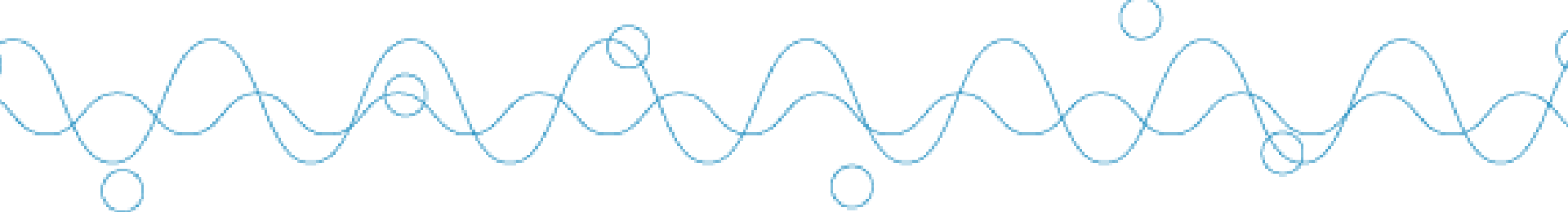


GA CCC  
 CC AAAA GGCC  
 ATAAGA CTCTAACT CI  
 AA TAATC  
 AT A TCTATAAGA CTCT/  
 CTC GCC AATTAATA  
 ATTAATC A AAGA C CTA  
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
 CTC G  
 TTAATC A AAGA C CTA  
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
 ATTAATC A AAGA C C  
 GA C CTA  
 0011 1110 000

# 米国ARPA-E(エネルギー高等研究計画局)の概要



Center for Research and Development Strategy – Japan Science and Technology Agency

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

海外動向ユニット

0011 1110 00

# 1-1. 米国エネルギー省の予算構成

- 米国エネルギー省(DOE)は、10のプログラム部局、13のスタッフ部局、21の国立研究所、センターに加え、国家核安全保障局、エネルギー情報局などから構成されている。
- 主としてプログラム部局がファンディングを担当し、国立研究所が研究機能を担っている。
- エネルギーの研究開発（国防関連は除く）には6つのプログラム部局が関与しており、所掌区分は次のようになっている。
  - 科学局 (Office of Science); エネルギー分野の基礎研究
  - エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy); 再生可能エネルギー、エネルギー効率
  - 原子力エネルギー局 (Office of Nuclear Energy); 原子力エネルギー
  - 化石エネルギー局 (Office of Fossil Energy); 化石エネルギー
  - 電気伝送・エネルギー信頼性局 (Office of Electricity Delivery and Energy Reliability); 送配電
  - エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E; Advanced Research Projects Agency-Energy); 研究イニシアチブのARPA-E

# 1-2. 米国エネルギー省の予算構成

■ 6 部局の予算合計（研究開発費以外も含む）は年間**80**億ドルを超える規模で推移しており、**2013**年度の部局別予算は次のようになっている。

- 科学局; 46億8,120万ドル
- エネルギー効率・再生可能エネルギー局; 16億9,176万ドル
- 原子力エネルギー局; 7億843万ドル
- 化石エネルギー局; 4億9,872万ドル
- 電気伝送・エネルギー信頼性局; 1億2,920万ドル
- エネルギー高等研究計画局; 2億5,064万ドル

エネルギー省の部局別予算

区分	予算額（1000ドル）								
	2008年度	2009年度	2009年度／ 再生・再投資 法	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度・ 暫定	2015年度・ 要求
科学局	4,082,883	4,807,170	1,632,918	4,963,887	4,897,283	4,934,980	4,681,195	5,066,372	5,111,155
エネルギー効率・ 再生可能エネルギー局	1,704,112	2,156,865	16,771,907	2,216,392	1,771,721	1,780,548	1,691,757	1,900,641	2,316,749
原子力エネルギー局	1,033,161	1,357,263	0	857,936	805,996	853,816	780,429	888,376	863,386
化石エネルギー局	888,545	1,097,003	3,398,607	938,520	572,525	554,806	498,715	561,931	475,500
電気伝送・エネルギー信頼性局	136,170	134,629	4,495,712	168,484	138,170	136,178	129,196	147,242	180,000
エネルギー高等研究計画局	—	15,000	388,856	0	179,640	275,000	250,636	280,000	325,000
合計	7,844,871	9,567,930	26,688,000	9,145,219	8,365,335	8,535,328	8,031,928	8,844,562	9,271,790

