

「クリーンエネルギーイノベーションにおいて、
米国が世界でリーダーシップを発揮し実存的
な課題に対処する計画であり、それにより
経済を刺激し新しい雇用を生み出していく。」

—John F. Kerry、第68代米国国務長官

アメリカ にエネルギーを 国家エネルギーイノベーションミッション を開始するためのロードマップ

Varun Sivaram、Colin Cunliff、David Hart、
Julio Friedmann、David Sandalow

アメリカ にエネルギーを

国家エネルギーイノベーションミッション
を開始するためのロードマップ

Copyright©2020 by the Columbia University SIPA Center on Global Energy Policy

All rights reserved.この出版物の全部または一部を、グローバルエネルギー政策に関するコロンビア大学SIPAセンターからの書面による明示的な許可なしに、米国著作権法第107条および第108条（合衆国法典第17編第107条および第108条）で許可されている複製および公的報道機関の査読者による抜粋を超えて、複製することはできない。

米国議会図書館管理番号：2020917122

ISBN: 978-0-578-75852-7

グローバルエネルギー政策センターについて

コロンビア大学のSIPAセンターはグローバルエネルギー政策について、独立しバランスの取れたデータ主導の分析を提供し、政策立案者が複雑なエネルギーの世界で進路を見きわめるのを支援する。我々は、経済、安全保障、環境問題としてエネルギーに取り組んでいる。そして、世界クラスの教育機関のリソース、実社会での経験を持つ教員、そして世界的な金融とメディアの中心地であるロケーションを活用している。

詳細については、www.energypolicy.columbia.eduを参照のこと

国際公共政策大学院について

コロンビア大学国際公共政策大学院（SIPA）のミッションは、世界の公益に奉仕できるよう人々に力を与えることである。公共政策の専門家を教育し、政策関連の研究を行い、その結果を世界に伝えることにより、経済成長、持続可能な開発、社会の進歩、民主的なガバナンスを促進することを目標としている。ニューヨーク市を拠点とし、学生の50%が留学生であり、世界各地の教育機関と提携しているSIPAは、数ある公共政策大学院の中でも最もグローバルな研究の場となっている。

詳細については、www.sipa.columbia.eduを参照のこと。



COLUMBIA | SIPA

Center on Global Energy Policy

アメリカ にエネルギーを 国家エネルギーイノベーションミッション を開始するためのロードマップ

Varun Sivaram、Colin Cunliff、David Hart、
Julio Friedmann、David Sandalow

目次

序文	x
計画概要	1
パートI	
クリーンエネルギーイノベーションへの連邦投資を増やす必要性	11
1. クリーンエネルギーイノベーション：極めて重要な国家の優先政策	13
2. 連邦投資によるエネルギーイノベーション加速の仕組み	21
3. 米国の過去の国家イノベーションミッションからの教訓	35
4. 2025年までに250億ドル：意欲的かつ達成可能な目標	43
パートII	
国家エネルギーイノベーションミッション	51
5. 10の技術の柱	53
6. 6つの戦略原則	73
7. 3つの即時の推奨事項	93
付録	105
A. 提案された大統領政策指令	105
B. 現在および提案されている資金調達レベル	109
参考文献	127
略語のリスト	158
謝辞	164
著者について	165

序文

イノベーションは、気候変動に対処し、より安全でクリーンなエネルギーの未来を実現し、成長著しいエネルギー産業でアメリカが今後もリーダーシップを維持するための鍵である。今日の電力発電セクターは、気候変動に緊急に対処しなければならず、脱炭素化を迫られているが、過去10年間で風力発電や太陽光発電および電力貯蔵技術のコスト低下が劇的に進み、見通しをはるかに明るくなってきている。それに伴い新たに産業が拡大され、経済的機会が生み出されている。

しかし、国際エネルギー機関によると、2050年までにネットゼロ排出量を達成するために必要な累積削減量の半分は、現在のところ商業化されていない技術が担うと見られている。旅客輸送や暖房などの特定のセクターの電化が広まり、その電力を生成するための再生可能エネルギーが劇的に増加したとしても、大型輸送、海運、航空、重工業といった「スリム化が困難なセクター」では、より広範な脱炭素テクノロジーが必要になる可能性がある。また、すでに存在する大規模なエネルギーインフラストラクチャを脱炭素化するには、新しい改良型の技術も必要となる。

政府の投資の対象は、研究、開発、実証（RD&D）であることは明らかである。民間企業はイノベーションの社会的価値を完全に捉えることができないため、社会が享受する利益と比べて過小投資している状態である。炭素汚染を制限する強固な気候政策に加えて、連邦政府のRD&D投資は、ライバルを凌駕し、クリーンエネルギー技術をより早く市場に投入し、気候変動に立ち向かうために必要な速度で、米国のイノベーションを推進する手がかりとなる可能性がある。過去において連邦政府は、何度もエネルギーイノベーションをおろそかにしており、健康・医療イノベーションへの投資額の4分の1未満、国防イノベーションへの投資額の10分の1未満しか投資を行っていなかった。

エネルギーイノベーションの論拠は明らかであるが、政策立案者にとっては、達成するための最善の方法は何かという疑問が残るか？ 政権や議会がクリーンエネルギーイノベーションで「高レベル」を目指した場合、資金をどのように使い、過去の経験からの教訓をどのように活用するのが最善なのだろうか？ 政策立案者は、研究のどの段階に投資すべきか？ どの技術が最善の結果をもたらすか？ これらの資金を、国立研究

所、米国の一流大学、提携民間セクターの各所で最も効果的に展開するため、連邦政府自体をどのように構築すべきか？

およそ1年前、2021年に次の政権と議会が発足する前に、私は上記のカギとなる質問を特定し、さらなる分析と調査から有益な結果がもたらされるだろうと予測した。研究、教育、対話を通じて、スマートで実用的、かつ証拠に基づくエネルギーと気候のソリューションを推進するという、グローバルエネルギー政策センターのミッションからぶれることなく、この課題に取り組むための目標を立てた。それは、政策立案者にとって役立つエネルギーイノベーションのためのロードマップを、政策立案者のニーズに合わせた形式と時間枠で提供するというものであった。

アメリカにエネルギーをはその努力の成果であり、次の政権と議会に、米国のエネルギーイノベーションへの年間投資を今後5年間で3倍にするための、戦略的枠組みを提示する。これには、極めて重要なエネルギー技術全般にわたる詳細な資金提案や、迅速に実施するための推奨事項が含まれる。非常に喜ばしいことに、情報技術イノベーション財団（ITIF）のColin Cunliff博士とDavid Hart博士のご協力により、コロンビア大学のグローバルエネルギー政策センターにVarun Sivaram博士を招聘して、David Sandalow氏とJulio Friedmann博士と協力してこのプロジェクトに取り組んでいただく運びとなった。この重要なプロジェクトに多大な労力を費やし、このような優れた価値のある報告書を作成していただいた著者の皆様に感謝申し上げる。

再生可能エネルギーのコスト削減が目覚ましく進展していることに加え、気候変動に対する切迫感とクリーンエネルギーへの投資が高まっており、世界の複数政府が刺激策を行っている。こういった状況は、低炭素技術の見通しが明るさを増していると捉えることができる。同時に、他の多くの持続可能なエネルギー技術を市場に投入して規模を拡大し、公正で公平なエネルギー移行を促進する方法でクリーンエネルギー技術を実際に展開するには、さらに多くの作業が必要である。

アメリカにエネルギーをの内容が皆様にとって有意義であり、これまで以上に豊かで安全で持続可能なグローバルエネルギーシステムをより良く構築する方法について、この差し迫った問題に関する対話と理解の促進に貢献できることを願っている。

Jason Bordoff

グローバルエネルギー政策センター、創設ディレクター

計画概要

クリーンエネルギーイノベーションの核となるのは、気候変動対策である。過去10年間で、ソーラーパネルと風力タービンのコスト削減が劇的に進んでおり、この成功を他のさまざまなエネルギー技術でも再現する必要がある。成功を続けることで、非常に多くの経済的機会が生まれる。

この課題に立ち向かうために、米国は国家エネルギーイノベーションミッションを立ち上げる必要がある。大統領により主導され議会により承認されるこのミッションは、国のあらゆる地域の研究大学、連邦研究所、および民間企業（大小を問わず）において、米国のもつ比類なき革新力を活用して、クリーンエネルギー技術の進歩を加速させなければならない。また、このミッションで好スタートを切り、公共および民間投資を望ましいサイクルで回せるようにするため、米国連邦政府は、エネルギーの研究、開発、および実証（RD&D）への資金を今後5年間で3倍にすべきである。

増え続けている超党派の声は、クリーンエネルギーイノベーションへのより意欲的な公共投資を求めているが、議会と連邦機関が最も効果的に資金を上積みできる方法についての詳細なロードマップは存在しない。本書は、そのギャップを埋めることを目的としている。政策立案者向けに、成長するRD&Dの今後5年間のポートフォリオを構築するための戦略的枠組み、極めて重要なエネルギー技術全般にわたる詳細な資金提案、および即時の行動のための推奨事項を提示する。これらの提案を行うにあたり、我々は学術文献を調査し、数十年にわたる米国の歴史的経験を抽出し、何十もの立法案を活用し、連邦クリーンエネルギーRD&D

資金の最新データベースを構築し、公共投資の収益を最大化するための教訓を導き出した。

本書は2つのパートで構成されている。パートIでは、クリーンエネルギーイノベーションのための資金を連邦政府は劇的に増やすべきであるという根拠を述べ主張する。パートIIでは、上記実施のための詳細なロードマップを提示する。

パートI：クリーンエネルギーイノベーションへの連邦投資を増やす必要性

世界をクリーンエネルギーの未来に導くことは、米国の国益にあたる。気候変動に対処しないでいると、我々の安全、経済、幸福が危険にさらされる。近年の壊滅的なハリケーンと山火事により、より温暖な未来が予測されるという厳しい状況である。新型コロナウイルス感染症(COVID-19)による世界的な景気後退は温室効果ガスの排出量を減少させたが、世界経済が回復するにつれて、それらはすでに急増に転じている。大惨事を回避するには、世界が今後数十年でネットゼロ排出量に到達できるようにするための、新しい改善型のクリーンエネルギー技術が必要になる。これは「大幅な脱炭素化」と呼ばれる、非常に困難な作業である。

また、今後の低炭素産業のリーダーとなる機会を掴めば、米国の立場も躍進することは確実である。世界を見渡せば、各国で、大気汚染を削減し、輸入に頼る化石燃料への依存を減らし、気候変動対策のために、クリーンエネルギーへの投資が熱心に行われている。今日、中国はクリーンエネルギー技術の展開で世界をリードしており、クリーンエネルギーイノベーションに多額の投資を行っている。世界最高かつ最大のイノベーションシステムを備えた米国は、今後数十年にわたってクリーンエネルギーイノベーションで世界をリードする可能性があるが、取り組みと努力が不可欠である。

米国のエネルギーイノベーションを進めるには、連邦政府の出資が欠かせないであろう。新たなクリーンエネルギー技術は、市場で成功を収めるための大きな障壁に直面している。リスクを嫌う旧体質の企業、ビザンチン規制、および化石燃料を中心に構築された既存のインフラストラクチャと補助金の体制では、最も有望なベンチャー事業でさえ失敗に終わる可能性がある。大幅な脱炭素化に必要な大規模な民間投資を刺激するには、強力で持続的な公共RD&D投資が必要である。このような公共の資金は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の危機から経済が回復するのに役立つ短期的な刺激策を、補完することができる。RD&

D投資は、クリーンエネルギー技術の市場展開と輸出をサポートするための政策と組み合わせることが肝要である。それにより、イノベーションをもたらす未来のエネルギー産業の長期的な繁栄と包括的な経済成長が、維持できるようになる。

国家エネルギーイノベーションミッションは、米国のイノベーションの歴史の新章となる。連邦政府の出資が、命を救う医薬品の開発を加速させ、軍の兵器庫を近代化し、人類を月へと到達させた。これらの過去のミッションは、米国を世界的な科学技術大国にする原動力として役立ってきた。

それに比べて、連邦政府はエネルギーイノベーションをおろそかにしてきたという事実がある。以前連邦エネルギーのRD&D支出が急増したが、それは短期で終わってしまい、最近の資金調達増加率は鈍いものであった。今日、連邦政府はエネルギーイノベーションに年間90億ドル未満しか投資しておらず、これは健康・医療イノベーションへの投資の4分の1未満、国防イノベーションへの投資の10分の1未満である。米国は、2015年のミッションイノベーション協定の下で行った、公共RD&D資金を2021年までに128億ドルに倍増するという国際的な誓約を、十分に満たすには至っていない。

これを変える必要がある。連邦政府は、エネルギーイノベーションを国の中核政策として優先順位を上げ、それに応じて資金を提供すべきである。今後5年間で、さまざまな連邦機関でのエネルギーイノベーションのための年間公共資金を、3倍の250億ドルにすべきである。多数の研究により、米国の研究機関や民間企業は、この規模の連邦政府の支援を吸収し、それを急速な技術進歩に変換することができ、公共投資をはるかに超える経済的利益をもたらされるとの見解が示されている。

パートII：国家エネルギーイノベーションミッション

連邦の政策立案者は、クリーンエネルギーイノベーションに最も効果的に投資するため、連邦資金増額の戦略を策定し、迅速な措置を講じてこの戦略を実行に移すべきである（図ES-1）。資金調達を優先するためには、大幅な脱炭素化の重要課題を表す10の技術の柱を中心に、RD&Dプログラムを構築する必要がある。さらには、これらのプログラムを設計および実行する際に、連邦投資の効果を最大化する6つの原則に留意する必要がある。そして、2021年に発足する次の議会と政権は、国家エネルギーイノベーションミッションを立ち上げるため3つの即時の行動をとるべきである。

図ES-1：次の政権と議会への戦略的および戦術的ガイダンス

技術の柱	戦略原則	即時の行動
1 基礎科学とプラットフォーム技術	1 資金調達ポートフォリオを重要な脱炭素化のニーズに適合させる	 1 大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを開始すべきである
2 クリーン発電	2 イノベーションパイプラインの全段階をサポートする	 2 議会は2022年度にエネルギーRD&D資金を30%増やすべきである
3 高度な輸送システム	3 連邦政府のあらゆる力を集結する	 3 米国は、エネルギーイノベーションに関する国際的リーダーシップを再び示す必要がある
4 クリーン燃料	4 国立研究所、大学、および民間セクターの革新的な能力を活用する	
5 最新の電力システム	5 州および地方政府と連携して、地域イノベーションを支援する	
6 クリーンで効率的な建物	6 新しいデータに適応しながら、予測可能な長期資金調達目標を設定する	
7 産業における脱炭素化		
8 二酸化炭素回収・利用・貯留		
9 クリーン農業システム		
10 二酸化炭素の除去		

連邦のエネルギーRD&D予算を5年間で3倍にすることで、米国は包括的な脱炭素化イノベーションの課題を追求できるようになる。連邦政府の現在のエネルギーRD&Dポートフォリオは、クリーン発電に重点を置いている。これは、10の技術の柱のうちの1つにすぎない。10の柱すべてにおいて国家エネルギーイノベーションミッションを構築することで、見通しが大幅に改善され幅広い技術が急速に進歩すると見られる。これ

らの技術のうち、広く商業的成功を収めているものは世界中でもまだほとんどないため、米国には、二酸化炭素回収および貯留、デジタルエネルギー技術、長期グリッドエネルギー貯蔵、高度な輸送技術、水素などのクリーン燃料といった、成長し続ける新興市場のリーダーとなる機会がある。それぞれの柱について、具体的な連邦政府のイニシアチブを提案する。

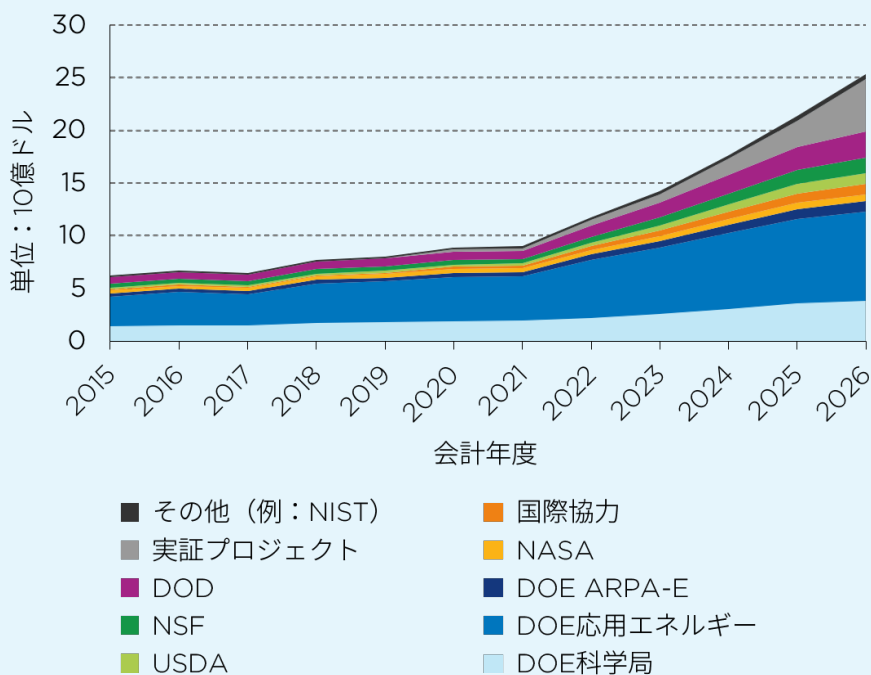
エネルギーRD&Dポートフォリオを2025年まで（つまり、2025年10月1日から始まる2026会計年度まで）に年間250億ドルに成長させるには、政策立案者は6つの戦略原則に従う必要がある。最初の5つは多様性に関する原則で、トピック、イノベーションの段階、連邦政府機関、研究パートナー、および米国の地方での多様化を求めている。連邦のエネルギーRD&D投資は、10の技術の柱すべてをカバーすることに加えて、初期段階の研究から商業規模の実証プロジェクトまでのイノベーションパイプライン全体をカバーする必要がある。これらを、エネルギー省（DOE）とその国立研究所を超えて拡大する必要がある（図ES-2）。DOEと研究所は引き続きエネルギーイノベーションの核となる専門知識を提供するが、議会もエネルギーイノベーションのための資金を国防総省（DOD）と農務省（USDA）、国立科学財団（NSF）、国立航空宇宙局（NASA）、およびその他の連邦機関で増やしていく必要がある。関与する機関は、連邦研究所から大学、民間ベンチャー事業に至るまで、イノベーションのエコシステム全体に投資し、地方自治体や州政府と連携して、優れた地域クラスターを構築すべきである。最後の6番目の原則では、ポートフォリオを経時的に管理する戦略を推奨している：政策立案者は長期的な資金調達目標を採用すべきであるが、状況の変化や経験から学びながらポートフォリオを徐々に適応させるべきである。

近年、超党派の勢いがエネルギーイノベーションへの投資の支援面で増しているため、機会が広がってきている。第117回議会と2021年に宣誓される大統領政権は、3つの具体的な措置を講じることにより、国家エネルギーイノベーションミッションを開始するための即時の行動を取るべきである。

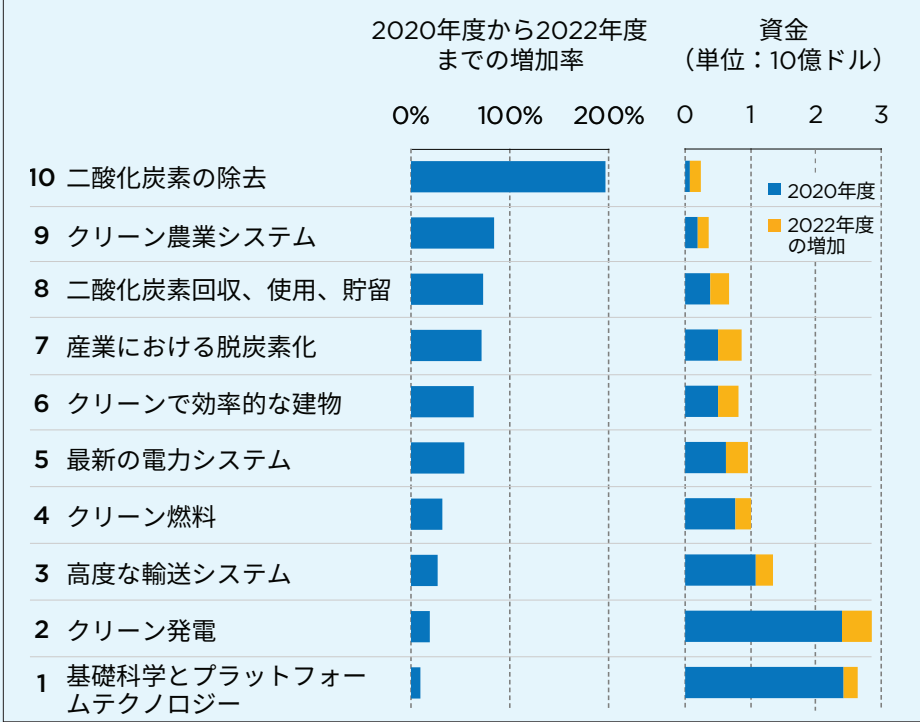
まず、大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを声明として盛り込む大統領政策指令を交付して、エネルギーイノベーションを国家の優先政策として打ち出し、エネルギーイノベーションのための連邦資金を5年間で3倍にするという目標を設定し、機関間の調整を行い実施を加速させるためのホワイトハウス作業部会を創設すべきである（大統領

政策指令の草案は付録Aに記載されている)。第二に、次の議会は2022年度（FY22）に向けて野心的な予算を通過させるべきである。すなわち、特に現在資金が不足している技術の柱に注力しながら、連邦エネルギーRD&D資金を大幅に増額し、2025年までに予算を3倍にする軌道に米国を乗せるべきである。（図ES-3は、2022年度のエネルギーイノベーション予算の具体的な提案の概要を示しており、表ES-1の項目別推奨事項を、各機関・事務局に出資する議会予算枠に対応させて要約している。）第三に、米国はミッションイノベーションに再び取り組み、エネルギー技術を進歩させるための二国間協力を強力に進め、クリーンエネルギーイノベーションのためのグローバル公共資金調達レースさながらの競争を刺激することで、すぐにでも国際的リーダーシップを再び示す必要がある。

図ES-2：連邦政府機関による過去のクリーンエネルギーRD&D資金と、クリーンエネルギーイノベーション予算を2025年までに年間250億ドルに引き上げるための提案



図ES-3：技術の柱別に提案された2022年度の連邦エネルギーイノベーション予算（2020年度のデータとの比較）



これら3つの即時の行動は、次の国家イノベーションミッションの開始につながる。米国は誇り高い歴史の中で、イノベーションの可能性を解き放ち、世界規模の課題に立ち向かってきた。政策立案者が将来のクリーンエネルギー技術への投資を断行し、その投資を維持すれば、歴史は繰り返されるであろう。世界的なコロナウイルス危機に続き、米国はさらに深刻な世界的脅威である気候変動の対策を主導する立場となり、世界がクリーンエネルギーに移行するのに伴い力強く栄えるであろう。

表ES-1：政府機関・事務局別の2022年度連邦エネルギーイノベーション予算案（単位100万ドル）

資金調達機関	資金調達事務局/組織	2020年度推定	2022年度提案	変動率
エネルギー省	エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE)	2,228	2,682	20%
	車両技術局 (EERE/VTO)	396	488	
	バイオエネルギー技術局 (EERE/BETO)	260	320	
	水素・燃料電池技術局 (EERE/HFTO)	150	185	
	太陽エネルギー (EERE/SETO)	280	303	
	風力エネルギー (EERE/WETO)	104	113	
	水力 (EERE/WPTO)	148	160	
	地熱技術局 (EERE/GTO)	110	170	
	先進製造室 (EERE/AMO)	350	432	
	建築技術局 (EERE/BTO)	230	301	
	炭素管理局 (CM) *	472	812	72%
	二酸化炭素回収（電力および産業）	115	300	
	二酸化炭素利用	21	25	
	二酸化炭素貯留	79	120	
	先進エネルギーシステム/総合分野	123	150	
	ネガティブエミッション技術（新設室）	--	75	
	メタン漏れ検出および削減	18	22	
	原子力エネルギー局 (NE)	1,493	2,028	36%
	汎用試験炉	65	450	
	原子炉概念のRD&D	102	163	
	燃料サイクルのRD&D	305	255	
	先進原子炉の研究、開発、および実証	330	520	
	電力局 (OE)	190	520	174%
	科学局 (SC)	2,151	2,572	20%
	先進科学コンピューティング研究 (SC/ASCR)	173	200	

(前ページからの続き)

資金調達機関	資金調達事務局/組織	2020年度推定	2022年度提案	変動率
エネルギー省	生物学・環境研究 (SC/BER)	451	523	
	基礎エネルギー科学 (SC/BES)	661	766	
	核融合エネルギー科学 (SC/FES)	671	740	
	エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)	425	516	21%
	DOE小計	6,959	9,130	31%
農務省	農業先端研究開発局 (AGARDA)		50	
	農業研究サービス (ARS)	99	158	
	NIFA農業・食品研究イニシアチブ (NIFA/AFRI)	106	169	
	USDA小計	205	377	83%
国防総省	米国陸軍研究所 (ARL)	155	202	
	米国海軍調査研究所 (NRL)	97	127	
	米国空軍	254	332	
	その他 (国防全体、DARPA、ESTCP)	298	391	
	DOD小計	804	1,053	31%
NASA		339	394	16%
国立科学財団	生物科学 (BIO)	54	75	
	コンピュータ情報科学工学局 (CISE)	24	34	
	工学局 (ENG)	156	219	
	数理・物理学局 (MPS)	162	227	
	その他のNSF	21	29	
	NSF小計	804	1,053	31%
その他 (NIST、NOAA、USGS、FHWA、EPA-ORD)		169	221	31%
合計	該当なし	8,894	11,758	32%

*これは現在の化石エネルギー局の新名称の案である
DOE以外のプログラムの2020年度資金調達レベルは、クリーンエネルギー/クリーン農業に使われる資金の一部見積もりである。機関・事務局の合計には、プログラム指令とRD&D施設（表には示されていない）の見積もりが含まれており、RD&Dプログラムの合計よりも大きい場合がある。



パートI

クリーンエネルギーイノベーション への連邦投資を増やす必要性

画像提供 Skynesher/Getty Images

クリーンエネルギーイノベーションは国の極めて重要な優先政策であり、以下の章では、イノベーション加速のために連邦資金を調達すべきである根拠を示していく。**第1章**では、エネルギーイノベーションを国の中核政策として優先順位を上げるべきである2つの根拠を、政策立案者に提示する。1つは気候変動対策の加速的な進歩、もう1つは国際競争力のある米国クリーンエネルギー産業の発展を通じての繁栄についてである。**第2章**では、エネルギーイノベーションへの民間投資を補完および刺激するために、公共資金が必要な理由を説明する。**第3章**では、国防や健康・医療のイノベーションミッションの成功など、これまでの米国のイノベーションミッションからの教訓を調査し、新しい国家エネルギーイノベーションミッションの指針を示す。**第4章**では、米国連邦政府が年間250億ドルのエネルギーRD&D資金調達の目標を2025年までに設定する必要がある理由と、この目標を達成できる理由について説明する。

第1章

クリーンエネルギーイノベーション： 極めて重要な国家の優先政策

クリーンエネルギーは、米国では人口統計学のおよびイデオロギー的な区分にかかわらず、人々の関心を集めている。これには正当な理由がある。¹ 気候変動の課題に対処するには、クリーンエネルギーへの移行が不可欠である。クリーンエネルギー製品とサービスの世界市場は爆発的に拡大している。手ごろな価格のクリーンエネルギーは、米国および世界中の人々に多大な恩恵をもたらす。

一部のクリーンエネルギー技術は、目覚ましい成果を上げている。太陽光発電パネルは、米国と世界の両方で最も急速に成長している発電設備である。エッフェル塔とほぼ同じ高さの風力タービンは、既存の石炭火力発電所よりも安価なコストで発電している。

しかし、世界的な気候変動政策の目標を達成するには、幅広い技術を取り入れたイノベーションが必要となる。これらの技術への投資を拡大している国は、急速に成長している世界規模の市場で優位に立ち、経済的なリターンを得るという点で非常に有利な立場にある。中国、日本、欧州連合、その他がしのぎを削っており、米国は取り残されてしまう恐れがある。すなわち、すぐにでも気候変動に対処し、世界的に競争力のあるクリーンエネルギー産業を構築しなければならない。この差し迫った状況は、エネルギーイノベーションを国の中核政策として優先順位を上げるべき根拠となるはずである。

大幅な脱炭素化への道を切り開く

気候変動への最悪の影響を食い止めるため、温室効果ガスの排出量を今後数十年で大幅に減少させる必要がある。米国は差し迫った危機に脅か

されている。近年米国は、ハリケーンサンディから西部の山火事まで、痛ましい気候関連の災害に直面している。気候変動により悪化する干ばつ、暴風雨、海面上昇、および病気などが、今後数十年で米国を荒廃させる可能性がある。²

エネルギーからの二酸化炭素（CO₂）排出は、最も顕著な気候変動の要因である。³ 過去10年間で、エネルギーからのCO₂排出量は、世界規模では10%増加した。⁴ 2020年初頭には、悲慘なコロナウイルスパンデミックの影響で排出量は減少したが、世界経済が回復し始めるに伴い、排出量は増加に転じている。ネットゼロ排出、つまり大幅な脱炭素化に俊敏に着手するには、世界のエネルギーシステムに劇的な変化をもたらす必要がある。

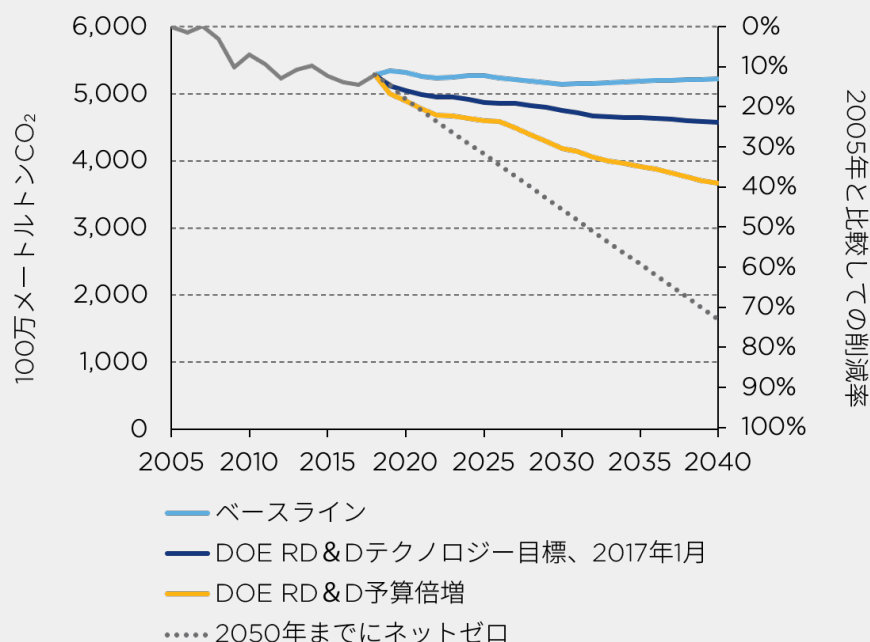
残念ながら、現在のクリーンエネルギー技術だけでは、この問題を解決することはできない。ソーラーパネルや風力タービンを含むいくつかのクリーンエネルギー技術は、世界の多くの地域において、石炭火力発電所などの市場の既存技術と、すでに商業的に競合できる力を付けてきている。しかし、輸送や航空から鉄鋼やセメントの製造業、さらには都市インフラに至るまで、大規模で重要なセクターにおいて、炭素を吐き出す既存技術と商業規模で利用でき、コスト面で競合できる高性能のクリーンエネルギー技術はいまだ存在しない。

実際、国際エネルギー機関（IEA）は、大幅な脱炭素化に不可欠な46のエネルギー技術のうち、壊滅的な気候変動を回避するのに十分なペースで進歩しているのは6つだけであると警告している。⁵ 残りの40のうち主なものは、発電および産業プロセスからの二酸化炭素排出量を回収して保存する技術、クリーンな水素燃料を生成して使用する技術、断続的な再生可能電力を長期間保存する技術、電力網などの複雑なエネルギーシステムを管理する技術などである。すでに商業的成功を収めているソーラーパネル、風力タービン、バッテリーなどのクリーンエネルギー技術分野でも、新たに改良される技術はさらに価格を抑えることを可能とし、新しい市場応用の道が切り開かれていく可能性がある。⁶ 今後数十年間で、世界がネットゼロ排出量を迅速に達成するために必要な削減の約半分は、今日まだ商業利用に達していない技術が担うことが確実視されている。⁷

エネルギーRD&Dへの公共投資を拡大すると、脱炭素化が促進される（図1-1）。⁸ 2017年のDOE分析では、現在のRD&Dプログラムが、コス

トの削減とクリーンエネルギー技術のパフォーマンスの向上という目標を達成した場合、米国の炭素排出量は2040年までに23%減少する可能性がある」と結論付けた。これらの予測は控えめである可能性がある：2012年から2017年の間に、DOEは76の技術目標のうち75を達成または上回った。⁹ また、DOEがRD&D予算を2倍にすると、より優れた技術により米国の排出量をさらに15%削減できる可能性がある。¹⁰ 明らかに、「テクノロジープッシュ」政策と呼ばれる）RD&Dへの連邦投資だけでは、2050年までに米国の排出を全体としてゼロにするのに必要な速度で脱炭素化を進めるには十分ではないのである。クリーンエネルギーへの移行を実現するには、炭素価格付けやクリーンエネルギー基準などの「需要けん引型」政策も必要になる。

図1-1：技術の進歩の異なるシナリオにおける米国のエネルギー関連のCO₂排出量



出典：DOE

国内でのイノベーションは、海外での排出量の削減にもつながる。米国は世界の炭素排出量の15%しか占めていないため、国内で開発および生産されたクリーンエネルギー技術を、世界規模で普及させることが極めて重要である。さらに、国内で費用効果の高いクリーンエネルギーシステムに移行すれば、国際的な気候を議題とする外交場面における米国へ信頼度が高まり、他の国々に大幅な脱炭素化への実行可能な道筋を示すことができる。

今後数十年間で、世界がネットゼロ排出量を迅速に達成するために必要な削減の約半分は、今日まだ商業利用に達していない技術が担うことが確実視されている。

成長するグローバル市場を手にする

2019年の世界の年間エネルギー投資額は約2兆ドルであった。¹¹ 世界的に見て、クリーンエネルギーシステムに特化された投資プールのシェアは、増え続けている。例えば、再生可能エネルギーへの投資は2019年にほぼ3000億ドルと、過去15年間で800パーセント増加した。¹² これは非常に大きな経済的機会であり、各国に門戸が開かれている。まだ新しく成長中のクリーンエネルギー市場で、供給者となることができるのである。

米国はかつて、未来型エネルギー技術開発の世界的なリーダーであった。商用原子炉技術は、第二次世界大戦後にアメリカで生まれ、その後世界中に輸出された。現代の太陽光発電は1950年代にベル研究所で発明され、今日では世界で最も急速に成長している電源となっている。より最近の事例は、シェール革命である。この天然ガス生産の革命は、連邦政府による持続的な研究開発（R&D）投資から生まれ、民間産業による投資と並行して、米国を世界最大の石油とガスの生産国へと変えた。^{13、14、15}

しかし年々、米国は海外の競合相手にエネルギーイノベーションのリーダーシップを譲る格好となっている。世界中の国々が、クリーンエネルギーへの移行の一環としてイノベーションに投資している。これは、炭素排出量を削減するだけでなく、化石燃料の輸入への依存を減らし、エネルギーコストを削減し、大気汚染を浄化することを目的としている。

今日、中国は世界最大のソーラーパネル、風力タービン、バッテリーの生産国、輸出国、利用国である。対照的に、米国はこれらのクリーンエネルギー技術の製造全体では4位に位置付けている。¹⁶

中国だけではない。多くの国が、まだ新しいクリーンエネルギー技術に的を絞った投資と輸出推進を組み合わせた、積極的な産業政策に取り組んでいる。たとえば、日本は、水素自動車や電解槽を海外に販売するために、輸出入銀行からの融資を展開している。¹⁷ 同様に、韓国からドイツまで、さまざまな国が急成長するクリーンエネルギー産業でリーダーシップを発揮できるよう、イノベーションを長期戦略の中核と位置づけ、持続的な投資を行っている。各国で特に注目が集まっている技術には、ガス化装置、超高圧送電線、燃料電池、省エネルギー船舶などがある。^{18、19}

米国は、多くの新興クリーンエネルギー産業をリードできる好位置につけている。リーダーシップ機会の1つとして、二酸化炭素回収技術が挙げられる。²⁰ 各国が化石燃料からの温室効果ガス排出量を削減しようと腐心しているため、二酸化炭素を工場や発電所の排ガスから分離させるだけでなく、大気から直接取り除く技術に対する需要が高まっていくと考えられる。こういった技術の市場は、2040年までに数千億ドルの価値にまで成長する可能性がある。^{21、22} 現在、米国では世界中のどこよりも多く、最先端の二酸化炭素回収施設が稼働または開発されている。²³ それでも、この初期段階の進歩を長期的な産業のリーダーシップに変換するには、イノベーションへの持続的な投資が必須となる。これは、クリーンな輸送技術から複雑なエネルギーシステムを管理するためのデジタルツールまで、米国がリーダーとなり得るさまざまな技術機会に当てはまる。

世界中の国々が経済活動を刺激するべく政策をめぐらし、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の危機からの回復を目指す中、米国はさまざまな技術分野でさらに遅れをとる可能性がある。欧州連合は、クリーンな水素インフラストラクチャなど、気候に配慮した経済回復投資に2000億ドル以上を投資すると発表を行った。²⁴ ドイツはさらに前進して、「水素経済の創出とドイツ企業のリーダーシップ」を目標とし、エネルギーRD&Dへの投資を強調する国家戦略を打ち出した。²⁵ 中国政府は、先進エネルギー産業とインフラへの投資を含む、1.4兆ドル相当の「新しいインフラ」パッケージの発表を行った。その計画には、高圧送電および高速鉄道ネットワークの構築、電気および水素燃料車への助成金の充実、車両充電インフラストラクチャのネットワークの展開、および車両と電力網用の高度なバッテリーの製造が含まれる。

対照的に、政府がエネルギーイノベーションを支援すれば、競争力ある米国のクリーンエネルギー産業の長期的な成長を支えることが可能であるにもかかわらず、米国の刺激策によるクリーンエネルギー技術への出資は明らかに欠けている。政策立案者は、エネルギーRD&Dに資金を提供することに加えて、全国の産業クラスターで包括的な経済成長とクリーンエネルギー技術の輸出を促進するための措置を、講じるべきである。より広範な産業政策に関する議題は、本書で扱う範囲を超えているが、記事1-1にて、米国の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）不況からの長期的な景気回復推進に役立つ、クリーンエネルギー産業育成政策について手短かに概説する。

世界中の国々が経済活動を刺激するべく政策をめぐらし、COVID-19危機からの回復を目指している中、米国はさまざまな技術分野でさらに遅れをとる可能性がある。

米国は、世界規模のエネルギーインフラの改革を主導するという、有益な機会を逃す恐れがある。この好機を掴むためには、バイオ医療、国防、宇宙、人工知能のイノベーションと同等のレベルまで、クリーンエネルギーイノベーションを国の中核政策として優先順位を上げる必要がある。適切な優先順位を設定することが第一のステップである。

記事1-1：クリーンエネルギーイノベーションへの投資により新型コロナウイルス感染症（COVID-19）不況からの長期的な経済回復を支援する

コロナウイルスのパンデミックは、米国経済を不況に陥れ、深刻な失業問題を引き起こし、結果として連邦政府は大規模な経済救済措置を講じるに至った。これらの措置の主な目的は、差し迫った危機への対処と即時の救済の提供であった。経済がこのショックから回復するに伴い、連邦政府は、長期的な回復、経済成長、および世界的な競争力を促進するための追加政策に取り組むべきである。クリーンエネルギーRD&Dへの投資は、まさにそれに適した政策である。

経済回復を刺激し、温室効果ガス排出を削減するための投資を含む「グリーン刺激策」を求める声が大きくなっている。²⁶ 現在、連邦政府の実際の借入コストはマイナスであり、相当量の活用可能な資金が余っている状態だが、これは歴史的な機会と見なすことができる。すなわち、実用化済みのクリーンエネルギー技術を展開し、実証プロジェクトを通じて新興技術を成熟させるための、大規模な公共投資を行う機会なのである。²⁷ 短期的な刺激策を補完するために、イノベーションへの投資もグリーンリカバリー包括案に含めるべきである。

一連の研究により、上記のような投資が長期的に経済面の利益と環境面の利益の両方をもたらすことが示唆されている。世界中の200人以上のエコノミストと中央銀行関係者を対象とした調査によると、クリーンエネルギーの研究開発に対する公共資金の投入は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対処するための特殊な政策介入であり、長期的に高い経済的利益を生み出し、排出量を大幅に削減することが明らかになった。²⁸ さらに、1976年以降の風力エネルギー研究開発への米国公共投資に関する評価によると、エネルギーコストの削減や大気汚染による健康被害の回避など、結果として生じる経済的利益が政府の投資コストを18倍上回っていることが判明した。²⁹

