ARPA-Eにみる米国エネルギー分野のイノベーション
―官民連携で探求するハイリスク・ハイインパクトな成果―

2023/6

三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部 インダストリーイノベーション室
稲田雄二

Summary

- ARPA-Eはエネルギー分野における技術イノベーションを扱うDOEのプログラム。ARPA-Eが取り組む技術開発に注目することで実用化に向かうイノベーションを知り、新たなエネルギービジネスを捉える機会となり得る。
- ARPA-Eにはどのような技術分野があり、どの技術にDOEが注力しているか、プログラム下で推進中のプロジェクト内容を知ることは、具体的なビジネス立案の有力な情報となる。
- 筆者は年１回開催されるARPA-Eの報告会に参加。プログラム「長時間電力貯蔵」「海洋CO_2除去」を例に情報収集を実施し、開発目標やアプローチ、主要企業や研究機関など具体的な情報を得た。

1. ARPA-Eとは何か、そこから得られる情報は何か

1-1. ARPA-Eが目指すイノベーション

ARPA-Eは、エネルギー高等研究計画局（Advanced Research Projects Agency-Energy）の略称で、エネルギーと経済の安全保障を向上させることを目的に米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）が2007年に設立した研究開発プログラムである[1]。インターネットやGPSを開発した国防高等研究計画局（DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency）の成功例にならい、エネルギー分野において“ハイリスクだがハイインパクトな（不確実性が高い開発だが影響力の大きな）”成果を上げるイノベーションを目指している。

対象とする開発段階は、基礎的な研究開発から実証の初期段階をカバーするプログラムとなっている（図表1）。研究室レベルの基礎研究開発からプロトタイプで実証する間では、スケールアップに伴う再現性の問題など、技術の壁が存在する。いわゆる死の谷と呼ばれる技術の壁や資金難といった問題をバックアップする位置づけのプログラムと言える。本格的な実証、商業化についてはApplied Energy ProgramとLoan Programs Officeが支援し[2]、有望なイノベーションを着実に商業化させる体制が整えられている。

[1] DOE ARPA-E ウェブサイト ARPA-E （2023年5月29日最終閲覧）
[2] Applied Energy Programs、Loan Programs OfficeはDOEに設置されたプログラム、運営機関であり、実証から量産体制確立までの商用化を支援する。

図表1 ARPA-Eが対象とする研究開発段階

出所： INFORMATION TECHNOLOGY & INNOVATION FOUNDATION “Energy Innovation in the FY 2021 Budget: Congress Should Lead” から三井物産戦略研究所作成
https://www2.itif.org/2020-energy-innovation-funding-full-report.pdf （2023年5月29日最終閲覧）

2023年4月時点で45のプログラム、各プログラム下で遂行されるプロジェクトは1,400以上あり、各プロジェクトには平均200万～300万米ドルの開発資金が提供されている。資金提供の他、DOEの専門家から技術やビジネスに関する知識・戦略の指導を受けられ、研究開発から実証、商業化への歩みを加速させる仕組みになっている。

これまでの主な成果はウェブサイトにまとめられており、81件のプロジェクトについてイノベーションのインパクト、実証した技術成果などが掲載されている（A Sample of Project Outcomes Volume I～III[3]）。一例として、University of Marylandが主導する次世代型電池のRANGEプログラム[4]（Robust Affordable Next Generation Energy Storage Systems）下のプロジェクトでは、電気自動車向けに丈夫で手頃な価格の全個体電池を開発している[5]。従来型電池より発熱が抑えられ安全性が向上するとともに高価な冷却装置が不要となるイノベーションである。University of MarylandからスピンアウトしたスタートアップIon Storage Systemsが実証と商業化を担当し、量産化による市場投入を準備中である。