（出典）U.S. Department of Energy, Congressional Budget Requestに基づきJST・CRDSが作成

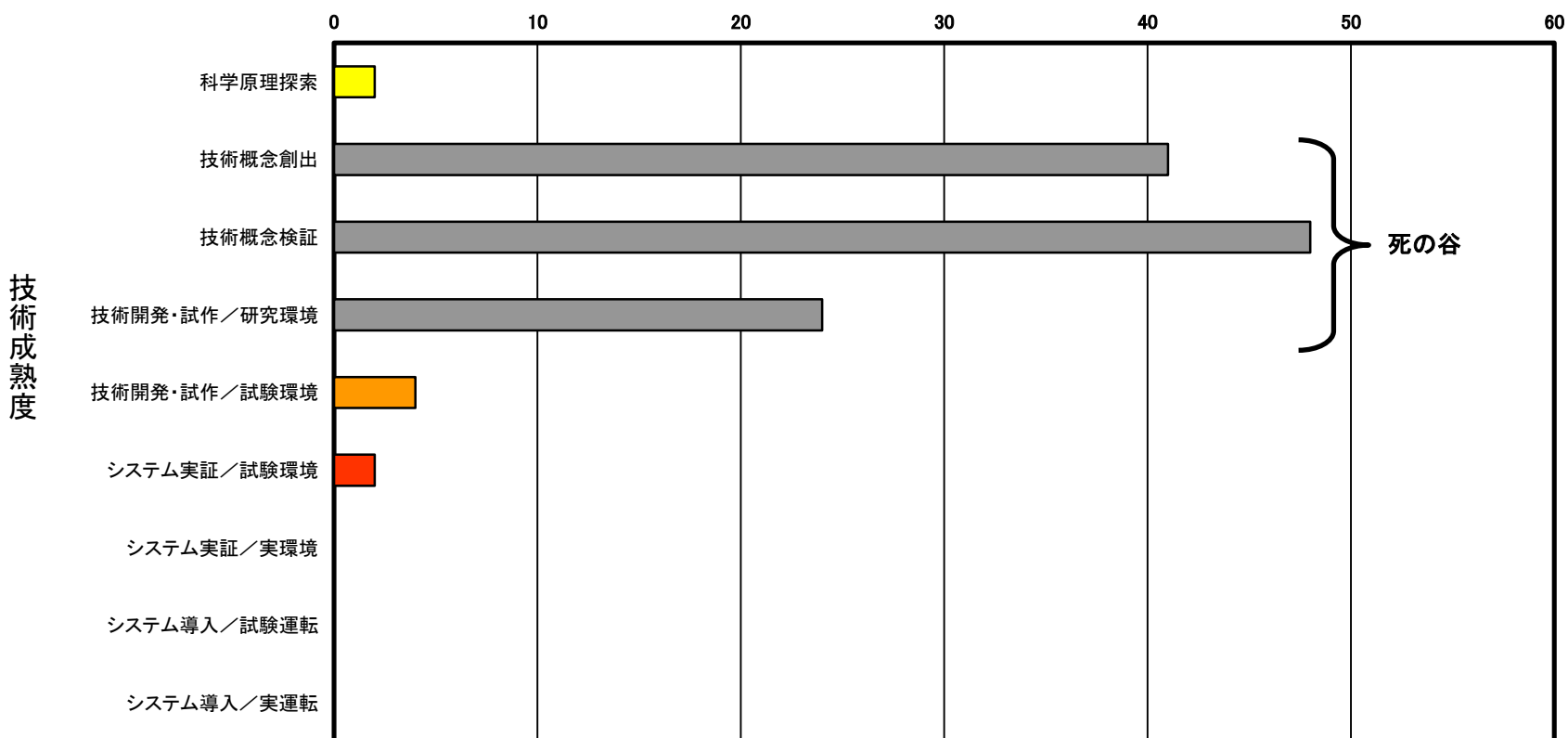
## 2. ARPA-Eの設立経緯

- エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E; Advanced Research Projects Agency-Energy) は、エネルギー省がプログラム部局の新規部門として立ち上げたもので、国防総省のDARPAをモデルに、エネルギー分野でのハイリスク・ハイペイオフ型のファンディングを行っている。
- 2006年に発表された米国アカデミー報告書「強まる嵐を超えて (Rising Above The Gathering Storm)」の提言を受けて、2007年の「米国競争力法 (The Americas COMPETES Act)」で設置が認められた。その後、「米国再生・再投資法 (American Recovery and Reinvestment Act)」から配分された400万ドルの資金をもとに、2009年に設立されている。
- 基礎ではなく応用を対象としており、革新的エネルギー技術を開発するために、産業界では取り組むことが困難な「リスクは高いが大きな成果が期待できる研究」への資金助成を行う。
- 助成期間は最長3年、1件当たりの投資総額は200～500万ドル、最大2000万ドルとすることが原則となっている。
- エネルギーイノベーションを促進するための3つのイニシアチブの一つとして（他に、エネルギーフロンティア研究センター、エネルギーイノベーション・ハブ）、大きな期待と注目を集めている。

### 3-1. ARPA-Eの位置付けと役割

- ARPA-Eの採択プロジェクトは、「技術概念の創出」「技術概念の検証」及び「研究環境下の技術開発・試作」のレベルが多くを占める。
- リスクが高すぎて、投資家などの支援が得られ難い「“死の谷”にあるプロジェクト」を重点的に支援している。