イノベーションのための公的資金は、長期雇用の創出に寄与する。例えば、ある米国の大学の連邦研究資金を2倍にすると、歴史的にその大学が所在する地方で1%の雇用増加が見られており、他の雇用関連の要因の調整弁となる。同様に、民間企業への連邦研究助成金も雇用創出を刺激する。米軍のRD&D資金から、フィンランド政府の革新的企業に対する助成金に至るまで、世界中の結果を調査したところ、イノベーションへの公共投資を通じて雇用を創出するコストは、2,100ドルから28,000ドルの範囲であることが示唆された。25,000ドルという控えめな見積もりを使って試算すると、2025年の目標レベルである年間250億ドルの連邦政府のRD&D資金は、今後数十年間で100万人の雇用を支える可能性がある。一方、グレート・リセッションの際の米国政府による景気対策支出では、創出雇用1件あたり50,000ドルのコストがかかった。³⁰

政策立案者による出資検討の対象となり得る技術分野を見わたすと、クリーンエネルギー技術への投資は納税者の投資に対して最も高い利益を生み出している。例えば、バッテリー、水素、二酸化炭素回収技術のイノベーションに関する特許は概して、人工知能やバイオテクノロジーな

どその他の分野のイノベーションに関する特許よりも、米国の経済成長を刺激している。³¹ 公共的RD&D資金は、企業の革新的な取り組みを、商業的な成功に変換するのに役立つ。具体的には、連邦政府の中小企業イノベーション研究プログラムからの助成金により、革新的なエネルギー技術を開発している新興企業の特許活動、収益性、および存続率が向上している。³²

しかし、イノベーションへの連邦政府の投資は、米国を拠点とする世界的に競争力のある産業により雇用が創出されることを、保証するものではない。なぜなら、米国の技術イノベーションへの投資を他の国々が利用して、それらの技術を海外で製造および商品化するリスクがあるためである。太陽光発電は、米国で投資され育成された技術であったが、今では中国ソーラーパネルの大部分を製造および輸出している。同様に、米国の科学者が公共資金の支援を受けながら自動車や送電網用途に使用する各種リチウムイオン電池を発明したにもかかわらず、中国、日本、韓国が電池製造シェアの大半を占めている。³³

このような帰結を回避するには、製造能力、地域のサプライチェーン、エンジニアリングの人材など、イノベーション産業のエコシステムにおける多様な要素にてこ入れすることが不可欠である。自動車、半導体、各種クリーンエネルギー産業など、エンジニアリングに重点を置いている産業では、製造工場こそが重要なイノベーションの源である。³⁴ 研究開発施設や部品/サービスサプライヤーの近くに製造所を配置している企業は、製品のパフォーマンスとコストをより迅速に改善できる。³⁵ エネルギーRD&D資金を2025年までに3倍の250億ドルにするにあたり、連邦政府は、対象を初期段階の研究開発だけに絞るべきではなく、全国のコミュニティに産業クラスターを植え付け、包摂的な成長を促し、実り多きエネルギーイノベーションの経済利益を得るため、実証、製造、および輸出金融にも公共資金を投入し、資格を満たす労働力が不足しないよう、移民、教育、研修政策にも力を入れるべきである。

第2章

連邦投資によるエネルギーイノベーション加速の仕組み

新しいエネルギー技術を商業化するには、困難な壁を乗り越える必要がある。米国には、民間企業や投資家、学術機関や非営利団体、政府機関の複雑なネットワークが複数のレベルで存在するが、このエネルギーイノベーションエコシステムでは、有望な先進技術を商業的な成功に変換できないということがよく起こる。連邦政府のRD&D資金があれば、有望な技術の商業的見通しを改善することができる。このような公共投資を正しく的を絞って行えば、さらなる民間投資がもたらされ、公共セクターと民間セクターの両方で学習、改善、再投資の好循環を生み出すことができる。

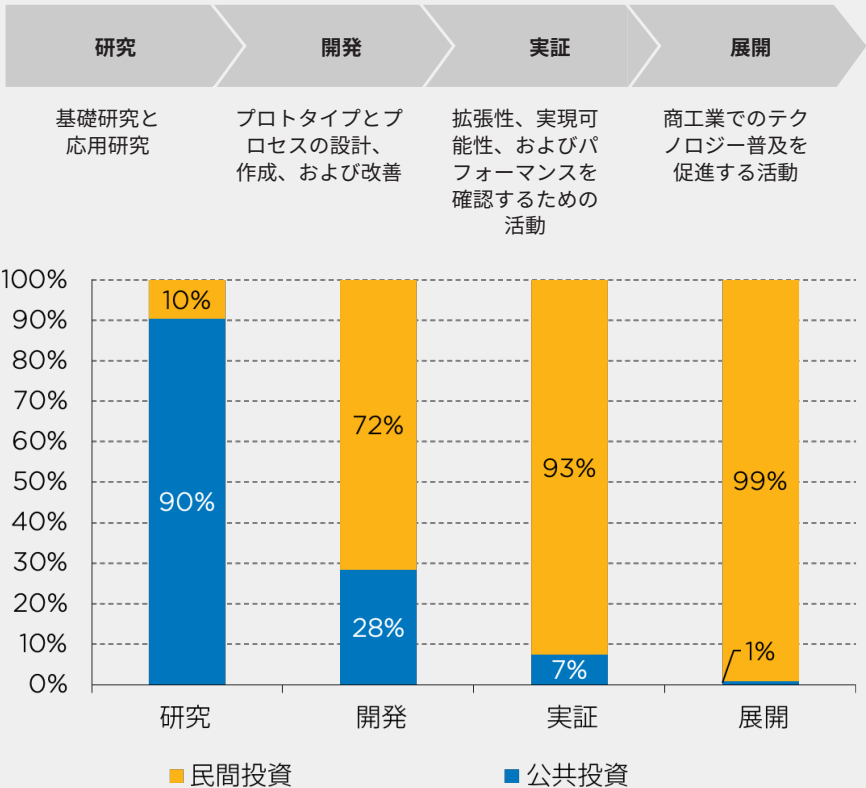
エネルギーイノベーションの障壁

エネルギーイノベーションのプロセスは、経済の他の多くのセクターにおけるイノベーションとは根本的に異なる。クリーンエネルギー企業は、高い先行投資要件と厳しい規制市場を突き付けられている。新しいエネルギー技術は、多くの場合、物理学と熱力学の臨界付近で効率を引き出すことを目指しており、パフォーマンスおよびコストに関する顧客や規制当局からの厳しい要求を満たさなければならない。エネルギーイノベーションは、ソフトウェア新興企業が達成しているような素早い製品開発や商業的普及のサイクルと、並列で語ることはできない。新しいエネルギー技術は、商業的けん引力を達成するまで、多くの場合、数十年の開発と数十億ドルの投資を必要とする。

図2-1は、新しいエネルギー技術が発見から普及に至るまでにたどる道程を高度に様式化してまとめたものである。¹ この「イノベーションパイプライン」は大まかに、研究、開発、実証、展開の4つの段階に分けることができる。（実際には現実はより複雑であり、さまざまな段階を境界線ではっきりと区切る単一のテクノロジーパイプラインは存在しない。）

図2-1：2016年の段階別エネルギーイノベーションプロセスと米国の投資源

イノベーションパイプライン



出典：Breakthrough Energy, Energy Futures Initiative, and IHS Markit、2019年

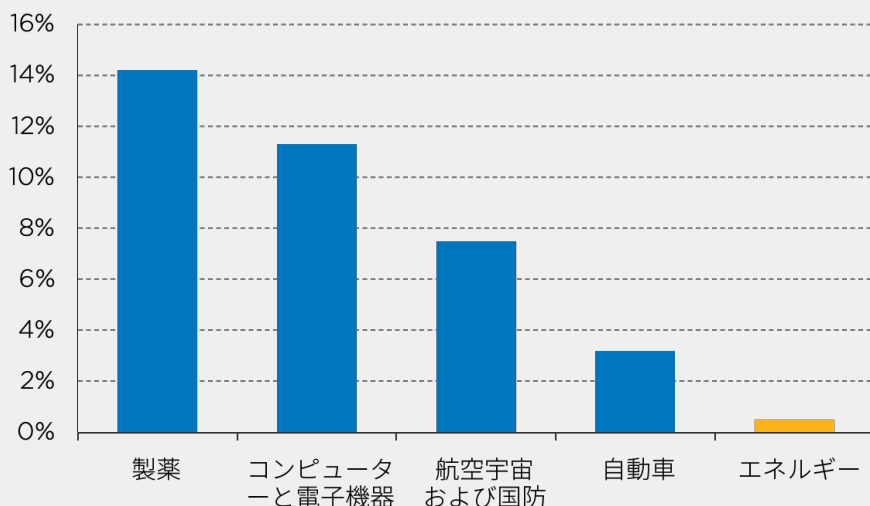
公共セクターと民間セクターは、各段階で非常に異なる役割を果たす。初期段階は研究（基礎研究と応用研究の両方）であり、ほとんどが連邦政府により資金提供される。民間企業は当然のことながら、最先端の科学知識を開拓していくため、さまざまな業界に価値ある経済的波及効果を生み出す可能性がある。ただし、測定可能な収益をもたらす可能性が低いプロジェクトへの出資には、消極的な傾向がある。² 連邦政府が関わる度合いは、イノベーションの後の段階では減少し、エネルギー会社と投資家が、開発と実証のための資金の大部分（および成熟した技術の展開のための資金のほぼすべて）を供給する。

新しいエネルギー技術は、商業的けん引力を達成する前に、多くの場合、数十年の開発と数十億ドルの投資を必要とする。

民間投資だけでは、米国がライバルに打ち勝ち、クリーンエネルギー技術をより早く市場に投入し、気候変動に立ち向かうため、クリーンエネルギー技術を市場に投入するのに必要な速度でエネルギーイノベーションを推進するには不十分である。民間投資家はいまだ、商業化の可能性に近づいている成熟したテクノロジーの展開を中心に投資している。2019年、米国のクリーンエネルギーへの民間投資フローのうち、革新的な企業を支援したのは10%未満、そしてほぼすべての資本フローは、風力発電や太陽光発電などのプロジェクトへの資金提供であった。³ 有望なクリーンエネルギー技術は、いわゆる「死の谷」に取り残されることがよくある。すなわち、民間企業が得る収益が十分でないため、投資意欲が衰えているにも関わらず、公共の出資者が民間の投資機会を損なうことを恐れて遠慮するという事態が発生しているのである。実験室での研究の進歩を商業的なプロトタイプに変えたり、パイロット製造ラインに資金を提供したりというような、リスクを冒す企業や投資家は非常に少ない。民間資金は、イノベーションパイプラインの後半の実証段階で、さらに深刻な不足に陥る。⁴

全般的に、エネルギー業界の企業はイノベーションへの支出を渋っており、研究開発への投資額は収益のわずか0.5%である。これらの投資を制限する構造的な障壁が、至るところに存在する。例えば、米国の電力会社は州政府と地方政府によって規制されており、通常は、企業が料金納付者から集めた資金をリスクの高い技術プロジェクトに費やすことを、認可しない傾向にある。規制の対象ではないエネルギー企業は、公益事業よりもイノベーションに投資するが、図2-2に示すように、研究開発集約型産業の企業よりもはるかに少ない額である。⁵

図2-2：主要グローバル産業全体の収益に占める研究開発費の割合、2018年



出典：PwC、NSF

ソフトウェアおよび製薬業界では、ベンチャーキャピタル（VC）の大規模な参入がイノベーションを促進している。ソフトウェア新興企業は、必要な資本が比較的少なく、多くの場合、5年以内に投資家に利益をもたらすことができる。対照的に、製薬系の新興企業は、市場のけん引力を得るまでに10年以上を必要とし、かなり高いレベルの資本を必要とすることがよく見られる。しかし、製薬新興企業とその投資家は、食品医薬品局が実施する標準化された承認プロセスの恩恵を受けている。治験のフェーズが進むごとに医薬品や医療製品によるリスクは低下し、一度承認されれば認知的財産権により利益を確保できる可能性が高いのである。⁶

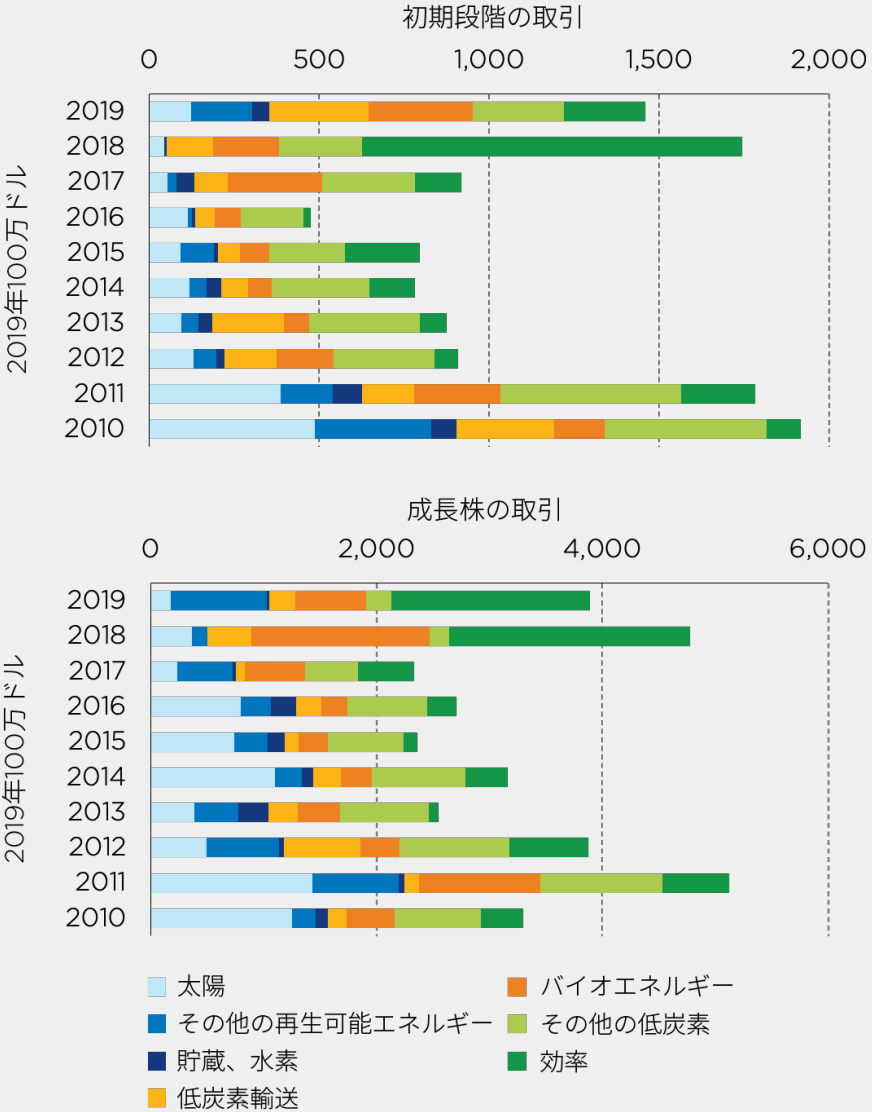
上述のモデルはどちらも、資本要件が高く、開発のタイムラインが長く、実証とリスク軽減の機会に乏しいエネルギーセクターでは機能しない。失敗を通してモデルを発見したベンチャーキャピタリストも少なくない。2006年から2011年にかけて、250億ドルを超えるVC投資がクリーンエネルギー技術の新興企業に注入された。その資金の半分以上は失われた。⁷ 成功を見たのは、Googleが買収したサーモスタットメーカーであるNestなど、エネルギー関連の目的でエネルギーソフトウェアまたはシ

ンプルなハードウェア製品を製造している、ほんの一握りの企業のみであった。複雑なエネルギーハードウェア技術の商業化には、多くの場合10年以上かかり、各ポートフォリオで数人の大成功者が5年以内に出現するVC資金の期待に応えるには、ほとんどの場合コストがかかりすぎるという状態である。2019年、VCの米国のエネルギー企業への投資額はわずか10億ドルであったが、健康・医療企業には約200億ドル、情報技術企業には700億ドルを投資した。⁸

VCがクリーンエネルギー技術への投資を避け始める結果となったが、新世代の投資家が出現している。⁹ 自ら対処に乗り出す「患者資本」投資家の中には、投資が成熟し、最終的に莫大な利益を得るまで、10年またはそれ以上待つ姿勢が散見される。¹⁰ 電力会社と石油・ガス企業、特にヨーロッパの大手企業は、直接またはエナジー・インパクト・パートナーズや石油・ガス気候変動イニシアチブなどのプール型ファンドを通じて、新興企業への投資を増やしている。また、MicrosoftからAmazonまで、他のさまざまな企業が、今後数年間で数十億ドルをクリーンエネルギーに投入することを公約している。^{11、12} 2019年には、クリーンエネルギー技術企業へのコーポレート初期投資および成長株式投資は、過去最高の50億ドルを超えた。全体として、2018年と2019年のクリーンエネルギーテクノロジー企業への世界全体の投資は、10年前に最後に見られたレベルに匹敵する（図2-3）。¹³

個人投資家は、段階的に拡張可能で投資リスクを抑えられる、小型で均一なユニットで構成されるバッテリーなどの、モジュラーテクノロジーにまず資金を投入している。¹⁴ 同様に、彼らは空気から二酸化炭素を直接回収するためのモジュール式機器への投資を増やしている。¹⁵ それにもかかわらず、これらの分野においてさえ、民間投資のレベルは、新興技術を急速に商業化するために必要なレベルをはるかに下回っている。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）により、クリーンエネルギー技術企業への民間投資は顕著に落ち込んだ。2020年上半期の投資額は、過去2年間と比較して約30%の減少であった。¹⁶

図2-3：技術分野別の米国のクリーンエネルギー技術企業における初期投資および成長株式投資の取引額（10億ドルを超える取引を除く）



出典：国際エネルギー機関

エネルギーRD&Dへの連邦投資の必要性

エネルギーイノベーションへの公共投資と民間投資は相互に依存しているため、民間セクターの首脳陣が取り組みを強化するよう連邦政府に要請するという動きは当然のことである。例えば、2020年2月、主要なエネルギー会社のCEO、投資会社の責任者、およびその他の業界リーダーで構成される米国エネルギー革新協議会は、連邦のRD&D予算を3倍にするよう改めて要請した。¹⁷ 米国エネルギー革新協議会は、RD&Dに対して公共資金を投入することは、民間投資を締め出すのではなく、さらなる民間投資を生み出していくと主張している。

この議論は、複数の研究で裏付けられている。ある研究では、クリーンエネルギー研究開発に資金が投入されたことにより、民間のイノベーション資金がクリーン技術へと再び向けられていることが明らかになった。¹⁸ 別の研究によると、クリーンエネルギー技術について出願された特許は、クリーンエネルギー以外の分野で広く引用されていることが認められている。これは、炭素排出が多いエネルギー技術に関連する特許には見られない現象である。¹⁹ 公共投資と民間投資は、互いに補完し合っているのである。記事2-1では、RD&Dへの投資により、クリーンエネルギー技術のコスト削減がより迅速に進み、民間企業が大規模な生産と展開を通じて、さらにコストを削減できるようになることを示している。

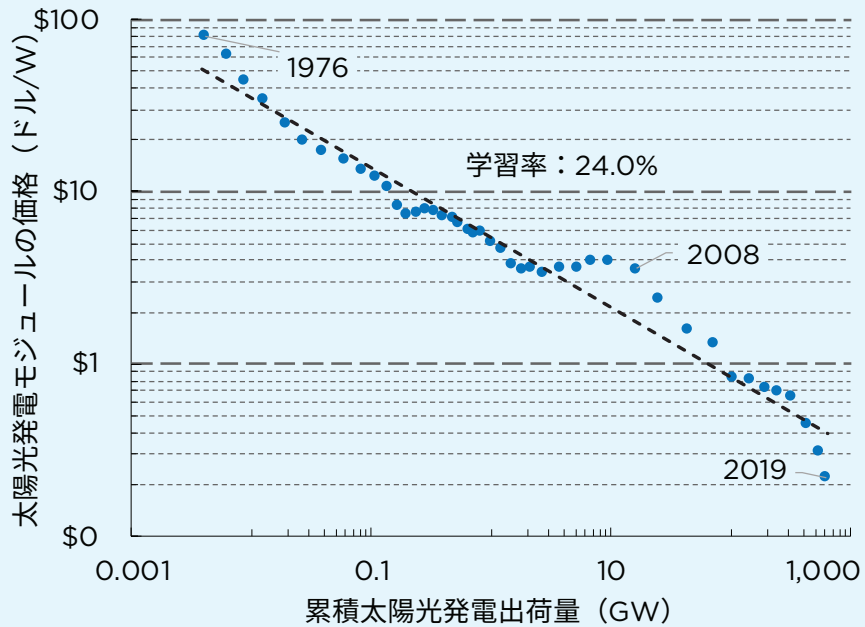
記事2-1：クリーンエネルギー技術のコスト削減を促進するための公共RD&Dの役割

商業的競争力を保つため、クリーンエネルギー技術の単価を下げることは極めて重要である。技術は複数の理由により時間の経過とともに安価になる可能性があるが、RD&Dに対する政府の出資は、長期的に技術コストを削減する最も重要な要因の1つであると、幅広い分野の専門家が認めている。

ただしクリーンエネルギー技術のコスト削減を、最も一般的な方法である「学習曲線」（「経験曲線」と同じ意味）を表すグラフで示すと、RD&Dの中心的な役割が不明瞭になる可能性がある。この種のグラフは、技術の単価を累積生産量の関数として表したものである。ソーラーパネルから天然ガスタービン、エネルギーセクター以外のその他の技術まで、さまざまな技術において、生産規模が大きくなるにつれ、コストは順次下がる傾向がある（図2-4）。「学習率」は、累積生産量が倍増するたびに単価がどれだけ低下するかの割合により算出される。学習曲線で

は、公共または民間からのRD&D投資のレベルと、それらが学習率にどのように影響するかは明示されない。

図2-4：1976年から2019年までの太陽光発電の学習曲線と学習率



出典：ブルームバーグNEF

太陽光発電（PV）技術の場合、1980年から2012年までのコスト削減の最も重要な要因は、研究開発（R&D）であった。2001年以前は、まだ成熟していなかったソーラー技術のパフォーマンスを向上させるため研究開発が不可欠であった。2001年以降、太陽光発電技術が成熟し、商業的な成功を収めるにつれ、規模生産の経済性が重要な役割を果たしたが、研究開発は引き続き同等額のコスト削減に貢献した。どちらの期間でも、最終的な要因、つまり企業が大量のソーラーパネルを生産するにつれて生み出された「実践学習」は、コスト削減においてわずかな役割しか果たさなかった。²⁰

したがって、図2-4の学習曲線は、生産規模の拡大がコスト低下の背後にある主な説明要因であることを意味するものではない。複数の研究によ

り、研究開発に関する説明を怠ると、大規模生産での実践学習のコスト削減への貢献を過大評価することになることが明らかになった。^{21、22}

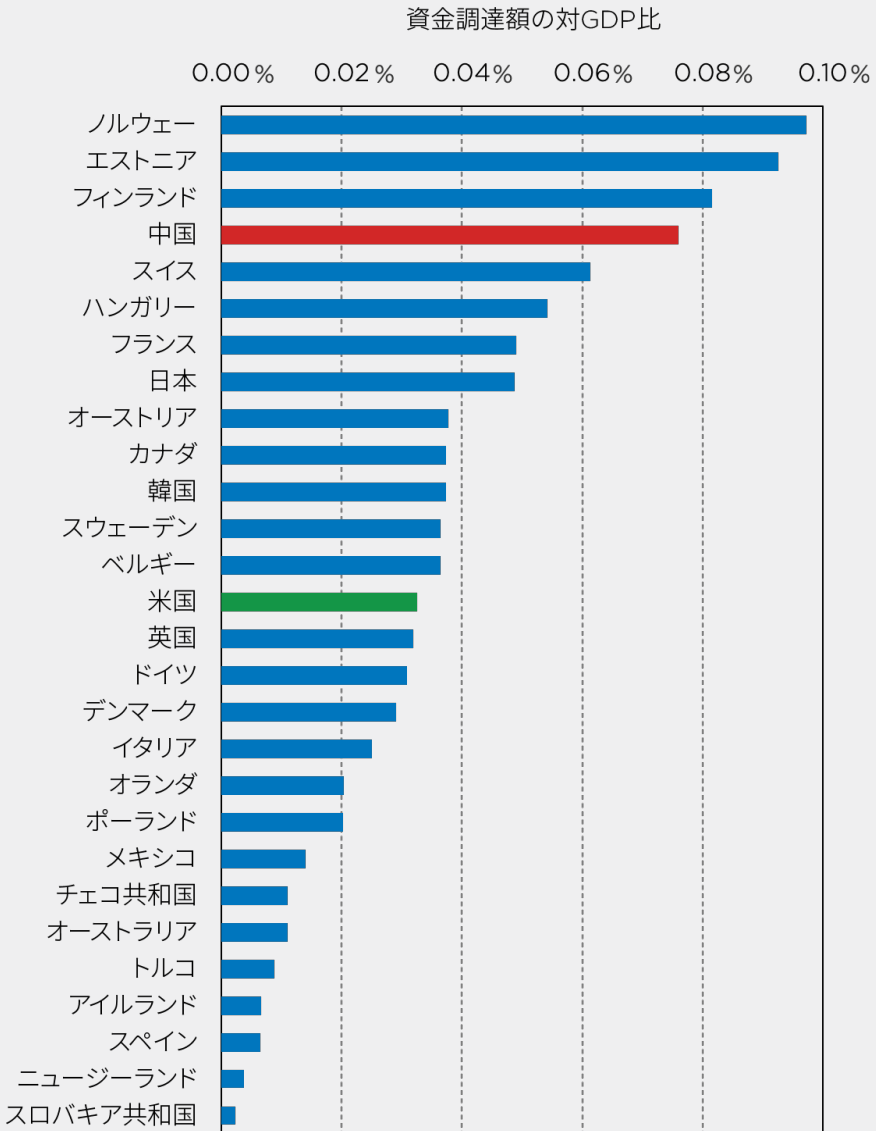
研究開発は、技術が開発の初期段階にあるときだけでなく、商業規模で生産されるときにも重要である。例えば、一部のコンポーネント（ボイラーなど）は非常に成熟しているが他のコンポーネントは成熟していない（最新鋭の原子炉など）、複雑な統合システムの新しいコンポーネントを、研究開発資金により改善できる。風力エネルギーの場合、公共研究開発資金により、製造業者は新しい生産プロセスを開発し、風力タービン技術を改善することができた。²³

政府の研究開発資金は、民間の研究開発資金と比較して、コスト削減を推進するのに特に役立つ。公共資金は、将来のコスト削減のペースを加速する斬新なイノベーションをサポートする傾向があるためである。²⁴ その結果、政府が出資する研究開発は、クリーンエネルギー技術の展開を速めるための公共インセンティブよりも、はるかに費用効果が高く、そのようなインセンティブを補完する。²⁵

また議会の超党派の多くは、エネルギーRD&Dへの資金の増加を支持してきた。過去それぞれ4年間の任期中に、広く評判を集めているエネルギー高等研究計画局（ARPA-E）の廃止を含む、クリーンエネルギープログラムの大幅な削減に関するトランプ政権からの法案を、議会は否決した。代わりに、クリーンエネルギーRD&Dへの連邦資金は、この期間中に約3分の1増加した。

それでも、特にイノベーションの後期段階のための米国政府の出資は、他の政府の取り組みに遅れをとっている。2015年から2019年にかけて、中国は応用エネルギーRD&D（つまり、基礎科学研究を除くRD&D）への投資を14億ドル増やし、世界をリードした。これは、米国の出資額の2倍以上である。これに歩調を合わせるように、英国は米国の5倍の速さで投資を増やした。²⁶ 米国は、2021年までに出資を128億ドルに引き上げると、2015年のミッションイノベーション協定で世界の他の国々に公約したが、実現にはまだ数十億ドルも不足している。GDPに正規化したエネルギーRD&Dへの米国連邦の出資額は、平均並みに過ぎない（図2-5）。²⁷

図2-5：2017年GDPに占めるエネルギーRD&Dの政府出資額



出典：国際エネルギー機関、「エネルギーRD&D統計サービス」

クリーンエネルギー技術の気候対策の面と経済面の両方の利益、すなわちイノベーション主導の成長を享受するには、連邦政府がイノベーションパイプラインのあらゆる段階に出資し、クリーンエネルギー産業を育成するための国家戦略の策定に、積極的に乗り出す必要がある。公共資金を初期段階の研究のみに限定するという政策案は、十分ではない。大規模かつ成長中の一連の研究では、イノベーションプロセスの一段階のみに焦点を絞った政策は、全体的アプローチより効率が劣ると認められている。^{28、29、30}

米国のエネルギーRD&Dポートフォリオで特に目立って欠落しているのは、大規模な実証プロジェクトである。連邦政府は、2009年の刺激策（米国再投資復興法（American Reinvestment and Recovery Act）、または復興法）の期限が切れた後、同種のプロジェクトへの出資を事実上停止した。クリーンエネルギーイノベーションに対する復興法の影響そのものは、複雑なものであった。DOEの融資保証プログラムは、TeslaとFirst Solarを商業的成功へと押し進めるのに役立ち、米国の公益事業規模の太陽光発電の展開において、10年にわたるブームの起爆剤ともなった。³¹ DOEの新興ソーラーメーカーであるSolyndraへの融資保証は、最終的にSolyndraが破産し、ポートフォリオ全体が実際に収益を上げたにもかかわらず、多くの人が後期エネルギーイノベーションにおける連邦政府の役割に疑問を投げかけた。³² また、FutureGen、Kemper、Texas Clean Energy Projectなどのいくつかの二酸化炭素回収実証プロジェクトにおけるDOEの民間セクターとの提携は、議会により決められた予算とスケジュールの制約の結果として、一部終了せざるを得なかった。^{33、34} 今日、実証プロジェクトに投入されている連邦資金は、2020年度に議会により承認された先進的原子炉の新プログラムのみである。³⁵

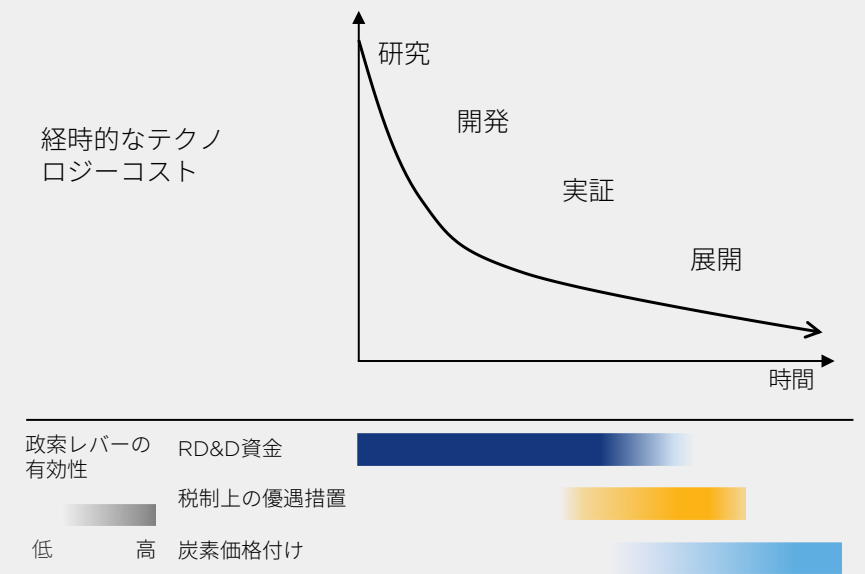
新しいエネルギー技術を市場に投入するには、民間投資家と共に連邦政府が、イノベーションパイプラインのこの最重要部に投資すべきである。政府の出資がなければ民間投資家は、商業的に証明されていない技術にリスクを負うことを躊躇する可能性がある。³⁶ 大規模な実証プロジェクトを構築することは、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対応する長期的な経済回復努力を前進させる可能性もある。そのような投資は、設計上リスクを伴うことを認識することが重要である。失敗は時として起こるものではあるが、そのリスクが、実証の成功により環境と経済にもたらされるメリットを上回ることではない。

第6章では、既存の機関の利用から高リスク実証プロジェクトへの共同投資に最適化した新規組織の設立に対する融資保証の提供まで、連邦政府が過去の教訓に基づき、実証プロジェクトに最も効果的に資金を提供するためのオプションを、いくつか紹介する。このようなプロジェクトへの公共共同投資がなければ、複雑で大規模なエネルギーシステムの開発者は、死の谷を乗り越え、技術を商業化して広く販売することができない。実験室規模で証明はされているが、まだ商業規模ではない有望なクリーンエネルギー技術が、日の目を見ないままとなる恐れがある。

クリーンエネルギー技術の気候対策の面と経済面の両方の利益、すなわちイノベーション主導の成長を享受するには、連邦政府がイノベーションパイプラインのあらゆる段階に出資し、クリーンエネルギー産業を育成するための国家戦略の策定に、積極的に乗り出す必要がある。

RD&Dへの「テクノロジープッシュ」投資と並行して、政策立案者は、最も費用対効果の高いクリーンエネルギー技術の迅速な展開をサポートするために、商業市場を刺激する「需要けん引型」政策も採用すべきである。これらの政策は本書の主題ではありませんが、RD&Dへの公共投資を補完するものとして不可欠である。例えば、全国規模で炭素価格付けを行えば、現在何の問題もなく炭素を排出できる汚染者に罰金を課すことにより、クリーン技術とそうでない技術の間に均等な機会を与えることができる。さらには、クリーンな電力、車両、建物、および燃料の基準を設けることで、低炭素の義務を満たすため、新しいクリーンエネルギー技術の需要が伸びる可能性がある。さらに政策的を絞れば、有望なクリーンエネルギー技術の拡張に役立つ可能性がある。最新鋭の原子炉から洋上風力タービン、二酸化炭素回収プロジェクトまで、新興技術に焦点を当てた税制上の優遇措置を講じて、商業展開の初期段階を部分的に支援することが可能である（図2-6）。^{37、38}最後に、公共調達は、新興技術の早期商業化を促進する強力なツールになり得る。³⁹

図2-6：クリーンエネルギーイノベーションの各段階のサポートにおいて選択される政策手段の有効性



出典：コロンビア大学

米国エネルギー革新協議会により要求されたように、エネルギーRD&Dのための公共資金の決定的な増加は前例がなかったわけではない。米国は過去半世紀にわたって、さまざまな分野のイノベーションへの公共投資を増やしてきた。これらの経験から得られた教訓は、エネルギーイノベーションを加速する方法を検討している政策立案者に、有用な情報を提供することにつながる。

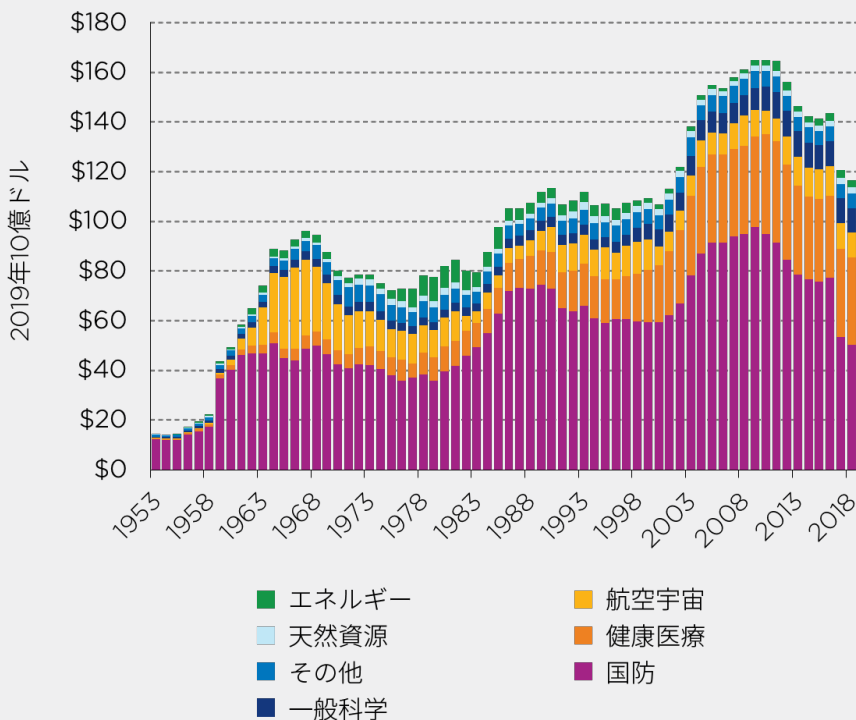
第3章

米国の過去の国家イノベーションミッションからの教訓

米国は、科学、技術、イノベーションの世界的リーダーである。最も引用数の多い科学出版物の中でも、米国を拠点とする著者が群を抜いて多く見られる。米国の大学や企業は、グローバルな才能を強力に引き付けており、大学の学位を持つ外国人の数が世界のどの国と比較しても3倍以上となっている。世界で最も研究開発費用が多額である企業15社のうち、10社は米国に本社を構えている。トップ2のAmazonとAlphabetは、過去25年間に設立され、米国のイノベーション経済のダイナミズムを体現している。^{1, 2, 3}

米国がこのリーダーシップを維持している主な理由は、第二次世界大戦以降、連邦政府が国家的ミッションを達成するためイノベーション政策を実施し続けているからである。⁴ 米国国防総省（DOD、図3-1の紺色の棒グラフ）、米国国立衛生研究所（NIH、図3-1のオレンジの棒グラフ）、米国航空宇宙局（NASA、図3-1の黄色の棒グラフ）などの「ミッション機関」が、連邦政府の研究開発出資の大半を占める。それと比較すると、国立科学財団に代表される知識の一般調査や、米国国立標準技術研究所（NIST）に代表される産業イノベーションの一般支援が果たす役割は、微々たるものである。⁵（研究開発のテクノロジープッシュ資金に加えて、国防技術の調達や健康保険への助成金などの連邦政府の需要けん引型政策も、新興技術が商業的に成功しやすくなる市場条件を作り出しているため、国のミッションに貢献している。）

図3-1：研究開発に対する米国連邦政府の過去の出資額



出典：AAAS

今日の2つの最大のミッションである国防と健康・医療については、1940年代と1950年代にこれらの投資を開始したときの想定をはるかに超える、研究アジェンダと産業開発が生み出されている。半導体、コンピューター、全地球測位システム（GPS）、およびインターネットは、米軍により当初開発されたイノベーションの民間に転用されたもののほんの数例である。実際のところ、情報技術産業を立ち上げ、シリコンバレーの成功を可能にしたのは連邦政府の投資であった。連邦政府出資による生物医学研究開発は、図らずも1970年代と1980年代にバイオテクノロジー産業を生み出し、農業と医学を変革した。長年にわたり国防以外の連邦研究資金の上位をNIHが占めてきた結果、科学が発展し、2010年から2016年の間に食品医薬品局（FDA）によって承認された210の新薬すべての裏付けとなった。⁶

連邦政府の投資を活用して生み出された各イノベーションシステムは、現在では大いに自律しており、民間の金融機関、企業、慈善団体などから大規模な投資を受けている。それでも、連邦政府の役割は今でも見過ごせないものであり、例えば過去10年間で、自律した各システムを急速に進歩させ、進化に合わせ改変している。

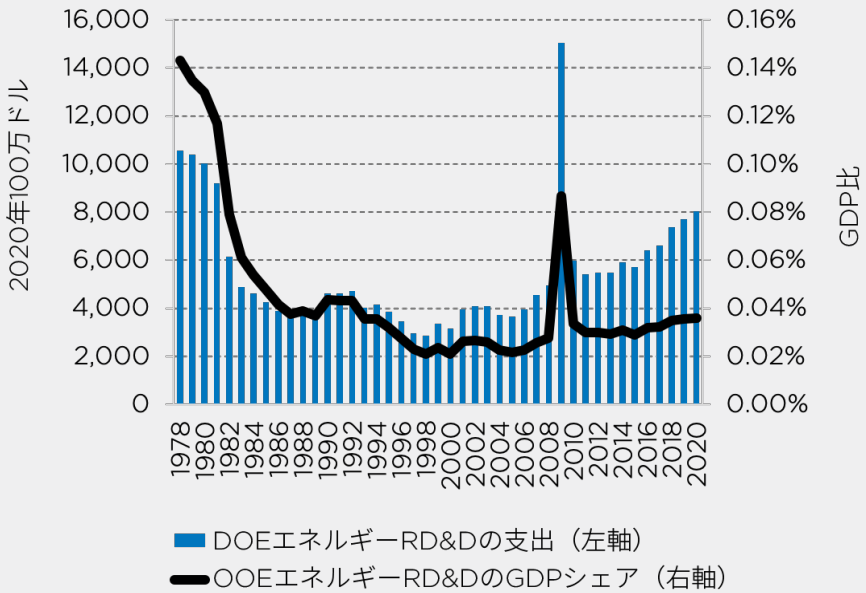
米国がそのリーダーシップを維持している主な理由は、第二次世界大戦以降、連邦政府が国家的ミッションを達成するためイノベーション政策を実施し続けているからである。

世界中の国々がイノベーション政策において、アメリカの戦後の成功を模倣しようと努力してきた。その過程で、あらゆる波及効果の成功度は、国防ミッションと健康・医療ミッションに左右され、他の分野では格差が残るということが、各国で明らかになった。化学や工作機械など2大分野に属さない多くの業界、および機械工学や化学工学などのサポート分野での世界規模でのリーダーシップは、これら各分野に投資することを選んだドイツ、日本、韓国、中国などに移行した。これらの国々は、経済発展を追求するにあたりこれらのセクターに投資した。これは、20世紀の大半において米国連邦政府が抑制してきたミッションである。⁷