1-2. ARPA-Eに注目する理由、知ることのメリット

次世代型電池RANGEプログラムの例のように、ARPA-Eプログラムを概観することで、どの分野の何の技術イノベーションにDOEや大学、企業、研究所が注力しているかを知ることができる。イノベーションを起点とした新しいエネルギービジネスを創造する際に有効な情報源となるであろう。

プログラムは電力関連（Electricity Generation and Delivery）、省エネ・省資源関連（Efficiency）、運輸関連（Transportation）の3つに分類されている。図表2に各分野のプログラムを掲載した。電力関連

[3] DOE ARPA-Eウェブサイト Press Kit （2023年5月29日最終閲覧）
[4] DOE ARPA-Eウェブサイト Impact Sheet University of Maryland（RANGE） （2023年5月29日最終閲覧）
[5] リチウムイオン電池の負極をリチウム金属とセパレーター内の液体電解質に置き換え、正極には固体イオン伝導体を採用

分野では2020年以降に新型原子炉、核融合のプログラムが増え、この分野への注力ぶりが伺える。省エネ・省資源分野はさまざまだが、データセンターのエネルギー削減のプログラムが2件あり、今後大幅に増大すると見込まれるICTのエネルギー問題に対応している。運輸関連では化石燃料に依存しない車両、航空機の開発を目指し、蓄電池、航空機の電化、バイオ燃料開発に重点が置かれている。

プログラムは多岐にわたるが、分野・分類、個別技術のプログラムに整理されており、注目技術を把握することは比較的容易となっている。さらに各プログラムに含まれるプロジェクトの詳細を探索することで、技術開発に取り組む企業、研究機関が設定する目標や課題、進捗状況を知り、技術評価の参考となる。