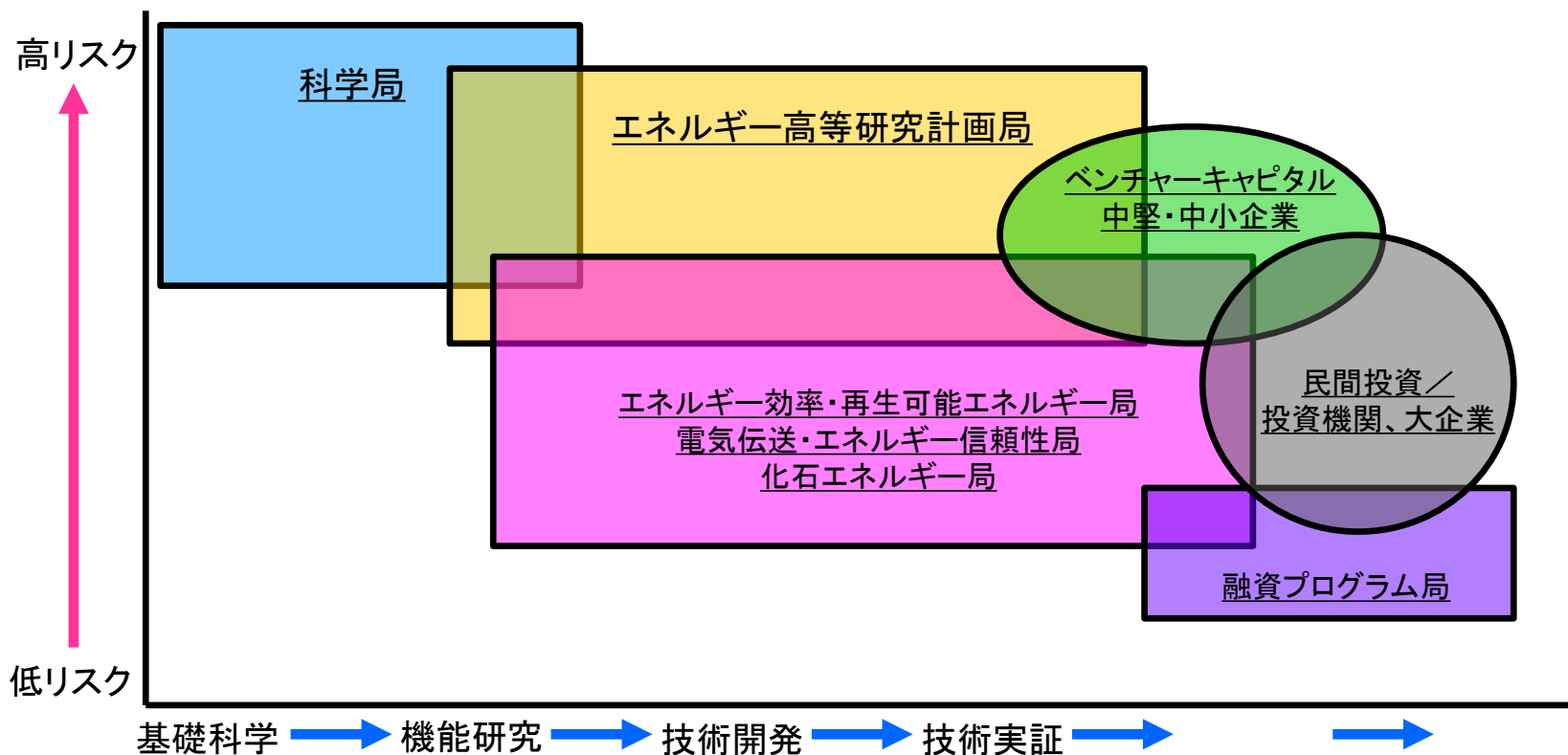
2010年度時点のプロジェクト採択件数



(出典) U.S. Department of Energy, ARPA-E FY2010 Annual Report

## 3-2. ARPA-Eの位置付けと役割

- ARPA-Eは、科学局が担当する「基礎科学」ではなく、「機能研究以降の領域」を支援対象としている。
- リスクが高すぎて、プログラム部局（エネルギー効率・再生可能エネルギー局、電気伝送・エネルギー信頼性局、化石エネルギー局）や産業界では対応困難な研究を支援する役割を担う。



(出典) U.S. Government Accountability Office, Report to Congressional Requesters, Department of Energy (January, 2012)

## 4-1. ARPA-Eの採択プロジェクト

- 2013年9月時点で332プロジェクト（SBIR/STTRの枠組みは除く）が採択されており、これらのプロジェクトに8億956万ドル（採択段階の金額、契約交渉により変動する場合がある）の資金が充当されている。

分野	プロジェクト数	充当資金	
		金額(ドル)	配分比率(%)
エネルギー貯蔵	99	232,395,724	28.7
バイオエネルギー	50	154,557,182	19.1
エネルギー伝送	38	97,972,282	12.1
化石エネルギー	43	90,873,489	11.2
エネルギーの戦略材料	32	63,277,111	7.8
エネルギー効率	23	49,945,770	6.2
太陽エネルギー	19	46,743,432	5.8
自動車技術	7	22,756,028	2.8
風力エネルギー	4	18,728,584	2.3
地熱エネルギー	1	9,151,300	1.1
海洋エネルギー	2	1,093,260	0.1
その他	14	22,070,372	2.8
合計	332	809,564,534	100.0