エネルギーイノベーション政策の歴史では、この点が特に目立つ。エネルギーイノベーションに対する連邦政府の支援は、第二次世界大戦以降、劇的に衰退している。1950年代に米海軍が潜水艦に動力を供給するために原子炉を開発したため、初期の投資は主に国防ミッションの枠内で行われた。民間の原子力発電は、この取り組みから派生した。連邦政府が出資し、民間で建設された実証プロジェクトにより、1960年代と1970年代に原子力発電所が次々と開設された。^{8, 9} これらの発電所は、現在の原子炉群の大部分を占めており、今日、米国の低炭素電力の大部分を供給している。1970年代のオイルショックにより、両党の米国大統領は「エネルギー自給」を新たな国家的ミッションとして宣言した。研究開発出資を急増させてこのミッションを支援し、エネルギー省を創設した。この動向は図3-1内で、この年間の紫色の棒グラフの伸びとして示されている。この投資はさまざまな進歩をもたらしたが、とりわけ、太陽電池の効率を高めてコストを削減するという目覚ましい躍進につながった。¹⁰

しかし、1980年代に石油価格が下落したとき、連邦政府はエネルギーRD&Dへの投資を大幅に削減し、特に開発と実証分野での落ち込みは激しいものであった。図3-2に示すように、GDPに占めるDOEエネルギーのRD&D支出の割合は、復興法により大幅に後押しされた2009年でさえ、同部門が設立された1978年のレベルに再度到達することはなかった。¹¹ 公共RD&D資金が急激に減り始めた直後に、民間投資を刺激する公共投資の好循環が崩壊したため、民間投資も減少した。1984年以降、エネルギーRD&Dおよび米国のエネルギー特許に対する民間資金は、20年間にわたり減少した。¹²

図3-2：1978～2020年度のDOEエネルギーRD&D支出



出典：ITIF

エネルギーミッションへの米国の関心が薄れるにつれ、他の国々が最前線に躍り出た。日本とドイツは、2008年に中国が追い抜くまで、太陽光発電の製造を交互にリードしていた。それ以降は、中国が業界トップを維持している。民間の原子力エネルギー産業については、フランス、韓

国、ロシア、中国が今日の世界市場で権勢をふるっている。米国はかつては中心的存在であったが、後塵を拝している。

図3-1に示されている連邦イノベーション政策の記録には、国防と健康・医療への持続的な増強、航空宇宙への大規模で不安定な出資、そしてエネルギーへの一貫性なく制約ありの支援、という特徴が示されている。この歴史から示唆される、新たなエネルギーイノベーション推進を検討する際に留意すべき教訓を、以下に列挙する。

1. 規模が重要である。国防と健康・医療は公共の優先事項であり、大規模な各種産業や組織が関与しており、連邦予算グラフの2つの最大部を占めている。このような大規模なセクターに重大な影響を与えるには、イノベーションエコシステムも大きくなければならない。イノベーション政策は、陸、海、空、宇宙での軍事ミッションであるか、人体にさまざまな原因と無数の症状を伴う健康障害であるかに関わらず、大規模に運用することによってのみ、そのようなセクターの多数の要素と特定のニーズへの対処が可能である。そして、経時的に発展するエコシステム全体を統合することで、価値の高い各種機会が生み出される。また大規模な運用には、それほど明白な利点はないとも言える。大規模な施行機関は、小規模な機関よりも政治的監視からある程度隔離されているため、技術的な判断により重点が置かれ、失敗が許容される間口が広がっている。イノベーションを推進するには重大レベルの失敗が必要である（プロジェクトがすべて成功するのであればポートフォリオが無難すぎる）ため、プロジェクトを掘り下げるのではなく、ミッションやプログラムのレベルで幅広い方向性を設定し、進捗状況を評価する監視機構があることが望ましい。エネルギーイノベーションに対する連邦政府の支援はこの規模に達していないため、活発で自律したイノベーションエコシステムも、ポートフォリオの失敗を許容するのに十分な政治からの自立性も備わっていない。
2. 意欲的なイノベーション政策は持続的かつ柔軟でなければならない。国防および健康・医療イノベーション政策が変えようとしているシステムは、動的で複雑である。患者、兵士、そして恐怖と希望に満ちた大衆といった、人間적および社会的要素が包括されており、科学者や技術者により大まかに認識されているが、完全像を見ることができるのは現場のみである。変革を成功させるには、最初から完全に特定することが不可能な、相互関連し合う一連の技術

社会的問題を、数十年にわたって解決する必要がある。不測の事態が発生したり機会が生まれたりした場合に、イノベーション政策を順応させることが必須である。最近の例を挙げると、過去10年間、NASAは商業乗員輸送プログラムのマイルストーンを繰り返し採用した。最終的に、このプログラムは2020年に成功し、SpaceXは有人宇宙ミッションを開始した最初の民間企業となった。^{13, 14} エネルギーシステムの脱炭素化は、航空宇宙ミッションの打ち上げや原子爆弾の製造というより限定的で計算可能なミッションよりも、冷戦を戦うことの方に類似性があり、さらに困難になると見られる。¹⁵

3. 着実で持続的な成長は好況や破綻に先んじる。国防および健康・医療イノベーションシステムは、断続的に構築された。レーガン時代の国防力の強化や世紀の変わり目にNIHが倍増したときのように、出資額が2桁の割合で増加することもあった。他の時期には、近年のように、資金調達の停滞も見られたし、減少さえもあった。戦後のその他の時点で見られる、着実で持続的な成長が望ましい。実証プロジェクトを含むイノベーションへの一貫した出資が、農業から航空宇宙技術まで、目覚ましい進歩をもたらしてきた。¹⁶ イノベーションには、開発に何年もかかる専門的な専門知識が必要である。これには、多くの個人によるキャリア関連の判断が含まれる。破綻により、これらの人的資本（および建物や器具などの物理的資本）への投資は無駄となる。一方で好況は、資本の栓が開いたときにその場にいた果報者に過剰な報酬を与える傾向がある。例えば、連邦政府が1998年から2003年にかけてNIHの予算を倍増したが、実質的に次の4年間の予算を急激に削減したため、一時解雇、有望なプロジェクトのキャンセル、人的資本の永久的な喪失につながっている。¹⁷ エネルギーセクターも失敗により、この教訓を学んだ。すなわち政策立案者は、蛇行するようにエネルギーRD&D資金を増やすべきではないのである。
4. 着実で持続的な成長には永続的な超党派のコンセンサスが必要である。米国で何十年も続く政策は、分割政府の期間は言うまでもなく、大統領、上院、下院の党派支配の変化に耐えなければならない。軍事技術の優位性と、それ故の多額のRD&D投資の戦略を支えた冷戦のコンセンサスは、トルーマン政権で形成された。そして、リンドン・ジョンソンとリチャード・ニクソンが大統領であった、激動のベトナム時代を耐え抜いた。生物医学研究費に関するコンセンサスは、戦後まもなく他の高所得国で実施された、国民健康

保険に関する超党派の合意達成の失敗を補うために生まれた。コンセンサスは、政党に関わらず、提案された予算増額を互いに上回ろうとする、大統領と下院と上院の予算編成者による毎年の入札争いとしばしば表現された。対照的に、エネルギー自給に関するコンセンサスは短命であった。カーター大統領の「戦争に代わる道徳的行為 (Moral Equivalent of War)」の演説の頭字語をとり、共和党員がMEOWと嘲笑して終焉した。今日、新しい国家エネルギーイノベーションミッションを進めるには、このミッションにより気候変動への対策が前進し、米国の世界規模での競争力が高まるであろう、新興超党派のコンセンサスを強化しなければならない。NASAが宇宙への打ち上げを放送したり、NIHが癌研究を宣伝したりするように、エネルギーイノベーションの成功と約束を広く伝えることが、連邦政府のRD&D投資に対する国民の支持を維持するにあたり極めて重要である。

5. 資金分配で広くイノベーションに利益をもたらし、成長を維持する。複雑な問題には多面的なソリューションが必要である。イノベーション資金調達戦略で、研究大学、政府研究所、スタートアップ・ベンチャー企業、大企業など、さまざまな能力を持つ多様な機関を活用すれば、そのようなソリューションを考案して実装する可能性が高くなる。米国の国防政策および健康・医療政策では、上記のあらゆる種類の機関を網羅する複雑なイノベーションエコシステムを育成してきた。この戦略は政治的利益ももたすが、有能な機関が全国に広く普及するほど、より利益が得られるのである。南部と西部の州と地区を代表する下院議員は、国防と健康・医療のイノベーションに関する戦後コンセンサスに参画した。これは、アラバマ州バーミングハム、テキサス州ヒューストン、カリフォルニア州サンディエゴといった場所で新しい産学クラスターが出現したためである。(確かに、政治的な配慮により不適切な資金調達が決定されるということは起こりがちで、非効率的ではあるが、イノベーションを支援する永続的な政党連合の利益の前には些事となっている。) エネルギー分野での政策立案についても同様に、国のミッションを推進するため、地域のイノベーション中心地とそれに付随する政治的支援を集結するよう努めるべきである。

第4章

2025年までに250億ドル： 意欲的かつ達成可能な目標

2020年度、議会はエネルギーRD&Dに約89億ドルを割り当てた。これらの資金の約80%はエネルギー省に送られ、残りは12程度の連邦機関に配分された（図4-1）。すでに述べたように、これらの資金調達は、他の重要な優先事項に対する連邦のRD&D予算や、他の国によるエネルギーRD&Dへの支出と比較すると低いレベルである。

本書では、エネルギーRD&D連邦資金の増大急務化の指針として：2026年度（2025年10月1日開始）までに年間250億ドルを目指す、という目標を提案する。

2025年までに年間250億ドルが連邦エネルギーRD&D資金調達の目標として適切である理由

連邦エネルギーのRD&D資金の大幅な増加が必要であり、すぐに着手すべきである。ただ、適切な額についての疑問が残るか？。RD&Dの成果は、本質的に不確実である。RD&D支出の最適レベルを事前に確実に知ることが不可能である。しかし、国立研究所、大学、企業などが目安とする資金調達目標を設定することは、持続的かつ一流のRD&D力を構築するため重要である。

適切な資金調達目標を選択するには、政策立案者は2つの目的の均衡を取る必要がある：すなわち、（1）変容につながるクリーンエネルギーイノベーションの潜在力を最大化するのに十分な資金を提供し、（2）有効利用できる金額に資金を制限することである。資金の増大は必須の急

務であるが、その増やされた資金を成果が出るであろう方法で使うのは人間であり、その受給者の能力を超えることはない。

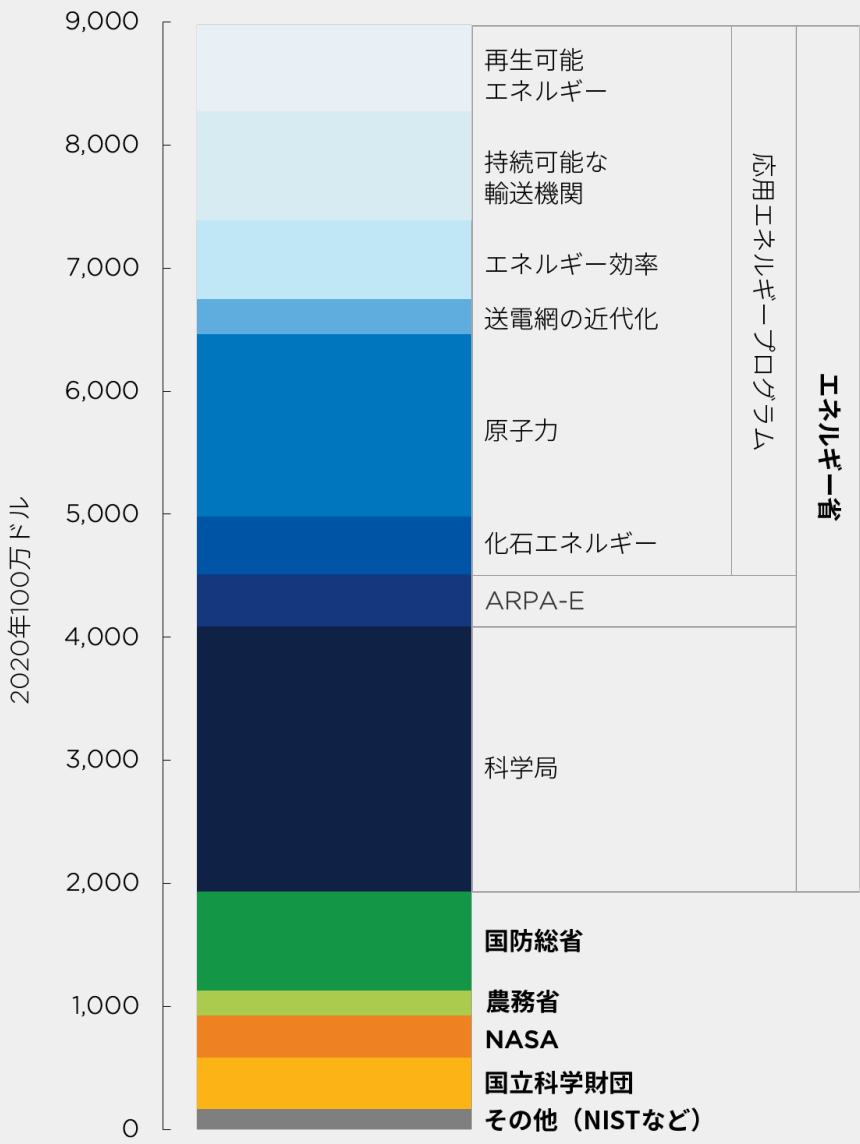
2026年度までに年間250億ドルという目標は、その均衡が取れている。この目標は、米国のクリーンエネルギーRD&D資金調達ポートフォリオの危機的な格差に対処するのに十分に高額であるが、イノベーションへの納税者投資に対して卓越した利益をもたらすのに十分な値でもある。

第一に、2026年度までに合計約250億ドルの予算をはじき出したのは、連邦エネルギーRD&Dプログラムの資金需要のボトムアップ分析であることを挙げたい。(第5章および付録Bを参照。)連邦政府のエネルギーRD&Dポートフォリオには莫大な資金格差が存在する。産業排出量と効率、高度なクリーン燃料、ネットゼロエネルギービル、大気と海洋からの二酸化炭素回収、およびその他の重要な取り組みのためのRD&D活動には、有意義な結果を達成するための十分な資金が不足している。大幅な脱炭素化に向けた進歩を加速させるには、これらの分野で大幅に連邦資金を増やす必要がある。

第二に、連邦政府のRD&D資金をほぼこの範囲で増加させた場合、経済的純利益と技術進展の迅速化につながることが研究結果より示唆されている。ある研究では、当時21億ドルであった2010年の米国のエネルギーRD&D資金調達レベルについて検討を行った。著者らは、2010年で210億ドル、2020年で250億ドルの年間支出レベルが、経済的純利益をもたらすとしている。¹ また別の研究では、イノベーションのコストが低く技術進歩の見返りが高いため、エネルギーRD&Dにおいては、過剰投資よりも過少投資の方がリスクが高いこととされている。²

第三に、年間250億ドルの連邦資金は、GDP比として見れば、エネルギーRD&Dへの米国の公共投資は中国とほぼ同じレベルになり、米国の競争力が高まるであろうという点が注目に値する。2025年の年間250億ドルの投資は、GDPの約0.1%と推定される。これは、(政府および国営企業によるエネルギーRD&Dへの出資に関するデータを入手用可能な最後の年度である) 2017年の中国のエネルギーRD&Dへの出資に匹敵する。中国政府は、2021年から2025年までの第14次五ヵ年計画でクリーンエネルギー技術へのRD&D投資を拡大する意向を示している。³

図4-1：2020年度米国予算によるクリーンエネルギーRD&Dの連邦出資額



出典：政府機関の予算

同時に、26年度までに250億ドルに増加することは、有効利用できる金額と認知し得るに十分な値である。

第一に、DOEは新規のRD&D資金をより急速なペースで吸収し、効果的に投資できることをすでに証明している。例えば、2009年の復興法では、太陽エネルギーRD&D（SunShotイニチアチブ）のDOE予算が一気に3倍になり、2020年までに太陽光発電のコストをキロワット時あたり0.06ドル未満にまで削減することに貢献した。2014年のSunShotイニチアチブに関する独立系の学術レビューでは、「プログラム全体が納税者の資金を賢く使用している」、およびシステム統合に焦点を当てたプロジェクトは特にコスト削減に役立った、と結論付けている。この独立系レビューでは、国立研究所の外で資金を多様化し、民間企業や大学との協力を支援する必要性など、改善の余地があることも明らかになっている。⁴

2026年度までに年間250億ドルという目標は、米国のクリーンエネルギーRD&D資金調達ポートフォリオの危機的な格差に対処するのに十分に高額であるが、イノベーションへの納税者投資に対して卓越した利益をもたらすのに十分な値でもある。

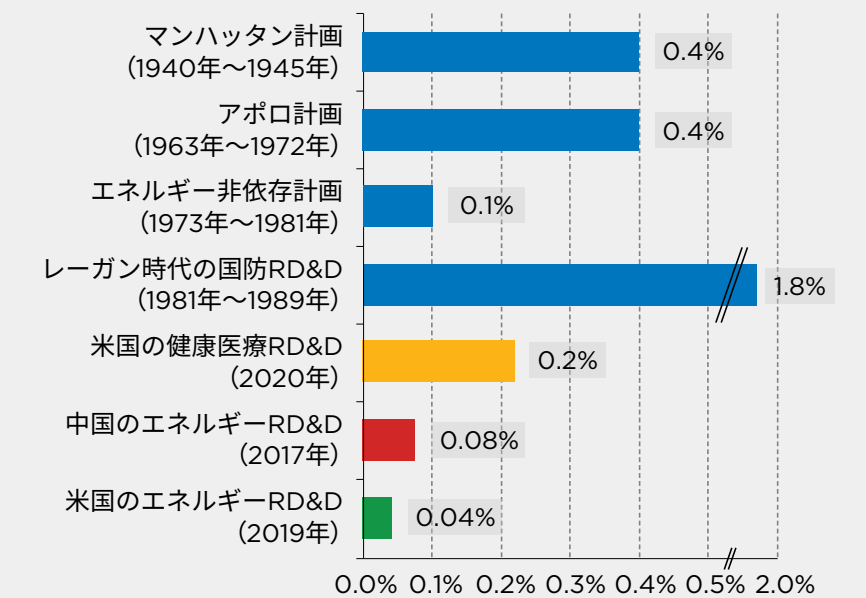
第二に、米国のイノベーションミッションの歴史により、連邦政府はRD&Dの資金を急速に増やし経済的純利益をもたらすことができる、と実証されている。アポロ計画では、国家エネルギーイノベーションミッションに対して本書で提案している速度の3倍の速さで、RD&D資金を増やす必要があった。（アポロ計画のピーク時に、連邦政府が航空宇宙RD&Dに費やしていた額は、GDP比で、現在のエネルギーRD&D支出の10倍であった。図4-2を参照。⁵）その後の数十年間、経済的利益とRD&Dコストの比率はおよそ10対1であったため、資金は有効利用されたのである。⁶ 同様に、1980年代に、連邦政府は5年間で国防RD&Dを、絶対額で、本書で提案する連邦クリーンエネルギーRD&D資金の2倍に増額した。遡及的な分析により、このイノベーションミッションは、民間セクターのイノベーションを加速して経済的純利益をももたらしたことが、実証されている。⁷

第三に、資金を増やすための政府一体のアプローチ（第5章、第6章、および付録Bで提案）は、資金の有効利用の徹底に役立つ。本書では、国家エネルギーイノベーションミッションは、DOEだけでなく12の連邦機

関を集結してクリーンエネルギーイノベーションのサポートを仰ぎ、エネルギーRD&D資金を迅速に増やすためのインフラストラクチャを備える機関において、支援を最も急速に増加させることを提案している。例えば、DOD、NASA、およびNSFにはそれぞれ膨大なRD&D予算があり、現在5%未満がクリーンエネルギーRD&Dに費やされている。それぞれが相当量の追加資金を吸収し、それらの資金を有効利用する能力を有する。連邦政府全体で管理可能な増分で資金を分散させれば、受給者が資金を有効利用する能力を確実に有するよう、支えることができる。

また資金調達に対するこのような政府全体のアプローチにより、国家エネルギーイノベーションミッションに幅広いスキルとバックグラウンドがもたらされる。さまざまな連邦機関すべてにより、RD&Dへの出資に明確なアプローチと経験がもたらされる。これらのアプローチには、民間セクターとの共同投資、地域イノベーションハブの育成、初期段階の研究から後期段階の実証プロジェクトまで、イノベーションパイプラインのすべての段階を対象とする、さまざまな方法が含まれる。

図4-2：重要国家イニシアチブのRD&Dへのピーク時連邦出資額（GDP比）



出典：Third Way, ITIF

ある連邦予算の増加に関する警告として、1998年から2003年にかけて、連邦政府はNIHを通じて、健康・医療イノベーション資金を倍増させたことが指摘されている。しかし、この期間中の健康・医療イノベーションの連邦政府の出資に関して言えば、問題はその増加度ではなく、予算の変動性にあった。NIH予算を倍増した直後、連邦政府は2003年から2007年にかけて実質的に資金を削減した。その結果、研究者を採用し研究プロジェクトを立ち上げたばかりの大学は、研究スタッフの数を削減し、有望なプロジェクトを放棄せざるを得なくなった。^{8, 9} 健康・医療イノベーションミッションから得られたこの教訓は、エネルギーに直接応用可能である。DOE RD&Dプログラムの複数の歴史的分析により、資金調達における好況と破綻の繰り返しは、納税者の投資を浪費する可能性があると結論付けられた。¹⁰

したがって、政策立案にあたっては、2025年以降も資金調達レベルを維持し、さらに引き上げ、年間250億ドルの目標を最終目的地ではなく中間地点として扱うべきである。目標を達成するには、連邦のエネルギーイノベーション予算を約3倍にする必要があるが、結果として得られるレベルであっても、米国が大幅な脱炭素化を実現し将来の先進エネルギー産業を構築するために費やすべきレベルには、はるかに及ばないとみられる。出資増加が突然停止すれば、RD&D投資のメリットは損なわれるのである。

イノベーションは長期的なプロセスである。イノベーションパイプラインを今すぐ確立して未来の利益を勝ち取るには、投資を開始することが不可欠である。政府の資金が顕著に増加した後であっても、政府の投資が新しい研究を成功裏に生み出し、特許取得数がピークに達するのは、出資増加から10年後のことである。¹¹ したがって、連邦政府は、エネルギーイノベーションのための公共資金を調達かつ維持するという、国のミッションを長期的に果たすべきである。エネルギーイノベーションに対する超党派の支持は近年高まっているため、歴史的観点からも、政策立案を始める政治的機運は整ったといえる。

年間250億ドルが達成可能な目標である理由

250億ドルは適切な目標であるだけでなく、政治的にも達成可能である。二極化した政治システムにおいて、エネルギーイノベーションは長い間、超党派の支持を享受してきた。さまざまなバックグラウンドを持つ議員が、気候変動に対処し米国の競争力を促進するための戦略として、エネルギーイノベーションを受け入れてきた。

2011年から2020年までの間、議会は2015年を除き、毎年、エネルギーRD&Dに対する連邦資金を増やし続けてきた。そして、支持は拡大している。下院では、リベラルな民主党員と保守的な共和党員がどちらも、エネルギー技術を進歩させるための研究を後押しすることを求めている。^{12、13、14} 上院では、両政党のメンバーがさらに強く主張している。2019年、共和党上院議員のジョン・コーニン上院議員（R-TX）は、二酸化炭素回収技術の研究開発プログラムを確立するための法案を後援した。政治的に対抗する民主党の上院議員ジェフ・マークリー（D-OR）は、次世代の水力発電を促進するための法案を提出した。上院のエネルギー予算小委員会の議長を務める中道派のラマー・アレクサンダー上院議員（R-TN）は、「クリーンエネルギーのための新しいマンハッタン計画」に拍車をかけるため、RD&Dへの連邦資金を倍増するよう求めた。¹⁵

対照的に、他の多くのエネルギー政策は米国議会で物議を醸しており、気候政策は特に論争の的となっている。上院は1992年に国連気候変動枠組条約を全会一致で批准したが、1997年の京都議定書は議会で広範にわたる抗戦に直面した。2009年に、温室効果ガスの全国的なキャップアンドトレード制度を確立するであろうと見られたワックスマン-マーキー法案は、下院を通過したが上院では否決された。過去10年間で、上下両院を通過した気候政策は、再生可能エネルギー、原子力、二酸化回収・隔離への税額控除など、ほんのわずかであった。燃料経済規格から発電所規格まで、行政当局を通じてオバマ政権により制定された多くの気候政策は、トランプ政権により置換または廃止された。

念のため記載すると、エネルギーイノベーションへの投資が、一連の気候政策すべてを補うことはない。炭素価格付けやクリーンエネルギー規格などの「需要けん引型」政策こそが、RD&Dのテクノロジープッシュ支援を補完するのであり、これらが大幅な脱炭素化には不可欠である。エネルギーイノベーションは広く拡大中である政治的支援を享受しているが、政策立案の過程において、他の気候政策の優先事項を見失うべきではない。

2020年の米国エネルギーイノベーション法（Energy Innovation Act）では、エネルギーイノベーションに対する幅広い超党派の支持が強調されている。上院議員のリサ・マーカウスキー（R-AK）、および第116議会エネルギー天然資源委員会の委員長兼幹部メンバーであるジョー・マンチン（D-WV）が後援し、70人を超える上院議員により推された優先事項が具現化されている。主要条項により、さまざまなクリーンエネルギー

技術に対する連邦のRD&D資金が増強され、17の実証プロジェクトが承認されている。¹⁶

さらには、2020年の予備選挙で民主党大統領候補が用意したエネルギーおよび気候計画のすべてに、エネルギーイノベーションのための連邦資金の大幅な増加が包含されていた。元副大統領のジョー・バイデン、上院議員のエリザベス・ウォーレン（D-MA）、上院議員のバーニー・サンダース（I-VT）、知事のジェイ・インスレー（D-WA）は、今後10年間で少なくとも4,000億ドルをエネルギー研究開発に費やすことをそれぞれ公約した。これは、現在のレベルの5倍であり、市長ピート・バティジグの政策で2025年までに250億ドルの目標が設定されている。¹⁷ バイデン副大統領の計画では、脱炭素化のための重要技術に投資するため、および「世界のクリーンエネルギーの主導者かつトップ輸出者としての地位を取り戻す」ための、機関の枠を超えた連邦組織の編成が求められている。¹⁸

念のため記載すると、エネルギーイノベーションへの投資が、一連の気候政策すべてを補うことはない。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の危機により、エネルギーイノベーションを活性化するための行動が急務である、という議論が強まっている。当然ながら生物医学研究は、今後のパンデミックに備え、米国をより良く整備するための最優先事項となるであろう。しかし同時に、政策立案者の立場では、コロナウイルスによって引き起こされた不況から回復するため、経済を刺激する方法も積極的に模索されている。未来のエネルギー産業の構築により、困窮している米国経済に、短期的および長期的な経済刺激をもたらすことが可能である。^{19, 20}

これは緊急性が高い、米国の競争力の問題である。欧州連合とその加盟国である英国、韓国、中国などは、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）不況からの長期的な回復のための経済戦略を設計しており、多くが新エネルギー経済のニッチ市場を切り開くことを模索している。米国企業が世界の競合相手に迫いつき超えるため、獅子奮迅するチャンスを与えることこそ、両政党が後援すべき好機なのである。



パートII

国家エネルギーイノベーション ミッション

画像出典Scientific AmericanのPlamen Petkov撮影

米国連邦政府は、国家エネルギーイノベーションミッションを立ち上げ、連邦エネルギーのRD&D資金を26年度までに年間250億ドルに増やすべきである。次の章では、そのためのロードマップを示す。**第5章**では、10の技術の柱を特定し、それぞれの柱の中で進歩を遂げるためのイニシアチブを提案する。**第6章**では、成長するRD&Dポートフォリオの管理において政策立案者を導くための6つの戦略的柱を示す。**第7章**では、連邦政府が国家エネルギーイノベーションミッションを始動させるためにすぐに取り組むべき3つの行動について詳述する。

第5章

10の技術の柱

連邦政府は、10の「技術の柱」を中心に国家エネルギーイノベーションミッションを組織すべきである。それぞれの柱は、国内外で大幅な脱炭素化を達成するための主要な課題に対する一連の解決策を表している。米国は、10の柱をすべて同時に進歩することで、世界中のクリーンエネルギーへの移行により、繁栄に向けて最良のポジションを得ることができる。

歴史的に、米国は石油、ガス、石炭、原子力、再生可能エネルギーなどの資源を中心にエネルギーRD&Dを組織してきた。我々は、別のアプローチを提案する。10の技術の柱は、機能の違いに基づいてクリーンエネルギー技術を分類する。例として、再生可能エネルギーと原子力発電は、クリーン発電の柱に分類される。エネルギー貯蔵およびエネルギー効率化テクノロジーは、複数の機能を持つため、複数の柱に分類される。この組織的なアプローチは、最終的に大幅な脱炭素化にとって重要な目的を達成することに焦点を当てている。

技術の柱を確立することで、エネルギー革新への資金提供における省庁間の調整が可能になり、そうした調整が欠けていた取り組みに必要な焦点をもたらすことができる。このアプローチは、NIHにおいて、機関が全体として科学および工学分野、臨床診療、および治療技術の広い範囲を進歩させているが、NIH内のさまざまな機関が病気や病状に焦点を当てる方法と概念的に類似している。^{1,2} エネルギー分野では、連邦政府の既存のイノベーション活動には、各技術の柱に分類できるイニシアチブ

がすでに含まれている。しかし、柱全体の投資レベルは非常に不均衡であり、さまざまな重大なギャップが残っている。今後、政策立案者は、10の柱をそれぞれ前進させるために、より一貫性があり、堅牢で、ターゲットを絞ったRD&D投資のポートフォリオを構築すべきである。

技術の柱は、連邦政府が資金提供すべき貴重なエネルギーイノベーションのトピックのすべてを網羅しているわけではない。これらの10の柱に加えて、水・エネルギーネクサス（つながり）やクリティカルミネラル（重要鉱物）など、多くの技術の柱にわたってRD&Dが必要とされる分野横断的な優先事項を意識することが不可欠である。同時に、政策立案者は、どの技術に資金を提供しないかについて難しい選択をしなければならない。エネルギーイノベーションの資金調達レベルを3倍にすることにより、考えられるすべての技術に資金を提供することを許容できるわけではない。むしろ、大幅な脱炭素化を実質的に前進させることができる技術に適切に投資することを推進するものである。重要な用途に焦点を当てた10の技術の柱は、政策立案者がどの技術に資金を提供するかだけでなく、どの技術に資金を提供しないかを決定するのに役立つ。

重要な用途に焦点を当てた10の技術の柱は、政策立案者がどの技術に資金を提供するかだけでなく、どの技術に資金を提供しないかを決定するのに役立つ。

以下のセクションでは、次の10の技術の柱をそれぞれ紹介する。

- 柱の説明と大幅な脱炭素化におけるその役割の説明
- 柱を前進させる連邦エネルギーRD&Dポートフォリオ内の選択された**最近の取り組み**の概要
- 各柱の活動ポートフォリオを構築する連邦政府全体で選択された新しい取り組みの**推奨事項**（なお、これらの推奨事項は包括的であることを意図しておらず、立法案、機関プログラムのレビュー、および研究文献で特定された短期的で価値の高い機会を示している。）

10の技術の柱は、現在（2020年度）の連邦資金の降順で列举されている。これは、最初に載せた柱が最後に載せた柱よりも大幅な脱炭素化に

とってより重要であることを意味するものではない。実際、二酸化炭素削減やクリーンな農業システムなど、資金が最も少ない柱は、緊急の資金増額を最も必要としている柱である。したがって、第7章で詳述されている2022年度予算案では、各柱の現在の資金調達レベルに反比例して、連邦資金の増額を各柱に割り当てている。

柱1基礎科学とプラットフォーム技術

説明

最先端の材料、電気化学、量子コンピューティング、ゲノム科学など、さまざまな分野にわたる基礎的な科学研究は、エネルギー技術の飛躍的進歩を可能にする。さらに、3D印刷、スマート・マニファクチャリング、機械学習、デジタル化など、エネルギーセクター以外で開発されたプラットフォーム技術は、すでにエネルギーシステムを変革しており、将来の排出削減を実現する可能性がある。科学研究とプラットフォーム技術はしばしば補完的である。例えば、新素材発見のための機械学習は、バッテリー、燃料電池、電解槽などの電気化学デバイス用の新しい素材を迅速に発見することを可能とする。³

他の9つの柱はそれぞれ、重要な脱炭素化のニーズに対応する異なるカテゴリーの技術開発に焦点を合わせている。それらすべてにとって、この最初の柱の進歩が有用である。また、国立科学財団やDOE科学局などの連邦機関は、すでに土台となる、または基礎的な科学およびプラットフォーム技術に多額の投資を行っている。しかし歴史的に、連邦プログラムはこれらの投資を応用研究、開発、および実証への投資と結び付けることは稀であった。健康・医療、防衛、およびその他の分野での経験は、科学を支援するアジェンダの多くを推進することが最終用途にとって重要であることを示唆しているが、連邦資金は、研究者主導の発見科学の健全な領域も促進する必要がある。^{4,5} このアプローチは、エネルギーイノベーションにも大きなメリットをもたらすことができる。

最近の取り組み

原子炉用の溶融塩からバッテリー用の高度な触媒まで、さまざまな技術にまたがる46のアクティブなEFRCがある。それらはすべて、基礎エネルギー科学における5つの「変革の機会」を中心に構成されている。それらは、階層アーキテクチャおよび平衡を超えた問題への精通、理想

的ではない素材やシステムの不均一性・インターフェース・無秩序の理解、光と物質の一貫性を利用する、モデル・数学・アルゴリズム・データ・コンピューティングの進展、複数のスケールにわたるイメージング機能の革新的な進歩を活用することである。^{6,7}

DOEは、2020年度に、部門全体の人工知能（AI）活動を調整し、AI研究を他のエネルギー研究開発プログラムに統合するために、新しい人工知能技術局を立ち上げた。⁸ 国際舞台では、ミッションイノベーション（MI）がクリーンエネルギー素材イノベーションチャレンジを立ち上げ、自動化されたロボット研究所と機械学習を統合して、バッテリー、太陽電池、蓄熱、回収されたCO₂の変換のための触媒、およびその他のクリーンエネルギーアプリケーションの新しい材料を特定した。⁹

推奨事項

連邦政府は、基礎科学およびプラットフォーム技術の研究を脱炭素化の優先事項と連動させるため、さらに多くのことを行うべきである。

- NSFとDOEは、複数のアプリケーション（電気化学および複合材料など）のある、分野横断的で基本的、用途に触発された主要な研究プログラムを特定し、優先順位を付けるべきである。¹⁰
- DOEは、応用エネルギー技術のRD&Dプログラムにおける機械学習と高性能コンピューティングの使用を拡げるべきである。¹¹
- DODは、国家安全保障の目的も満たす技術の柱を前進させるために、最先端の素材およびナノテクノロジー研究への投資を拡大すべきである。¹²
- DOEは、45の新しいEFRCを追加し、EFRCの目的を他の9つの技術の柱の進歩に合わせるべきである。¹³
- 米国は、ミッションイノベーションのクリーンエネルギー素材イノベーションチャレンジで主導的な役割を果たし、国内の自動化された素材発見施設を設立すべきである。¹⁴

柱2クリーン発電

説明

クリーンな電力供給は、将来の低炭素経済の多くを支えることが可能である。米国は、連邦政府のRD&Dへの多額の投資により、この柱においてすでに目覚ましい進歩を遂げている。米国の電力セクターからの排出量は、2007年から2019年にかけて33%超減少した。現在、風力または太陽光発電は、米国の34%の郡で最も安価な発電源である。¹⁵ さらに、クリーン発電は、輸送、建物の暖房と冷房、その他重要な産業プロセスを含む他のセクターを脱炭素化する道を示す。しかし、対抗するトレンドは、さらなるイノベーションなしに、いっそうの排出削減を抑制する可能性がある：低コストの国内天然ガスは、削減対策をしていない天然ガス発電所からの発電量の増加（およびその結果としての排出）を促進する可能性があり、再生可能エネルギー（主に風力および太陽光）からのカーボンフリー発電量の増加は、ゼロカーボン原子力発電所の廃止によって相殺される可能性がある。¹⁶

高度な薄膜太陽光発電、浮体式洋上および高高度風量、強化された地熱システム、流れ込み式水力発電などの次世代の再生可能エネルギーは、未開発の可能性を秘めた地域にカーボンフリー再生可能電気を拡大することができる。標準化されたコンポーネントを備えた小型モジュール炉を含む高度な原子炉は、新世代の低コストかつ柔軟で制御可能な原子力発電を実現する可能性がある。¹⁷（化石燃料を二酸化炭素の回収、利用、貯留と組み合わせて利用する発電については、第8の柱で取り上げている。）

最近の取り組み

DOEは積極的な太陽エネルギーと風力エネルギーのコスト目標を設定した（例えば、2030年までに、実用規模の太陽光発電に30ドル/MWh、陸上の風力エネルギーに23ドル/MWh）¹⁸ DOEの2019 *GeoVision* レポートは、強化された地熱システム（EGS）技術を開発するためのロードマップを提供している。ただし、2050年までに60ドル/MWhという地熱のコスト目標は、地熱エネルギーが気候関連のタイムラインに貢献するには十分に積極的ではない可能性がある。¹⁹ DOEは最近、地熱エネルギー研究のための前線観測所（FORGE）の建設を完了した。これは、業界や政府の研究者が深岩環境でEGS技術を試験および検証できる、機関の主要な

地熱研究施設である。²⁰ DOEの水力発電のビジョン (*Hydropower Vision*) レポートとブルーエコノミーにパワー供給 (*Powering the Blue Economy*) レポートは、水力発電と海洋および流体動力学 (MHK) テクノロジーの革新を飛躍させるためのロードマップを提供する。議会はレポートで特定されたRD&Dのニーズに対応するために十分な資金を提供すべきである。²¹ 議会は、2020年代半ばまでに2つの高度な原子炉設計を構築および実証するための新しい高度な原子炉実証プログラムを新設するとともに、民間企業が高度な原子炉素材および燃料設計を試験・検証できるようにするための多用途テスト原子炉ユーザー施設を構築するようDOEに指示した。²² 2020年4月にDOEは、アメリカが競争力のある原子力エネルギーの優位性を回復するための戦略のレポートを公開した。²³

推奨事項

連邦政府は、高度なクリーン発電技術への投資を拡大すべきである。

- DOEはDODと提携して、低コストでスケーラブルな製造技術を含む次世代の太陽光発電技術を開発すべきである。²⁴
- DOEは、RD&D活動、特に大規模な実証プロジェクトを構成するために、洋上風力発電に対してより積極的な2030年のコスト目標を設定すべきである。(現在の目標は2030年までに51ドル/MWhであるが、国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) の年次技術ベースライン (ATB) 2019年レポートでは、ボトムアップ技術とコストモデリングを使用して、2030年までに現在の目標の半分未満のコストが達成可能であると結論付けている。²⁵) 議会は、前倒しされたスケジュールで新しい目標を達成するために、DOEに追加の資金を提供すべきである。
- 議会は、前倒しされたタイムラインで、水力発電のビジョンとブルーエコノミーにパワー供給ロードマップで特定されたイノベーション目標を達成するために、海洋および流体動力学と高度な水力発電技術への資金を増やすべきである。²⁶
- DOEは、NREL ATB低技術コストシナリオに沿って、地熱プログラムへの野心を引き上げ、より積極的なコスト目標 (現在の目標は2050年までに60ドル/MWh) を設定してRD&Dプログラムを組み立てるべきである。²⁷ 議会は連邦政府が前倒しになったタイムラインで地熱目標を達成するために追加の資金を提供すべきである。

- ・ 議会は、超党派下院の原子力エネルギー研究開発法（Nuclear Energy R&D Act）、上院原子力エネルギーリーダーシップ法（Nuclear Energy Leadership Act）で提案されているように、高速中性子多用途試験炉を建設し、2030年までに少なくとも2つの高度な原子炉技術を実証するためにDOEに十分な資金を提供すべきである。DOEとDODは、高度なマイクロリアクターを開発するために提携すべきである。²⁸

柱3高度な輸送システム

説明

運輸セクターは、石油使用量の70%近く、米国の温室効果ガス排出量の28%を占めており、最近では、排出量の多いセクターとして電力セクターを上回っている。²⁹ 世界のほぼすべての道路、鉄道、航空、および海上輸送は、石油ベースの燃料を使用する内燃機関で行われている。高度な輸送システムは、温室効果ガスの排出を削減し、大気質を改善し、都市の混雑を減らし、エネルギー安全保障を改善し、消費者のコストを削減することができる。電気自動車（EV）は、ガソリンやディーゼルの乗用車やトラックに代わる、ますますコスト競争力が高まっている低炭素の代替品である。2019年だけでも、自動車メーカーは電気自動車に2250億ドルを投資する計画を発表した。³⁰ 電気自動車の購入価格は、2020年から2030年の間に従来のガソリン車と同等になると予測されている。³¹ 電化の障壁には、EVの購入価格の高さ、範囲の不安、充電インフラの欠如、充電時間の長さが含まれる。

航空、海運、および長距離トラック輸送は非常にエネルギー密度の高い燃料を必要とし、はるかにエネルギー密度の高いバッテリーが開発されない限り、電化の機会は限られている。³² これらのセクターが成長するにつれて、その世界的な排出量はすぐに小型車やトラックの排出量を超える可能性がある。³³ これらのセクターでは、水素、アンモニア、合成燃料、高度なバイオ燃料などのクリーンな燃料が長期的な脱炭素化の選択肢である。クリーンな燃料オプションが長期的に開発されている場合でも、車両の軽量化、燃費の改善、モードシフト、およびその他の効率の改善は、排出量と燃料使用量を削減し、短期的に米国のエネルギー安全保障に貢献できる。