図表2 ARPA-Eの研究開発分野・分類とプログラム

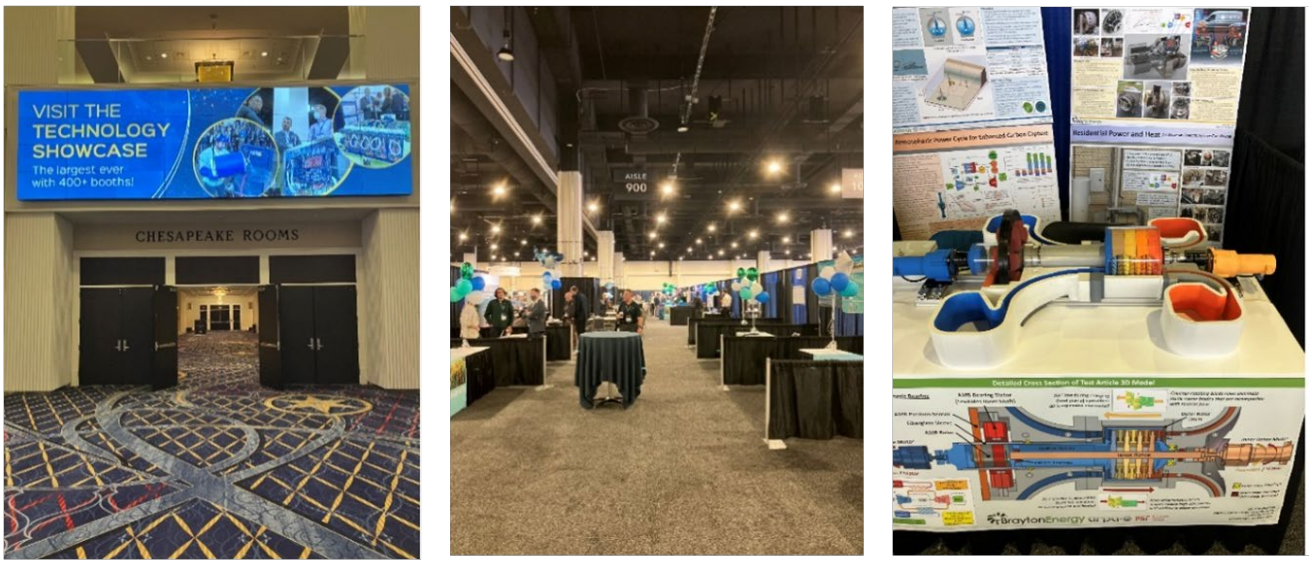
分野・分類		プログラム　（）内は開始年
電力関連 Electricity Generation & Delivery	Distributed Energy Rersources （分散電源） Generation （発電） Grid （送電） Storage （電力貯蔵）	GENSETS 分散コジェネ（2015） NODES 最適化分散型エネルギーDERシステム（2015） GRID DATA 電力系統ネットワークモデル（2016） IONICS 固体電解質の電池応用（2016） INTEGRATE 天然ガス高効率分散発電（2017） MEITNER 低コスト小型原子力発電（2018） BREAKERS 直流遮断機（2018） DAYS 長時間電力貯蔵（2018） GO Competition 電力網最適化（2018） ATLANTIS 洋上風力（2019） GEMINA 新型炉デジタルツイン（2019） BETHE 核融合発電（2020） GAMOW　核融合プラズマ（2020） PERFORM 電力網管理システム（2020） SHARKS 海洋・河川エネルギー（2020） ONWARDS 新型炉廃棄物処理（2021） CURIE 使用済み核燃料用新型炉（2022） GOPHURRS 電力網予診保全（2023） ULTRAFAST 次世代高速パワー半導体（2023）
省エネ・省資源関連 Efficiency	Building Effciency （建物の省エネ） Electrical Efficiency （電力の省エネ） Manufacturing Effciency （製造の省エネ） Resource Efficiency （資源の効率向上）	ROOTS 植物地下部による炭素貯留（2016） SHIELD　建築物断熱性改善（2016） CIRCUITS パワーエレクトロニクス半導体（2017） ENLITENED　データセンターエネルギー効率改善（2017） PNDIODES パワー半導体（2017） SENSOR 建物用センサー技術（2017） HITEMMP 高効率熱交換器（2018） DIFFERENTIATE 人工知能（2019） FLECCS　CO_2回収貯留（2020） REPAIR 天然ガスパイプライン漏洩防止（2020） ULTIMATE ガスタービン用超高温材料（2020） Exploratory Topics エネルギー技術全般イノベーション（2020） ECOSynBio バイオマス変換プラットフォーム（2021） HESTIA　建物のCO_2低減設計（2021） REMEDY 石油・ガス・石炭メタン削減（2021） COOLERCHIPS データセンター冷却（2022） MINER 鉱物採掘CO_2低減（2022） SEA CO2 海洋CO_2除去 mCDR（2023）
運輸関連 Transportation	Transportation Energy Conversion （輸送エネルギーの転換） Transportation Storage （輸送・移動体の蓄電） Transportation Fuels （輸送燃料） Transportation Netwwork （輸送ネットワーク） Transportation Vehicles （輸送用車両）	RANGE EV用全個体電池（2013） REFUEL 再エネ液体燃料（2016） NEXTCAR 次世代自律運転（2016） MARINER 大型藻類バイオ燃料（2017） ASCEND 航空機オール電化パワートレイン（2019） REEACH 航空機燃料電池（2019） SMART FARM バイオ燃料サプライチェーンデータ（2020） EVs4ALL EV用高耐久急速充電蓄電池（2022）

出所：ARPA-Eウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

2. ARPA-E Energy Innovation Summit 2023 からの注目プログラム

プログラムの内容や成果はウェブサイトで紹介される他、年1回開催されるARPA-E Energy Innovation Summitで報告される[6]。SHOWCASEと呼ばれる展示会は、開発者から技術詳細や開発状況などを直接ヒアリングできる貴重な情報収集の場である。

