチにチャレンジし、ハイリスクだがハイインパクトを与えるアプローチを指向しながら、市場化への支援も行い、社会実装を目指すとしている。ただし、プロジェクト開始時点における技術成熟度については、比較的低いものが多いため、その成果を見極めるにはより長い時間が必要である。

6. 政策立案のための提案

(1) 革新的エネルギーのカバーすべき範囲と研究開発体制

低炭素社会の実現に向けては、エネルギー部門からの温室効果ガス排出の削減が欠かせない。イノベーションの技術シーズを見極め、その技術規模を拡大するとともに、それらをいかに社会に普及させていくかが鍵を握っている。ARPA-E は萌芽段階にある多様な技術シーズをカバーすることによって、ハイリスクではあるがハイインパクトな成果をあげることを目的に活動を行っており、運営にあたってのプログラム・ディレクターの大きな裁量と責任などのユニークな点が認められる。

(2) 革新技術開発成果の見極めに対する長期的視点

ARPA-E と比肩される DARPA は、もともと軍事技術として開発された GPS やインターネットなど、開発後の長い時間の後に、民生分野における極めて大きな影響を与える成果をあげた例もある。しかし、多数あるプロジェクトのなかには、失敗に終わったものも数多い。ARPA-E においては、当初開発目標に達しない見込みの場合は、中途であってもプロジェクトを停止するが、成功事例に関する成果の見極めには長期的視点も必要である。

参考文献

- [1] ARPA-E Web ページ, <https://arpa-e.energy.gov/>. (accessed December 20, 2019).
- [2] ARPA-E: The First Seven Years - A Sampling of Project Outcomes, 2016.
- [3] ARPA-E Impacts: A Sampling of Project Outcomes, Volume II, 2017.
- [4] ARPA-E Impacts: A Sampling of Project Outcomes, Volume III, 2018.

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

革新的エネルギー技術開発と ARPA-E の動向

令和 2 年 2 月

Innovative Energy Technology Research & Development and ARPA-E

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2020.2

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

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 客員研究員 黒沢 厚志 (KUROSAWA Atsushi)
- 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/>

© 2020 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。