(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報に基づきJST・CRDSが作成

## 4-2. ARPA-Eの採択プロジェクト

- エネルギー貯蔵に対し、28.7%の資金が投入されている。主なプログラムとして、以下が挙げられる。
  - 高エネルギーな熱貯蔵（High Energy Advanced Thermal Storage）；15プロジェクト、37,317,407ドル／太陽熱の高温貯蔵や原子炉の熱貯蔵など、高エネルギーな熱源に適した、効率が高く、経済性に優れた熱貯蔵方式
  - 輸送機械の蓄電システム（Robust Affordable Next Generation EV-Storage）；22プロジェクト、36,321,542ドル／電気自動車を対象とした、蓄電システム全体の経済性を高めるための方策
  - 輸送機械の蓄電池（Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation）；10プロジェクト、34,573,810ドル／電気自動車やハイブリッド車の走行コストを、ガソリン車並みに引き下げる（例えば、10ドル以下の費用で、1回の充電により300～500マイル走行できるようにする）ことを可能にする蓄電池
  - エネルギー貯蔵の高度管理（Advanced Management and Protection of Energy Storage Devices）；14プロジェクト、29,000,000ドル／エネルギー貯蔵の性能、安全性、寿命を高めるための、貯蔵装置の高度な管理技術
  - 伝送用エネルギー貯蔵（Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage）；12プロジェクト、27,651,217ドル／どこでも設置可能で、再生可能エネルギーの取り込みに適した、伝送網のためのエネルギー貯蔵技術



## 4-3. ARPA-Eの採択プロジェクト

- バイオエネルギーに対し、19.1%の資金が投入されている。主なプログラムとして、以下が挙げられる。
  - 微生物による燃料生成（Microorganisms for Liquid Transportation Fuel）；13プロジェクト、41,202,906ドル／現行のバイオ燃料と比較し、エネルギー効率を10倍以上高めた、微生物（遺伝子操作を含む）を用いて液体燃料を直接生成する方法
  - 非食用作物による燃料生成（Plants Engineered to Replace Oil）；10プロジェクト、36,000,002ドル／非食用作物（遺伝子操作を含む）を用い、液体燃料を直接生成する方法
  - 微生物によるガスからの燃料生成（Reducing Emissions using Methanotrophic Organisms for Transportation Energy）；15プロジェクト、34,137,698ドル／微生物を用い、経済的な効率で、ガスを液体燃料に変換する方法
- エネルギー伝送に対し、12.0%の資金が投入されている。主なプログラムとして、以下が挙げられる。
  - 再生可能エネルギーを統合した伝送網（Green Electricity Network Integration）；15プロジェクト、39,416,316ドル／伝送網のエネルギー効率、信頼性、再生可能エネルギーの統合機能などを高めるためのハードウェア及びソフトウェア
  - 柔軟で効率的な電力技術（Agile Delivery of Electrical Power Technology）；14プロジェクト、34,598,679ドル／高効率電力変換を可能にする方策、及びそのための部材（回路、トランジスタ、インダクタ、変圧器、キャパシタなど）

## 4-4. ARPA-Eの採択プロジェクト

- 化石エネルギーに対し、11.2%の資金が投入されている。主なプログラムとして、以下が挙げられる。
  - 炭素回収のための材料&プロセス (Innovative Materials and Processes for Advanced Carbon Capture Technologies) ; 14プロジェクト、30,684,667ドル／石炭火力における炭素回収の経済効率を高めるための、新たな材料及びプロセス技術
  - 天然ガス自動車 (Methane Opportunities for Vehicular Energy) ; 13プロジェクト、30,200,000ドル／天然ガスを燃料とする輸送機械のための、経済性に優れた走行システム
- 直近 (2013年10月以降) では、下記プログラムの採択結果が発表されている。
  - 低価格で高効率な広帯域トランジスタの材料、素子構造及び製造工程 (Strategies for Wide-Band Gap, Inexpensive Transistors for Controlling High Efficiency Systems) ; 6プロジェクト、12,547,981ドル
  - 低価格で高効率な太陽エネルギーの変換及び貯蔵システム (Full-Spectrum Optimized Conversion and Utilization of Sunlight) ; 12プロジェクト、30,723,226ドル