最近の取り組み

DOEの車両技術局（VTO）は、バッテリーのコストを1キロワット時あたり100ドル（100ドル/kWh）に削減し、範囲を300マイルに拡大し、充電時間を2028年までに15分以下に短縮するという目標を設定した。バッテリーの最終的なコスト目標は60ドル/kWhである。³⁴ SuperTruck IIプログラムは、2020年までにクラス8の大型長距離トラックの貨物輸送効率を2009年の効率レベルの2倍にするという目標を設定した。³⁵ DOEは、2030年までに燃料電池電気自動車を内燃機関の車に対し、コスト競争力のあるものにする燃料電池コストと耐久性の目標を設定した。³⁶ 運輸省（DOT）の連邦公共交通局は、交通排出量を削減するための公共交通インフラの研究と実証プロジェクトに資金を提供している。³⁷

推奨事項

連邦政府は、乗用車やトラックの迅速な短期電化およびすべての輸送サブセクターにおいて効率改善を可能にするため、高度な輸送システムへの投資を拡大し、同時に大型輸送のための長期ゼロカーボン技術への投資を行うべきである。

- DOEは、高度なバッテリーと燃料電池のコスト削減を促進するために、RD&Dの資金調達レベルを上げる必要がある。例えば、DOEの現在の目標は、EVのバッテリーコストを2028年までに100ドル/kWhに削減することであるが、ブルームバーグ・ニューエナジー・ファイナンスの電気自動車の展望などの市場分析では、このコスト目標は加速されたタイムラインで達成できることが示唆されている。³⁸
- 充電時間はEVの展開を阻む障壁の1つであることが明らかなため、DOEはEVの急速充電の研究開発と論証を広げるべきである。³⁹
- DOEはSuperTruckIIIプログラムを開始して、クラス8の大型トラックの貨物輸送効率を2025年までに2倍にすべきである。⁴⁰
- DOEとDOTは、船舶輸送、航空、連邦輸送のRD&Dプログラムでは長い間見過ごされてきた港湾や空港でのエネルギー管理と電化に関する新しいプログラムを作成すべきである。⁴¹
- DOTは、低炭素都市交通および鉄道システムにおけるRD&Dのプログラムを発展させるべきである。

柱4クリーン燃料

説明

脱炭素化が困難な複数のセクターでは、クリーンな燃料である再生可能エネルギーまたはその他の低炭素エネルギー源からのエネルギーを使用して製造される持続可能なバイオ燃料、水素、アンモニア、および合成炭化水素燃料が必要になる。⁴² 水素は、燃料電池自動車の推進への使用、燃焼して工業プロセスに高温熱を供給、再生可能エネルギーからの可変発電のバランスを取るために必要なときに電気に変換することが可能である。現在のほとんどの水素生産は二酸化炭素を排出するが、二酸化炭素回収技術の進歩により、化石燃料からの費用効果の高いクリーンな水素の生産が可能になることも考えられる；さらに、次世代の電解槽は再生可能エネルギーと組み合わせて、費用効果の高い方法でクリーンな水素を生成することができる。水素と回収された二酸化炭素から作られた合成炭化水素「ドロップイン」燃料は、従来のエンジンの輸送燃料として使用できる。低炭素エネルギーを使用して持続可能な方法で回収および変換された、作物から生産されたバイオ燃料は、エネルギー密度の要件によりバッテリーによる電化が不可能な輸送部門（航空輸送、船舶輸送、および長距離道路輸送）の最終手段となる可能性がある。また、アンモニアは、肥料用にすでに大量に合成されており、燃焼タービン、海事エンジン、または燃料電池の燃料として使用できる。⁴³ しかし、現在のクリーン燃料プログラムは、限られた用途（主に乗用車やトラックで使用するため）のための限られたクリーン燃料オプション（主にバイオ燃料と水素）に焦点を合わせている。

最近の取り組み

DOE水素・燃料電池技術局（HFTO）は現在、1マイルあたりのセントベースでガソリンとのコスト競争力を高めるために、システム全体で4ドル/kgの水素コスト（生産、配送および保管）を目標としている。⁴⁴ 2020年6月、DOEは、水素および燃料電池技術を開発するために、国立研究所主導の2つの新しい協会に5年間で最大1億ドルを投資する意向を発表した。⁴⁵ ARPA-EのREFUELプログラムは、クリーン燃料（アンモニアとジメチルエーテルを含む）の製造と、電気または水素への変換の研究にも資金を提供している。⁴⁶ 科学局（SC）が資金提供する人工光合成合同センター（JCAP）は、太陽光、水、二酸化炭素からの合成燃料の製造

に関する基礎研究に資金を提供している。⁴⁷ 2020年度に、国防総省は、空中または海水から回収された二酸化炭素を遠隔基地や海上船舶で使用する燃料に変換できる技術を開発するための新しいプログラム（SEA FUEL）を開始した。⁴⁸

推奨事項

連邦政府は、より幅広いクリーン燃料の選択肢を持てるよう研究を拡大し、電化が困難な運輸部門や重工業におけるクリーン燃料の適用を研究すべきである。

- DOEは、適用されるクリーン燃料プログラム（現在は、運輸セクター向けの水素とバイオ燃料に焦点を当てている）を拡大し、より幅広い燃料や用途を加えるべきである。クリーン燃料生産プログラム（DOEオフィスのHFTO、BETO、ARPA-E、およびFE）には、アンモニアと燃料への直接空気回収（燃料へのDAC）を含めるべきである。⁴⁹ AMOは、クリーン産業技術法（Clean Industrial Technology Act）に準拠して、産業セクターでのクリーン燃料の潜在的な用途（クリーンな熱の提供など）を調査すべきである。⁵⁰
- DOE-SCは、JCAPのモデルにおいて、CO₂排出を引き起こさない水素とアンモニアの新しい、低コストの生産方法に焦点を当てた2番目のイノベーションハブを確立すべきである。⁵¹
- DOEは、応用エネルギー局で、JCAPの成功を築く新しい太陽燃料プログラムを作成すべきである。⁵²
- USDAおよびDOEのバイオ燃料プログラムは、航空、海運、およびその他の電化が困難な輸送セクター向けのドロップイン燃料の開発に焦点を当てるべきである。⁵³

柱5最新の電力システム

説明

分散型および可変エネルギーリソースがより浸透した場合に対応し、消費に対する消費者の嗜好を改善する、建物、輸送、および産業エネルギーアプリケーションの電化を支援する、そして緊急時の対策や回復力を強化するには、柔軟性とデジタル機能が強化された最新の電力シス

テムが必要である。現在の送電網は、21世紀のクリーン電力システムのニーズを満たすのに十分な柔軟性と回復力を提供していない。

電力の需給を一致させるため、風力や太陽光などの断続的なソースで生成された電力を必要なときに蓄えることができるように、長期間の送電網スケールのエネルギー貯蔵が重要である。⁵⁴ ソリッドステート変電所などのパワーエレクトロニクスは、送電網コンポーネントとシステムの標準化および回復力の向上の可能性をもたらす。⁵⁵ 送電網を監視および管理するデジタル技術（建物、工場、車両をデマンドレスポンスおよび貯蔵のための柔軟なリソースに変えることを含む）は、効率を高め、ピーク需要を減らし、電力料金を引き上げる要因となる容量と送電網インフラストラクチャへの高額な投資を回避することができる。⁵⁶

最近の取り組み

2020年、トランプ政権は、DOE科学局全体で貯蔵研究開発の取り組みを調整するために、分野横断的なエネルギー貯蔵グランドチャレンジイニシアチブを開始した。⁵⁷ さらに、送電網アプリケーション用のバッテリーやその他の貯蔵技術を開発、テスト、評価するために、送電網貯蔵ランチパッドの構築を開始した。⁵⁸ 2015年、DOEは、政府と業界の研究者を集めてDOE全体の研究活動を特定および調整するために、複数年にわたる分野横断的な送電網近代化への取り組みを開始した。⁵⁹

推奨事項

連邦政府は、柔軟性をさらに向上し、クリーンな電化とエネルギーシステムの統合を可能にする送電、貯蔵、および配電技術への投資を拡大すべきである。

- 議会は、送電網近代化研究開発法（Grid Modernization R&D Act）に準拠して、通信インフラストラクチャ、デジタル制御、および分散型電源、貯蔵、需要リソースを柔軟にマーチャリングするネットワーク化された自律システムの階層アーキテクチャを活用する配電送電網運用のためのRD&Dへの資金を増やすべきである。⁶⁰ DODは、軍事基地を確保するための高度な小規模発電網実証への投資を強化し、DODと内務省（DOI）は、公有地で高度なエネルギーシステムを開発するためのコラボレーションを促進すべきである。⁶¹

- ・ 議会は、エネルギー貯蔵研究をサポートし、DOEのRD&Dプログラムを拡張して、時間単位の貯蔵から季節単位の貯蔵まで複数のタイムスケールにわたる貯蔵技術と、バッテリーやポンプ水力を含む複数の技術を開発および検証するために、優れたエネルギー貯蔵技術（Better Energy Storage Technology: BEST）法を可決すべきである。⁶²
- ・ DODとDOEは、高エネルギー密度の貯蔵メディアの研究を活用および調整するために、共同貯蔵の実証プログラムを開始すべきである。⁶³
- ・ 議会は、サプライチェーンのリスクと輸入への依存を減らすために、エネルギー貯蔵に使用されるリチウム、コバルト、およびその他の原料のリサイクルに関するDOE研究プログラムを確立すべきである。DOEは最近、既存当局の下で新しいバッテリーのクリティカルマテリアルの回収とリサイクルの研究への取り組みを開始した。議会は、新しいプログラムの方向性と長期的な予算の確実性を高めるための認可法を可決すべきである。⁶⁴
- ・ 議会は、パワーエレクトロニクス、コンバーター、コンダクター技術の進歩を含む高電圧直流（HVDC）送電、HVDC送電線のメッシュネットワークの実証におけるRD&Dへの資金を増やすべきである。^{65,66}

柱6クリーンで効率的な建物

説明

住宅用および商業用の建物は、米国経済で最大のエネルギー消費セクターであり、米国の電力使用量の約75%、総エネルギー需要の40%を占めている。⁶⁷ その結果、アメリカ人は家、オフィス、学校、病院、その他の建物に電力を供給するために毎年約4,000億ドルを費やしている。⁶⁸

照明、スペースの調整、冷蔵、給湯、電化製品、建物の外壁や窓の効率を改善する大きな余地と、建物と送電網の統合を改善する機会がある。DOEは、ソリッドステート照明（SSL）の進歩だけでも、2035年までに年間最大5000兆英国熱量単位（クワッド）を節約できると推定している。これは、年間約500億ドルのエネルギー節約になる。⁶⁹ 高度な蒸発冷却やソリッドステート冷却などの新しい冷媒フリー技術により、地球温暖化係数が高い冷媒への依存を減らすことができる。より安価でより効

率的なヒートポンプは、家や建物が化石燃料炉の代わりにクリーンな電力を暖房に使用することを可能にする。クロス・ラミネーテッド・ティンバー（CLT）などの代替建築材料は、鉄筋コンクリートなどの材料と比較して、建物の炭素含有量を大幅に減らすことができる。⁷⁰ 都市、郊外、および地方のインフラストラクチャの効率を改善すると、消費者のエネルギーコストが節約され、屋内と屋外の空気の質が向上し、不要な電力や天然ガス容量の増加が回避され、二酸化炭素排出量が削減される。多くのメリットがあるにもかかわらず、建物セクターがクリーンエネルギーイノベーションの資金調達ポートフォリオに占める割合は、わずか4%である。

最近の取り組み

DOE建築技術局（BTO）は、米国のすべての建物の1平方フィートあたりの平均エネルギー使用量を2030年までに30%、長期的な目標として、住宅や商業ビルのエネルギー強度を50%以上削減するという目標を設定した。建物全体の目標に加えて、DOEは、照明、給湯、HVAC、建物の外壁と窓、電化製品、センサーと制御など、建物内のエネルギーサービスの効率を改善するための基準と目標を設定した。⁷¹ 優れた建築物への取り組みは、企業、学校、州および地方自治体、住宅組織、その他の利害関係者との協力的なパートナーシップをサポートし、建物のイノベーションへの取り込みと継続的な改善を促進する。⁷²

推奨事項

連邦政府は、すべての建築技術の脱炭素化の機会を最大限に活用するために、投資を拡大すべきである。

- 議会は、建物や電化製品のRD&Dプログラムへの連邦投資を増やし、資金を脱炭素化のニーズの規模に見合ったものにすべきである。
- DOEとEPAは、Fガス冷媒に代わる地球温暖化係数の低い代替品の研究を増やす必要があり、DOEは、固体冷却などの冷媒を使用しない空調技術を開発する必要がある。さらにDOEは、例えばインドなどの米国の国際的なパートナーと協力して、高温多湿の気候に合わせたエネルギー効率の高いエアコンの開発に投資すべきである。⁷³

- DOEは、高度な気流、気密、換気制御、および高性能窓への投資を拡大すべきである。

柱7産業における脱炭素化

説明

産業部門は、米国の温室効果ガスの直接排出源として3番目に大きく、全体の22%を占めている（電力消費による間接排出は含まれていない）。2008年以降、米国の産業排出量は年間約14億メートルトンと頑強に推移している。⁷⁴ セメント、鉄鋼、化学製品の生産を含む重工業は、除去が困難な2組の排出物、つまり帯電しにくい高温熱、および化学変化から生じる直接的な二酸化炭素排出のため脱炭素化が特に困難である。⁷⁵ さらに、工業製造施設の寿命が長く、在庫回転率が低いため、クリーンな製造への移行が妨げられている。

こうした課題にもかかわらず、産業セクターがクリーンエネルギーイノベーションの資金調達ポートフォリオ全体に占める割合は比較的小さく、約6パーセントにとどまっている。⁷⁶

最近の取り組み

DOE先進製造室（AMO）およびNISTのホリングス製造拡張パートナーシップ（MEP）の既存の連邦プログラムは、主に製造のエネルギー強度の削減に焦点を合わせている。DOEのエネルギー帯域幅調査は、16の産業サブセクターにわたって工業エネルギー強度を改善する機会を特定している。⁷⁷ DOE-AMOクリーンエネルギー製造イノベーション（CEMI）研究所は、製造業者と協力して、ワイドバンドギャップ半導体製造、炭素繊維複合材の製造、スマート製造、化学プロセスの強化、内包排出量の削減、サイバーセキュリティの改善の6つの主要な技術分野でクリーン工業プロセスを開発している。最初の5つの領域は、2015年の4年ごとの技術レビューで特定された14の優先度の高いエネルギー関連の高度な製造技術のサブセットである。⁷⁸ 2020年度に、議会はAMOに対し、DOE全体のRD&D活動を導くための一連のセクター固有の脱炭素ロードマップを作成するよう指示した。⁷⁹

推奨事項

連邦政府は、産業用脱炭素化プログラムへの投資を増やし、その権限を拡大して、効率、電化、クリーン燃料、産業用炭素回収など、すべての脱炭素化の機会を取り込むべきである：

- DOEは、現在輸送用燃料に焦点を合わせているクリーン燃料のプログラムを拡大し、産業セクターでの適用を含めるべきである。議会は、この分野で重要な方向性と長期的なプログラムの安定性を提供するために、クリーン産業技術法（Clean Industrial Technologies Act）を可決すべきである。⁸⁰
- DOEは、現在発電所の用途に焦点を合わせている二酸化炭素回収技術のプログラムを拡大して、重工業、特にセメント、鉄鋼、化学薬品での使用を含めるべきである。議会は、この分野で重要な方向性と長期的なプログラムの安定性を提供するために、クリーン産業技術法（Clean Industrial Technologies Act）を可決すべきである。⁸¹
- DOE-AMOは、4年ごとの技術レビューで特定された他の優先度の高い高度な製造技術に追加のCEMI機関を設立すべきである。⁸²
- NSFは、エンジニアリング研究センターと産業/大学共同研究センタープログラムを拡張し、クリーンな製造を目的としたセンターの開発をさらに進めるべきである。⁸³

柱8二酸化炭素回収・利用・貯留

説明

二酸化炭素の回収・利用・貯留（CCUS）技術は、温室効果ガスが大気不到達するのを防ぐ。気候変動に関する政府間パネルは、CCUSがネットゼロ排出量を達成するために不可欠であるとしている。⁸⁴ CCUSは、化石燃料発電所を炭素に制約のある世界で使い続けることを可能にする可能性において最もよく知られている。しかし、エタノール、肥料、プラスチック、セメント、鉄鋼生産など、現在低炭素の代替手段が利用できない多くの工業プロセスを脱炭素化する必要もあると考えられる。^{85,86} 連邦のCCUS RD&Dポートフォリオは、これまで主に石炭に限定されていた。それぞれの事業に特有の技術的課題に対処するために、緊急に他の排出源に拡大し、天然ガス発電所やセメントおよび鉄鋼生産施設での実証を優先すべきである。

回収された二酸化炭素は、燃料、建築材料、プラスチック、その他の製品に変換するか、地層処分場に保管することができる。全米アカデミーズは最近、二酸化炭素利用技術を開発するためのロードマップを発表し、現在の連邦資金レベルはすべてのRD&Dニーズに対応するのに十分ではないことを指摘した。⁸⁷ 回収された二酸化炭素の大部分は地下に貯留する必要があり、地質学的貯留の機会を明らかにし、検証するために継続的な作業が必要である。

最近の取り組み

2009年の復興法を通じて1回限りの充当を受けた、DOEの産業用炭素回収・貯留（ICCS）プログラムは、肥料工場（Port Arthur、2013）、エタノール精製所（Archer Daniels Midland、2017）、および石炭火力発電所（Petra Nova、2017、2020年にこの二酸化炭素回収プロジェクトは終了）での二酸化炭素回収の官民実証に成功した。2020年度、アラバマ州ウィルソンビルにある国立二酸化炭素回収センターは、天然ガスと石炭火力の両方の煙道ガス条件下で回収技術を試験するための天然ガス燃焼システムの設置を開始した。⁸⁸ DOEは、発電施設でのCCUSの石炭ガス化やAllamサイクルなどの技術もサポートしている。⁸⁹ DOE融資プログラム局（LPO）は、ルイジアナ州レイクチャールズに二酸化炭素回収を備えた世界初のクリーンメタノール施設を建設するために、最大20億ドルの条件付き融資保証を発行し、2020年半ばに建設が開始される予定である。⁹⁰ 地質学的二酸化炭素貯留を開発、試験、検証するDOEの活動は、これまでに1,100万メートルトンのCO₂の貯留に成功し、CarbonSAFEプログラムによるサイト固有の特性評価を継続することに成功した。DOEは、2026年までにさらに5,000万メートルトンの年間CO₂貯留容量を開発するという目標を設定した。⁹¹

推奨事項

連邦政府は、さまざまなCCUS技術に投資すべきである：

- DOEは、化石エネルギー局の名前を炭素管理局に変更すべきである。この新しい局は、補完的な使命を持つDOEの他の局と協調する必要がある（例えば、産業脱炭素化のためのAMO、地球科学のための科学局、CCSを使用したバイオエネルギーのためのバイオエネルギー技術局[BETO]など）。

- 化石燃料エネルギー炭素技術強化（Enhancing Fossil Fuel Energy Carbon Technology: EFFECT）法などの立法案に沿って、議会はRD&Dプログラムに資金を提供するために、この局に新たな権限を与えるべきである。⁹² このようなプログラムは、鉄鋼、セメント、化学薬品、水素製造施設などの産業施設、およびバイオパワー施設やバイオ燃料施設での二酸化炭素回収を促進するものである。
- 議会は、ペトラノヴァから学んだ教訓を基にした石炭火力発電所での二酸化炭素回収の商業規模の実証に資金を提供すべきである。議会は、天然ガス火力発電所での二酸化炭素回収のための新しい研究開発プログラムを、「天然ガスのイノベーションを通じたエネルギーの高度化・開発の推進（Launching Energy Advancement and Development through Innovations for Natural Gas: LEADING）法」に沿って作成し、2025年までに複数の天然ガス火力発電所で二酸化炭素回収を実証することを目指すべきである。⁹³
- 全米アカデミーズは、二酸化炭素利用技術を改善するためのロードマップを発表した。DOEは、全米アカデミーズの推奨事項に対応するために必要な資金レベルを特定する必要があり、議会は十分な資金を提供すべきである。⁹⁴
- DOEは、現在の二酸化炭素貯留目標（2026年までに5000万メートルトンの貯留容量）を倍増させ、新しい目標を達成し、2020年代後半に指数関数的に拡大するためのロードマップと資金調達レベルを策定すべきである。⁹⁵
- 議会は、提案されている化石エネルギー研究開発法（Fossil Energy R&D Act）に沿って、メタン漏出の検出と軽減の技術と方法の開発に投資し続けるべきである。⁹⁶

柱9 クリーン農業システム

説明

農業用土壌は、土壌の上部数メートル内に炭素を保持するためのおびただしい能力を持ち、現在、大気中の3倍の炭素を収容している。しかし、最近、土壌は吸収源ではなく正味ではCO₂排出の発生源となっており、高度に栽培された農業土壌は元の有機炭素の50～70%を失う可能性がある。^{97,98} 現在の方式では、農業部門が米国の温室効果ガス排出量の

10パーセントを占める。高度な農業手法や技術は土壌の炭素損失を逆転させ、気候上の利益を提供すると同時に、土壌構造を改善し、収穫量を増やし、肥料の投入や侵食を減らすことが可能である。例えば、精密農業はセンサーとデータ分析を使用して投入量を微調整する、また、遺伝子組み換えは作物の特性を変える。こうした技術は、亜酸化窒素の主要な排出源である肥料やその他の栄養剤の使用を減らし、収穫量を最大化し、炭素を隔離し、農家のコストを削減し、環境の悪化や富栄養化を回避できる。バイオテクノロジーは、深く根を伸ばす植物の育種に役立ち、土壌に吸収される炭素を増やすのに役立つ。飼料の変更により、家畜のメタン排出量を大幅に削減できる。⁹⁹

最近の取り組みおよび活動

2018年、議会は、DARPAとARPA-Eをモデルにした農業先端研究開発局（AGARDA）パイロットプログラムを作成し、米国の農業と食糧供給を保護する高リスクで長期的な研究開発をサポートしたが、本プログラムにはまだ資金が投入されていない。¹⁰⁰ ARPA-Eの陸域隔離を最適化する根圏観測（ROOTS）プログラムは、根が深く大きい植物の品種改良を通じて、土壌に吸収される炭素を強化することを目的としている。¹⁰¹ 同様に、そのSMARTFARMの取り組みは、フィールドレベルの炭素会計とライフサイクル分析をフィールドレベルで評価しようとしている。「フォーパーミル（4/1000）」イニシアチブは、土壌の炭素蓄積量を年間0.4%増加させる可能性のあるクリーンな農業手法を促進するための国際的な取り組みである。

推奨事項

連邦政府は、クリーンな農業手法や技術への投資を大幅に増やし、農民が土壌炭素管理および家畜のメタン削減のベスト・プラクティスに移行するための技術的また財政的な支援を提供すべきである：

- ・ 議会は、土壌炭素測定技術、肥料管理研究、および農家が最良の炭素管理手法に移行するための技術的また財政的支援への投資を大幅に増やすべきである。全米アカデミーズは、土壌炭素貯留RD&Dに今後10年間で約6億3000万ドルを投資することを推奨している。¹⁰²

- ・ 議会はAGARDAに潤沢に資金を提供すべきである。¹⁰³
- ・ 米国は、フォーパーミル（4/1000）イニシアチブに参加し、リーダーシップを発揮する必要がある。¹⁰⁴

柱10二酸化炭素の除去

二酸化炭素除去（CDR）は、長距離航空からの排出など、除去することが不可能または莫大に費用がかかる排出を元に戻すために必要である。CDRはまた、他の気候緩和技術が十分に迅速に進歩しない可能性に対するヘッジを提供し、蓄積された排出物を除去するための長期的な経路を提供する。最新の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告によると、大気から二酸化炭素を除去して恒久的に隔離することはもはや選択肢ではなく、必須である。¹⁰⁵ 残念ながら、地球規模の気候汚染の規模に有意に対処できる規模の炭素除去技術は導入されていない。植林や沿岸域の回復などの自然生態系を管理するアプローチ（いわゆる「自然ベースのソリューション」）は、低コストで短期的な選択肢だが、隔離能力が限られていて、大気中の二酸化炭素の排出が遅すぎる。また、土地利用をめぐる競争の問題にぶつかる。直接空気回収貯留（DACS）、炭素鉱化作用、二酸化炭素回収・貯留を伴う生物エネルギー（BECCS）などの技術的アプローチは、比較的未成熟で費用がかかるが、大量の大気中の二酸化炭素を恒久的に除去し、炭素レベルの自然なバランスを回復する可能性を持っている。¹⁰⁶ 全米アカデミーズは炭素除去ロードマップを発表したが、現在の米国の投資はとても小さく、すべての炭素除去RD&Dのニーズに有意に対処するための調整がなされていない。

最近の取り組み

2009年度から2019年度の間、CDRに対する議会の総資金は2600万ドル未満であった。¹⁰⁷ 2020年度、議会は二酸化炭素除去のRD&Dに、すべての炭素除去技術と経路にわたって6,800万ドルを提供し、2020年3月、DOEは直接空気回収（DAC）の研究に2,200万ドルを提供する新しい資金提供の機会を発表した。^{108,109} EFFECT法（上院第1201法案）とFERD法（下院第3607法案）の両方が、DOEでの新しい直接空気回収RD&Dプログラムを承認する。米国地質調査所（USGS）により、炭素鉱化作用の機会に関する資源評価と実現可能性調査を実施し、太平洋岸北西部の玄武岩

層が144～768 GtCO₂を鉱化する能力があることが明らかとなった。¹¹⁰ 現在、ARPA-EのSMARTプログラムは、土壌の炭素含有量およびフラックスの定量化および監視を研究している。¹¹¹

推奨事項

連邦政府は、二酸化炭素除去技術の開発を加速するための新しい連邦プログラムを作成すべきである。

- 議会は、炭素除去に関する全米アカデミーズ報告書の推奨事項を実施する包括的な省庁間RD&Dイニシアチブを確立すべきである。エネルギー先物イニシアチブ（EFI）は、全米科学技術医学アカデミー（NASEM）の推奨事項に関する一連の詳細な実装計画を提供する。これには、10年間で107億ドルの包括的な炭素除去イノベーションプログラムに対する政府機関の資金レベルとデモンストレーションプロジェクトを含むプログラム構造が含まれる。^{112,113}
- DOE、NSF、USGS、USDA、およびその他の関連機関は、既存のプログラム内で炭素除去研究を拡大すべきである。DOE基礎エネルギー科学局（BES）は、直接空気回収と炭素鉱化作用に特化した新しいEFRCを要請し、ARPA-Eは炭素除去を目的とした新しいプログラムを開始すべきである。¹¹⁴
- DOEは、化石エネルギー局内に恒久的な研究プログラムを作成して、直接空気回収、炭素鉱化作用、二酸化炭素回収と貯留を伴うバイオエネルギーなどのネガティブエミッション技術を開発する必要がある。これは、直接空気回収に関する最近の資金提供の発表を基にしている。¹¹⁵ 21年度の下院のエネルギー・水資源開発歳出法は、下院の化石エネルギー研究開発法（Fossil Energy R&D Act）および上院のEFFECT法と同様に、該当局を設立するものである。¹¹⁶

第6章

6つの戦略原則

6つの戦略原則は、エネルギーイノベーションのための連邦資金を導く。これらの原則のうち、最初の5つは、トピック、イノベーションの段階、連邦政府機関、研究パートナー、および米国の地域にわたって連邦政府が投資を多様化する方法を推奨している。6番目の原則は、ポートフォリオを長期にわたって管理するための戦略を推奨するものである。

これらの原則は、RD&Dポートフォリオの設計に関する豊富な学術研究と、以前、イノベーションのための資金調達が増加したことの教訓に基づいている。これらは、連邦機関、国立研究所、大学、およびその他の機関の資金の増加を技術の進歩に変換する容量の分析を反映している。国家エネルギーイノベーションミッションの下での資金調達レベルが今後数年間で大幅に増加するため、これらの原則は特に重要である。

原則1：重要な脱炭素化のニーズに資金を合わせる

国家エネルギーイノベーションミッションの10の柱は、大幅な脱炭素化にとって最も重要な技術的課題を表している。これらの柱1つ1つにおいて米国がリーダーシップを発揮することは、米国が世界的なクリーンエネルギーの移行により繁栄することにつながる。しかし、エネルギー革新のための米国連邦政府の資金は、柱全体で著しく不均衡である。連邦資金が増える場合、増加分は資金不足の柱に向けられるべきである。2025年までに、エネルギー革新のための連邦資金ポートフォリオは、よりバランスの取れたものになる必要がある。

2025年までに、エネルギー革新のための連邦資金ポートフォリオは、よりバランスの取れたものになる必要がある。

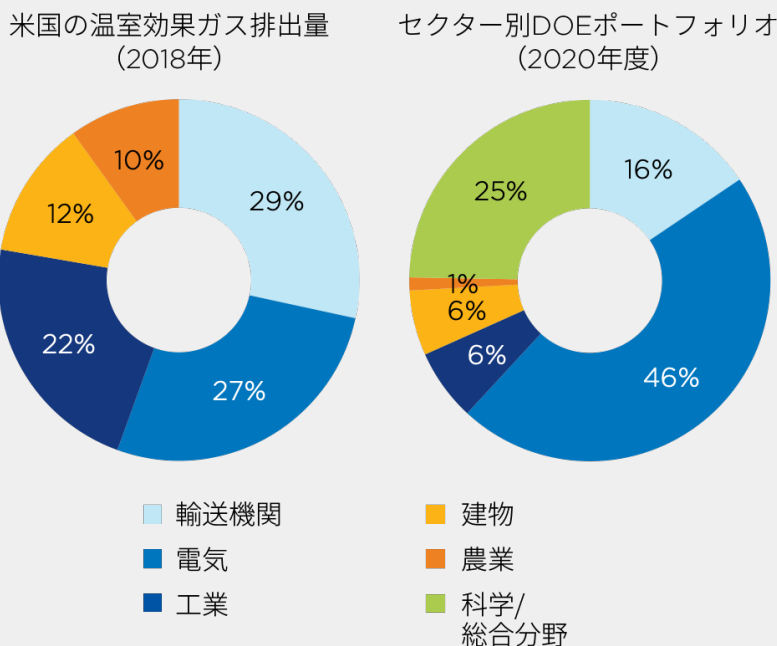
公的なRD&D資金を重要な脱炭素技術のニーズに合わせることができなかったのは米国だけではない。国際エネルギー機関は、世界の主要経済が「現在、大幅な排出削減を達成するための商業的かつスケーラブルな選択肢がないセクターに必要なタイプの最終用途のイノベーションではなく、供給側の技術」に多額の資金を割り当てていることを明らかにした。資金が不足しているイノベーションの優先事項には、水素、エネルギー貯蔵、二酸化の回収、利用、貯留技術が含まれる。¹

米国の連邦エネルギーイノベーション資金が重要な脱炭素化のニーズを追跡しない理由の1つは、連邦機関がそうするように設定されていないためである。例えば、連邦エネルギーのRD&D資金の75%以上を占めるエネルギー省の構造は、数十年にわたる国の優先事項の変化を反映している。DOE予算の大部分は、国家核兵器の維持、国家安全保障の研究開発、核実験場の環境浄化に資金を提供している。これらはすべて、1977年にさまざまな安全保障およびエネルギー機関が統合されたことによる遺産である。

連邦資金が増加するにつれ、増加は資金不足の柱に向けられるべきである。

エネルギーイノベーション関連のDOE資金は、大部分は石炭、石油、ガス、原子力、再生可能エネルギーなどのエネルギー源に対応する局を通じて割り当てられる。この構造は、大幅な脱炭素化に不可欠な10の技術の柱全体にわたるミッション主導の資金調達には最適とは言えない。図6-1に示すように、エネルギーRD&Dに対する現在のDOE資金の半分は、電力を生成および供給する様々な技術をサポートしている。(基礎科学と分野横断的な科学はともあれ、適用されるエネルギーRD&Dのさらに偏った分布が明らかになる。)都市インフラ、クリーン燃料、および産業の脱炭素化はすべて資金が不足している技術の柱であり、今後数年間で、受け取る資金レベルを急速に増加させる必要がある。クリーンな電力は大幅な脱炭素化において重要な役割を果たすが、今日の連邦資金ポートフォリオは他の重要なセクターや技術を無視している。

図6-1：2018年度の米国の温室効果ガス排出量の内訳とDOEエネルギーのRD&D資金の2020年度の割り当てとの比較



出典：環境保護庁とITIF

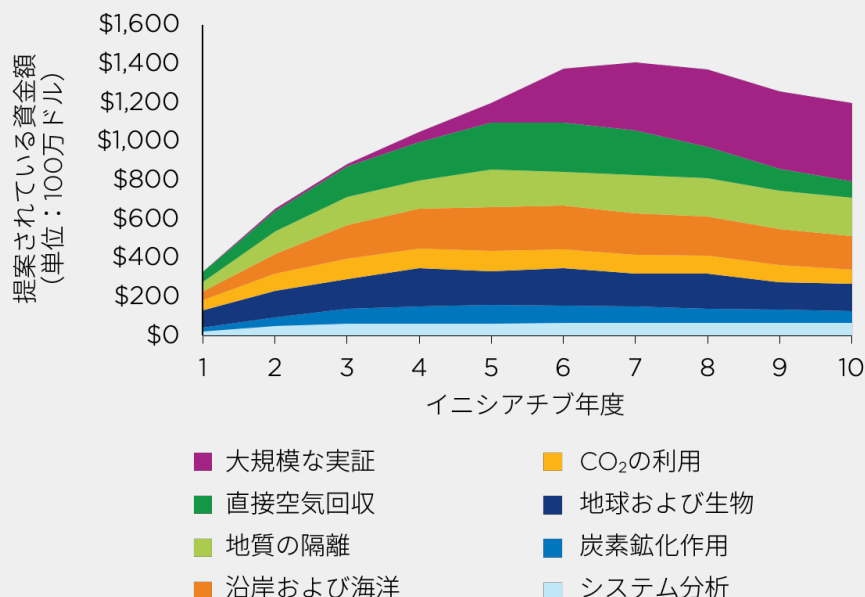
DOEのリーダーシップは、部門内の10の技術の柱における活動をよりスムーズに行えることが見込める組織変更を検討すべきである。ただし、再編成は時間とリソースを大量に消費し、長期間にわたって生産性を低下させる場合がある。再編成は、必要な時間とリソース、および移行中にミッションのパフォーマンスがどの程度落ちるかを慎重に評価した後にのみ行うべきである。エネルギーイノベーションハブなどの分野横断的な構造は、既存の状況をより迅速に改善できる可能性がある。(組織変更のメリットがコストを超える可能性がある領域の1つは、エネルギー実証プロジェクトの管理である。原則2の議論において、複数の選択肢がある。)

国家エネルギーイノベーションミッションにコミットし、2025年までにエネルギーイノベーション資金を3倍にすることで、政策立案者は重要なクリーンエネルギー技術の全範囲に投資する機会を得ることが可能である。公共投資が技術の進歩を大幅に加速するために、エネルギー技術に資金を提供するための最小しきい値があるという学術文献からの重要な洞察がある。したがって、低予算という制約がある中、政府は、僅かな金額をいくつかの技術に分散させることによって限られた資金を浪費するのではなく、意味のあるレベルで一部のエネルギー技術に資金を提供すべきである。予算の制約が緩和されるにつれて、温室効果ガス排出量を削減するために最適化された公的資金ポートフォリオは、より多くの技術を支えることができる。²

技術の柱ごとに、政策立案者は、民間企業や研究機関の専門家と相談して、連邦資金を増やすための長期ロードマップを設計すべきである。このようなロードマップの優れた例は、全米科学アカデミーによって組み立てられ、エネルギー未来イニシアチブによって強化された二酸化炭素除去のロードマップである（図6-2）。³ このロードマップは、大きな脱炭素化のニーズに基づいて、多様でありながら一貫性のある一連の技術の優先順位を示し、イノベーションパイプラインの各段階に資金を提供して、新しい技術を迅速に市場に投入することを提案する。⁴

技術の柱ごとに同様のロードマップを作成することにより、政策立案者は、最も早く立ち上げる必要のある資金不足の領域を特定する必要がある。連邦政府は、12以上の連邦機関から各技術の柱の資金調達レベルを監視する機能を構築すべきである。そうすることで、政策立案者は、技術の10の柱のバランスをとる資金の急増を調整および監視できる。2025年までに、各柱は少なくとも10億ドルのレベルで資金を調達する必要がある。連邦資金ポートフォリオのバランスを見直すことで、米国は国家エネルギーイノベーションミッションを、納税者の資金を最も効果的に使用する方法に合わせることができる。

図6-2：二酸化炭素除去（CDR）のための10年間の連邦政府RD&Dイニシアチブの資金調達ロードマップ



出典：エネルギー未来イニシアチブ

原則2：イノベーションパイプラインの全段階をサポートする

クリーンエネルギー技術を構想から商業化に導くには、イノベーションパイプラインのすべての段階をサポートする、政策立案者による全体的で調整された戦略が必要となる。連邦政府が基礎研究に資金を提供し、その後民間部門が引き継ぐことを期待するだけでは不十分である。商業化への道のりには、民間資金の複数のギャップ、つまり死の谷が存在する。したがって、原則1に従うことに加え、重要な脱炭素化のニーズに資金を合わせるために、政策立案者は、研究、開発、実証にまたがるイノベーションパイプラインの各段階にわたって資金を提供しなくてはならない。

これらの3つの段階のうち、実証に関わる資金の不足が最も深刻である（第2章を参照）。様々な理由から民間企業は、複雑で大規模な技術の商

業規模での最初何回かの実証に投資をすることを躊躇している。企業は、そのような実証のすべての利益を享受する可能性は低いと正しく予測している。確かに、他の誰かによって実行された実証が成功するか失敗するかに基づき行動する企業は、その知識から利益を得て、投資家が資本を供給する意欲を高めることができる。投資家はまた、高い資本コストおよび、実証されていない技術の大規模な実証による高額なプロジェクト遅延のリスクも警戒している。その結果、開発した有望なクリーンエネルギー技術を実証する資本が不足している企業を死の谷が飲み込んでしまう。⁵

しかし今日、連邦政府はそのエネルギーRD&D資金の5%未満を実証プロジェクトに充てている。その資金のほとんどは、高度な原子炉を実証するための単一のDOEプログラムのためのものである。デモンストレーションプロジェクトは、最も資本集約的なイノベーションの段階であり、多くの場合、1つのプロジェクトに数億ドルの費用がかかる。しかし、成功すれば、その恩恵は非常に大きなものとなる。たとえば、米国における最初の5つの公益事業規模の太陽光発電プロジェクトに対する連邦政府の融資保証は、大規模な太陽光発電プロジェクトで10年にわたるブームを引き起こした。今日、太陽光発電は国内で最も急速に成長している電源である。⁶

連邦政府は、実証プロジェクトへの資金提供を増やすべきである。短期的には、政策立案者は、DOEの応用エネルギー局、その融資プログラム局、DODの環境セキュリティ技術認定プログラムなど、既存の法的権限の下でそうした実証に資金を提供できる機関プログラムを使用すべきである。⁷ 実際、議会はすでに、エネルギーセクター全体のインフラストラクチャへの最大1,000億ドルの民間投資を活用できる390億ドルの融資保証を承認している。⁸ エネルギー実証プロジェクトは、以前は予算超過や政治的批判に悩まされてきたが、過去からの教訓は、そのようなプロジェクトを管理するためのはるかに効果的なアプローチに役立つ可能性がある。例えば、連邦政府はプラントエンジニアリングの大部分が完了した後に、最終的な投資決定を下し、建設を開始すべきである。^{9,10}

実証プロジェクトに資金を提供するための既存のチャネルは十分ではない。連邦融資保証プログラムは、商業環境ですでに実証されている技術をサポートするのに最適である。新しい機関は、よりリスクの高い、他に類を見ない実証プロジェクトへの投資を促進できる。1つの選択肢は、議会がエネルギー技術実証プロジェクトに資金を提供する独立した

企業を設立することである。¹¹ このような企業は、1回限りの政府支出金によって資本化され、その後、政府の政治部門の管理外で、エクイティ投資から融資保証まで、さまざまな資金調達ツールを使用できるようになる。一部の人々は、議会にクリーンエネルギー配備管理局を設立するよう求めている。これは、後半の段階の実証を含む一連のクリーンエネルギーインフラプロジェクトに民間部門と共同投資するものである。¹² 別の代替案は、DOE内に主要な実証に関する新しい局を設立することである。¹³ さらに、DODは、リスクの高い技術実証プロジェクトに資金を提供した豊富な経験があり、貴重な投資パートナーになる可能性がある。