図表3 ARPA-E Energy Innovation Summit 会場の様子



出所：著者撮影

2023年のARPA-Eサミットから、脱炭素の観点で影響が大きいと考えらえる長時間電力貯蔵、海洋CO_2除去を取り上げる。

長時間電力貯蔵（Program ： DAYS）

再生可能エネルギーは、太陽光があるときや風が吹いているときしか発電できず、火力発電のように電力需要に合わせて発電を調整することができない。このミスマッチを解消するために欠かせないのが電力貯蔵である。リチウムイオン電池に代表される蓄電池はおよそ4～5時間程度の蓄電に適しており、それ以上の長時間にわたり電力貯蔵を可能とする技術開発が盛んになっている。

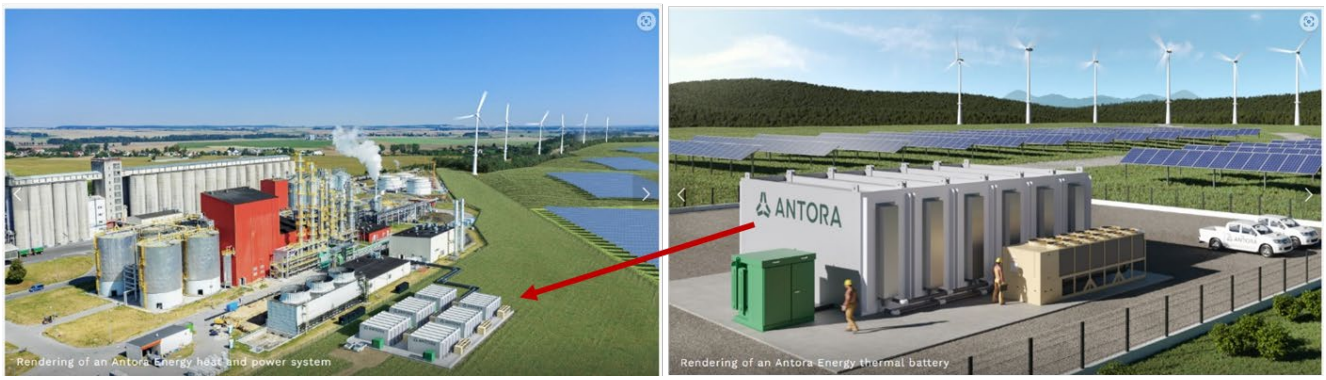
Antora Energy社は、熱を安価なカーボンブロック（グラファイト）に蓄える熱エネルギー貯蔵システムを開発中。電気を電気抵抗加熱で熱に変換してブロックに蓄熱、2000℃まで加熱してエネルギーを貯蔵する。この高温ブロックが放射する熱を熱光起電力（thermophotovoltaics （TPV））パネルに照射して発電する。熱の保持が容易で長時間エネルギー貯蔵が可能で、タービンのような動力を必要としないTPVパネルを

[6] DOE ARPA-Eウェブサイト Energy Innovation Summit（2023年5月29日最終閲覧）

採用することで発電効率が向上することや、安価なグラファイトを使うことで設備費が安くなることが期待される。California州にて3MWの実証試験中で、今後商業規模を目指して4～6カ所程度でパイロット試験を計画している。

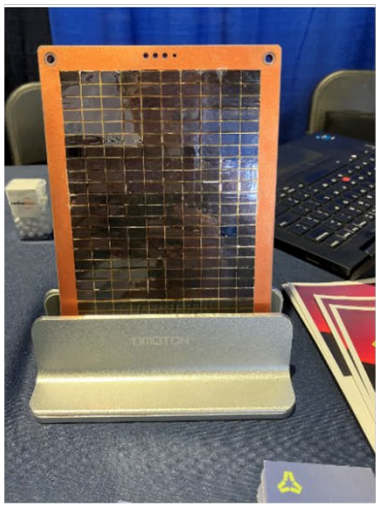
図表4 Antora Energy社の熱エネルギー貯蔵システム

熱エネルギー貯蔵システムを化学工場に隣接し熱と電力を供給するイメージ図



カーボンブロック

熱光起電力パネル



出所：（上） ACTIVATE GLOBAL社ウェブサイト
https://www.activate.org/news/antora-energy-storage-industry-breakthrough-lowercarbon (2023年5月29日最終閲覧)
（下）著者撮影