## 5. ARPA-Eによる研究投資効果

- 投資効果を検証する指標として、「採択プロジェクトへの民間投資」「採択プロジェクトに基づく起業」及び「採択プロジェクトへの公的投資」を調査している。
- 2011年2月と8月の発表に拠れば、ARPA-Eが3910万ドルを投じた11プロジェクトに対し、ベンチャーキャピタルなどを通じ2億1740万ドル（ARPA-Eによる投資額の5倍を超える規模）が集まっている。
- 2013年2月にARPA-Eが主催した第4回エネルギーイノベーションサミットでは、7000万ドルを投じた17プロジェクトに4億5000万ドルを超える民間投資（投資額の6倍を超える規模）が集まり、12プロジェクトで起業の動きがあり、10プロジェクトが実用化に向けた他の政府支援を受けたことが報告されている。
- 2014年2月の第5回エネルギーイノベーションサミットでは、9500万ドルを投じた22プロジェクトに6億2500万ドルを超える民間投資（投資額の6倍を超える規模）が集まり、24プロジェクトでスタートアップ企業が創出され、16プロジェクトが実用化に向けた他の政府支援を受けたことが報告されている。

## 6-1. ARPA-Eの組織概要

- 2012年度予算は、2億7500万ドル（認可枠）となっている。プロジェクト経費に2億5500万ドル、運営経費に2000万ドルが配分されている。
- 小規模な本部機能の下で運営されており、2012年度の職員認可枠は38名（Full Time Equivalent; 常勤換算値、実際の職員数とは異なる）、2012年12月時点の人員は34名となっている。
  - 局長; 0名（欠員、初代局長はアラン・マジャンダー博士）
  - 局次長; 4名（筆頭局次長に加え、技術、運営、商業化の担当局次長が各1名）
  - プログラム・ディレクター; 10名
  - アシスタント・プログラム・ディレクター; 2名
  - 法務&調達担当スタッフ（Legal & Procurement）; 5名
  - 予算担当スタッフ（Budget）; 2名
  - 技術導入担当スタッフ（Technology to Market）; 4名
  - 交渉戦略担当スタッフ（Strategic Outreach）; 1名
  - ARPA-Eフェロー; 6名

## 6-2. ARPA-Eの組織概要

- 局長、局次長の下に、10名のプログラム・ディレクターが在籍している。プログラム・ディレクターがマネジメントの中核を担っている。
- ディレクターへの支援機能として、アシスタント・ディレクター、法務&調達、予算、技術導入、交渉戦略の4部門、ARPA-Eフェローのポストが設けられている。
- ハイリスク・ハイペイオフな研究を対象としたプログラムを展開しており、マネジメントの基本として、グッドプラクティスであるDARPAの仕組みを多く取り入れている。
- 中核を担うプログラム・ディレクターに対し、DARPAに類似した“**集中したマネジメント 権限**”を付与している。その結果、ディレクターが主導する形で、独創的プログラムが立ち上がっている。

## 7. プログラム・ディレクターの選抜

- 中核を担うプログラム・ディレクターに対し、DARPAに類似した“**集中したマネジメント権限**”を付与している。その結果、ディレクターが主導する形で、独創的プログラムが立ち上がっている。
- 研究プログラムは、企画段階からプログラム・ディレクターが統括する。このため、“卓越した研究プログラム構想を有する人材”を優先して登用している。
- プログラム・ディレクターの要件として、以下の能力や経験が設定されている。
  - エネルギー関連の理学または工学の博士号
  - ARPA-Eの投資対象となり得る卓越した研究プログラム構想
  - 学术界、産業界、技術投資機関等での、少なくとも6年～8年に渡るエネルギー分野の経験
  - プログラムマネジメント及び技術移転に対する優れた能力
  - 技術及び産業に対する高度の知見
  - エネルギーについて少なくとも一つの技術領域に精通し、その領域に関わる広範で学際的な展望を有すること
- プログラム・ディレクターの採用は、3年間の任期付き契約を基本としている。