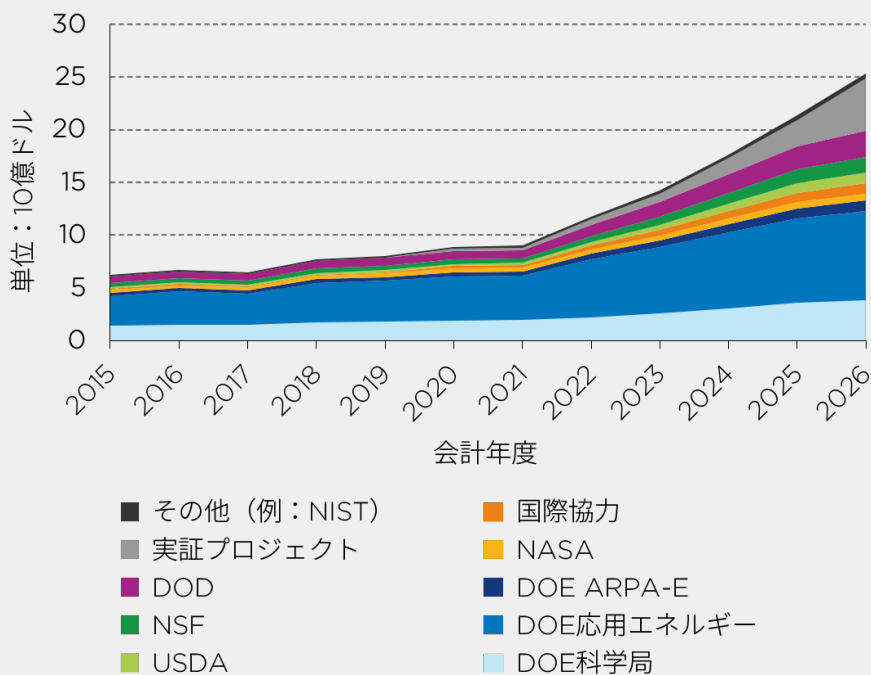
連邦政府は、エネルギーRD&Dの「テクノロジーブッシュ」サポートを、有望なクリーンエネルギー技術を実証およびスケールアップするために商業市場を刺激する「需要けん引型」ポリシーと結び付ける必要がある。

連邦政府は、2025年までに少なくとも年間50億ドルのレベルで、10の技術の柱にまたがる実証プロジェクトに資金を提供すべきである（図6-3）。これは保守的かつ意欲的な目標である。実証は研究開発よりもはるかに資本集約的であり、実証プロジェクトには大きな民間資金ギャップがあるが、実証プロジェクトは2025年までに公的エネルギーのRD&D資金の5分の1を占めるにすぎないため、保守的である。同時に、このレベルの年間資金は、実証プロジェクトへの最近の公共投資水準をはるかに上回っている。復興法に基づく2009年から2011年までの資金調達率と比較して、実証プロジェクトの資金調達率は3倍以上となる。¹⁴ それでも、この水準は目指すべき重要な目標である。これは、各技術の柱内の実証プロジェクトに年間数億ドルを費やすことに相当し、多くの重要な技術の迅速な商業的リスク回避を可能にする。最も有望なプロジェクトを特定し、それらをサポートするための機関と管理チームを設立するには時間がかかるため、我々が提案する実証資金は2023年から2025年にかけて急激に増加する。

最後に、連邦政府は、エネルギーRD&Dの「テクノロジーブッシュ」サポートを、有望なクリーンエネルギー技術を実証およびスケールアップするために商業市場を刺激する「需要けん引型」ポリシーと結び付け

る必要がある。これには、炭素の価格付け、クリーンな電力基準、燃費基準、対象を絞った税制上の優遇措置などが該当する。税制上の優遇措置は、超党派の支持を集めた特に強力な実績があり、風力や太陽光発電などのクリーンエネルギー技術の市場開発を促進することに成功している。2018年、議会は45Qの税制上の優遇措置を制定した。これは、二酸化炭素の回収および貯留プロジェクトへの投資を奨励するものである。¹⁵

図6-3：連邦政府機関による歴史的なクリーンエネルギーのRD&D資金と、5年間で250億ドルへの増加を示す



政策立案者は、国家エネルギーイノベーションミッションの10の技術の柱を反映した新世代の税制上の優遇措置を設計すべきである。^{16,17} これには、どの技術を支援するかを事前に決定するのではなく、これらの税制上の優遇措置のそれぞれが、技術の柱を前進させる新しい技術の商業的スケールアップに資金を提供する必要がある。これらの税制上の優遇措

置の目標は、10の技術の柱のそれぞれから有望な、連邦政府がRD&Dへの連邦資金を通じてイノベーションパイプラインを推進する技術を市場に引き出すことである。政策立案者はまた、新技術の公的調達に対する事前の市場コミットメント（医療用ワクチンを市場に投入する際に効果的に用いられてきたアプローチ）、懸賞、革新的な技術がパフォーマンスとコストのマイルストーンに到達した際の報酬など、他のさまざまな需要けん引型ポリシーを試すべきである。^{18,19}

原則3：エネルギーイノベーションを支援するために、連邦政府のあらゆる力を結集する

公共エネルギーイノベーション資金のニーズは多様であり、10の技術の柱とイノベーションパイプラインのすべての段階にまたがっている。幸いなことに、これらの多様なニーズを満たすための連邦政府の力は、その全リソースが加われば、非常に大きい。今日、DOEの科学局とその応用エネルギー局は、エネルギー革新のための既存の連邦資金の75パーセント超を占めている。しかし、2025年までに、図6-3の例示的なロードマップが示すように、これらの局は、連邦政府のエネルギーRD&D資金調達ポートフォリオ全体の半分近くを占めるように調整が必要になる。残りの半分は、繁栄するエネルギー革新エコシステムをサポートするための新鮮なアプローチと義務をもたらす多様な連邦機関それぞれによって資金提供されるべきである。

確かに、DOEはエネルギー革新に資金を提供する数十年の経験をもたらす。連邦政府が国家エネルギーイノベーションミッションに着手する間、その主導的役割は継続されるべきである。今後5年間で、議会は、科学研究と応用エネルギーの研究開発にそれぞれ資金を提供するDOE科学局とその応用エネルギー局の予算を2倍にするべきである。²⁰ DOE支出の有効性を最大化するには、投資を10の技術の柱に合わせ、基礎科学研究への投資と応用技術開発への投資をより適切に結び付けるなど、上で議論に挙げた制度改革を追求すべきである。

他の場面では、より迅速な予算の増加が必要である。例えば、半自律的なDOE機関であるARPA-Eは、ミッション主導のRD&Dに資金を提供するようにすでに構成されており、創設から10年余りで、そのモデルが急速な技術進歩に拍車をかけるのに効果的であることがすでに証明されて

いる。ARPA-Eによって資金提供されたプロジェクトは、他のDOE局によって資金提供されたプロジェクトよりも、特許、出版物、および民間投資家からの追加資金を生み出す可能性がはるかに高くなる。²¹ 議会は、全米科学アカデミーなどからの勧告に沿って、ARPA-Eの資金を2020年の4億2500万ドルから2025年には年間10億ドルに増やすべきである。^{22,23} このレベルの資金提供により、ARPA-Eは、画期的な技術の早期実証をサポートする「スケールアップ」プログラムを拡大することもできる。

他の多くの連邦機関には、エネルギーイノベーションの推進に沿った使命がある。特に国防総省は、すでにエネルギーイノベーションの中心的な役割を果たしているが、それ以上を担う必要がある。エネルギーは海外および国内の軍隊の活動の中心であり、DODは国家安全保障を強化するための高度なエネルギー技術の開発に熱心に取り組んでいる。ここには、多様な機会がある。例えば、軽量で高効率の太陽エネルギー材料は、高エネルギー密度のバッテリーとともに、兵士や基地が遠隔地で活動することを容易にする可能性がある。国内では、高度なマイクログリッド技術により、自然災害や人災による脅威から軍事施設を保護することができる。誤解の無いように言うと、軍の主な目的は大幅な脱炭素化ではなく、そうすべきではない。しかし、国家安全保障の使命を前進させるエネルギー技術の多くは、クリーンエネルギーへの移行も前進させる。²⁴

DODは、国家エネルギーイノベーションミッションを実行するうえで、DOEにとって価値のある補完的なパートナーとなる。例えば、国防総省は、研究開発よりも新しい技術の実証と検証に多くの時間を費やしている。同様に、DODはRD&D資金の大部分を非政府の研究者や企業に提供するが、DOEはRD&D予算の大部分を国立研究所に割り当てる。²⁵ クリーンエネルギー革新のための軍事資金の現在のレベルは不明である。DODは、エネルギーの研究、開発、試験、評価に16億ドルの年間予算の割り当てを報告しているが、その資金の一部は、民間のクリーンエネルギー技術とは関係のない指向性エネルギー兵器などの技術を支援している。²⁶ 2025年までに、議会は、国家安全保障も促進するクリーンエネルギーイノベーションに資金を提供するために、国防総省に少なくとも25億ドルを割り当てべきである。さらに、DODはその取り組みをDOEと調整する必要がある。良いモデルの参考として、長期のエネルギー貯蔵実証プロジェクトに投資するために、DODの環境セキュリティ

技術認定プログラムとDOEのARPA-Eの間の6000万ドルの共同プログラムに資金を提供するという2021年の国防権限法の提案がある。²⁷

DODは、国家エネルギーイノベーションミッションを実行するうえで、DOEにとって価値のある補完的なパートナーとなる。

軍隊を除いて、他のいくつかの連邦機関は、クリーンエネルギー技術の進歩と一致し、資金を大幅に拡大するための十分な制度的能力を持つ義務がある。例えば、全米科学財団は、全国の大学で物理学の研究を行う主要な連邦資金提供者である。国家エネルギーイノベーションミッションの10の技術の柱はすべて、NSFの範囲内にある先端材料などの分野の進歩に依存している。しかし、2016年（連邦政府が政府全体のクリーンエネルギー支出を算出した昨年）には、NSF研究資金のわずか5%、つまり約4億ドルがクリーンエネルギー技術をサポートしていただけであった。議会はこのレベルを2025年までに少なくとも15億ドルに増やすべきである。この方法でNSFを拡張するために、両側面からサポートがある。2020年に、超党派の議員グループが「エンドレス・フロンティア法（Endless Frontier Act）」を提案した。これは、NSF内に、「先進エネルギー」を含む10の技術分野に年間200億ドルの資金を提供する新しい技術局を創設するものである。²⁸

NASAは、クリーンエネルギーイノベーションに費やす費用をさらに削減した。2016年の研究開発予算の2%、つまり3億ドルである。しかし、NASAの目標は、クリーンエネルギーイノベーションのニーズとしっかり一致している。NASAはその歴史の中で、その使命と調達当局を利用して、コストを削減し、後に地球上で商業的な準備が整うソーラーパネル、バッテリー、燃料電池などの技術のパフォーマンスを向上させてきた。太陽電池の最初の重要な市場は衛星であり、火星で使用するために開発された燃料電池は現在、データセンターや病院に電力を供給するために使用されている。²⁹ 2018年、NASAはARPA-Eと協力して、燃料電池、高エネルギー密度バッテリー、高効率太陽光発電システム、スマートグリッドなどの画期的なクリーンエネルギー技術の競争を後援した。³⁰ 2025年までに、議会はクリーンエネルギーRD&Dに対するNASAの資金を2倍にすべきである。

商務省内のユニットである米国国立標準技術研究所も、エネルギー革新の使命において重要な役割を果たすための支援と奨励を受けるべきである。DOEの国立研究所の施設を補完するNISTの科学ユーザー施設は、エネルギー移行に貢献し、その影響を受ける業界に貴重なテストベッドを提供する。NISTは、連邦政府の高度な製造の主導機関であり、連邦州の製造拡張パートナーシップを監督している。これは、中小規模の製造業者がより効率的かつ革新的になるのを支援し、米国の製造機関の省庁間ネットワークを調整する。NISTはまた、送電網の近代化やサイバーセキュリティによって提起された問題など、効果的な移行のために解決する必要のある標準の問題について業界と緊密に連携する。³¹

米国農務省もまた、国家エネルギーイノベーションミッションにおいて重要な役割を果たすべきである。二酸化炭素除去やクリーンな農業システムを含む複数の技術の柱には、これらの分野でパイロットプロジェクトを支援してきたUSDAの専門知識と経験を集結すべきである。³² 議会はUSDAに資金を提供して、土壌炭素を測定し、新しい作物を通じて炭素を隔離し、農業投入物の炭素強度を低減する技術の開発を支援すべきである。³³ 次に、USDAは、これらの分野で深く実践的な専門知識を誇るランドグラント大学の広範な全国ネットワークと提携すべきである。

最後に、連邦政府は、2025年までに国際的なエネルギーRD&Dコラボレーションに10億ドル以上の年間予算を投入すべきである。現在、主な資金提供は、核融合エネルギー研究には米国から2億4000万ドルが拠出されているものを大部分とする。しかし、10の技術ミッション全体で、実質的な国際協力の余地は十分にある。確かに、成長する先進エネルギー経済のシェアを争う国々の間には激しい国際競争がある。しかし、多くの分野、特にまだ市場から遠く離れている分野での国際協力は、不足しているリソースを最大限に活用し、多様なプロジェクトチームを引き入れ、知識を迅速に広めることにつながる。エネルギー革新の初期段階での国際協力は、後の段階での強力な国際競争を補完することができ、またそうすべきである。³⁴

原則4：国立研究所、大学、および民間セクターの革新的な能力を活用する

今日、連邦政府がエネルギー改革を支援する主な方法は、国立研究所のRD&Dへの資金提供である。このような研究所は米国の研究基盤の「ドル箱」と言われることが多く、国家エネルギーイノベーションミッションの中心的な担い手となるはずである。

さらに、政策立案者は連邦政府以外、すなわち国の研究大学や民間セクターに在籍するイノベーターの才能を上手く活用すべきである。連邦政府がエネルギーイノベーションへの資金調達を増やすに伴い、外部のパートナーと協働する方法をさらに見つけてイノベーションへの民間投資の増加を促すために、連邦政府による資金提供を活用すべきである。

大学は基礎研究と橋渡し研究を進める上で最適なパートナーである。NIHの調達資金の4分の3が2,500を超える大学、メディカルスクール、その他の研究機関などの所外研究を支援する。エネルギーイノベーションにおいて、連邦政府は研究大学への資金提供を大幅に増加させるべきである。基礎科学の困難な問題を解決するために、大学と研究所の協力を促進するエネルギーフロンティア研究センターの成功モデルを基礎とすべきである。同様に、重要な技術領域において応用研究および開発を実施するため、研究機関と民間セクターのパートナーを結び付けるDOEのエネルギーイノベーションハブプログラムを拡大すべきである。ランドグラント大学を含む公立大学システムには、国家エネルギーイノベーションミッションに貢献することができる、権限を持つ機関、施設、民間セクターとの連携、専門領域（農業、林業、土壌など）があることが多い。

民間セクターも政策立案者が引き出そうとするであろうエネルギーイノベーションのための莫大な可能性を秘めている。実際に、以前の公民連携はクリーンエネルギーイノベーションの加速に貢献してきた。国立研究所などの政府機関とライセンス付与または技術開発において同盟を結ぶクリーンエネルギーのスタートアップ企業は、そのような連携を行わないスタートアップより74%多く特許を申請し、民間との金融取引の確保件数が155%増加する。³⁵そして、DOEの中小企業イノベーション研究

プログラムから補助金を受けるスタートアップは、そのような資金を受け取らない企業と比べて後にベンチャーキャピタル資金を受け取る可能性が2倍になり、さらに多くの特許と収益を確保する可能性が高い。³⁶ 民間企業向けの連邦助成金は、研究開発費の税控除など、高価値のイノベーション活動を奨励する他の政策手段を補完することができる。³⁷

連邦政府は民間企業が国家エネルギーイノベーションミッションの10の技術の柱を推し進めるべくRD&Dを行うための支援を拡大し、実証および商業化活動に公民連携を通して共同投資すべきである。³⁸ 議会と連邦機関は手を組み、中小企業イノベーション研究プログラムから成長と商業化に焦点を当てた革新的なエネルギー企業にもっと資金を投入すべきである。³⁹ 支援する個別企業とは別に、連邦政府はエネルギー業界の革新を促進するため、電力研究所など業界全体の研究開発コンソーシアムを支援すべきである。また、政策立案者は民間セクターに資金が公平に分配されるよう、安全策を考案すべきである。しかし、連邦政府が民間産業に全く資金提供するべきではなく、代わりに基礎研究のみに資金提供すべきとの考えは非生産的である。今日、企業はイノベーションパイプラインに十分に投資していない。企業による応用技術の開発および実証活動を支援することを目的とした連邦政府からの資金提供は、新技術を市場にもたらし、米国の競争力を高める上で非常に重要である。

世界中の各国政府がRD&Dを支援するため、業界と連携している。例えば、ドイツの66のフラウンホーファー研究所は、国が世界で競争できる産業を育む上でその成功に欠かせない要素となっている。これらの非営利のRD&Dセンターは連邦政府と州政府から長期に渡って費用の3分の2を賄う助成金を受け取っている。民間企業は関心あるプロジェクトを支援するため、残りの3分の1の資金提供を行う。フラウンホーファーシステムは近年世界的に拡大し、今や米国の5つのセンターも含まれる。⁴⁰

もっと狭い範囲では、米国に民間企業が応用技術の開発およびプロトタイプ製造プロセスを実施するのを支援する類似機関がある。2014年に議会によって承認された「マニュファクチャリングUSA」は、商務省、国防省、エネルギー省などの連邦機関がスポンサーとなっている、調達資金源のほとんどが非連邦由来の14の公民機関から成るネットワークである。しかし、ドイツのフラウンホーファー研究機関とは異なり、長期間の連邦資金は保証されておらず、長期生存力を危険にさらしている。^{41,42}

議会は高度な製造を長期間続けられるよう支援に再度取り組み、連邦機関が将来が約束されたクリーンエネルギー製造技術を拡張するために民間セクターと連携できるようにすべきである。

企業による応用技術の開発および実証活動の実施を支援することを目的とした連邦政府からの資金提供は、新技術を市場にもたらし米国の競争力を向上させる上で非常に重要である。

これらの優先事項は国立研究所が費用を負担して資金提供すべきではない。実際、ある研究は、政府研究所が実施したエネルギーのRD&Dが最高の価値の研究発表と特許を生み出し、基礎科学と応用技術開発の重要な橋渡し役となっていると結論付けている。⁴³ さらに、国立研究所は民間セクターと協働する大きな可能性を秘めている。研究所組み込み型アントレプレナー（Lab-Embedded Entrepreneurs）、スモールビジネスベンチャーズ（Small Business Ventures）、製造業のための高性能コンピューティング（High Performance Computing for Manufacturing）などの一部のパイロットプログラムには、見込みある技術を商業化するため、民間企業と起業家を国立研究所の研究用機器ならびにスタッフと結び付ける実績ある成功モデルがある。こういったものがもっと必要である。また、国立研究所は研究スタッフに業界との協働や公民の技術開発連携の利用増加を奨励すべきである。⁴⁴

政策立案者はクリーンエネルギー技術商業化への国立研究所の影響を、二通りのやり方でさらに高めることができる。まず、議会はエネルギー技術商業化財団を承認し、資金提供すべきである。この財団は国中のイノベーターを国立研究所の施設、基金のインキュベーターとつなげ、公民連携を促進するために民間資金と慈善資金を集めるであろう。⁴⁵ 第二に、DOEはより多くの連邦資金を研究所長に委譲し、見込みあるプロジェクトに分配され、国立研究所が商業化するイノベーションの報酬から利益を得られるようにすべきである。⁴⁶ 研究所内部で選定される研究プロジェクトは、中央集権的に指示されたプロジェクトより発明が生まれる可能性が3倍高い。⁴⁷ 十分な自主性と資金があつてこそ、各国立研究所

は民間セクターと連携してクリーンエネルギー技術の商業化に高度な研究用機器と深い専門知識を採り入れ、地域のイノベーションクラスターを支えることができる。フランク・ルーカス下院議員（R-OK）により下院に提出された最近の法案は、国立研究所が官民連携を通じて技術移転を追求し、米国における地域的なエネルギーイノベーションの中心としての役割を果たすことを奨励することになるであろう。⁴⁸

政策立案者は連邦のエネルギーRD&Dを強化させるに伴い、国立研究所、国中の世界的に通用する研究大学、革新的な民間企業のユニークな強みを混ぜ合わせたポートフォリオを作り上げるべきである。多くの場合、この3つのカテゴリーの組織は連邦政府の資金提供を求めて競い合っていると考えられる。これらのセクターを利用することで国家エネルギーイノベーションミッションの成功が実現されるのである。

原則5：州および地方政府と連携して、地域のエネルギーイノベーションを支援する

クリーンエネルギーのRD&Dへの連邦政府による資金提供にかかる決定はワシントンDCの政策立案者により行われているが、イノベーション活動は国中に分散している（図6-4）。⁴⁹ 地域によってクリーンエネルギーイノベーションにもたらす相対的強みは異なる。政策立案者は連邦政府による提供資金を地域の盛んなイノベーションエコシステム育成に役立たせるようにして、この多様性を活用すべきである。それにより地域経済の利益が国中の地域社会にもたらされ、世界的に競争力のある産業を刺激する。

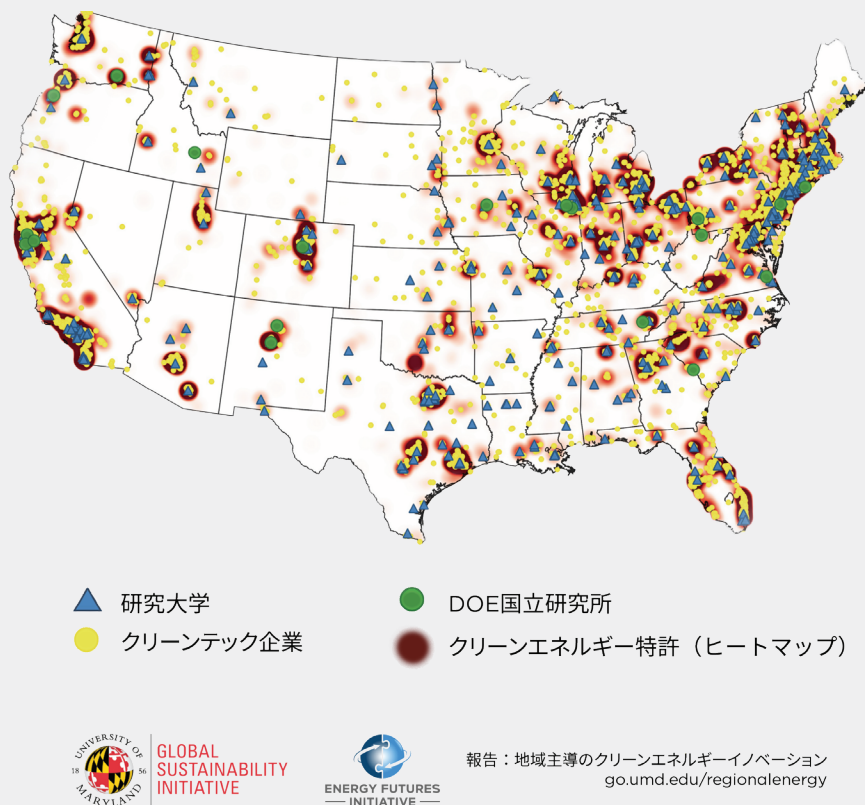
クリーンエネルギーイノベーションは複数の企業、大学、政府研究所が近隣に位置し、地域のイノベーションクラスターを形成する時に急速に進められる。これは特定のクリーンエネルギー技術の産出において複雑な製造プロセスを要する場合に特に当てはまる。そして、イノベーションクラスターは初期研究および開発を実施する組織と、技術を実証し拡張する企業で急速な反復を実現することができる。地域のサプライチェーンと専門生産者の密なネットワークの発展によりクリーンエネルギー技術の費用は削減される。例えば、米国中西部とブラジルサンパウロの先端バイオ燃料イノベーションクラスターは双方とも大学、公共研究機関、供給業者と生産者の密なネットワークを統合している。⁵⁰

州および地方政府は地域のクリーンエネルギーイノベーションを育むために適切な位置にいる。カリフォルニアとニューヨークはかなり多くの州エネルギーイノベーション機関に資金提供するため、居住者の電気料金の公益賦課金からの収益を利用している。⁵¹ 連邦政府はさらに多くの州が地域のクリーンエネルギーイノベーションエコシステムを育成するのを支援すべきである。連邦政策立案者はその方法を何通りか持っている。地域のエネルギーRD&Dに投資するには最適な州および地方政府に資金を提供できる。連邦機関は、エネルギーイノベーションプログラムと戦略的経済開発計画を考案する州および地方政府に技術支援も提供できる。州政府は10の技術の柱において1本かそれ以上に主眼を置くことを前提として、その地域経済のユニークな資産に基づき自由にクリーンエネルギーイノベーションの優先順位を選ぶべきである。さらに、国立研究所やマニュファクチャリングUSA機関などの連邦施設は、州および地方政府と共に地域のイノベーションクラスターを育むための協調戦略に取り組むべきである。そのようなクラスターはクリーンエネルギーのスタートアップ・インキュベーターおよびアクセラレーター、そして現地の実証プロジェクトの公的支援から恩恵を受けるであろう。⁵²

連邦政府は、より多くの州がクリーンエネルギーイノベーションのエコシステムを育むのを支援すべきである。

連邦政府と連携すれば、州および地方政府は、各クラスターの技能を持つ多様な労働力に投資する取り組みを推進することができる。クリーンエネルギー技術産業における人種や性差別に繋がる障害物と偏見に対処するための経済開発方針を目標とすることが可能である。さらに、K-12（幼稚園から高等学校）と高等教育に投資し、高い技能を伴う移民を促進し、既存の専門家にトレーニングと労働力開発を行い、公平で正当なエネルギー転換を促進するために連邦政府と州の方針が必要である。結局のところ、国家エネルギーイノベーションミッションは地域のイノベーションの成功にかかっている。⁵³

図6-4：米国のクリーンエネルギーイノベーション活動を示す地図



出典：Energy Futures Initiative, University of Maryland

原則6：新しいデータに適応しながら、予測可能な長期資金調達目標を設定する

エネルギー、健康、その他の分野のRD&Dへの資金提供の急増は、歴史的に不安定なイノベーション資金提供の危険性を示してきた。連邦政府はエネルギーイノベーションの資金提供を増加させるための高いレベルの資金提供計画に全力で取り組むべきである。同時に、追加のRD&D資金がうまく使われているか確認することが重要である。したがって、政

策立案者は厳正に連邦政府の資金提供によるイノベーション成果のデータを収集し、最も重要な大幅な脱炭素化のニーズに焦点を置き続けるために定期的にRD&Dポートフォリオの均衡を調整するべきでもある。

イノベーションへの投資は、商業用技術という形で回収するまで10年かそれ以上かかる可能性がある。それを認識した上で、連邦政府は2025年までの目標額250億ドルに達した後も、年次のエネルギーのRD&Dへの資金提供を増額する長期的姿勢を示すべきである。それによって、連邦研究所、研究大学、民間企業、投資家を含む米国のイノベーションエコシステムは、連邦政府からの提供資金を有効活用し、インフラと施設を改修、維持し、新技術を市場にもたらしするための民間投資により公的資金を増やすための長期計画を立てることができる。

エネルギーのRD&Dへの資金提供が増加するにつれ、議員と連邦機関は資金が10の技術の柱の推進を最大化させる方法で使用されているか継続的に評価すべきである。例えば、連邦政府は、連邦政府が資金提供したRD&Dから得られる追加投資などの技術商業化および技術採用指標、ならびに出版物や特許などもっと従来の指標を注意深く追跡すべきである。⁵⁴ そして、ARPA-Eの例に従い、他の連邦機関は資金を失敗してばかりのプロジェクトから重要なマイルストーンを達成する方向へ向け直すべきである。国家エネルギーイノベーションミッションが進むにつれて、政策イノベーションと実験は技術イノベーションを前進させる上で非常に重要になるであろう。

また、連邦政府はクリーンエネルギー技術とその市場への導入に基づきRD&D資金のポートフォリオを適応するべきである。⁵⁵ 例えば、もしクリーン水素の商業原価が今後10年間で下落すれば、産業プロセスを脱炭素化する原料として水素を使用するためにRD&Dへの投資を倍にすることは意味のあることである。そのような軌道修正には、連邦政府が大幅な脱炭素化を最も実現できる方法の予測を更新し、グローバル市場のダイナミクスを理解する分析能力と知力を伸ばすことが求められる。そのような予測を更新する方法はいくつかある。例えば、政策立案者がどの重要技術が追加のRD&D資金から最も利益を得られるかについて技術専門家の意見を引き出すことができる。また、様々なRD&Dポートフォリオ配分の有効性についての前提の下、様々な技術の商業的成功を見積もるための経済の統合評価モデルを用いることも可能である。⁵⁶ そして、世界の状況を調査して米国が相対的強みを持つ技術分野を判断し、競争

力のある産業を築くことができる。これらの分析に基づき、政策立案者は「ホッケーのバックが進む方向へ滑っていく」よう努力する、言い換えるとRD&Dへの投資を今後数年の大幅な脱炭素化と米国の競争力のために最も必要とされる所へ分配すべきである。

連邦政府は、連邦政府全体からの資金提供の結果に関する膨大なデータを収集する能力を培うべきである。

今後数十年に渡って最大の商業的成功を達成し、エネルギーシステムの脱炭素化に最も役立つテクノロジーミックスについて考慮すると、不確実性は避けられない。そのような不確かさに直面すると、多様化が最善の戦略となる。上記の5原則はRD&D資金ポートフォリオの多様性の異なる側面（技術分野、イノベーション段階、連邦機関、研究実施者、地理）を強調している。政策立案者はRD&Dポートフォリオを調整していく上でこの原則に従うべきである。最終的に、軌道修正は長期の予測可能性を犠牲にして行われるべきではない。高いレベルでは、政策立案者がエネルギーイノベーションの連邦予算を増加させる計画を忠実に守らなければならない。

第7章

3つの即時の推奨事項

第117回連邦議会と2021年に宣誓が行われる大統領の政権は、ただちにクリーンエネルギーイノベーションを加速させるべく**3つの措置**を取るべきである。

- ① 大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを開始すべきである。
- ② 議会はエネルギーのRD&Dへの資金提供を2022年度予算で30%増加させるべきである。
- ③ 米国は国際的なエネルギーイノベーションにおけるリーダーシップを再び発揮するべきである。

1. 大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを開始すべきである

就任から100日以内に、大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを開始するための大統領政策指令（PPD）を発令すべきである。（PPD草案は付録に含まれている。）PPDはクリーンエネルギーイノベーションを中核的な国家優先事項として確立し、クリーンエネルギーのRD&Dへの連邦資金を2026年度（2025年10月1日開始）までに3倍にする目標を設定すべきである。

ホワイトハウスのリーダーシップは国家エネルギーイノベーションミッションの成功において重要になる。¹ それに伴い、PPDは行政管理予算局(OMB)長と気候変動に第一の責任を持つ大統領補佐官が共同議長を務めるホワイトハウスのエネルギーイノベーション作業部会を立ち上げるべきである。作業部会のメンバーには、エネルギー長官、国務長官、国防長官、農務長官、運輸長官、商務長官、財務長官、環境保護庁長官、NASA長官、国立科学財団理事長、科学技術政策局長、米国通商代表部、大統領経済諮問委員会委員長、環境諮問委員会委員長を含めるべきである。

就任から100日以内に、大統領は国家エネルギーイノベーションミッションを開始するための大統領政策指令を発令すべきである。

連邦政府内で、エネルギー省はクリーンエネルギーイノベーションに関して中核的な専門領域の知識を持っている。したがって、エネルギー長官をホワイトハウス作業部会の機関リーダーに指名すべきである。これには、作業部会にエネルギーイノベーションに関する戦略的指針を提供し、作業部会の仕事を支援するため米国エネルギー省に小さな事務局を設ける責任を伴わせる。エネルギー長官は作業部会が検討する国家エネルギーイノベーション戦略を起草する任務を負うべきである。作業部会は2021年夏までに戦略を大統領に戦略を提出すべきである。

DOEは政策計画能力を再確立し、2011年と2015年に発行されたQuadrennial Technology Review (QTR、4年に1度の技術計画見直し)を復活させる必要がある。これは国家エネルギーイノベーション戦略の中核要素となるはずである。QTRは各DOEオフィスの複数年プログラム計画を基礎とし、その指針となるべきである。(議会は2018年のDOE研究イノベーション法 (Research and Innovation Act) を可決し、ポートフォリオ分析と戦略的計画への関心と支持を表明した。)

ホワイトハウス作業部会の各連邦機関は、その使命に沿ってクリーンエネルギーイノベーションへの投資計画を作成し、その進捗状況について毎年大統領に報告すべきである。ホワイトハウス作業部会は四半期ごとに集まり、クリーンエネルギーイノベーションのための機関の協働を促進し、機関の予算を調整し、国家エネルギーイノベーションミッションを公式文書に組み込み、迅速な実施を妨げる障害を取り除く支援をすべきである。

連邦政府以外の専門知識が連邦政府の意思決定に貢献すれば、成功の確率は高くなる。したがって、大統領は、州、学界、産業、労働、環境正義組織などの主要な利害関係者の代表と共に、エネルギーイノベーションの連邦諮問委員会を設立すべきである。当該委員会は連邦諮問委員会法（Federal Advisory Committee Act）に基づいて構成し、大統領科学技術諮問委員会（PCAST）または別の既存の諮問機関に組み込むことができる。

大統領政策指令を3年後に適宜見直し、調整すべきである。

2. 議会はエネルギーのRD&Dへの資金提供を2022年度予算で30%増加させるべきである

第117回議会の最初の連邦予算が2021年10月1日から始まる2022年度の資金レベルを決める。予算プロセスはずっと前から始まっている。下院および上院歳出委員会は3月と4月に公聴会を開き、秋までに予算を通過させることを目指す。

エネルギーイノベーションのための資金を增強し、連邦のエネルギーRD&Dポートフォリオにおける明白なずれに対処する上で、議員が2022年度予算を即座に進展させることが重要である。我々からの推奨（表7-1）はすぐに実行できるように考案されているため、追加の法律は必要ない。下院および上院歳出委員会が2022年度の資金提供レベルの検討を始める際、既存の歳出枠内で表7-1に提案された資金レベルを容易に評価できる。

並行して、議会はイノベーションのずれ、およびそのずれに対処するために新たな授權法が必要かどうかを完全評価すべきである。上院エネルギー・天然資源委員会と下院科学・宇宙・技術委員会はすでにこのプロ

セスを開始しており、多くの超党派法案をそれぞれの議会で本格的に検討し、承認している。² 2020年2月、ムルコウスキー（R-AK）上院議員とマンチン（D-WV）上院議員は、本巻の長期的な推奨事項の一部を組み込んだ超党派のアメリカエネルギーイノベーション法（American Energy Innovation Act）を発出した。³

我々の推奨事項は直ちに実行可能なように考案されている—議員は、既存の予算枠の中で、我々が提案した資金レベルをすぐに評価することが可能である。

表7-1はクリーンエネルギーRD&D資金を2022年度に2020年度レベルからだいたい30%増加となる117億ドルまで増加する提案を詳細に並べたものである。10の技術の柱について第5章で推奨される特定の構想を網羅している。この提案は次の政権による議会への最初の予算請求の指針となり得る。（各予算項目の推奨事項の実行方法および資金項目と技術の柱の対応付けに関する追加の詳細を付録Bに記載。）

この提案はDOEへの資金増加に焦点を当てている。エネルギーイノベーションへの資金提供に一番精通している議員は、DOE予算を管理する、下院および上院のエネルギーおよび水の歳出小委員会の議員である。次の政権と議会の最初の予算を提案して通過させるための日程が過密なため、DOEポートフォリオの重要なずれに対処することによって提供資金の増額を開始することが最も現実的である。その後数年は、議員はエネルギーイノベーションに共同投資する他の連邦機関の全能力を動員することにまず焦点を合わせる必要がある。

議会は連邦政府のRD&D資金提供において現在過小評価されている技術の柱に焦点を置くべきである。したがってこの提案は、資金不足の柱への投資に最適で、DOE事務局への資金提供額の最大の増加を目標としている。これらの事務局は二酸化炭素の回収・活用・貯留・除去、車両技術、建築および効率化技術、先進製造、先進原子力、電力貯蔵および現代の送電網システムに携わっている。その結果、現在資金不足の技術の柱はその予算において最大の比率増加が見られる（図7-1）。

表7-1：政府機関・事務局別の2022年度連邦エネルギーイノベーション予算案（単位100万ドル）

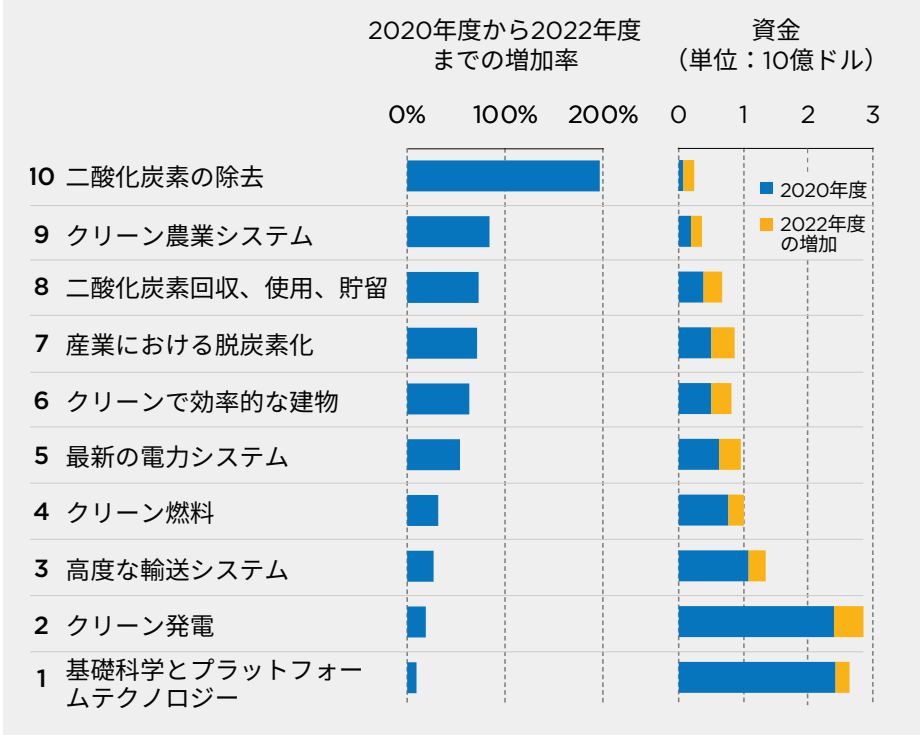
資金調達機関	資金調達事務局/組織	2020年度推定	2022年度提案	変動率
エネルギー省	エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE)	2,228	2,682	20%
	車両技術局 (EERE/VTO)	396	488	
	バイオエネルギー技術局 (EERE/BETO)	260	320	
	水素・燃料電池技術局 (EERE/HFTO)	150	185	
	太陽エネルギー (EERE/SETO)	280	303	
	風力エネルギー (EERE/WETO)	104	113	
	水力 (EERE/WPTO)	148	160	
	地熱技術局 (EERE/GTO)	110	170	
	先進製造室 (EERE/AMO)	350	432	
	建築技術局 (EERE/BTO)	230	301	
	炭素管理局 (CM) *	472	812	72%
	二酸化炭素回収（電力および産業）	115	300	
	二酸化炭素利用	21	25	
	二酸化炭素貯留	79	120	
	先進エネルギーシステム/総合分野	123	150	
	ネガティブエミッション技術（新設室）	--	75	
	メタン漏れ検出および削減	18	22	
	原子力エネルギー局 (NE)	1,493	2,028	36%
	汎用試験炉	65	450	
	原子炉概念のRD&D	102	163	
	燃料サイクルのRD&D	305	255	
	先進原子炉の研究、開発、および実証	330	520	
	電力局 (OE)	190	520	174%
	科学局 (SC)	2,151	2,572	20%
	先進科学コンピューティング研究 (SC/ASCR)	173	200	

(前ページからの続き)

資金調達機関	資金調達事務局/組織	2020年度推定	2022年度提案	変動率
エネルギー省	生物学・環境研究 (SC/BER)	451	523	
	基礎エネルギー科学 (SC/BES)	661	766	
	核融合エネルギー科学 (SC/FES)	671	740	
	エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)	425	516	21%
	DOE小計	6,959	9,130	31%
農務省	農業先端研究開発局 (AGARDA)		50	
	農業研究サービス (ARS)	99	158	
	NIFA農業・食品研究イニシアチブ (NIFA/AFRI)	106	169	
	USDA小計	205	377	83%
国防総省	米国陸軍研究所 (ARL)	155	202	
	米国海軍調査研究所 (NRL)	97	127	
	米国空軍	254	332	
	その他 (国防全体、DARPA、ESTCP)	298	391	
	DOD小計	804	1,053	31%
NASA		339	394	16%
国立科学財団	生物科学 (BIO)	54	75	
	コンピュータ情報科学工学局 (CISE)	24	34	
	工学局 (ENG)	156	219	
	数理・物理学局 (MPS)	162	227	
	その他のNSF	21	29	
	NSF小計	804	1,053	31%
その他 (NIST、NOAA、USGS、FHWA、EPA-ORD)		169	221	31%
合計	該当なし	8,894	11,758	32%

*これは現在の化石エネルギー局の新名称の案である
DOE以外のプログラムの2020年度資金調達レベルは、クリーンエネルギー / クリーン農業に使われる資金の一部見積もりである。機関と事務局の合計にはプログラム指令とRD&D施設（表には示さず）の推定値が含まれており、RD&Dプログラムの合計よりも大きい場合がある。

図7-1：技術の柱別に提案された2022年度の連邦エネルギーイノベーション予算（2020年度のデータとの比較）



DOE以外にも、議会がエネルギーRD&D資金をすぐに増やす機会がある。例えば、DODには既に豊富なエネルギーイノベーションの資金ポートフォリオがあり、議会は軍が10の技術の柱のうち軍の目標を満たす将来性のあるプロジェクトに資金提供できるようにするため、その予算を2022年度に約50%増加させるべきである。同様に、議会はNASA、国立科学財団、米国農務省への資金提供を増加させるべきである。エネルギーイノベーションへの資金提供を徐々に増やすことは当該組織の研究予算と比べると些細なものだが、エネルギーイノベーションにおける活動を大きく拡大し、連邦政府のポートフォリオを多様化させ始めるであろう。