直接海洋回収 Direct Ocean Capture（Program ： Exploratory Topics）

CO_2ネットゼロを実現するために、大気中からCO_2を回収する直接大気回収（DAC ： Direct Air Capture）がある。同様に、海からCO_2を直接回収する技術（DOC ： Direct Ocean Capture）が注目され、ARPA-Eでも開発に取り組んでいる。

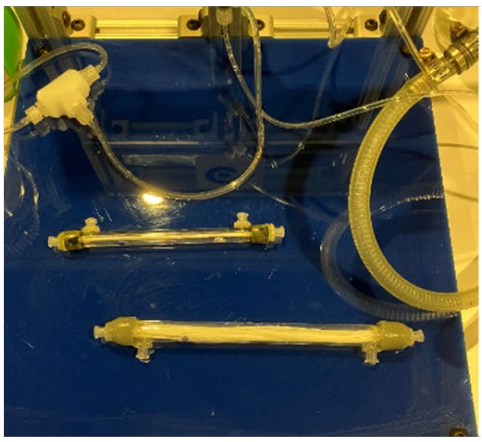
Captura社は、薄膜複合中空糸膜を用いた、海水からの効率的なCO_2回収技術を開発している。水ろ過用途に使われる低コストの中空糸膜を改良し、海水からCO_2を選択的に分離することを可能とした。CO_2回収に要するエネルギーとコストは、DACに比べて半分から4分の1程度になることを開発目標にしている。現在California湾で年間100tのCO_2を回収するパイロット試験を実施中。

米国はOcean Climate Action Plan[7]を2023年3月に発表、海洋における気候変動対策を重視する姿勢を打ち出した。同プランで、海洋CO_2除去は重点分野として取り上げられ、研究開発促進や環境への影響評価、規制基準の整備などが行動計画に記載されている。商用化に向けては、海から回収したCO_2をカーボンクレジットで売買することが利益の源泉となる。Microsoft社や金融サービスのStripe社などがカーボンクレジットを予約購入したり、スタートアップへ出資したりと、事業化を見据えた動きが活発になってきている。

図表５ Captura社の直接海洋回収

海上に設置する装置イメージ

中空糸膜



出所：（左） Captura社ウェブサイト https://twitter.com/CapturaCO2 (2023年5月29日最終閲覧)
（右） 筆者撮影

3. まとめ

ARPA-Eは、ハイリスクだがハイインパクトなイノベーションを目指している。そのため、成功すれば大きな市場、利益を得る技術探索に適しているといえる。サミット参加により開発者と直接会話でき、将来的な協業や出資へ向けたネットワーク構築に適した場といえよう。プログラムに選定されるためには米国の企業や研究機関であることが前提だが、日本企業でも米国法人があれば参加できる。あるいは、プログラムにすでに参加している企業などと技術開発提携することで間接的ではあるがプログラム参加への道が開け、情報収集にとどまらない活用方法もあり得る。

[7] 米海洋気候行動計画 ①海洋おける脱炭素（海洋エネルギー、海洋CO_2除去、CO_2海底貯留）、②海底資源、③水産資源（漁業・養殖）、④海運・港湾・造船など、海に関わる産業を広く包含し気候変動対策を講じるとするもの。

米国は2021年以降、超党派インフラ法、インフレ抑制法を成立させ、脱炭素のインフラ整備や技術イノベーションへの投資を本格化、エネルギートランジションを加速させようとしている。米国の施策が具体的な実行性をもって進捗しているのかをモニターするためにも、ARPA-Eプログラムを注視することに意義があると考える。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。