## 8. プログラム・ディレクターの経歴

■ 2014年4月時点で、15名のプログラム・ディレクターが在籍している。応募条件に対応し、起業実績や産業界での業務経験を有する人材が数多く登用されている。

- デーン・ボイセン博士; Superprotonicの創業者
- イラン・ガー博士; Seeoの創業者
- マイケル・ハネイ博士; Applied Photonics の創業者
- ジョナサン・バーバウム博士; Azure Therapeutics及びGnosys Cousultingの創業者
- ブライアン・ウィルソン博士; Envirofit International及びSolix BioSystemsの創業者
- ラマン・ゴンザレス博士; Glycos Biotechnologiesの創業者
- ジョン・レモン博士; ゼネラルエレクトリックでの業務経験
- イーチェン・ザオ博士; ゼネラルエレクトリックでの業務経験
- ソーニャ・グラバスキ博士; ユナイテッド・テクノロジーズ及びハネウエルでの業務経験。
- ピン・リウ博士; HRL Laboratories (ボーイングとGMが共同所有する研究企業)での業務経験
- ジョー・コーネリアス博士; モンサント、ファイザー及びBASFでの業務経験

## 9-1. ARPA-Eのワークショップ

- プログラムとして取り上げる研究対象は、プログラム・ディレクターが中心となり、トップダウン方式で設定している。
- 一方で、プログラム内容を具体化するため、ボトムアップ型アプローチを取り入れている。代表的仕組みが「ワークショップ」になる。
- ワークショップは、特定の研究課題について、研究者などが集まり、技術革新の方向や必要な研究を議論するもので、ここでの検討を参考にプログラム・ディレクターが企画内容を詰めていく。
- ハイリスクな課題に対し、実効のある研究を特定するための有効な場になっている。
- 2011年2月時点で、13回のワークショップが開催されている。

- 2009年10月；グリッド向けエネルギー貯蔵
- 2009年10月；人工光合成
- 2009年10月；炭素回収
- 2009年11月；自動車向けエネルギー貯蔵
- 2009年12月；建物の省エネルギー



## 9-2. ARPA-Eのワークショップ

- 2010年 1月; 廃水処理
- 2010年 2月; 電力関連技術
- 2010年 8月; 低コスト太陽エネルギー
- 2010年12月; 輸送機器向けバイオ燃料
- 2010年12月; エネルギー向け戦略材料
- 2010年12月; スマートグリッド
- 2011年 1月; 熱エネルギー貯蔵
- 2011年 2月; 低コスト太陽エネルギー

## 10-1. 研究プログラムの公募

- 公募についてもDARPAの取り組みを参考としているが、提案書選考では、対象リスクの特性を考慮し、独自の仕組みを加えている。
- ARPA-Eが対象とする研究リスクは、DARPAとは大きく異なる。DARPAは「国防上の研究課題」を克服することが目的であり、そのための研究を完遂すればゴールになる。これに対し、ARPA-Eでは、研究成果が「エネルギー分野の商品創出」に繋がる必要があり、市場性やコスト競争力を加味したテーマ選定が求められる。
- このため、DARPAではプログラム・マネージャー（ARPA-Eのプログラム・ディレクターに相当）が独自にプロジェクト選定を行うのに対し、ARPA-Eは「外部専門家によるレビュー方式」を取り入れている。こうして外部専門家の多面的評価を経た上で、提案書の採否をプログラム・ディレクターが判断している。
- 外部レビューを採用することで、市場性やコスト競争力などの面で実用性に劣る提案書を除外することが可能になる。一方、実用面の評価を重視しすぎると、「斬新で革新性の高い提案書」が選ばれない事態が生ずる。
- そこで、ARPA-Eでは上記懸念を払拭するため、外部専門家による評価結果がプログラム・ディレクターに提出された段階で、「評価結果をプロポーザル提案者にも開示し、提案者が希望する場合は、追加説明書（評価内容への異議や研究価値を補強する論拠などを記述）を受け取る」ための仕組みを加えた。