批判的に見ると、議員は野心的な2022年の予算を成立させて、連邦エネルギーRD&Dへの支出を後の数年で増加させる取り組みを後退させるべ

きではない。年間の資金提供額の変動は、国家イノベーションミッションの長期的な事業に非常に大きな損害を与えている。したがって、議員は長期的安定をもたらすイノベーションポートフォリオを政治の不確実さから切り離す別の資金提供モデルで年次歳出プロセスを補完すべきである。

例えば、議会はクリーンエネルギーRD&Dプログラムが年次歳出の決定に依存することを減らすべく、特定の収益源を当該プログラムへの資金提供に割り当てることができる。そのような収益源は連邦政府の所有地における油田やガス田の掘削の利権料など、既に存在している。(この手法は、石油およびガス会社からの連邦リースの利権料を使用して石油とガスの非在来型資源のRD&Dに資金を提供するために、2005年のエネルギー政策法 (Energy Policy Act) で議会によって使用された。) 送電料金などの他の収益源を議員が作ることもできる。(消費者が電気に支払う平均価格の1%未満の料金が、250億ドルのエネルギーイノベーション予算目標全体を賄う)。

長期の資金提供の予測性を提供する他の実証された収益がある。一つは、議会が複数年の資金レベルを設定する事前歳出予算を提供することである。1980年代と1990年代のDOEクリーンコール技術プログラムに資金提供するのに使用された方法である。別の方法は、議会がエネルギーRD&Dに資金を提供する連邦機関に、「バイパス予算」とも呼ばれる専門家が判断する予算を提出することを承認することである。例えば、NIHはホワイトハウスの予算プロセスをバイパスし、その任務を遂行するために必要な資金に関する機関の科学的判断をより適切に反映して、アルツハイマー病の研究のための年間予算を議会に直接提出している。

最後に、議会はエネルギーRD&Dの歳出において、費用を取っておいたり、過度に規定したりすることを控えるべきである。代わりに議会は、ARPA-Eで開拓したモデルに従うべきである。これにより、政府機関の科学者や専門家は、連邦政府の研究ポートフォリオを最適化して、10の技術の柱を最大限に推進することができる。

3. 米国は国際的なエネルギーイノベーションにおけるリーダーシップを再び発揮するべきである

国家エネルギーイノベーションミッションは、地球規模の問題、つまり気候変動を解決し、米国の産業を世界市場に最善の貢献ができるよ

う位置付けることを目指している。両方の目的を達成するには、国際的なパートナーシップが不可欠である。国内でのエネルギーRD&D資金の急増と並行して、米国はエネルギーイノベーションに関する国際協力を活性化するために、直ちに海外でのリーダーシップを発揮する必要がある。

2015年のパリ気候サミットで、米国はミッションイノベーション協定の先頭に立ち、世界最大の経済国がエネルギーRD&Dへの提供資金を2倍にすることを誓った。米国はまた、米国の企業や研究者が外国の企業や研究者と協力し、共同開発した技術の市場機会を見つけることを約束する二国間研究協力を培ってきた。

しかし近年、米国がこれらの取り組みにおける指導的役割から後退したため、世界的なエネルギーイノベーションのためのグローバルな協力関係は停滞している。米国政府はエネルギーRD&D資金を倍増するという米国の公約を公式に撤回し、ミッションイノベーションへの関与を縮小した。米国のリーダーシップがなければ、世界のエネルギーイノベーションへの資金提供は、5年前に各国が約束した半分の速さでしか成長しない。⁴

これを変えなければならない。米国は、イノベーションに投資し、米国の豊富な経験から学ぶことを熱望している国々との新たな二国間研究協力を開始すべきである。例えば、英国政府は米国のARPA-Eをモデルにした機関を立ち上げるために10億ドル以上を費やすことを提案している。⁵ 二国間研究協力のための国際的パートナーとなり得るのは、他にカナダ、インド、および欧州連合とその加盟国である。米国は、基礎研究や競争前の技術開発段階から世界中の市場での実証プロジェクトに至るまで、イノベーションパイプライン全体でパートナーと協力すべきである。

さらに米国は米国企業が世界市場に参入できるよう国際協力を主導すべきである。各国間を調整する手段の1つは、クリーンエネルギー技術の技術基準を統一し、米国企業が地域間で同じ基準の対象となる技術を輸出しやすくすることである。例えば、米国は調和のとれたスマートグリッド技術基準の開発を主導するためにNISTによる取り組みを強化すべきである。それにより、米国の国際競争力を高めることができる。NISTスマートグリッド諮問委員会は、最近電力網インフラストラクチャに資金を提供している国に優先的な技術基準を移転するという中国の動きを

受けて、新たな世界基準を展開する取り組みを加速するよう機関に要請した。⁶

さらに次の政権は、英国などの国々と並んで、米国を直ちにミッションイノベーションにおける指導的役割に復帰させるべきである。今が、良いタイミングであると考えることができる。2021年にミッションイノベーションは、米国が主導することを志願すべき優先技術分野または技術ミッションを推進するための、一連の主要な構想に着手することを目指している。2021年11月、2015年のパリサミット以来最も重要な国連気候変動サミット（第26回UNFCCC締約国会議（COP26））が英国で開催される。米国はパリ協定からの撤退を取り消す必要があるだけでなく、その指導者達はエネルギーイノベーションのための野心的な国内予算を通過させ、世界的なイノベーション推進を刺激する準備をした上でグラスゴーで開かれるCOP26に参加する必要がある。

エネルギーイノベーション資金を3倍にするという独自の目標を公に発表することで、米国は競争の首位に立つことができる。

エネルギーイノベーション資金を3倍にするという独自の目標を公に発表することで、米国は競争の首位に立つことができる。⁷ 大統領と議会が国家エネルギーイノベーションミッションを活発化させて具体的な進歩を遂げることができれば、他の国々も同様に投資への圧力を感じるであろう。確かにこれらの国々は、新たなクリーンエネルギー応用における市場シェアを獲得するために競い合うことになる。しかし、世界のエネルギーセクターが革新的になるにつれて、危機に瀕している経済的総価値はより速く上昇する。さらに、クリーンエネルギーの実証に資金を提供し、国内製造を支援し、米国の技術輸出を促進するための適切な連邦政策により、米国はこの競争で抜きんでることができる。半導体から医薬品まで、イノベーションに多額の投資を行う他の業界では、米国の世界クラスのイノベーションエコシステムにより、米国企業が国際的なサプライチェーンを定着させることができる。同様に、米国はコモディティ商品の生産（中国の経済モデルを支持するパラダイム）から最先端技術を商業化するイノベーション主導のモデルに移行することにより、

クリーンエネルギー産業で競争するための最善の態勢を整えることができる。

気候変動との戦いは、画期的なエネルギー技術を開発および展開するための、世界中の国々による協調的な取り組みの恩恵を受けるであろう。米国の国内イノベーションへの投資が他の国々に自国の投資増を促した場合、国家エネルギーイノベーションミッションは大幅な脱炭素化を進める上で最も効果的である。

あまりにも長い間、米国と世界のエネルギーRD&Dは資金不足であった。今こそ、気候変動との戦いを主導し未来の産業を構築する、国家エネルギーイノベーションミッションを実行する時である。そうすることで、今後数十年にわたって米国の国益を増進させるであろう。

付録A

提案された大統領政策指令

この大統領政策指令は、気候変動と戦い、米国の競争力を高めるための国家エネルギーイノベーションミッションを開始するものである。

序文

クリーンエネルギーイノベーションは米国の国益である。それは気候変動課題への対処の中核であり、成長するクリーンエネルギー技術の世界市場において米国にとって大きな機会を生む。

米国には、世界最高かつ最大のイノベーションシステムがある。我々の大学、国立研究所、企業、その他の機関は、イノベーションを躍進させる比類なき能力を持っている。

過去数十年間、連邦政府の投資は命を救う薬、インターネット、太陽電池など、世界を変える革新をもたらした。クリーンエネルギーイノベーションへの連邦政府の投資が大きな利益を生む可能性がある。

方針

この命令は、クリーンエネルギーイノベーションを国の中心的な優先事項として確立し、クリーンエネルギーイノベーションを促進するための政府全体のミッションを開始するものである。クリーンエネルギーイノベーションのための連邦資金を2026年度（2025年10月1日～2026年9月30日）までに年間250億ドルに増やすという目標を設定している。この命

令は、その目標を達成し、クリーンエネルギーをより広く促進するための連邦政府機関と事務局の役割と責任を定義している。

役割と責任

1. ここにエネルギーイノベーションに関するホワイトハウス作業部会を設立する。作業部会はOMB局長と大統領補佐が共同議長を務め、気候変動の主な責任を負う。
2. 作業部会のメンバーには、エネルギー長官、国務長官、国防長官、農務長官、運輸長官、商務長官、財務長官、内務長官、環境保護庁長官、NASA長官、国立科学財団理事長、科学技術政策局長、米国通商代表部、大統領経済諮問委員会委員長、環境諮問委員会委員長が含まれる。
3. エネルギー長官が作業部会の機関リーダーを務める。作業部会のメンバーにエネルギーイノベーションに関する戦略的指針を提供し、作業部会の仕事を支援するため米国エネルギー省に小さな事務局を設ける。エネルギー長官は2020年5月31日までに、作業部会で検討する国家エネルギーイノベーション戦略の原案を作る。
4. 作業部会はエネルギー長官によって起草された国家エネルギーイノベーション戦略を確認し、2020年7月31日までに大統領に最終戦略を提出する。
5. 作業部会の各連邦機関または事務局は、(i) 機関のミッションに沿ってクリーンエネルギーイノベーションに投資する計画を作成し、(ii) 毎年この命令の応当日またはその日までにクリーンエネルギーイノベーション推進の進捗状況を大統領に報告する。
6. 作業部会は少なくとも四半期に1回集まり、クリーンエネルギーイノベーションのための機関の協働を促進し、機関の予算を調整し、国家エネルギーイノベーションミッションを公式文書に組み込み、迅速な実施の障害物を取り除く支援をする。
7. この命令によりエネルギーイノベーションの連邦諮問委員会を設立する。メンバーは作業部会メンバーからの推薦に基づいて大統領によって任命される。諮問委員会は少なくとも年に2回作業部会と会合を開く。

レビュー

作業部会の各メンバーは、2024年の年次報告書とともに、この命令に基づいて確立された方法の評価と、今後の改善のための推奨事項を提出する。

アメリカ合衆国大統領

付録B

現在および提案されている 資金調達レベル

クリーンエネルギーRD&Dの現在の2020年度資金レベルの推定値

2020年度のクリーンエネルギーRD&Dに対する連邦政府の支援は、議会予算説明、機関の報告、歳出予算案、ミッションイノベーションに向けてホワイトハウスの行政管理予算局が作成した政府全体の評価など、さまざまな情報源を利用して推定される。¹

エネルギー省の推定値は、情報技術イノベーション財団（ITIF）のエネルギー予算データベースから作成されている。² エネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE）の資金には、表7-1に含まれる9つのエネルギー技術研究開発プログラムに加えて、NRELへの相応量のプログラム指示と提供資金が含まれる。AMOの技術支援プログラム、BTOの基準および規範プログラム、非研究開発プログラム（気候・政府間プログラム（WIP）事務局や連邦エネルギー管理プログラム（FEMP）など）は、クリーンエネルギーの研究開発合計額に含まれていない。FEの推定値はミッションイノベーション文書原本を使用して作成され、二酸化炭素の回収・利用・貯留（CCUS）、CCUS対応の高度な燃焼技術に資金提供する高度なエネルギーシステムと分野横断的プログラムの一部、メタン削減プログラム、国立エネルギー技術研究所（NETL）への相応量のプログラム指示と提供資金が含まれる。原子力（NE）、電力局（OE）、ARPA-Eはすべてクリーンエネルギーとして計上される。クリーンエネルギーに資金を提供する科学局プログラムの割当額が、SC資金のどの

部分がミッションイノベーションに割り当てられるかを追跡するDOEの2017年度の議会予算説明から特定され、2020年度まで一定であると想定された。

他の機関におけるクリーンエネルギーRD&Dへの投資は、追跡がさらに困難である。国防総省の推定はトップダウン方式とボトムアップ方式の両方を使用して行われた。DODは2019年度にエネルギーの研究、開発、試験、検証（RDT&E）に約16億ドルを投資したが、その投資の一部は軍専用技術に資金を提供するものであった。³ 2020年度の運用予算エネルギー認証レポートを使用し、専門家の判断を利用して、民間のクリーンエネルギー応用の可能性に基づいて約200のエネルギー関連RDT&Eプロジェクトを分類することにより、陸軍、海軍、空軍のクリーンエネルギーRDT&Eへの投資のボトムアップ推定値を求めた。⁴ 約8億ドル、つまり軍のエネルギー投資の約半分が、軽量太陽光発電、エネルギー密度の高いバッテリー、軍事基地用のマイクログリッド、低燃費車両技術、ワイドバンドギャップ半導体、燃料電池電気自動車、基礎材料科学のプロジェクトに費やされていると推定する。この推定は、RDT&Eへの総DOD投資の5%がクリーンエネルギー応用を支援していることが明らかとなった、米国のミッションイノベーションの誓約を通知するために2016年にOMBが実施した分析と一致する。

国立科学財団の資金レベルは、ミッションイノベーションに割り当てられた各局のNSF資金の一部を明らかにした2016年度と2017年度の予算文書を使用して推定された。米国農務省ではNIFA/AFRI予算の25%がバイオエネルギーとクリーン農業の資金提供に充てられていると想定している。これはOMBによる2016年度のミッションイノベーション資金の推定と一致する。さらに、農業研究サービス（ARS）での食料と動物の生産および農作物生産への資金の25%は、クリーンな農業活動に充てられていると見積もっている。米国海洋大気庁（NOAA）、NIST、USGS、DOT、EPAなどの他の機関におけるクリーンエネルギーの研究開発への資金は、ミッションイノベーションの文書と一致する1億7,000万ドルと見積もられる。

公表時点で議会は2021年度の予算をまだ承認していなかった。しかし、トップラインの支出は議会とホワイトハウスの間で締結された非防衛裁量支出の合計を1%の増加に制限する合意に縛られており、議会のリー

ダー達はこの合意を見直すつもりはないと述べている。⁵ 最初の概算として、この増加は各機関に均等に分散され、DOEプログラムは2021年度にそれぞれ1%増加すると想定した。

今後の資金レベルの提案

表7-1に要約する連邦政府機関とその構成事務局に提案された2022年度の資金レベルは、10の技術の柱を前進させるための最優先事項を判断するために、複数の情報を用いて導き出された。今後の資金提供について推奨するために使用される情報には次のものがある：

- 表A-1で技術の柱ごとに要約されている推奨構想一覧の推定費用
- 重要な脱炭素化のニーズを対象とする選択された法案からの資金レベル
- その他の提案（エネルギー未来イニシアチブによって提案され、米国科学アカデミーの計画に基づく二酸化炭素除去資金の計画など）。

表A-1：技術の柱に関する最近の構想と将来の推奨事項

技術の柱	最近の構想と技術目標	推奨事項
1. 基礎科学とプラットフォーム技術	5つの「変革の機会」を中心に組織された46のアクティブなEFRC 2020年度の新しいDOE人工知能技術局 - 国外：ミッションイノベーションのクリーンエネルギー材料の課題	- 技術の柱を中心に組織された45の新しいEFRC - 技術の柱に採用される機械学習 - 米国はMIのクリーンな素材の課題を主導すべきである
2. クリーン発電	- Sunshotイニシアチブ2030の目標：ユーティリティ太陽光発電で0.03ドル/kWh - WindVision 2030の目標：陸上は0.023ドル/kWh、洋上は0.051ドル/kWh - GeoVision 2050の目標、EGSは0.06ドル/kWh - 水力発電のビジョンとブルーエコノミー計画における電力供給 - 原子力：VTR（設計段階）、2020年度の先進原子炉実証プログラム	- 技術の柱を中心に組織された45の新しいEFRC - 洋上風力発電の実証、より積極的なコスト目標（2025年までに0.051ドル/kWh） - FORGEのEGSパイロット井戸、より積極的なコスト目標（2030年までに0.06ドル/kWh） 2026年までにVTRを完了する。2030年までに2つの先進原子炉を実証する。マイクロリアクターを開発するためのDOE/DOD連携
3. 高度な輸送	- 電気自動車のバッテリーの目標：2028年までに100ドル/kWh、300マイルの範囲、充電時間15分 - 大型トラックの効率を2倍にするSuperTruck IIプログラム - 燃料電池自動車の目標：2030年までにガソリン車およびトラックとのコスト競争力	- バッテリーおよび燃料電池EVの加速目標 - EVの急速充電を実証する 2025年までに貨物輸送を2倍にするSuperTruck III - 航空および輸送におけるDOE/DOTプログラム
4. クリーン燃料	- システム全体の水素コスト目標（生産 + 貯蔵 + 配送）：4ドル/kg - アンモニアとジメチルエーテルに関するARPA-EのREFUELプログラム - 合成太陽光燃料を作成するための人工光合成合同センター - 空気中と海で回収したCO₂から燃料を開発するDODプログラム	- アンモニア、合成燃料を加えてクリーン燃料生産プログラムを拡大 - JCAPをモデルにした電気燃料のイノベーションハブ - 航空機/船舶用ドロップイン燃料のバイオ燃料プログラム - 応用プログラムにおける太陽燃料プログラム
5. 最新の電力システム	- DOEエネルギー貯蔵ランドチャレンジイニシアチブ - DOE送電網近代化イニシアチブグリッドストレージローンチパッド（設計段階）	- DOD/DOE合同エネルギー貯蔵実証 - リチウム電池リサイクル研究プログラム - 拡張グリッドストレージプログラム（長期蓄電を含む） - スマート配電およびHVDC送電プログラムを拡大する

(前ページからの続き)

技術の柱	最近の構想と技術目標	推奨事項
6. クリーンで効率的な建物	- 建物全体の目標：2030年までに米国の全建物で1平方フィートあたりのエネルギー使用量を30%削減 - 照明、水加熱、HVAC、建物のおおいと窓、電化製品、制御装置の効率目標	- 建物および電化製品の効率目標加速 - 低GWPのFガス代替物におけるDOE/EPAプログラムの拡大
7. 産業における脱炭素化	- 製造のエネルギー効率を改善するためのDOE-AMOおよびNIST-MEPプログラム 16の産業セクターのDOEエネルギー帯域幅研究 - DOE-AMO産業脱炭素化計画(進行中) - QTRで特定された14の「優先度の高い」製造技術のうち5つにあるクリーンエネルギー製造イノベーション (CEMI) 機関	- AMOの義務を効率以外にも拡大し、二酸化炭素の回収、電化、クリーン燃料を含める - AMOを国務次官補レベルに昇格させる - QTRで特定された優先度の高い他分野に追加のCEMI機関を設立する
8. 二酸化炭素の回収、利用、貯留	- 肥料、エタノール、石炭火力発電所における二酸化炭素回収の実証 - 国立二酸化炭素回収センターの石炭とガス試験機能 - レイクチャールズメタノール施設のLPO融資保証 - 回収費用の目標：30ドル/tCO₂ - 貯留目標：2026年までに50Mtの貯留容量 - 二酸化炭素利用に関する全米アカデミーズの計画	3か所以上の天然ガス発電所と2か所以上の石炭火力発電所で燃焼後の回収を実証する - 産業施設（鉄鋼やセメントなど）向けの新しい回収RD & Dプログラム 2026年までに容量100Mtへの2倍の貯留目標 - 二酸化炭素利用プログラムの拡大
9. クリーン農業	- 農業先端研究開発局 (AGARDA) は2018年の農業法案で承認されたが現在は資金が提供されていない - ARPA-E ROOTSプログラム - クリーンな農業慣行を促進するための国際的な「フォーパーミル (4/1000)」構想	- AGARDAへの資金提供を完了させる - 全米アカデミーズの推奨に基づく土壌炭素農業の新しいプログラム - 米国から世界がフォーパーミル (4/1000) イニシアチブに参加
10. 二酸化炭素の除去	- 燃料への直接空気回収における新しい (2020年度) DOEおよびDODプログラム - 炭素無機化におけるUSGS資源評価 - 全米アカデミーズとEFIの二酸化炭素除去計画	- 全米アカデミーズの計画を実行する省庁間二酸化炭素除去プログラム - DOE-FEの新しいプログラム局 - BESおよびARPA-Eの新しい二酸化炭素除去プログラム - DOE、NSF、USGSの既存のプログラムにおいて二酸化炭素除去研究を拡大

以下の項では、連邦政府機関全体で選択された資金計画案についてさらに説明する。

エネルギー省

DOE原子力エネルギー局

DOE原子力エネルギー局に提案された資金レベルは、超党派下院の第6097法案である原子力エネルギー研究開発法（Nuclear Energy R&D Act: NERDA）によるものである。これは先進的な次世代の原子炉技術に関するDOEの現行の原子力エネルギープログラムに再び焦点を当てるために、第116回議会に提出された法案である。⁶ 上院のコンパニオン法案である第903法案の原子力エネルギーリーダーシップ法（Nuclear Energy Leadership Act: NERDA）はNERDAと類似した規定があるが、推奨される資金レベルはない。NELAは発声投票により反対票はたった1票で上院エネルギー・天然資源委員会を通過した。

- 多目的試験炉（VTR）：NERDAは、利用者施設として機能し、民間企業が先進原子炉の新しい材料と燃料設計を試験できるようにする高速スペクトルVTRを建設するための新しい資金提供を承認する。議会は2019年度と2020年度にVTRコンセプトの設計および開発に（原子炉概念プログラムの予算から）6,500万ドルを割り当てた。プロジェクトが設計段階から建設に移行すると、VTRは独自の予算項目に移行する。2022年度の建設費は4億5,000万ドルと見積もられる。⁷
- 先進原子炉の実証：また、NERDAは2025年までに2つの先進原子炉概念を実証することを目標として、初年度に5億2,000万ドル、2023～2026年度に6億7,000万ドルの資金を提供する先進原子炉実証プログラムを承認する。
- 原子炉概念、燃料サイクルの研究開発、および原子力科学および工学支援：NERDAはこれらのプログラムを近代化し、更新する。2022年度の推奨資金はそれぞれ1億6,300万ドル、2億5,500万ドル、4,000万ドルである。

ARPA-E

全米アカデミーズは、2007年の*Rising Over the Gathering Storm*レポートでARPA-Eに年間10億ドルの資金を提供することを推奨したが、資金がそ

のレベルに達したことはない。ARPA-Eは、2020年度に史上最高レベルの4億2,500万ドルで資金提供を受けた。超党派、二院のARPA-E再承認法（上院第2714法案、下院第4091法案）は2020年度のレベルから2024年度の7億5,000万ドルへの直線的増加を承認している。⁸ ARPA-Eが新しい特許を生み、革新的な技術企業を立ち上げた確かな実績を考慮し、2026年度には10億ドルに拡大することを推奨する。

DOE EERE再生可能エネルギー

下院科学委員会と上院エネルギー委員会は、どちらも再生可能エネルギー技術（太陽光、風力、水力、地熱技術）に関する法律を導入している。しかし、太陽光、風力、水力の法案は、既存のDOEプログラムを更新する分かりやすい再承認法案であり、前年比でわずかに増加しているのみである。⁹ これらのプログラムを急速に増やすことを推奨する。例外は地熱で、上院はイノベーションの課題とRD&Dの資金調達ニーズをより徹底的に評価し、そこから資金調達の推奨事項を導き出した法律ができた。

- 風力エネルギー：2026年度に1億5,600万ドルに拡大（2020年度より50%増加）。
- 水力：2026年度に2億2,200万ドルに拡大（2020年度より50%増加）、増加のほとんどは、従来の水力発電よりも成熟度の低い海洋および流体動力学（MHK）技術と高度な揚水発電に充てられる。
- 地熱：上院第2657法案の先進地熱イノベーションリーダーシップ（Advanced Geothermal Innovation Leadership: AGILE）法の2022年度の資金レベルにより、2026年度に2億2,000万ドルに拡大（2020年度から100%増加）。¹⁰

DOE EERE高度な輸送とクリーン燃料

下院科学委員会と上院エネルギー委員会は、どちらも高度な輸送とクリーン燃料に関する既存のDOEプログラムを再承認する法律を導入している。これらは、前年比でわずかに増加している。エネルギーイノベーション予算においてこれらのプログラムがこれまで過小評価されてきたことと、燃料と輸送の脱炭素化の課題を考慮し、これらのプログラムを急速に増加させることを推奨する。

- ・ 車両技術：2026年度に9億9,900万ドルに拡大（2020年度より150%増加）。
- ・ バイオエネルギー技術：2026年度に6億5,000万ドルに拡大（2020年度より150%増加）。
- ・ 水素および燃料電池技術：2026年度に3億7,500万ドルに拡大（2020年度より150%増加）。

DOE EEREエネルギー効率

- ・ 建築技術：2026年度に6億9,000万ドルに拡大（2020年度より200%増加）。
- ・ 先進製造：2026年度に8億7,500万ドルに拡大（2020年度より150%増加）。

DOE電力局

- ・ 送電網の近代化：下院の第5428法案である送電網近代化法（Grid Modernization Act）から採用された資金レベルにより、2026年度に2億7,500万ドルに拡大（2020年度から120%増加）。¹¹
- ・ エネルギー貯蔵の研究開発：2022～2026年度は2億8,000万ドルの一定の資金提供（2020年度から400%増加）。上院第1602法案の優れたエネルギー技術（Better Energy Storage Technologies: BEST）法から採用した資金レベル。¹²

DOE炭素管理局

化石エネルギー局（FE）がCCUSを含む炭素管理技術、炭素回収統合を促進する先進燃焼技術、メタン削減、ネガティブエミッション技術に焦点を当てることを推奨する。推奨される資金調達レベルは、下院第3607法案の化石エネルギー研究開発法（Fossil Energy R&D Act: FERDA）から得られた。¹³

- ・ 二酸化炭素回収：2022年度に3億ドル（FERDAより）、2026年度に3億5,000万ドルに拡大（2020年度に比べて200%増加）。
- ・ 二酸化炭素貯留：2022年度に1億2,000万ドル（FERDAより）、2026年度に1億6,000万ドルに拡大（2020年度に比べて100%増加）。
- ・ 二酸化炭素利用：2022年度に2,500万ドル（FERDAより）、2026年度に4,500万ドルに拡大（2020年度に比べて100%増加）。

- 先進エネルギーシステム：2022年度に1億5,000万ドル（FERDAより）、2026年度に1億9,000万ドルに拡大（2020年度に比べて50%増加）。
- ネガティブエミッション技術（新設室）：2022年度に7,500万ドル（FERDAより）。将来の資金レベルはEFIレポート「*Clearing the Air*」から採用された。これは新しい事務局であるが、DOEが既にこれらの技術の研究を行っているため、新しい認可法を必要としない可能性がある。¹⁴ 2020年度の予算サイクルでは、議会の予算編成者が先進原子炉の実証のための新しい「予算管理ポイント」を確立した。これは、基本的にはNEの新しいプログラムを確立することである。¹⁵ 議会が2022年度のネガティブエミッション技術についても同様に行うことを推奨する。

エネルギー省－科学局

2016年度に、DOE-SCは先端コンピュータ科学（ASCR）、基礎エネルギー科学（BES）、生物・環境研究（BER）、核融合科学（FES）の4つの施設でのクリーンエネルギー研究に約16億ドルを投資した。表A-2の2020年度の推定値に達するため、クリーンエネルギー研究に取り組むこれらの施設の資金の一部は一定のままであったと想定している。クリーンエネルギー研究への投資を2026年度までに倍増し、他の9つの技術の柱における科学的課題に取り組むエネルギーイノベーションハブとエネルギーフロンティア研究センターに多くの資金を割り当てることを推奨する。

国防総省

軍のエネルギー投資の約半分、2020年度は約8億ドルが、民間のクリーンエネルギー技術に応用できる可能性があると推定する。これらの分野の資金を増やすことで軍の能力を強化できると同時に、民間応用がDOD独自の技術イノベーターとしての能力の恩恵を受けられる。我々の使命は、クリーンエネルギーRDT&Eへの資金を2026年度に24億ドルに増やすことである（2020年度に比べて200%増加）。

農務省

クリーン農業におけるUSDAの総資金を2026年度に10億ドルに増やし、それに比例して農業食品研究所（AFRI）とARSのクリーン農業資金を拡

大することを推奨する。2018年の農業法（Farm Act）に基づきパイロットプログラムとして設立された農業先端研究開発局は、USDA版ARPA-EまたはDARPAになると想定されていたが、資金提供を受けたことはない。¹⁶ 2022～2023年度に5,000万ドルの資金調達を完了し、その後はAGARDAを永続させることを検討することを推奨する。

国立科学財団

2016年度、NSFは生物科学（BIO）、コンピュータ・情報科学および工学（CISE）、工学（ENG）、数学および物理科学（MPS）の4つの理事会のクリーンエネルギー研究に約3億7,000万ドルを投資した。表A-2の2020年度資金の推定値に達するため、クリーンエネルギー研究に取り組むこれらの理事局の資金の一部は一定のままであったと想定している。表A-2ではNSFにおけるクリーンエネルギー研究へのトップライン投資を2026年度に15億ドルに増額している。

他機関

NIST、NOAA、USGS、DOT、EPAなどの他の機関におけるクリーンエネルギー研究開発への資金は、ミッションイノベーションの文書と一致する1億7,000万ドルと見積もられる。表A-2では、これらの機関でのクリーンエネルギー研究開発への投資を拡大し、2026年度に3倍の5億ドルとしている。

表A-2は2026年度までの提案資金レベルをまとめたものである。そのレベルは指針であるが、政策立案者がクリーンエネルギーRD&Dへの資金提供方法の変更を確認することも推奨する。これには、例えば実証プロジェクトに資金を提供するための新組織の設立が考えられる。

表A-2：2022年度から2026年度の連邦クリーンエネルギーRD&D資金レベルの提案

全数値名目ドル（単位：十億ドル）		2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
米国連邦 機関	DOE科学局	1.909	1.928	2.214	2.596	3.073	3.551	3.818
	DOE ARPA-E	0.425	0.429	0.516	0.631	0.774	0.918	1
	DOE応用エネルギー	4.153	4.217	5.521	6.274	7.174	8.019	8.449
	EERE	2.228	2.251	2.682	3.198	3.841	4.485	4.832
	EERE-VTO	0.396	0.400	0.488	0.606	0.754	0.901	0.990
	EERE-BETO	0.260	0.262	0.320	0.397	0.494	0.591	0.649
	EERE-HFTO	0.150	0.152	0.185	0.230	0.286	0.341	0.375
	EERE-SETO	0.280	0.283	0.303	0.331	0.365	0.399	0.420
	EERE-WTO	0.104	0.105	0.113	0.123	0.136	0.148	0.156
	EERE-WPTO	0.148	0.149	0.160	0.175	0.193	0.211	0.222
	EERE-GTO	0.110	0.111	0.170	0.192	0.219	0.246	0.220
	EERE-AMO	0.350	0.354	0.432	0.536	0.666	0.797	0.875
	EERE-BTO	0.230	0.232	0.301	0.392	0.507	0.621	0.690
	EERE-その他	0.201	0.203	0.209	0.215	0.222	0.228	0.235
	CM*	0.472	0.498	0.811	0.884	0.974	1.048	1.095
	CM-CC	0.115	0.116	0.300	0.311	0.323	0.335	0.348
	CM-CS	0.079	0.080	0.120	0.129	0.138	0.149	0.160
	CM-CU	0.021	0.021	0.025	0.029	0.033	0.037	0.042
	CM-先進エネルギー	0.123	0.124	0.150	0.158	0.167	0.176	0.186
	CM-CDR		0.022	0	0.108	0.156	0.186	0.186
	CM-メタン削減	0.018	0.018	0.022	0.023	0.024	0.025	0.027
	CM-その他	0.116	0.117	0.120	0.126	0.132	0.139	0.146
	NE	1.263	1.276	1.508	1.664	1.821	1.940	1.967
	NE-先進原子炉 RD&D	0.330	0.333	0.520	0.670	0.670	0.670	0.670
	NE-VTR	0.065	0.066	0.450	0.565	0.680	0.755	0.735
	NE-原子炉概念	0.102	0.103	0.163	0.168	0.174	0.179	0.186
	NE-燃料サイクル 研究開発	0.305	0.308	0.255	0.268	0.281	0.295	0.310

(前ページからの続き)

全数値名目ドル (単位：十億ドル)		2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
米国連邦 機関	NE-NEET	0.113	0.115	0.040	0.044	0.049	0.054	0.060
	NE-その他	0.577	0.583	0.601	0.619	0.637	0.656	0.676
	OE	0.190	0.192	0.520	0.529	0.537	0.546	0.555
	OE-貯蔵	0.056	0.057	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
	OE-送電網近代化	0.127	0.128	0.240	0.249	0.257	0.266	0.275
	NASA	0.339	0.343	0.394	0.461	0.546	0.631	0.678
	国際協力	0.242	0.244	0.358	0.510	0.699	0.889	1
	USDA	0.205	0.208	0.377	0.536	0.735	0.933	1
	NSF	0.417	0.421	0.584	0.800	1.071	1.342	1.5
	DOD	0.804	0.812	1.053	1.374	1.776	2.178	2.411
	実証プロジェクト	0.230	0.232	0.520	0.8	1.5	2.5	5
	その他 (NISTなど)	0.169	0.171	0.221	0.289	0.373	0.458	0.507
	合計	8.89	9.00	11.75	14.27	17.72	21.42	25.36

*これは現在の化石エネルギー局の新名称の案である
DOE以外のプログラムの2020年度資金調達レベルは、クリーンエネルギー / クリーン農業に使われる資金の一部見積みである。機関・事務局の合計には、プログラム指令とRD&D施設（表には示されていない）の見積みもりが含まれており、RD&Dプログラムの合計よりも大きい場合がある。

連邦プログラムの資金を技術の柱別の資金に変換する

エネルギーシステムの複雑さから、一つのプログラム事務局が複数の柱の研究に資金を提供することが多い。例えば太陽エネルギー技術局 (SETO) は、クリーン発電の柱に割り当てられている太陽光発電と集光型太陽光発電技術の研究や、送電網近代化の柱に割り当てられる送電網統合に資金を提供している。以下に技術の柱に機関の資金を割り当てる方法を要約する。

DOE EERE – 高度な輸送

車両技術局 (VTO)

資金の大部分は「高度な輸送」の柱に投入され、資金の10%は電気自動車と送電網の統合に割り当てられ（「送電網近代化」の柱）、資金の5%はEV充電器の建物統合に割り当てられる（「建物」の柱）。

バイオエネルギー技術局 (BETO)

資金の大部分はクリーン燃料の生産に割り当てられおり、資金の15%は運輸セクターと産業セクターにおけるバイオエネルギー使用に分割され、資金の5%は二酸化炭素回収と貯留を伴うバイオエネルギーなどのバイオマスベースの炭素除去技術に割り当てられている。

水素・燃料電池技術局 (HFTO)

この事務局は、クリーン燃料の生産と最終用途セクターでの水素の使用に等分される。事務局は主に輸送システムにおける水素の使用に焦点を合わせてきた。資金の10%を産業セクターにおける水素の使用に充てることで、焦点を拡大することを推奨する。

DOE EERE – 再生可能エネルギー

太陽エネルギー技術局 (SETO)

資金の大部分はクリーン発電技術の開発を目指すものである。20%が送電網統合研究（「送電網近代化」の柱）への資金に、15%が分散型太陽光のソフトコストの削減を目的としている（「建物」の柱）と推定する。さらに、SETOの予算の10%を、科学局の初期段階の太陽光燃料研究を利用した太陽光燃料の新しいサブプログラムへの資金に充てることを推奨する。

風力エネルギー技術局 (WETO)

資金の大部分はクリーン発電に割り当てられ、資金の約10%は送電網の統合（「送電網近代化」の柱）に向けられ、推定5%は分散型風力と建物の統合に充てられている。

水力技術局 (WPTO)

資金の大部分はクリーン発電に割り当てられ、約10%が送電網近代化の研究開発に充てられている。

地熱技術局 (GTO)

資金の大部分はクリーン発電に割り当てられ、約20%が建物の直接地熱暖房と工業プロセスで分割されている。

DOE EERE – エネルギー効率

先端製造室 (AMO)

すべての資金がクリーン産業の柱に割り当てられる。

建築技術局 (BTO)

すべての資金がクリーンな建物の柱に割り当てられる。

DOE炭素管理

二酸化炭素の回収、利用、貯留

これらのサブプログラムからの資金の大部分は「CCUS」の柱に割り当てられる。一部の資金（二酸化炭素回収の10%）は工業セクターにおける二酸化炭素回収の応用を模索し、別の一部の資金（二酸化炭素利用の20%）はクリーン燃料の生産において回収されたCO₂を使用することを目的としている。

先進エネルギーシステム

このプログラムは二酸化炭素回収技術と簡単に統合できるように設計された先進燃焼システム（ガス化や固体酸化物形燃料電池など）の研究に資金を提供する。資金は「クリーンな電力」の柱と「CCUS」の柱に分けられる。

ネガティブエミッション技術

すべての資金が炭素除去の柱に割り当てられる。

DOE原子力エネルギー

汎用試験炉と燃料サイクルのRD&D

すべての資金がクリーンな電力の柱に割り当てられる。

原子炉概念のRD&D

脱塩、水素製造、工業プロセス用熱、CCUSなどの用途を含む「ハイブリッドエネルギーシステム」に資金の約3分の1を割り当てる、下院の原子力エネルギー研究開発法（Nuclear Energy R&D Act）の資金提供承認を採用している。したがって、プログラムの3分の1を「CCUS」、「クリーン燃料」、「クリーンな産業」の柱に均等に分割し、残りの3分の2を「クリーンな電力」の柱に割り当てる。

先進原子炉のRD&D

資金の大部分は「クリーン発電」に割り当てられ、高温熱などの非電気サービスを提供する多くの先進原子炉設計の能力により、燃料、建物、産業の柱の間で15%が当分される。

原子力科学および工学

資金は科学の柱とクリーンな電力に等分される。

DOE電力局

資金の大部分は送電網近代化の柱に割り当てられる。送電網が統合された建物での研究に10%の資金を充て、5%を電気自動車の統合（高度な輸送の柱）と産業のデマンドレスポンスの間で等分することを推奨する。

DOE科学局

先進科学コンピューティング研究（ASCR）

すべての資金が科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられる。

生物学・環境研究（BER）

2020年度には1億ドル（クリーン資金の22%）が4つのバイオエネルギー研究センター（クリーン燃料の柱）の支援に充てられた。残りは科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられる。この比率を維持することを推奨する。

基礎エネルギー科学（BES）

1,500万ドル（2%）を各柱の新エネルギーフロンティア研究センターの支援に充て、エネルギー貯蔵研究合同センター（2,400万ドル、送電網近代化の柱では3%）および太陽光燃料ハブ（1,500万ドル、クリーン燃料）を維持し、新しい電気燃料ハブ（1,500万ドル、クリーン燃料）を追加し、3つのエネルギー最終用途セクター（輸送、建物、産業）に新しいイノベーションハブを追加することを推奨する。残りの資金が科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられる。

核融合エネルギー科学（FES）

資金の約3分の1は国際熱核融合実験炉（ITER、クリーンな電力の柱）を支援し、残りは科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられる。

ARPA-E

資金は技術の柱の間で均等に分割される。

米国農務省

農業先端研究開発局 (AGARDA)

エネルギー未来イニシアチブは2,000万ドル（40%）の資金が土壌の二酸化炭素貯留と他の農業上の二酸化炭素除去研究を支援することを推奨している。残りはクリーンな農業の柱に割り当てる。

農業研究サービス (ARS)

すべての資金がクリーンな農業に割り当てられる。

農業食品研究所 (AFRI)

資金はクリーン農業と燃料用のバイオクロップ（クリーン燃料の柱）に等分される。

米国航空宇宙局 (NASA)

すべての資金が高度な輸送に割り当てられる。

国防総省 (DOD)

国防総省がその資金をどのように配分するべきかについては、我々から推奨することはない。代わりにこれらの数値は、2019年度と2020年度の運用予算エネルギー認証レポートの我々のレビューに基づき、DODが現在どのように資金を割り当てているかについての推定値を表す。国防権限法に組み込まれ、法律として成立した2019年のエンジニアリングリーダーシップを使用した軍隊のエネルギーの確保（Securing Energy for our Armed Forces Using Engineering Leadership: SEA FUEL）法には、分散されたクリーン燃料生産に向けて二酸化炭素の直接空気回収と海洋からの直接回収を支援するために、DOD RDT&Eの一部が必要である。¹⁷

国立科学財団（NSF）

コンピュータ・情報科学および工学（CISE）、数学および物理科学（MPS）

すべての資金が科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられる。

生物科学（BIO）

科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられた資金の大部分は、30%がクリーン燃料、炭素除去、クリーン農業の柱に均等に分配される。

工学局（ENG）

資金の大部分は科学/プラットフォーム技術の柱に割り当てられ、残りは他の技術の柱で分割される。エネルギーの最終用途セクター（運輸、建物、産業）の脱炭素化の課題と、連邦予算においてそれが過小評価されてきたことから、これらの柱における工学的課題に対してより多くの資金を提供することを推奨する。

米国国立標準技術研究所（NIST）

すべての資金がクリーン産業の柱に割り当てられる。

他機関

資金はすべての柱全体に均等に割り当てられる。

参考文献

第1章

1. A. Leiserowitz, E. Maibach, S. Rosenthal, J. Kotcher, P. Bergquist, A. Gustafson, M. Ballew, and M. Goldberg, “Politics & Global Warming, November 2019,” Yale University and George Mason University, New Haven, CT: Yale Program on Climate Change Communication, 2019, <https://www.climatechangecommunication.org/wp-content/uploads/2020/01/politics-global-warming-november-2019b.pdf>.
2. D.R.Reidmiller, C.W.Avery, D.R.Easterling, K.E.Kunkel, K.L.M.Lewis, T.K.Maycock, and B.C.Stewart (eds.), “Fourth National Climate Assessment, Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States,” US Global Change Research Program (USGCRP), Washington, DC, 2018, doi: 10.7930/NCA4.2018, https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_2018_FullReport.pdf.
3. エネルギー起源CO₂排出量には、化石燃料の燃焼、メタンパイプラインの漏洩、石油原料の産業利用など、エネルギーの生産、輸送、利用に伴う排出量が含まれる。
4. International Energy Agency (IEA), *Global CO₂ emissions in 2019*, (Paris, IAE, 2019), <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>.
5. International Energy Agency (IEA), *Tracking Clean Energy Progress*, (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/topics/tracking-clean-energy-progress>.
6. Varun Sivaram, John O. Dabiri, and David M. Hart, “The Need for Continued Innovation in Solar, Wind, and Energy Storage.” *Joule* 2, no. 9 (September 19, 2018): 1639–1642, [https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351\(18\)30336-2.pdf](https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351(18)30336-2.pdf).

7. International Energy Agency (IEA), *Clean Energy Innovation*, (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.
8. US DOE, *Energy CO₂ Emissions Impacts of Clean Energy Technology Innovation and Policy*, (Washington, DC: US Department of Energy, 2017), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Energy%20CO2%20Emissions%20Impacts%20of%20Clean%20Energy%20Technology%20Innovation%20and%20Policy.pdf>.
9. US DOE, *FY 2017 DOE Annual Performance Report / FY 2019 Annual Performance Plan*, (Washington, DC: US Department of Energy, 2018), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/11/f57/fy-2017-doe-annual-performance-report-fy-2019-annual-performance-plan.pdf>.
10. US DOE, *Energy CO₂ Emissions Impacts of Clean Energy Technology Innovation and Policy*, (Washington, DC: US Department of Energy, 2017), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Energy%20CO2%20Emissions%20Impacts%20of%20Clean%20Energy%20Technology%20Innovation%20and%20Policy.pdf>.
11. International Energy Agency (IEA) *World Energy Investment 2019*, (Paris: IEA, 2019), <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>.
12. Veronika Henze. “Late Surge in Offshore Wind Financings Helps 2019 Renewables Investment to Overtake 2018,” BloombergNEF, January 16, 2020, <https://about.bnef.com/blog/late-surge-in-offshore-wind-financings-helps-2019-renewables-investment-to-overtake-2018/>.
13. Alex Trembath, Jesse Jenkins, Ted Nordhaus, and Michael Shellenberger, “Where the Shale Gas Revolution Came From,” Breakthrough Institute, May 23, 2012, <https://thebreakthrough.org/issues/energy/where-the-shale-gas-revolution-came-from>.
14. Office of Fossil Fuel Energy, “DOE’s Early Investment in Shale Gas Technology Producing Results Today,” US Department of Energy, February 2, 2011, <https://www.energy.gov/fe/articles/does-early-investment-shale-gas-technology-producing-results>.
15. Jason Burwen and Jane Flegel, “Case Studies on the Government’s Role in Energy Technology Innovation,” American Energy Innovation Council (AEIC), March 7, 2013. <http://americanenergyinnovation.org/2013/03/case-study-unconventional-gas-production/>.
16. International Renewable Energy Agency (IRENA) and Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation, “A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation,” January 2019, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf. (邦訳: 『新たな世界 – エネルギー変容の地政学』、https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019_JP.pdf?la=en&hash=AE4E07D65C28E13ED0C95B210E7E5D5D4CA36FB3)

17. Monica Nagashima, “Japan’s Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications,” *Études de l’Ifri*, IFRI, October 2018, https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima_japan_hydrogen_2018_.pdf.
18. Simon Skillings and Nick Smailes, “The Clean Energy Transition and Industrial Strategy,” E3G, January 2017, <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep17897.pdf?refreqid=excelsior%3A1bdfd8c78058743ad27022035e1a18cb>.
19. Sichao Kan, “South Korea’s Hydrogen Strategy and Industrial Perspectives,” *Édition Énergie*, IFRI, March 25, 2018, https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/sichao_kan_hydrogen_korea_2020_1.pdf.
20. John Larsen, Whitney Herndon, Mikhail Grant, Peter Marsters, 「リーダーシップの獲得：Policies for the US to Advance for Direct Air Capture Technology,」 Rhodium Group, May 9, 2019, <https://rhg.com/research/capturing-leadership-policies-for-the-us-to-advance-direct-air-capture-technology>.
21. Institute of Clean Air Companies, “Innovations and Markets in Carbon Emissions Management,” October 2019, https://cdn.ymaws.com/www.icac.com/resource/resmgr/cem_report/192030_CEM_DRAFT_FINAL_4-52_.pdf.
22. Alex Townsend, Nabila Rajir, and Alex Zapantis, “The Value of Carbon Capture and Storage,” Global CCS Institute, May 13, 2020, <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/05/Thought-Leadership-The-Value-of-CCS-2.pdf>.
23. Global CCS Institute, “Global Status of CCS 2019,” https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/12/GCC_GLOBAL_STATUS_REPORT_2019.pdf.
24. Joel Jaeger, “Europe Charts a Course for Sustainable Recovery from COVID-19,” World Resources Institute, June 2, 2020, <https://www.wri.org/blog/2020/06/europe-charts-course-sustainable-recovery-covid-19>.
25. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (Germany), *The National Hydrogen Strategy*, Berlin, June 2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
26. International Energy Agency (IEA), *Sustainable Recovery* (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>.
27. Louise Sheiner and David Wessel, “Where is the US Government Getting All the Money it’s Spending in the Coronavirus Crisis?” *Brookings* (blog), March 25, 2020, <https://www.brookings.edu/blog/up-front/2020/03/25/where-is-the-u-s-government-getting-all-the-money-its-spending-in-the-coronavirus-crisis/>.

28. Cameron Hepburn, Brian O’Callaghan, Nicholas Stern, Joseph Stiglitz, and Dimitri Zenghelis, “Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change?” *Oxford Review of Economic Policy*, May 2020, <https://academic.oup.com/oxrep/advance-article/doi/10.1093/oxrep/graa015/5832003>.
29. Ryan Wiser and Dev Millstein, “Evaluating the Economic Return to Public Wind Energy Research and Development in the United States,” *Applied Energy* 261 (March 1, 2020), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114449>.
30. Jonathan Gruber and Simon Johnson, *Jump-starting America: How Breakthrough Science Can Revive Economic Growth and the American Dream*, (New York: PublicAffairs, 2019).
31. James Rydge, Anna Valero, Ralf Martin, Samuela Bassi, Sandra Bernick, Arlan Brucal, Maria Carvalho, James Hamilton, Tobias Kruse, Karlygash Kuralbayeva, Myra Mohnen, Misato Sato, Nicholas Stern, and Dimitri Zenghelis, *Sustainable growth in the UK: Seizing opportunities from technological change and the transition to a low-carbon economy* (London: London School of Economics, December 2018), https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2018/12/Sustainable-Growth-in-the-UK-Full-Report_78pp.pdf.
32. Sabrina T. Howell, “Financing Innovation: Evidence from R&D Grants,” *American Economic Review*, 107, no. 4 (April 2017): 1136–1164.
33. Stephen J. Ezell and Robert D. Atkinson, *The Case for a National Manufacturing Strategy* (Washington, DC: The Information Technology & Innovation Foundation, April 2011), <https://itif.org/files/2011-national-manufacturing-strategy.pdf>.
34. Paweł Capik and Magdalena Dej, eds., *Relocation of Economic Activity: Contemporary Theory and Practice in Local, Regional and Global Perspectives*, (Cham, Switzerland: Springer, 2019).
35. Gary P. Pisano and Willy C. Shih, “Restoring American Competitiveness,” *Harvard Business Review*, July–August 2009, <https://hbr.org/2009/07/restoring-american-competitiveness>.

第2章

1. IHS Markit, and Energy Futures Initiative, *Advancing the Landscape of Clean Energy Innovation*, February 2019, <https://www.b-t.energy/wp-content/uploads/2019/02/Report-Advancing-the-Landscape-of-Clean-Energy-Innovation-2019.pdf>.
2. Adam B. Jaffe, Richard G. Newell, and Robert N. Stavins. "A tale of two market failures: Technology and environmental policy." *Ecological Economics* 54, nos.2–3 (August 2005): 164–74.
3. BloombergNEF. "Clean Energy Investment Trends, 2019," January 16, 2020, <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BloombergNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2019.pdf>.
4. Jesse Jenkins and Sara Mansur, "Bridging the Clean Energy Valleys Of Death," Breakthrough Institute, November 2011, https://s3.us-east-2.amazonaws.com/uploads.thebreakthrough.org/legacy/blog/Valleys_of_Death.pdf.
5. Mark Boroush, "Research and Development: U.S. Trends and International Comparisons." NSF, n.d. Table 4-10. <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20203/u-s-business-r-d#key-characteristics-of-domestic-business-r-d-performance>; Pricewaterhouse Coopers, "The Global Innovation 1000 Study," strategy&, 2018, <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/innovation1000.html#GlobalKeyFindingsTabs4>.
6. Peter L. Singer, William B. Bonvillian, 「イノベーションの果樹園：Helping Tech Start-Ups Scale,」 ITIF, March 27, 2017, <https://itif.org/publications/2017/03/27/%E2%80%9Cinnovation-orchards%E2%80%9D-helping-tech-start-ups-scale>.
7. Benjamin E. Gaddy, Varun Sivaram, and Timothy B. Jones, "Venture Capital and Cleantech: The wrong model for energy innovation," *Energy Policy* 102 (March 2017): 385–95.
8. PricewaterhouseCoopers, "PwC/CB Insights MoneyTree Explorer," <https://www.pwc.com/us/en/industries/technology/moneytree/explorer.html#/>.
9. Varun Sivaram, *Digital Decarbonization: Promoting Digital Innovations to Advance Clean Energy Systems* (New York: Council on Foreign Relations, 2018).
10. Akshat Rathi, "Bill Gates-led \$1 Billion Fund Expands Its Portfolio of Startups Fighting Climate Change," Quartz, August 28, 2019, <https://qz.com/1693546/breakthrough-energy-ventures-expands-its-portfolio-to-19-startups/>.
11. Emma Charlton, "What's the Difference between Carbon Negative and Carbon Neutral?," World Economic Forum, March 12, 2020, <https://www.weforum.org/agenda/2020/03/what-s-the-difference-between-carbon-negative-and-carbon-neutral/>.

12. Dana Mattioli, “Amazon to Launch \$2 Billion Venture Capital Fund to Invest in Clean Energy,” *Wall Street Journal*, June 23, 2020, <https://www.wsj.com/articles/amazon-to-launch-2-billion-venture-capital-fund-to-invest-in-clean-energy-11592910001>.
13. International Energy Agency (IEA), *World Energy Investment 2020* (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.
14. C. Wilson, A. Grubler, N. Bento, S. Healey, S. De Stercke, and C. Zimm, “Granular Technologies to Accelerate Decarbonization,” *Science*, 368, no. 6486 (April 3, 2020): 36–39, <https://science.sciencemag.org/content/368/6486/36.summary>.
15. Leonard Kehnscherper and Akshat Rathi, “Swiss Carbon Capture Startup Raises \$76m in Funding Round,” Bloomberg.com, June 2, 2020, <https://www.bloomberg.com/amp/news/articles/2020-06-02/swiss-carbon-capture-startup-raises-76m-in-funding-round>.
16. International Energy Agency (IEA), *Clean Energy Innovation* (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.
17. American Energy Innovation Council, “Energy Innovation: Supporting the Full Energy Innovation Lifecycle,” February 2020, https://bipartisanpolicy.org/wp-content/uploads/2020/02/AEIC_Annual-Report_2020_R01.pdf.
18. David Popp and Richard Newell, “Where Does Energy R&D Come from? Examining Crowding out from Energy R&D,” *Energy Economics* 34, no. 4 (July 2012): 980–91.
19. Antoine Dechezleprêtre, Ralf Martin, and Myra Mohnen, “Knowledge Spillovers from Clean and Dirty Technologies,” Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, March 26, 2020, http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2013/10/Working-Paper-135-Dechezlepretre-et-al_updateOct2017.pdf.
20. Goksin Kavlak, James McNerney, and Jessika E. Trancik, “Evaluating the Causes of Cost Reduction in Photovoltaic Modules,” *Energy Policy*, 123 (December, 2018): 700–710.
21. Neil Odam and Frans P. De Vries “Innovation Modelling and Multi-factor Learning in Wind Energy Technology,” *Energy Economics* 85 (January 2020), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988319303895>.
22. Tooraj Jamasb, “Technical Change Theory and Learning Curves: Patterns of Progress in Electricity Generation Technologies,” *The Energy Journal* 28, no. 3 (2007): 51–71.
23. Patrik Söderholm and Ger Klaassen, “Wind Power in Europe: A Simultaneous Innovation–Diffusion Model,” *Environmental and Resource Economics* 36, no. 2 (July 13, 2006): 163–90.

24. Soheil Shayegh, Daniel L. Sanchez, and Ken Caldeira, “Evaluating Relative Benefits of Different Types of R&D for Clean Energy Technologies,” *Energy Policy* 107 (August 2017): 532–38.
25. Noah Kittner, Felix Lill, and Daniel M. Kammen, “Energy Storage Deployment and Innovation for the Clean Energy Transition,” *Nature Energy* 2, no. 9 (July 31, 2017), 17125, <https://www.nature.com/articles/nenergy2017125>.
26. Colin Cunliff and David M. Hart, “Global Energy Innovation Index: National Contributions to the Global Clean Energy Innovation System,” ITIF, August 2019, <http://www2.itif.org/2019-global-energy-innovation-index.pdf>. (注：中国の対エネルギーイノベーション資金には、中央政府のエネルギーRD&D資金と国有企業のエネルギーRD&D資金の両方が含まれている。)
27. Colin Cunliff, “Energy Innovation in the FY 2021 Budget: Congress Should Lead,” ITIF, March 30, 2020, <https://itif.org/publications/2020/03/30/energy-innovation-fy-2021-budget-congress-should-lead>; International Energy Agency, “Energy RD&D Statistics Service,” accessed March 17, 2020, <http://wds.iea.org/WDS/Common/Login/login.aspx>.
28. Mariana Mazucato and Carlota Perez, “Innovation as Growth Policy: The Challenge for Europe,” in *The Triple Challenge for Europe: Economic Development, Climate Change, and Governance*, eds. Jan Fagerberg, Staffan Laestadius, and Ben R. Martin (Oxford: Oxford University Press, 2015).
29. Ezell Stephen and David M. Hart, “Bad Blueprint: Why Trump Should Ignore the Heritage Plan to Gut Federal Investment,” ITIF, February 27, 2017, <https://itif.org/publications/2017/02/27/bad-blueprint-why-trump-should-ignore-heritage-plan-gut-federal-investment>.
30. Kelly Sims Gallagher, Arnulf Grübler, Laura Kuhl, Gregory Nemet, and Charlie Wilson, “The Energy Technology Innovation System,” *Annual Review of Environment and Resources* Vol. 37, 1 (November 2012): 137–162, <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-environ-060311-133915>.
31. Varun Sivaram, “The American Recovery & Reinvestment Act and the Rise of Utility-Scale Solar Photovoltaics: How U.S. Public Policy During the Great Recession Launched a Decade-Long Solar Boom,” American Energy Innovation Council and Bipartisan Policy Center, June 2020, <http://americanenergyinnovation.org/wp-content/uploads/2020/06/The-Successful-Demonstration-of-Utility-Scale-PV.pdf>.
32. Ernest J. Moniz, et al., “Leveraging the DOE Loan Programs,” Energy Futures Initiative, March 2018, <https://docs.house.gov/meetings/CN/CN00/20190430/109329/HHRG-116-CN00-Wstate-FosterD-20190430-SD003.pdf>.

33. David M. Hart, “Beyond the Technology Pork Barrel? An Assessment of the Obama Administration’s Energy Demonstration Projects,” *Energy Policy* 119 (2018):367–376.
34. Eric Redman, “A review of Federal efforts to demonstrate carbon capture and storage with commercial-scale coal-based power plants (2003–2016),” American Energy Innovation Council and the Bipartisan Policy Center, June 20, 2020, <http://americanenergyinnovation.org/wp-content/uploads/2020/06/The-Mixed-Success-of-the-Carbon-Capture-Demonstrations.pdf>.
35. Robert Rozansky and David M. Hart, “More and Better: Building and Managing a Federal Energy Demonstration Project Portfolio,” ITIF, May 18, 2020, <https://itif.org/publications/2020/05/18/more-and-better-building-and-managing-federal-energy-demonstration-project>.
36. Gregory F. Nemet, Vera Zipperer, and Martina Kraus, “The Valley of Death, the Technology Pork Barrel, and Public Support for Large Demonstration Projects,” *Energy Policy* 119 (August 2018): 154–167.
37. Elizabeth M. Noll and David M. Hart, “Less Certain than Death: Using Tax Incentives to Drive Clean Energy Innovation,” ITIF report, December 2, 2019, <https://itif.org/publications/2019/12/02/less-certain-death-using-tax-incentives-drive-clean-energy-innovation>.
38. Varun Sivaram and Noah Kaufman, “The Next Generation Of Federal Clean Electricity Tax Credits,” Center on Global Energy Policy, 2019, https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/NextGenTaxCredits_CGEP_Commentary_Final.pdf.
39. Dan Reicher, Jeff Brown, David Fedor, Jeremy Carl, Alicia Seiger, Jeffrey Ball, and Gireesh Shrimali, *Derisking Decarbonization: Making Green Energy Investments Blue Chip*, Stanford Steyer-Taylor Center for Energy Policy and Finance & Stanford Precourt Institute for Energy & Hoover Institution, October 27, 2017.

第3章

1. Phillip Connor and Neil G. Ruiz, “Majority of U.S. Public Supports High-Skilled Immigration,” Pew Research Center, January 22, 2019, <https://www.pewresearch.org/global/2019/01/22/majority-of-u-s-public-supports-high-skilled-immigration/>.
2. National Science Board, *State of U.S. Science and Engineering 2020*, figure 22, <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20201/global-science-and-technology-capabilities#research-publications>.
3. Pricewaterhouse Coopers, “The Global Innovation 1000 Study,” strategy&, 2018, <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/innovation1000.html#GlobalKeyFindingsTabs4>.
4. Dominique Foray, David C. Mowery, and Richard R. Nelson, “Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs?,” *Research Policy* 41 (2012): 1697–1702.
5. American Association for the Advancement of Science, “Historical Trends in Federal R&D,” <https://www.aaas.org/programs/r-d-budget-and-policy/historical-trends-federal-rd#Agency>.
6. Ekaterina Galkina Cleary, Jennifer M. Beierlein, Navleen Surjit Khanuja, Laura M. McNamee, and Fred D. Ledley, “Contribution of NIH Funding to New Drug Approvals 2010–2016,” *PNAS*, 115, no. 10 (February 12, 2018): 2329–2334.
7. David C. Mowery and Richard R. Nelson, eds., *Sources of Industrial Leadership* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999); NSB, “Publications Output: U.S. Trends and International Comparisons,” <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20206/data>.
8. Robin Cowan, “Nuclear Power Reactors: A Study in Technological Lock-in,” *Journal of Economic History* 50, no. 3 (September, 1990), 541–567.
9. Gregory F. Nemet, Vera Zipperer, and Martina Kraus, “The Valley of Death, the Technology Pork Barrel, and Public Support for Large Demonstration Projects,” *Energy Policy* 119 (August 2018): 154–167.
10. Gregory F. Nemet, “Solar Photovoltaics: Multiple Drivers of Technological Improvement,” in *Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures*, eds. Arnulf Grubler and Charlie Wilson (Cambridge: Cambridge University Press, 2014).
11. K.S. Gallagher, L.D. Anadonが作成した公的DOE予算典拠データベースのITIFへの適合。“DOE Budget Authority for Energy Research, Development, and Demonstration Database” (The Fletcher School, Tufts University; Department of Land Economy, University of Cambridge; and Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, March 22, 2018).

12. George M. Kammen and Gregory F. Nemet, “The Incredible Shrinking Energy R&D Budget,” *ACCESS* 30, (2007): 38–40.
13. “NASA Commercial Crew Program: Schedule Pressure Increases as Contractors Delay Key Events,” U.S. GAO, February 16, 2017, <https://www.gao.gov/products/GAO-17-137>.
14. Jessica Lovering, Loren King, and Ted Nordhaus, “Commercial Spaceflight,” The Breakthrough Institute, April 26, 2017, <https://thebreakthrough.org/issues/energy/commercial-spaceflight>.
15. Richard R. Nelson, *The Moon and the Ghetto* (New York: W. W. Norton & Company, 1977). (邦訳：『月とゲットー：科学技術と公共政策』、リチャードR.ネルソン著、後藤晃訳、慶應義塾大学出版会、2012)
16. Dominique Foray, David C. Mowery, and Richard R. Nelson, “Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs?,” *Research Policy* 41 (2012): 1697–1702.
17. Richard Freeman and John van Reenen, “What If Congress Doubled R&D Spending on the Physical Sciences?,” *Innovation Policy and the Economy* 9 (2009): 1–38.

第4章

1. Laura Diaz Anadon, *Transforming U.S. Energy Innovation* (New York: Cambridge University Press, 2014).
2. Erin Baker and Senay Solak, "Management of Energy Technology for Sustainability: How to Fund Energy Technology Research and Development." *Production and Operations Management* 23, no. 3 (March 2013): 348–65. <https://mie.umass.edu/sites/default/files/mie/faculty/baker/BakerSolakPOM.pdf>.
3. International Energy Agency (IEA), *World Energy Investment 2020* (Paris, IEA, 2020) <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.
4. SunShot Initiative, SunShot Initiative 2014 Peer Review Report, US DOE, August 2014, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/2014_sunshot_peer_review_report%209%2022%2014.pdf.
5. Josh Freed, Avi Zevin, and Jesse Jenkins, "American Energy Innovation," The Breakthrough Institute & The Third Way Clean Energy Initiative, September 2009, https://s3.us-east-2.amazonaws.com/uploads.thebreakthrough.org/articles/jumpstarting-a-clean-energy-revolution-with-a-national-institutes-of-energy-report-overview/Jumpstarting_Clean_Energy_Sept_09.pdf.
6. Joel S. Greenberg and Henry Hertzfeld, *Space Economics* (Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992).
7. Mirko Draca, "Reagan's Innovation Dividend? Technological Impacts of the 1980s US Defense Build-Up," February 2, 2012, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.295.4170&rep=rep1&type=pdf>.
8. Richard C. Larson, Navid Ghaffarzadegan, and Mauricio Gomez Diaz, "Magnified Effects of Changes in NIH Research Funding Levels," *Service Science* 4, no. 4 (December 2012): 382–95.
9. Richard B. Freeman and John Van Reenen, "Be Careful What You Wish For: A Cautionary Tale about Budget Doubling," *Issues in Science and Technology*, June 24, 2019, https://issues.org/p_freeman/.
10. Beth-Anne Schuelke-Leech, "Volatility in Federal Funding of Energy R&D," *Energy Policy* 67 (April 2014): 943–50. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.057>.
11. David Popp, "Economic analysis of scientific publications and implications for energy research and development," *Nature Energy* 1 (2016): 16020.

12. Josh Siegel, “How House Republicans Won over Conservatives to Gain Consensus on a Climate Agenda,” *Washington Examiner*, January 30, 2020, <https://www.washingtonexaminer.com/policy/energy/how-house-republicans-won-over-conservatives-to-gain-consensus-on-a-climate-agenda>.
13. “12 In ‘20.” *Energy and Commerce Committee* (blog), December 4, 2019, <https://republicans-energycommerce.house.gov/news/blog/12-in-20/>.
14. House Select Committee on the Climate Crisis, Solving the Climate Crisis: *The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and Healthy, Resilient, and Just America*, Majority Staff Report, June 2020, <https://climatecrisis.house.gov/sites/climatecrisis.house.gov/files/Climate%20Crisis%20Action%20Plan.pdf>.
15. Colin Cunliff, “Senate Appropriations: Where the Rubber Meets the Road for Energy Innovation,” ITIF, 2019, <https://itif.org/sites/default/files/2019-senate-appropriations-energy-innovation.pdf>.
16. Catherine Morehouse, “‘Beyond Frustrating’ Senate Dispute Stalls Bipartisan Energy Legislation,” *Utility Dive*, February 28, 2020, <https://www.utilitydive.com/news/massive-new-bipartisan-senate-energy-legislative-package-could-see-vote-as/573198/>.
17. Sam Ricketts, Bracken Hendricks, and Maggie Thomas, “Evergreen Action Plan,” 2020, <https://www.scribd.com/document/456454101/Evergreen-Action-Plan>.
18. “Plan for Climate Change and Environmental Justice: Joe Biden,” Joe Biden for President, December 20, 2019, <https://joebiden.com/climate/>.
19. ITIF, “Recommendations to the House Science Committee on Clean Energy Investments for a Long-Term Economic Recovery,” 2020, <http://www2.itif.org/2020-hsst-stimulus-response.pdf>.
20. Varun Sivaram, “The American Recovery & Reinvestment Act and the Rise of Utility-Scale Solar Photovoltaics: How U.S. Public Policy During the Great Recession Launched a Decade-Long Solar Boom,” American Energy Innovation Council and Bipartisan Policy Center, June 2020, <http://americanenergyinnovation.org/wp-content/uploads/2020/06/The-Successful-Demonstration-of-Utility-Scale-PV.pdf>.

第5章

1. Josh Freed, Avi Zevin, and Jesse Jenkins, “Jumpstarting a Clean Energy Revolution with a National Institutes of Energy,” The Breakthrough Institute and Third Way, September 2009.
2. Varun Sivaram, Teryn Norris, Colin McCormick, and David Hart, “Energy Innovation Policy: Priorities for the Trump Administration and Congress,” ITIF, 2016, <http://www2.itif.org/2016-energy-innovation-policy.pdf>.
3. Mission Innovation, *Mission Innovation, Materials Acceleration Platform: Accelerating Advanced Energy Materials Discovery by Integrating High-Throughput Methods with Artificial Intelligence*, January 2018, <http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2018/01/Mission-Innovation-IC6-Report-Materials-Acceleration-Platform-Jan-2018.pdf>.
4. Iain M. Cockburn and Scott Stern, “Finding the Endless Frontier: Lessons From the Life Sciences Innovation System for Technology Policy,” *Capitalism and Society* 5, no. 1 (2010): 1–6, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2208693.
5. Dorothy Robyn and Jeffrey Marqusee, “The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
6. DOE科学局、『36州に46箇所のEFRC』、2020年4月30日にアクセス。
<https://science.osti.gov/bes/efrc/Centers>.
7. EFRC Transformative Opportunities, US DOE Office of Science (SC), November 18, 2019, <https://science.osti.gov/bes/efrc/Research/Transformative-Opportunities>.
8. DOE, “FY 2021 Congressional Budget Request – Budget in Brief,” https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/02/f72/doe-fy2021-budget-in-brief_0.pdf.
9. Mission Innovation, *Materials Acceleration Platform: Accelerating Advanced Energy Materials Discovery by Integrating High-Throughput Methods with Artificial Intelligence, Report of the Clean Energy Materials Innovation Challenge Expert Workshop*, 2018, <http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2018/01/Mission-Innovation-IC6-Report-Materials-Acceleration-Platform-Jan-2018>.
10. International Energy Agency (IEA) *Clean Energy Innovation*, (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.
11. David Rolnick, et al., “Tackling Climate Change with Machine Learning,” November 5, 2019, <https://arxiv.org/abs/1906.05433>.

12. Pacific Northwest National Laboratory, *Application of Nanomaterials to National Security*, U.S. Department of Energy, December 2010, https://www.pnnl.gov/nano/research/pdf/Nano_for_National_Security_Flier_12-02-2010.pdf.
13. Colin Cunliff, “An Innovation Agenda for Deep Decarbonization: Bridging Gaps in the Federal Energy RD&D Portfolio,” ITIF, November 28, 2018, <https://itif.org/publications/2018/11/28/innovation-agenda-deep-decarbonization-bridging-gaps-federal-energy-rdd>.
14. Mission Innovation, *Mission Innovation, Materials Acceleration Platform: Accelerating Advanced Energy Materials Discovery by Integrating High-Throughput Methods with Artificial Intelligence*, January 2018, <http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2018/01/Mission-Innovation-IC6-Report-Materials-Acceleration-Platform-Jan-2018.pdf>.
15. US Energy Information Administration, “Monthly Energy Review, Table 11.6,” March 26, 2020, <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/archive/00352003.pdf>; University of Texas at Austin Energy Institute, “Levelized Cost of Electricity Version 1.4.0,” accessed April 19, 2020, http://calculators.energy.utexas.edu/lcoe_map/#/county/tech.
16. US Energy Information Administration, *Annual Energy Outlook 2020*, <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
17. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Energy Initiative, *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World*, 2018, <http://energy.mit.edu/research/future-nuclear-energy-carbon-constrained-world/>. (要旨邦訳：『特集企画MIT報告書「炭素制約の世界における原子力エネルギーの将来」』、オオモトアキラ訳、日本原子力産業協会/MIT、2018年。https://www.jaif.or.jp/the-future-of-nuclear-energy-in-a-carbon-constrained-world)
18. US DOE, *FY 2017 DOE Annual Performance Report / FY 2019 Annual Performance Plan* (Washington, DC: US Department of Energy, 2018), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/11/f57/fy-2017-doe-annual-performance-report-fy-2019-annual-performance-plan.pdf>.
19. US DOE, *GeoVision: Harnessing the Heat Beneath Our Feet* (Washington, DC: US Department of Energy, 2019), <https://www.energy.gov/eere/geothermal/downloads/geovision-harnessing-heat-beneath-our-feet>.
20. Alexis McKittrick et al., *Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy: A Roadmap*, IDA Science and Technology Policy Institute, February 2019, <https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/Publications/STPIPubs/2019/D-10474.pdf>.

21. US DOE, Hydropower Vision: A New Chapter for America's 1st Renewable Electricity Source (Washington, DC: US Department of Energy, July 2016). <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/02/f49/Hydropower-Vision-021518.pdf>; US DOE, *Powering the Blue Economy: Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets* (Washington, DC: US Department of Energy EERE, April 2019), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/03/f61/73355.pdf>.
22. 最近の活動を簡単に振り返るには、Colin Cunliff著“An Innovation Agenda for Deep Decarbonization: Bridging Gaps in the Federal Energy RD&D Portfolio,” ITIF, November 2018 <https://itif.org/publications/2018/11/28/innovation-agenda-deep-decarbonization-bridging-gaps-federal-energy-rdd>を参照。
23. DOE Office of Nuclear Energy, *Restoring America's Competitive Nuclear Energy Advantage: A strategy to assure U.S. national security* (Washington, DC: US Department of Energy, 2020), https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f74/Restoring%20America%27s%20Competitive%20Nuclear%20Advantage_1.pdf.
24. Dorothy Robyn and Jeffrey Marqusee, “The Clean Energy Dividend,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
25. NREL, “Annual Technology Baseline: Electricity, 2019,” <https://atb.nrel.gov/electricity/2019/index.html>.
26. 第116回米国下院議会（2019年）、第3203法案、2019年海洋エネルギー研究開発法（Marine Energy Research and Development Act of 2019）。
27. NREL, “Annual Technology Baseline: Electricity, 2019,” <https://atb.nrel.gov/electricity/2019/index.html>.
28. Dorothy Robyn and Jeffrey Marqusee, “The Clean Energy Dividend,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
29. Stacy C. Davis and Robert G. Boundy, *Transportation Energy Data Book Edition 38* (Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, 2020), Table 1.13 Consumption of Petroleum by End-Use Sector, https://tedb.ornl.gov/wp-content/uploads/2020/02/TEDB_Ed_38.pdf; U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2018*, Table ES-2 (Washington, DC: EPA, 2020), <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-04/documents/us-ghg-inventory-2020-main-text.pdf>.
30. Michael J. Coren, “2019 Was the Year Electric Cars Grew Up,” *Quartz*, December 17, 2019, <https://qz.com/1762465/2019-was-the-year-electric-cars-grew-up/>.

31. BloombergNEF, “Electric Vehicle Outlook 2020,” May 2020, <https://bnef.turtl.co/story/evo-2020/>; Nic Lutsey and Michael Nicholas, “Update on electric vehicle costs in the United States through 2030,” (working paper, International Council on Clean Transportation, April 2, 2019); MIT Energy Initiative, *Insights into Future Mobility*, MIT Energy Initiative, 2019, <http://energy.mit.edu/research/mobilityofthefuture/>.
32. Kevin R. Antcliff, Mark D. Guynn, Douglas P. Wells, Steven J. Schneider, and Michael T. Tong, “Mission Analysis and Aircraft Sizing of a Hybrid-Electric Regional Aircraft,” paper presented at the 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, held in San Diego, CA, January 4–8, 2016, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160007763.pdf>.
33. Energy Transitions Commission, *Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century* Energy Transitions Commission, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf.
34. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 1* (Washington, D.C.: DOE/CF-0163, February 2020), 19, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f73/doe-fy2021-budget-volume-3-part-1.pdf>.
35. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 1* (Washington, D.C.: DOE/CF-0163, February 2020), 25, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f73/doe-fy2021-budget-volume-3-part-1.pdf>.
36. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 1* (Washington, D.C.: DOE/CF-0163, February 2020), 67–84, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f73/doe-fy2021-budget-volume-3-part-1.pdf>.
37. Federal Transit Administration, *FTA Annual Report on Public Transportation Innovation Research Projects for FY 2019*, February 2020, <https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/research-innovation/148141/ftareportno0159.pdf>.
38. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 1* (Washington, D.C.: DOE/CF-0163, February 2020), 22, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f73/doe-fy2021-budget-volume-3-part-1.pdf>; BloombergNEF, “Electric Vehicle Outlook 2020: Executive Summary,” <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
39. Transportation Research Board and National Research Council, *Overcoming Barriers to Deployment of Plug-in Electric Vehicles* (Washington, DC: The National Academies Press, 2015), <https://doi.org/10.17226/21725>.
40. Colin Cunliff and Batt Odgerel, “Federal Energy R&D: Vehicle Technologies,” ITIF, March 2020, <http://www2.itif.org/2020-budget-vehicle.pdf>.
41. Colin Cunliff, “Innovation Agenda for Deep Decarbonization,” ITIF, November 2018, <http://www2.itif.org/2018-innovation-agenda-decarbonization.pdf>.

42. Energy Transitions Commission, *Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century Energy Transitions Commission*, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf.
43. Advanced Research Projects Agency-Energy, “Renewable Energy to Fuels Through Utilization of Energy Dense Liquids (REFUEL) Program Overview” (Washington, DC: DOE ARPA-E, 2016), https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/REFUEL_ProgramOverview.pdf.
44. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 1* (Washington, D.C.: DOE/CF-0163, February 2020), 67–84, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f73/doe-fy2021-budget-volume-3-part-1.pdf>.
45. US DOE, “DOE Announces New Lab Consortia to Advance Hydrogen and Fuel Cell R&D,” 2020, <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-new-lab-consortia-advance-hydrogen-and-fuel-cell-rd>.
46. ARPA-E, “Renewable Energy to Fuels Through Utilization of Energy-Dense Liquids (REFUEL) Program Overview,” https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/REFUEL_ProgramOverview.pdf.
47. Joint Center for Artificial Photosynthesis, accessed November 15, 2018, <https://solarfuelshub.org/technology-transfer>.
48. Bobby Magill, “Military Researching Ways to Suck Carbon From Air to Make Fuel,” *Bloomberg Law*, January 15, 2020, <https://news.bloombergenvironment.com/environment-and-energy/military-researching-ways-to-suck-carbon-from-air-to-make-fuel>.
49. Colin Cunliff, “Innovation Agenda for Deep Decarbonization,” ITIF, <http://www2.itif.org/2018-innovation-agenda-decarbonization.pdf>.
50. 第116回米国下院議会、第4230法案、2019年クリーン産業技術法（*Clean Industrial Technology Act of 2019*）。<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/4230>
51. Colin Cunliff, “Innovation Agenda for Deep Decarbonization,” ITIF, <http://www2.itif.org/2018-innovation-agenda-decarbonization.pdf>.
52. US DOE, *FY 2017 Congressional Budget Request, Volume 3*, 120, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f29/FY2017BudgetVolume3_2.pdf.
53. Energy Transitions Commission, *Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century Energy Transitions Commission*, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf.

54. David M. Hart, “Making ‘Beyond Lithium’ a Reality: Fostering Innovation in Long-Duration Grid Storage,” Information Technology and Innovation Foundation, 2018, <https://itif.org/publications/2018/11/28/making-beyond-lithium-reality-fostering-innovation-long-duration-grid>.
55. Klaehn Burkes, Joe Cordaro, Tom Keister, and Kerry Cheung, “DRAFT Solid State Power Substation Roadmap,” US DOE Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, 2017, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/03/f49/SSPS%20Roadmap%20Draft%20-%20Public.pdf>.
56. Colin Cunliff, “Beyond the Energy Techlash: The Real Climate Impacts of Information Technology,” ITIF, July 2020, <https://itif.org/publications/2020/07/06/beyond-energy-techlash-real-climate-impacts-information-technology>.
57. US DOE, *FY 2021 Congressional Budget Request Volume 2*, 277, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/03/f72/doe-fy2021-budget-volume-2.pdf>.
58. Faith M. Smith, “Why DOE’s FY20 Budget Request Has Exciting News for Storage” ClearPath, April 4, 2019, accessed March 7, 2020, <https://clearpath.org/our-take/why-does-fy20-budget-request-has-exciting-news-for-storage/>.
59. US DOE, *Grid Modernization Multi-Year Program Plan* (Washington, D.C.: November 2015), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/Grid%20Modernization%20Multi-Year%20Program%20Plan.pdf>; US DOE, “2019 Grid Modernization Lab Call Awards,” accessed February 20, 2020, <https://www.energy.gov/2019-grid-modernization-lab-call-awards>; US DOE, “Department of Energy Announces \$80 Million For New Grid Modernization Lab Call Projects,” November 6, 2019, <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-80-million-new-grid-modernization-lab-call-projects>.
60. 第116回米国下院議会、第5428法案、2019年送電網近代化研究開発法（*Grid Modernization Research and Development Act of 2019*）。
61. “Memorandum of Understanding between the Department of Defense and the Department of the Interior on Renewable Energy and a Renewable Energy Partnership Plan,” 2012, https://www.acq.osd.mil/dodsc/library/DoD_DOI%20MOU%20Signed%2020%20Jul%202012.pdf.
62. 第116回米国下院議会（2019年）、第2986法案、BEST法。
63. Dorothy Robyn and Jeffrey Marqusee, “The Clean Energy Dividend,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
64. US DOE, “Vehicle Technologies Office’s Research Plan to Reduce, Recycle, and Recover Critical Materials in Lithium-Ion Batteries,” June 2019, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/112306-battery-recycling-brochure-June-2019%202-web150.pdf>.

65. US Energy Information Administration, *Assessing HVDC Transmission for Impacts of Non-Dispatchable Generation*, US DOE, June 2018, <https://www.eia.gov/analysis/studies/electricity/hvdctransmission/pdf/transmission.pdf>.
66. Liza Reed, M. Granger Morgan, Parth Vaishnav, and Daniel E. Armanios, “Converting existing transmission corridors to HVDC is an overlooked option for increasing transmission capacity,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116, no. 28 (June 20, 2019), <https://www.pnas.org/content/116/28/13879>.
67. US Energy Information Administration, “Monthly Energy Review,” Table 2.1 and 7.6, US DOE, March 26, 2019, <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/>.
68. US DOE, *FY 2020 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 2*, 183.
69. US DOE BTO Lighting R&D Program, “2019 Lighting R&D Opportunities,” 2019, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/01/f70/ssl-rd-opportunities2-jan2020.pdf>.
70. Francesca Pierobon, Monica Huang, Kathrina Simonen, and Indroneil Ganguly, “Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest,” *Journal of Building Engineering* 26, November 2019, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302542>.
71. US DOE, *FY 2020 Congressional Budget Justification, Volume 3 Part 2*, 183.
72. US DOE, “2018 Better Buildings Progress Report: Innovation Through Collaboration: Securing a More Affordable and Reliable Energy Future,” 2018, 2, https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/DOE_BBI_2018_Progress_Report_051018.pdf.
73. International Energy Agency, *Clean Energy Innovation* (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>; *IEA Cooling* (Paris: IEA, 2020), <https://www.iea.org/reports/cooling>.
74. 米国環境保護庁、GHGI。
75. David Sandalow, Julio Friedman, Roger Aines, Colin McCormick and Sean McCoy, “Industrial Heat Decarbonization Roadmap,” ICEF, December 2019, https://www.icef-forum.org/pdf2019/roadmap/ICEF_Industrial_201910.pdf.
76. Colin Cunliff, Robert D. Atkinson, David M. Hart, and Robert Rozansky, “Comments to the House Select Committee on the Climate Crisis,” Information Technology and Innovation Foundation, 2019, 7, <https://itif.org/publications/2019/11/22/comments-house-select-committee-climate-crisis>.