## 10-2. 研究プログラムの公募

- こうした仕組みを加えることで、「ARPA-Eのプログラム・ディレクターが、市場性やコスト競争力を考慮しつつ、研究リスク及びペイオフを適正に評価するための“目利き力”」を高めている。
- 公募方式は、「提案公募 (Funding Opportunity Announcement)」に加え、「包括型提案公募 (Open Funding Opportunity Announcement)」の枠組みが用意されている。
- 前者が特定課題を指定したプログラムとなるのに対し、後者はエネルギー全般を対象とした公募として位置づけられる。
- ARPA-Eは、この包括型公募を一定期間毎に実施することを基本に据えている。
- 包括型は公募対象が広範となるため、必要に応じ、複数のプログラム・ディレクターが当該プログラムに関与する形を取っている。

## 11-1. 研究プログラムの管理

- 採択案件確定後、原則として二ヶ月以内の迅速さで、プロジェクト受託者と「資金供給契約（Funding Agreements）」を取り交わしている。契約には達成目標やマイルストーンが詳細かつ明確に書き込まれ、達成目標に応じた資金提供条件が設定される。
- DARPAと同様に、各種契約について「その他の取引を行う権限（OTA; Other Transaction Authorities）」を活用した柔軟な取り決めが可能になっている。
- マネジメントの機軸となる資金供給契約を精細かつ迅速に策定することで、ハイリスク型プロジェクトの効率的推進を促している。そのための支援体制が、DARPAの仕組みを参考に、以下の形で整備されている。
  - 資金供給契約の交渉は、プログラム・ディレクターとプロジェクト受託者が主体となり実施される。プロジェクトの効率的推進を促し、成果の最大化を図るため、ディレクターの全体戦略に合致し、かつ実効性の高い計画となるよう契約が定められる。
  - 契約策定の論拠として、技術、財務、プロジェクト管理に関わる多様なエビデンスを揃える必要が生ずる。この精細かつ煩雑な業務を迅速に推進する機能として、外部委託費を用いた支援体制が構築されている。
  - 具体的には、各種支援業務を外部の調査機関やコンサルティングファーム等に委託する体制が整備されている。支援業務の範囲に制限は無く、技術、財務、管理などの広範な業務を依頼することができる。

## 11-2. 研究プログラムの管理

- ARPA-Eでは、「四半期報告 (Quarterly Report)」と「目標指標 (Technical Milestones)」に基づくプロジェクト管理が行われている。
- 目標指標は、「技術開発」と「市場導入 (Technology to Market)」の2つの項目から構成されている。これらの指標に基づき3ヶ月毎にプロジェクト進捗度が評価され、評価結果をもとに「プロジェクト継続の可否 (Go/No-Go Judgment)」が判断される。
- 提案書に記載された目標指標は、採択後に「資金供給契約 (Funding Agreement)」を交わす段階で、詳細な見直しが行われる。
- ARPA-E側は、当該プログラムの「プログラム・ディレクター」「技術開発担当スタッフ」及び「市場導入担当スタッフ」の3名がチームとなり、プロジェクト受託者との交渉にあたる。
- 事務処理を含めた業務全体について、「外部委託機関 (ブーズ・アレン・ハミルトンに5年間、7310万ドルで委託、支援業務に制限は無く、技術、財務、管理などの広範な領域をカバー)」がサポートする。
- その上で、3ヶ月毎のプロジェクト評価段階においても、目標の見直しが必要な場合は、指標の修正が可能な枠組みとなっている。
- こうした困難な役割をプログラム・ディレクターが担うのは、ARPA-Eにおいて成功を収めると、その後のキャリアパスとして、産業界や政府機関で活躍する機会が広がる大きなインセンティブとなっている。