77. Advanced Manufacturing, “Energy Analysis, Data and Reports,” Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, n.d. <https://www.energy.gov/eere/amo/energy-analysis-data-and-reports>.
78. US DOE, 2015 *Quadrennial Technology Review*, Chapter 6, “Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing,” <http://energy.gov/downloads/chapter-6-innovating-clean-energy-technologies-advanced-manufacturing>.
79. S. Rept.116-102, *Energy and Water Development Appropriations Bill 2020*, to accompany S. 2470, 86, <https://www.appropriations.senate.gov/imo/media/doc/FY2020%20Energy%20and%20Water%20Development%20Appropriations%20Act,%20Report%20116-1021.pdf>.
80. 第116回米国下院議会、第4230法案、2019年クリーン産業技術法（*Clean Industrial Technology Act of 2019*）。<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/4230>
81. 第116回米国下院議会、第4230法案、2019年クリーン産業技術法（*Clean Industrial Technology Act of 2019*）。<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/4230>
82. US DOE, 2015 *Quadrennial Technology Review*, Chapter 6 “Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing,” <http://energy.gov/downloads/chapter-6-innovating-clean-energy-technologies-advanced-manufacturing>.
83. Stephen Ezell, “Policy Recommendations to Stimulate U.S. Manufacturing Innovation,” ITIF, May 18, 2020, <http://www2.itif.org/2020-policy-recommendations-us-manufacturing.pdf>.
84. 気候変動に関する政府間パネル、『Summary for Policymakers（政策決定者向け要約）』、1.5°Cの地球温暖化、気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から1.5°Cの地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス（GHG）排出経路に関する IPCC特別報告書（世界気象機関、2018年）、<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>。
85. Global CCS Institute, “Global Status of CCS 2019,” https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/12/GCC_GLOBAL_STATUS_REPORT_2019.pdf.
86. Energy Transitions Commission, *Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century* Energy Transitions Commission, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf.
87. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gaseous Carbon Waste Streams Utilization: Status and Research Needs* (Washington, D.C.: The National Academies Press, 2019), <https://doi.org/10.17226/25232>.

88. US DOE, “Carbon Capture, Utilization, and Storage R&D Programs,” accessed February 20, 2020, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f67/Carbon%20Capture%2C%20Utilization%2C%20and%20Storage%20R%26D%20Programs_2.pdf.
89. US DOE Office of Fossil Fuel Energy, “U.S. Department of Energy Invests \$7 Million for Projects to Advance Coal Power Generation under Coal FIRST Initiative,” October 11, 2019, <https://www.energy.gov/fe/articles/us-department-energy-invests-7-million-projects-advance-coal-power-generation-under-coal>.
90. US Department of Energy, “Energy Department Offers Conditional Commitment for First Advanced Fossil Energy Loan Guarantee,” 2016, <https://www.energy.gov/articles/energydepartment-offers-conditional-commitment-first-advanced-fossil-energy-loan-guarantee>; Lake Charles Methanol, “About Lake Charles,” accessed March 20, 2020, <https://www.lakecharlesmethanol.com/about>.
91. DOE National Energy Technology Laboratory, “Safe Geologic Storage of Captured Carbon Dioxide: Two Decades of DOE’s Carbon Storage R&D Program in Review,” 2020, <https://www.netl.doe.gov/node/9687>.
92. 第116回米国上院議会、第1201法案、2019年化石燃料エネルギー炭素技術強化法 (*EFFECT Act of 2019*)。
93. 第116回米国上院議会、第1685法案、2019年天然ガスのイノベーションを通じたエネルギーの高度化・開発の推進法 (*Launching Energy Advancement and Development through Innovations for Natural Gas Act of 2019*)。
94. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gaseous Carbon Waste Streams Utilization: Status and Research Needs* (Washington, D.C.: The National Academies Press, 2019), <https://doi.org/10.17226/25232>.
95. Colin Cunliff and Batt Odgerel, “Carbon Storage and Utilization,” ITIF, 2020, <http://www2.itif.org/2020-budget-carbon-storage.pdf>.
96. 第116回米国下院議会、第3607法案、2019年化石エネルギー研究開発法 (*Fossil Energy Research and Development Act of 2019*)。 <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/3607>
97. Advanced Research Projects Agency- Energy, “Rhizosphere Observations Optimizing Terrestrial Sequestration (ROOTS) Program Overview,” US DOE, 2016, https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/ROOTS_ProgramOverview.pdf.
98. National Research Council, *Climate Intervention: Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration* (The National Academies Press, 2015), 43, <https://doi.org/10.17226/18805>.

99. Jeff Mulhollem, “Feed supplement for dairy cows cuts enteric methane emissions by 25%,” Phys.org, February 24, 2020, <https://phys.org/news/2020-02-supplement-dairy-cows-methane-emissions.html>.
100. Mark A. McMinimy, “The 2018 Farm Bill (P.L.115-334): Summary and Side-by-Side Comparison,” US Congressional Research Service, February 22, 2019.
101. ARPA-E, “Rhizosphere Observations Optimizing Terrestrial Sequestration (ROOTS) Program Overview,” December 15, 2016, https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/ROOTS_ProgramOverview.pdf.
102. EFI, “Clearing the Air,” Linden Trust for Conservation & ClimateWorks Foundation, September 2019, [https://static1.squarespace.com/static/58ec123cb3db2bd94e057628/t/5d899dcd22a4747095bc04d5/1569299950841/EFI Clearing the Air Summary.pdf](https://static1.squarespace.com/static/58ec123cb3db2bd94e057628/t/5d899dcd22a4747095bc04d5/1569299950841/EFI+Clearing+the+Air+Summary.pdf).
103. Association of American Universities, “AAU, Organizations Request \$50 Million for AgARDA Program in FY21,” March 4, 2020, <https://www.aau.edu/key-issues/aau-organizations-request-50-million-agarda-program-fy21>.
104. “Welcome to the ‘4 per 1000’ Initiative,” 4Pour1000, 2018, <https://www.4p1000.org/>.
105. 気候変動に関する政府間パネル、『Summary for Policymakers（政策決定者向け要約）』、1.5℃の地球温暖化、気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から1.5℃の地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス（GHG）排出経路に関する IPCC 特別報告書（世界気象機関、2018年）、<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>。
106. David Sandalow, Julio Friedmann, Colin McCormick, and Sean McCoy, “Direct Air Capture Roadmap,” ICEF, December 2018, https://www.icef-forum.org/pdf2018/roadmap/ICEF2018_DAC_Roadmap_20181210.pdf.
107. Joseph S. Hezir, Addison K. Stark, Tim Bushman, and Erin Smith, “Carbon Removal: Comparing Historical Federal Research Investments with the National Academies’ Recommended Future Funding Levels,” Carbon Removal: Comparing Historical Federal Research Investments with the National Academies’ Recommended Future Funding Levels, BPC & EFI, April 2019. <https://bipartisanpolicy.org/wp-content/uploads/2019/06/Carbon-Removal-Comparing-Historical-Investments-with-the-National-Academies-Recommendations.pdf>.
108. Carbon180, “2019 Annual Report,” 2019 <https://static1.squarespace.com/static/5b9362d89d5abb8c51d474f8/t/5e93237f14b45c6b9b8b49be/1586701204146/2019annualreport.pdf>.

109. US DOE, “Department of Energy to Provide \$22 Million for Research on Capturing Carbon Dioxide from Air,” March 30, 2020, <https://www.energy.gov/articles/departement-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air>.
110. M.S.Blondes, M.D. Merrill, S.T.Anderson, and C.A.DeVera, 2019, *Carbon dioxide mineralization feasibility in the United States*, US Geological Survey Scientific Investigations Report 2018–5079, 29, <https://doi.org/10.3133/sir20185079>.
111. ARPA-E, “Systems for Monitoring and Analytics for Renewable Transportation Fuels from Agricultural Resources and Management,” SMARTFARM, May 11, 2020, <https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/smartfarm>.
112. Energy Futures Initiative, *Clearing the Air: A Federal RD&D Initiative and Management Plan for Carbon Dioxide Removal Technologies*, 2019, <https://energyfuturesinitiative.org/s/EFI-Clearing-the-Air-Fact-Sheet.pdf>.
113. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda* (National Academies Press, 2019), <https://doi.org/10.17226/25259>.
- 114.例えば、DOEの科学局は、2020年度のネガティブエミッション技術予算で2000万ドルを受け取り (<https://www.govinfo.gov/content/pkg/CPRT-116HPRT38679/pdf/CPRT-116HPRT38679.pdf>)、p.465；また、ARPA-Eは炭素を最適化したバイオ変換の新しいプログラムを発表した (<https://arpa-e-foa.energy.gov/#Foaldb25db4d9-7cce-49a1-a917-a451f78f6144>)。
115. US DOE, “Department of Energy to Provide \$22 Million for Research on Capturing Carbon Dioxide from Air,” March 20, 2020, <https://www.energy.gov/articles/departement-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air>.
116. 2021年度下院、エネルギー・水資源歳出法 (Energy and Water Appropriations bill)、https://appropriations.house.gov/sites/democrats.appropriations.house.gov/files/EW21%20-%20R16_xml.pdf、p.79；第116回米国下院議会、第3607法案、2019年化石エネルギー研究開発法 (*Fossil Energy Research and Development Act of 2019*)、<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/3607>、および第116回米国上院議会、2019年化石燃料エネルギー炭素技術強化法 (*EFFECT Act of 2019*)、<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/senate-bill/1201>。

第6章

1. International Energy Agency, “Energy Technologies Perspectives Special Report on Accelerating Energy Innovation,” July 2020.
2. L.D.Anadón, E. Baker, and V. Bosetti, “Integrating uncertainty into public energy research and development decisions,” *Nature Energy* 2, article 17071, 2017, <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.71>.
3. EFI, “Clearing the Air,” Linden Trust for Conservation & ClimateWorks Foundation, September 2019, <https://static1.squarespace.com/static/58ec123cb3db2bd94e057628/t/5d899dcd22a4747095bc04d5/1569299950841/EFI+Clearing+the+Air+Summary.pdf>.
4. EFI, “Clearing the Air,” Linden Trust for Conservation & ClimateWorks Foundation, September 2019, <https://static1.squarespace.com/static/58ec123cb3db2bd94e057628/t/5d899dcd22a4747095bc04d5/1569299950841/EFI+Clearing+the+Air+Summary.pdf>.
5. Gregory F. Nemet, Vera Zipperer, and Martina Kraus, “The Valley of Death, the Technology Pork Barrel, and Public Support for Large Demonstration Projects,” *Energy Policy* 119 (August 2018): 154–167.
6. Varun Sivaram, “The American Recovery & Reinvestment Act and the Rise of Utility-Scale Solar Photovoltaics: How U.S. Public Policy During the Great Recession Launched a Decade-Long Solar Boom,” American Energy Innovation Council and Bipartisan Policy Center, June 2020, <http://americanenergyinnovation.org/wp-content/uploads/2020/06/The-Successful-Demonstration-of-Utility-Scale-PV.pdf>.
7. Dorothy Robyn, “Flying Laboratories, Prototyping, and Dem/Val: The Crucial Role of Technology Demonstration in Advancing Military Innovation and Its Relevance for the Department of Energy,” American Energy Innovation Council and Bipartisan Policy Center, June 2020.
8. Ernest J. Moniz et al., “Leveraging the DOE Loan Programs,” Energy Futures Initiative, March 2018, <https://docs.house.gov/meetings/CN/CN00/20190430/109329/HHRG-116-CN00-Wstate-FosterD-20190430-SD003.pdf>.
9. Kirsty Gogan and Eric Ingersoll, *The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report*, Energy Technologies Institute, 2018, <https://www.eti.co.uk/library/the-eti-nuclear-cost-drivers-project-summary-report>.
10. Clean Air Task Force, *Advanced Nuclear Energy: Needs, Characteristics, Projected Costs & Opportunities*, 2018, <https://www.catf.us/resource/ane-need-characteristics-project-costs/>.

11. John M. Deutch, *An Energy Technology Corporation Will Improve the Federal Government's Efforts to Accelerate Energy Innovation*, The Hamilton Project, May 2011, http://www.hamiltonproject.org/assets/legacy/files/downloads_and_links/05_energy_corporation_deutch_paper_1.pdf.
12. Dan Reicher, "The U.S. Clean Energy Deployment Administration: A Business-Driven Approach to Leveraging Private Sector Investment in Clean Energy Innovation and Commercialization," American Energy Innovation Council and Bipartisan Policy Center, June 2020.
13. Robert Rozansky and David M. Hart, "More and Better: Building and Managing a Federal Energy Demonstration Project Portfolio," ITIF, May 18, 2020, <https://itif.org/publications/2020/05/18/more-and-better-building-and-managing-federal-energy-demonstration-project>.
14. Megan Nicholson and Matthew Stepp, "Breaking Down Federal Investments in Clean Energy," Energy Innovation Tracker, March 2013, <http://www2.itif.org/2013-breaking-down-investment-energy.pdf>.
15. Will Frazier, Cara Marcy, and Wesley Cole, "Wind And Solar PV Deployment After Tax Credits Expire: A View from the Standard Scenarios and the Annual Energy Outlook," *Electricity Journal* 32 (2019): 106637, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106637>.
16. Varun Sivaram and Noah Kaufman, "The Next Generation Of Federal Clean Electricity Tax Credits," Center on Global Energy Policy, 2019, https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/NextGenTaxCredits_CGEP_Commentary_Final.pdf.
17. Alex Trembath, Lauren Anderson, and Jameson McBride, "Reforming Federal Policy to Support Innovation and Clean Energy in the U.S. Power Sector," Breakthrough Institute, June 2020.
18. Thomas Kalil, "Creating Markets for Breakthrough Learning Technologies," 2014.
19. Elizabeth M. Noll and David M. Hart, "Less Certain than Death: Using Tax Incentives to Drive Clean Energy Innovation," ITIF report, December 2, 2019, <https://itif.org/publications/2019/12/02/less-certain-death-using-tax-incentives-drive-clean-energy-innovation>.
20. Tarak Shah, "Transforming the U.S. Department of Energy in Response to the Climate Crisis," National Resources Defense Council, November 2019, <https://www.nrdc.org/sites/default/files/transforming-doe-response-climate-crisis-report.pdf>.
21. Anna P. Goldstein and Venkatesh Narayanamurti, "Simultaneous Pursuit of Discovery and Invention in the US Department of Energy," *Research Policy* 47, no. 8 (October 2018): 1505–12, <https://doi.org/10.2139/ssrn.3054764>.

22. Pradeep K. Khosla and Paul T. Beaton, *An Assessment of ARPA-E* (Washington, DC: The National Academies Press, 2017), <https://www.nap.edu/catalog/24778/an-assessment-of-arpa-e>.
23. David M. Hart and Michael Kearney, “ARPA-E: Versatile Catalyst for U.S. Energy Innovation,” ITIF, November 15, 2017, <https://itif.org/publications/2017/11/15/arpa-e-versatile-catalyst-us-energy-innovation>.
24. Dorothy Robyn and Jeffrey Marquess, “The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
25. Mark Boroush, “Research and Development: U.S. Trends and International Comparisons,” NSF, n.d. Table 4-15, <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20203/recent-trends-in-federal-support-for-u-s-r-d#total-of-federal-funding-for-r-d-and-for-major-agencies>.
26. Dorothy Robyn and Jeffrey Marquess, “The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation,” ITIF, March 2019, <https://itif.org/publications/2019/03/05/clean-energy-dividend-military-investment-energy-technology-and-what-it>.
27. 2020年第116回米国上院議会、第4049法案、2021年度米国防権限法 (*National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*)。
28. 2020年第116回米国上院議会、第3832法案、エンドレス・フロンティア法 (*Endless Frontier Act*)。
29. NASA, “Energy Servers Deliver Clean, Affordable Power,” NASA Spinoff, n.d., https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/er_3.html.
30. Loura Hall, ed., “NASA ITech Seeks Energy Ideas,” NASA, March 27, 2018, https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/itech/feature/2018_NASA_iTech_Cycle_II_solicitation_opens.
31. NIST, “NIST Smart Grid Advisory Committee 2019 Report,” June 2019, https://www.nist.gov/system/files/documents/2019/08/02/nist_smart_grid_advisory_committee_2019_report.pdf.
32. Daniel L. Sanchez, Giana Amador, Jason Funk, and Katharine J. Mach, “Federal Research, Development, and Demonstration Priorities for Carbon Dioxide Removal in the United States,” *Environmental Research Letters* 13, no. 1 (January 17, 2018), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa08f>.
33. Elliot Diring et al., “Getting to Zero: A U.S. Climate Agenda,” Center for Climate and Energy Solutions, November 2019, <https://wognews.net/images/site/11-19/getting-to-zero-a-us-climate-agenda-11-13-19.pdf>.

34. David G. Victor, Frank W. Geels, and Simon Sharpe, “Accelerating the Low Carbon Transition: The Case for Stronger, More Targeted and Coordinated International Action,” Brookings, December 2019, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/Accelerating-The-Transitions_Report.pdf.
35. Claudia Doblinger, Kavita Surana, and Laura Diaz Anadon, “Governments as Partners: The Role of Alliances in U.S. Cleantech Startup Innovation,” *Research Policy* 48, no. 6 (July 2019): 1458–75, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.02.006>.
36. Sabrina T. Howell, “Financing Innovation: Evidence from R&D Grants,” *American Economic Review*, 107, no. 4 (April 2017): 1136–1164.
37. John Van Reenen, “Innovation Policies to Boost Productivity,” The Hamilton Project, June 2020.
38. Farah Benahmed and Doug Rand, “Rescue, Rebuild, and Reinvest: How to Save Clean Energy Startups,” Third Way, July 23, 2020, <https://www.thirdway.org/memo/rescue-rebuild-and-reinvest-how-to-save-clean-energy-startups>.
39. Robert Rozansky, “Becoming America’s Seed Fund: Why NSF’s SBIR Program Should Be a Model for the Rest of Government,” ITIF, September 2019, <https://itif.org/sites/default/files/2019-nsf-sbir-program.pdf>.
40. Fraunhofer USA, Centers and Offices, June 1, 2020, <https://www.fraunhofer.org/en/fraunhofer-usa-centers.html>.
41. US GAO, “Report to Congressional Committees,” May 2019, <https://www.gao.gov/assets/700/699310.pdf>.
42. David M. Hart and Peter L. Singer, “Manufacturing USA at DOE: Supporting Energy Innovation,” ITIF, May 16, 2018, <https://itif.org/publications/2018/05/16/manufacturing-usa-doe-supporting-energy-innovation>.
43. David Popp, “From Science to Technology: The Value of Knowledge from Different Energy Research Institutions,” *Research Policy* 46, no. 9 (November 2017): 1580–94, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.07.011>.
44. Matthew Stepp, Jack Spencer, and Nicolas Lori, “Turning the Page: Reimagining the National Labs in the 21st Century Innovation Economy,” ITIF, June 19, 2013, <https://itif.org/publications/2013/06/19/turning-page-reimagining-national-labs-21st-century-innovation-economy>.
45. Jetta L. Wong and David M. Hart, “Mind the Gap: A Design for a New Energy Technology Commercialization Foundation,” ITIF, May 2020, <https://itif.org/sites/default/files/2020-mind-gap-energy-technology.pdf>.

46. L.D.Anadon, G. Chan, A. Bin-Nun et al., “The pressing energy innovation challenge of the US National Laboratories,” *Nature Energy* 1, article 16117 (2016), <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.117>.
47. Gabriel Chan, Anna P. Goldstein, Amitai Bin-Nun, Laura Diaz Anadon, and Venkatesh Narayanamurti, “Six Principles for Energy Innovation,” *Nature* 552, no. 7683 (December 7, 2017): 25–27, <https://doi.org/10.1038/d41586-017-07761-0>.
48. 第116回国下院議会、第5685法案、2020年米国科学技術指導者の確保法 (*Securing American Leadership in Science and Technology Act of 2020*) 。
<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/5685/text>
49. Kavita Surana et al., “Regional Clean Energy Innovation,” EFI, 2020.
50. Derek Hill and Jill Engel-Cox, “Energy Innovation Clusters and Their Influence on Manufacturing: A Case Study Perspective,” CEMAC, September 2017, <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68146.pdf>.
51. IHS Markit and Energy Futures Initiative, “Advancing the Landscape of Clean Energy Innovation,” February 2019, https://www.b-t.energy/wp-content/uploads/2019/02/Report_-Advancing-the-Landscape-of-Clean-Energy-Innovation_2019.pdf.
52. David M. Hart, “Clean-Energy-Based Economic Development: Parallel Tracks for State and Local Policy,” ITIF, February 25, 2019, <https://itif.org/publications/2019/02/25/clean-energy-based-economic-development-parallel-tracks-state-and-local>.
53. Sandy Fazeli, “States and Cleantech Innovation: An Examination of State Energy Offices’ Roles in Clean Energy Technology-Based Economic Development,” National Association of State Energy Officials, August, 2020, <https://www.naseo.org/data/sites/1/documents/publications/Tech%20Innovation%20Report%20Final%20Draft%204.pdf>.
54. J. Pless, C. Hepburn, and N. Farrell, “Bringing rigour to energy innovation policy evaluation,” *Nature Energy* 5, 284–290 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0557-1>.
55. Nidhi R. Santen and Laura Diaz Anadon, “Balancing Solar PV Deployment and RD&D: A Comprehensive Framework for Managing Innovation Uncertainty in Electricity Technology Investment Planning,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60 (July 2016): 560–69, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.272>.
56. L.D.Anadón, E. Baker, and V. Bosetti, “Integrating uncertainty into public energy research and development decisions,” *Nature Energy* 2, article 17071 (2017), <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.71>.

第7章

1. 米国国家ナノテクノロジーイニシアチブ、ネットワークング及び情報技術研究開発プログラム、米国地球変動研究プログラムなど、これまでの国家的な取り組みの経験から、複雑で分野横断的な連邦政府のイノベーションの取り組みを管理する上で、ホワイトハウスが果たすべき重要な役割が明らかになっている。See Ernest J. Moniz, et al., *Clearing the Air: A Federal RD&D Initiative and Management Plan for Carbon Dioxide Removal Technologies*, (EFI, 2019) <https://energyfuturesinitiative.org/s/EFI-Clearing-the-Air-Fact-Sheet.pdf>.
2. Colin Cunliff, “Accelerating Energy Innovation in the 116th Congress: 10 Priorities for 2020,” ITIF, January 21, 2020, <https://itif.org/publications/2020/01/21/accelerating-energy-innovation-116th-congress-10-priorities-2020>.
3. US Senate Committee on Energy & Natural Resources, “Murkowski, Manchin Introduce American Energy Innovation Act,” February 27, 2020, <https://www.energy.senate.gov/public/index.cfm/2020/2/murkowski-manchin-introduce-american-energy-innovation-act>.
4. Colin Cunliff, “Omission Innovation: The Missing Element in Most Countries’ Response to Climate Change,” ITIF, December 10, 2018, <https://itif.org/publications/2018/12/10/omission-innovation-missing-element-most-countries-response-climate-change>.
5. Erik Stokstad, “UK Cues up Big Funding Increases for R&D,” *Science Magazine*, March 12, 2020, <https://www.sciencemag.org/news/2020/03/uk-cues-big-funding-increases-rd>.
6. NIST. *NIST Smart Grid Advisory Committee 2019 Report*, June 2019, https://www.nist.gov/system/files/documents/2019/08/02/nist_smart_grid_advisory_committee_2019_report.pdf.
7. Sarah Ladislav and Nikos Tsafos, “Race to the Top: The Case for a New U.S. International Energy Policy,” CSIS, July 6, 2020, <https://www.csis.org/analysis/race-top-case-new-us-international-energy-policy>.

付録B

1. Executive Office of the President of the United States, “Domestic Implementation Framework for Mission Innovation,” November 2016.
2. Colin Cunliff, “Energy Innovation in the FY 2021 Budget: Congress Should Lead,” ITIF, March 30, 2020, <https://itif.org/publications/2020/03/30/energy-innovation-fy-2021-budget-congress-should-lead>.
3. Dorothy Robyn and Jeffrey Marquese, “The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation,” ITIF, March 2019, <http://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>.
4. Assistant Secretary of Defense for Sustainment, “Fiscal Year 2020 Operational Energy Budget Certification Report,” US DOD, 2019.
5. Alexander Bolton, “McConnell Will Not Bring Budget Resolution to the Floor,” *The Hill*, February 11, 2020, <https://thehill.com/homenews/senate/482599-mcconnell-will-not-bring-budget-resolution-to-the-floor>.
6. 2020年第116回米国下院議会、第6097法案、原子力研究開発法 (*Nuclear Energy Research and Development Act*)。
7. US House Committee on Science, Space, & Technology, “Nuclear Energy Research and Development Act Section-by-Section Summary,” https://science.house.gov/imo/media/doc/Nuclear_Energy_R&D_-_Section_by_section_summary.pdf.
8. 第116回米国下院議会、第4091法案、2019年ARPA-E再授權法 (*ARPA-E Reauthorization Act of 2019*)。
9. Colin Cunliff, “Accelerating Energy Innovation in the 116th Congress: 10 Priorities for 2020,” ITIF, January 21, 2020, <https://itif.org/publications/2020/01/21/accelerating-energy-innovation-116th-congress-10-priorities-2020>.
10. 第116回米国上院議会、第2657法案、2019年先進地熱イノベーションリーダーシップ法 (*Advanced Geothermal Innovation Leadership Act of 2019*)。
11. 第116回米国下院議会、第5428法案、2019年送電網近代化研究開発法 (*Grid Modernization Research and Development Act of 2019*)。
12. 第116回米国上院議会、第1602法案、BEST法。(2019年)
13. 第116回米国下院議会、第3607法案、2019年化石エネルギー研究開発法 (*Fossil Energy Research and Development Act of 2019*)。

14. US DOE, “Department of Energy to Provide \$22 Million for Research on Capturing Carbon Dioxide from Air,” March 30, 2020, <https://www.energy.gov/articles/departement-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air>.
15. S. Rept.116-102, Energy and Water Development Appropriations Bill 2020, to accompany S. 2470, 86, <https://www.appropriations.senate.gov/imo/media/doc/FY2020%20Energy%20and%20Water%20Development%20Appropriations%20Act,%20Report%20116-1021.pdf>.
16. USDA ERS, “Agriculture Improvement Act of 2018: Highlights and Implications, Research, Extension, and Related Matters,” August 20, 2019, <https://www.ers.usda.gov/agriculture-improvement-act-of-2018-highlights-and-implications/research-extension-and-related-matters/>.
17. 第116回米国上院議会、第1679法案2019年SEA FUEL法（SEA FUEL Act of 2019）。

略語のリスト

A

AAAS

米国科学振興協会

AFRI

農業および食品研究
イニシアチブ

AGILE法

先端地熱イノベーションリー
ダーシップ法

AGARDA

農業先端研究開発局

AI

人工知能

AMO

米国エネルギー省先進製造室

ARL

米国陸軍研究所

ARPA-E

米国先端研究プロジェクト庁
-エネルギー

ARS

米国農業研究サービス

ASCR

先進科学コンピューティング
研究

ATB

年次技術ベースライン

B

BECCS

二酸化炭素回収・貯留
(CCS) 付きバイオマス発電

BER

米国エネルギー省生物学およ
び環境研究プログラム

BES

米国エネルギー省基礎エネ
ルギー科学プログラム

BEST Act

バッテリーエネルギー
貯蔵技術法

BETO

米国エネルギー省バイオエ
ネルギー技術局

BIO

米国国立科学財団生物科学局

BTO

米国エネルギー省建築技術局

C

CCS

二酸化炭素回収・貯留

CCUS

二酸化炭素回収・利用・貯留

CDR

二酸化炭素の除去

CEMI Institute

クリーンエネルギー製造イノベーション研究所

CISE

米国国立科学財団コンピュータ情報科学工学局

CM

米国エネルギー省炭素管理局

COP

締約国会議

D**DAC**

直接空気回収

DACS

直接空気回収・貯留

DARPA

米国国防高等研究計画局

DOD

米国防総省

DOE

米国エネルギー省

DOI

米国内務省

DOT

米国運輸省

E**EERE**

米国エネルギー省エネルギー効率および再生可能エネルギー局

EFFECT Act

化石燃料エネルギー炭素技術強化

EFI

エネルギー未来イニシアチブ

EFRC

エネルギーフロンティア研究センター

EGS

高温岩体地熱発電

ENG

米国国立科学財団工学局

EPA

米国環境保護庁

ESTCP

米国防総省環境セキュリティ技術認定プログラム

EV

電気自動車

F**FE**

米国エネルギー省化石エネルギー局

FEMP

連邦エネルギー管理プログラム

FERD Act

連邦エネルギー研究開発法

FERDA

化石エネルギー研究開発法

FES

米国エネルギー省核融合エネルギー科学プログラム

FHWA

連邦高速道路管理局

FORGE

地熱エネルギー研究のための前線観測所

FY

会計年度

G**GDP**

国内総生産

GPS

全地球測位システム

GtCO₂

ギガトンの二酸化炭素

GTO

米国エネルギー省地熱技術局

GW

ギガワット

GWP

地球温暖化係数

H**HFTO**

米国エネルギー省水素・燃料電池技術局

HVAC

暖房、換気、および空調

HVDC

高電圧直流

I**ICCS**

米国エネルギー省産業用炭素回収貯留プログラム

IEA

国際エネルギー機関

IPCC

気候変動に関する政府間パネル

ITER

国際熱核融合実験炉

ITIF

情報技術イノベーション財団

J**JCAP**

人工光合成合同センター

K

kg

キログラム

kWh

キロワット時

L

LEADING

天然ガスのイノベーションを通じたエネルギーの高度化・開発の推進法

LPO

融資プログラム局

M

MEP

製造拡張パートナーシップ

MHK

海洋および流体動力エネルギー

MI

ミッションイノベーション

MPS米国国立科学財団
数学物理科学局**MtCO₂**

メガトンの二酸化炭素

MWh

メガワット時

N

NASA

米国航空宇宙局

NASEM米国国立科学、工学、
医学アカデミー**NE**

米国エネルギー省原子力エネルギー局

NELA原子力エネルギーリーダー
シップ法**NERDA**

原子力エネルギー研究開発法

NETL米国国立エネルギー
技術研究所**NIFA**

米国国立食品農業研究所

NIH

米国国立衛生研究所

NIST

米国国立標準技術研究所

NOAA

米国海洋大気庁

NREL米国国立再生可能エネルギー
研究所**NRL**

米国海軍調査研究所

NSF

米国国立科学財団

O**OE**

米国エネルギー省電力局

OMB

米国行政管理予算局

P**PCAST**

大統領科学技術諮問会議

PPD

大統領政策指令

PV

光発電

Q**QTR**

4年ごとの技術レビュー

R**R&D**

研究開発

RD&D

研究、開発および実証

RDT&E

研究、開発、試験および評価

REFUEL

高エネルギー密度液体の活用による再生可能エネルギーの燃料化プログラム

ROOTS

陸域隔離を最適化する根圏観測プログラム

S**SC**

米国エネルギー省科学局

SCALEUP

潜在的な未開拓最先端エネルギー技術の重要な進歩における支援プログラム

SEA FUEL

エンジニアリングリーダーシップを使用した軍隊向けエネルギーの確保法

SETO

米国エネルギー省太陽エネルギー技術局

SIPA

国際公共政策大学院

SMARTFARM

農業資源からの再生可能な輸送燃料の監視・分析システムと管理プログラム

SSL

ソリッドステート照明

U

UN

国際連合

UK

英国

UNFCCC

気候変動枠組条約

US

米国

USDA

米国農務省

USGS

米国地質調査所

V

VC

ベンチャーキャピタル

VTO

米国エネルギー省車両技術局

VTR

垂直試験原子炉

W

WETO

米国エネルギー省風力エネルギー技術局

WIP

米国エネルギー省耐候性および政府間プログラム

WPTO

米国エネルギー省水力技術局

謝辞

本書は、WayneおよびCatherine Reynoldsのサポートとガイダンスはもちろんのこと、尊敬すべき専門家であるLaura Anadon Diaz、Rob Atkinson、Bill Bonvillian、Jason Bordoff、Steve Capanna、Joseph Curtin、Jennie Dodson、Joshua Freed、Greg Gershuny、David Hayes、Joseph Hezir、Richard Kauffman、Henry Kelly、Melanie Kenderdine、Melissa Lott、John Loughhead、John MacWilliams、Monica Medina、Elizabeth Noll、Batt Odgerel、Dan Reicher、Dorothy Robyn、Rob Rozansky、Tarak Shah、Elizabeth Sherwood-Randall、Robert Trezona、David Turk、David Victor、Jetta Wong、Ali Zaidiからの細やかなフィードバックと提案により完成させることができたことを感謝する。また、原稿に関して洞察に満ちたフィードバックを提供してくださった3名の匿名外部専門評論家と、多くの匿名コロンビア大学評論家の方々に感謝する。

コロンビア大学において、本書を実現させた非常に優れたチームメンバーであるLaurie Fitzmaurice、Jesse McCormick、Matt Robinson、Christina Nelson、Nicolina DueMogensen、Artealia Gilliard、Genevieve Morton、Caitlin Norfleet、Anna Gossett、Stephanie Damassa、および他の方々に感謝する。特に、このプロジェクトを考案した彼のビジョンと、プロセス全体にわたるサポートとガイダンスについて、Jason Bordoffに感謝する。私たちは、2人の素晴らしい学生研究者であるJonah MessingerとSiddhant Sinhaの貴重な研究支援に助けられた。また、Randolph CourtやSintia Raduなど、ITIFの同僚にも感謝している。

2020年、コロナウイルスのパンデミック中に本書を書くことは仕事と家庭の境界を緊張させた。アメリカにエネルギーをは、私たちの家族、特に配偶者である：Laxmi Parthasarathy、Babak Hosseini、Lois Frankel、Lara Webber、Holly Hammondsの愛とサポートがなければ不可能であった。

最後に、このプロジェクトとコロンビアグローバルエネルギーイノベーションイニシアチブを惜しみなくサポートしてくれたBreakthrough Energyと、特にRobin Millican、Mike Boots、Maria Martinez、Trisha Millerに感謝する。このプロジェクトは、Spitzer Trustから情報技術イノベーション財団へ、そしてJane Flegalとヒューレット財団からグローバルエネルギー政策センターへの継続的な支援も伴って可能になった。

著者について

Varun Sivaram博士は、コロンビア大学グローバルエネルギー政策センターの上級研究員で、そのデータサイエンスインスティテュートの教職員である。物理学者、ベストセラー作家、クリーンエネルギー技術の専門家である彼の経験は、企業、公共、学術の各セクターに及ぶ。最近では、ReNew Powerの最高技術責任者として、Sivaram博士は、インド最大の再生可能エネルギー生産者、そして最も革新的なエネルギー企業として認められている数十億ドル規模の企業の研究開発を主導した。彼の企業経験にはMcKinsey & Co.のコンサルティングも含まれ、Camus Energy and Radia, Inc.の上級顧問とGlint Solarの諮問委員会メンバーを務めている。Sivaram博士はまた、外交問題評議会のエネルギーおよび気候プログラムのディレクターとして、またロサンゼルス市長およびニューヨーク州知事室の上級エネルギー顧問として、イノベーションを支援する政策を形成した。多くの文献が出版された科学者かつイノベーション学者である。アスペン研究所・情報技術イノベーション財団の上級研究員として、また以前は次世代エネルギーリーダー育成コース「クリーンエネルギーイノベーション」を作成したジョージタウン大学の教授として、スタンフォード大学のエネルギーおよび環境研究所の理事を務めている。彼は2021年の国連COP26気候会議における25人の顧問の一人であり、世界経済フォーラムのエネルギー移行のための世界未来評議会の委員を務めている。彼の著書には*Taming the Sun: Innovations to Harness Solar Energy and Power the Planet* (MIT Press, 2018) および*Digital Decarbonization: Promoting Digital Innovations to Advance Clean Energy Systems* (CFR Press, 2018) が含まれる。タイム誌は彼をタイム100の世界で次に最も影響力をもたらす人々の一人に指名した。ロードスとトルーマンの特待生で、オックスフォード大学で物性物理学の博士号、スタンフォード大学で学士号を取得している。

Colin Cunliff博士は、情報技術革新財団の上級政策アナリストである。以前、彼は米国エネルギー省のエネルギー政策およびシステム分析局でAAAS科学技術政策フェローとして働き、エネルギーセクターの回復と排出削減に焦点を当てた業務に携わっていた。それ以前は、Dianne Feinstein上院議員の事務所の米国物理学協会/米国科学振興協会 (AIP/AAAS) 議会メンバーで、エネルギー、気候、輸送に関するスタッフの科

学顧問を務めていた。彼はカリフォルニア大学デービス校で博士号を取得し、テキサス大学オースティン校で、物理学と数学の学士号を取得している。

David M. Hart博士は、ジョージメイソン大学シャル政策・政府学部 of 公共政策の教授で、科学技術革新政策センターの所長であり、情報技術革新財団 (ITIF) の上級研究員である。彼はクリーンエネルギーイノベーション政策プログラムを率いている。最近のITIFレポートには、*Mind the Gap: A Design for a New Energy Technology Commercialization Foundation* および *More and Better: Building and Managing a Federal Energy Demonstration Project Portfolio*がある。共に2020年5月に出版された。Richard K. Lesterとの共著に*Unlocking Energy Innovation* (MIT Press, 2012) がある。2011年と2012年に、Hart博士はホワイトハウスの科学技術政策局でイノベーション政策アシスタントディレクターを務め、高度な製造問題に焦点を当てた。Hart博士は2014年と2015年に、ジョージメイソン公共政策大学院の上級副学部長を務めた。現在は、全米科学技術医学アカデミーのイノベーション政策フォーラムの共同議長を務めている。他の著書には、*The Emergence of Entrepreneurship Policy* (Cambridge University Press, 2003)、および *Forged Consensus: Science, Technology, and Economic Policy in the U.S., 1929–1953* (Princeton University Press, 1998) が含まれる。彼は1995年にMITで政治学の博士号を取得した。

Julio Friedmann博士は、コロンビア大学のグローバルエネルギー政策センター上級研究員である。彼は最近、エネルギー省化石エネルギー局の第一副次官補を務め、高度な化石エネルギーシステム、二酸化炭素回収・貯留 (CCS)、CO₂利用およびクリーンコールの展開におけるDOEの研究開発プログラムを担当した。彼の専門領域には、大規模な炭素管理、CO₂除去、CO₂リサイクル、石油およびガスシステム、クリーンな化石エネルギーの国際的な取り組み、および米国政府省庁間の取り組みが含まれる。また、エネルギーイノベーション上級顧問やチーフエネルギーテクノロジストなど、ローレンスリバモア国立研究所で役職を歴任した。彼はCarbon Wrangler, LLCの最高経営責任者、Energy Futures Initiativeの有力なアソシエートであり、グローバルCCSインスティテュートの特別顧問を務めている。彼は最近、Breakthrough InstituteとClimate Leadership Councilの上級研究員に任命された。Friedmann博士は、炭素除

去（大気と海洋からのCO₂削減）、CO₂の変換と使用（炭素から価値へ）、炭素の回収と隔離に関して、米国で最も広く知られている権威ある専門家の1人である。彼の専門領域には、技術、政策、運用が含まれる。Friedmann博士は多くの民間企業やNGOとの緊密なパートナーシップに加え、米国国務省、米国環境保護庁、および米国財務省と協力してきた。Friedmann博士は、マサチューセッツ工科大学（MIT）で理学士号および理学修士号を取得した後、南カリフォルニア大学で地質学の博士号を取得した。彼はExxonMobilで上級研究科学者として5年間働いた後、メリーランド大学で研究科学者として勤めた。彼は複数のクリーンエネルギーおよびカーボンテック企業の公式および非公式の顧問を務めている。

David Sandalowは、グローバルエネルギー政策センター初代フェローで、コロンビア大学の国際公共問題学部のエネルギーおよび環境集中の共同ディレクターである。彼はセンターの米中プログラムを設立して監督し、中国気候政策ガイドの著者でもある。2019年秋、彼は清華大学のシュワルツマン奨学生プログラムの著名な客員教授であった。Sandalowは、ホワイトハウス、国務省、米国エネルギー省で上級職を務めてきた。彼は米国エネルギー省からコロンビアに移り、そこでエネルギー長官（代理）および政策・国際問題担当次官補を務めた。DOEに勤務する前は、Brookings Institutionの上級研究員を務めた。彼は海洋、環境、科学の国務次官補、および国家安全保障会議スタッフの上級ディレクターを務めてきた。Sandalowは、エネルギーと気候政策について幅広く執筆および講演を行っている。最近の執筆したものには、*Leveraging State Funds for Clean Energy*（2020年9月共著者）、*China's Response to Climate Change: A Study in Contrasts*（2020年7月）、*Decarbonizing Space Heating With Air Source Heat Pumps*（2019年12月共著者）、*Industrial Heat Decarbonization Roadmap*（2019年12月、プロジェクト責任者）、*Guide to Chinese Climate Policy 2019*（2019年9月）、*Electric Vehicle Charging in China and the United States*（2019年2月共著者）、*Direct Air Capture of Carbon Dioxide Roadmap*（2018年12月、プロジェクト責任者）、*A Natural Gas Giant Awakens*（2018年6月共著者）、*The Geopolitics of Renewable Energy*（2017年共著者）、*Financing Solar and Wind Power: Lessons from Oil and Gas*（2017年共著者）、*CO₂ Utilization Roadmap 2.0*（2017年プロジェクト責任者）、*The History and Future of the Clean Energy Ministerial*（2016年）がある。その他の著作には、*Plug-In Electric Vehicles:*

What Role for Washington? (2009) (編集者)、*U.S.-China Cooperation on Climate Change* (2009) (共著者) と *Freedom from Oil* (2008) がある。Sandalow は、Innovation for Cool Earth Forum (ICEF) 運営委員会のメンバーであり、ICEFイノベーションロードマッププロジェクトの議長を務めている。彼はFermata Energyのディレクターを務めている。Sandalowは、Zayedの未来エネルギー賞選考委員会、グローバルCO₂イニシアチブ諮問会議、電気駆動輸送協会の「荣誉殿堂 (Hall of Fame)」および外交問題評議会のメンバーである。Sandalowは、ミシガン大学ロースクールとイエールカレッジを卒業した。

カバー画像提供：Getty Images/Rost-9D/iStock

