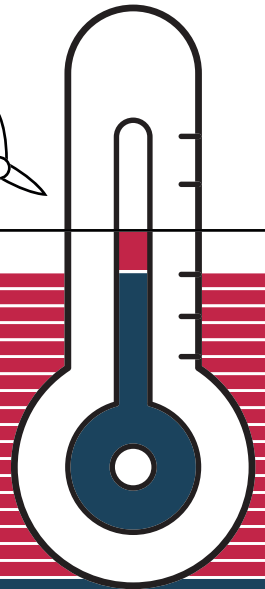


エネルギーシステムを 変革する



—そして、地球の
気温上昇を抑制する

© IRENA 2019

特に明記しない限り、本書にある資料は、出典元ならびに著作権者としてIRENAへの謝辞が適切に明記された場合に、自由に使用・共有・複写・複製・印刷・保存できる。第三者に属する資料については、個別の使用条件・制限の対象となる場合があり、いかなる使用の前にも適切な許可を得る必要がある。

This is a non-official translation by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) of excerpts from “Transforming the energy system – and holding the line on rising global temperatures” © IRENA 2019, (ISBN 978-92-9260-149-2) for information purposes only. In case of discrepancy between this Japanese translation and the English original, the English text prevails.

免責事項

本書で使用されている名称及び提示された資料は、情報提供のみを目的として現状有姿の状態を提供され、特定目的・使用への正確性、完全性及び適合性に関する保証を含め、IRENA、その役員及び代理人からの明示または黙示の如何を問わず、いかなる条件、保証、約束を一切与えるものではない。本書にある情報は必ずしもIRENAの全メンバーの見解を示しているわけではなく、また、いかなるプロジェクト、製品、サービス提供者の承認も意味しない。本書で使用されている名称及び提示された資料は、地域、国、領土、都市、エリア、またはその権限の法的地位に関する、あるいは国境や境界に関するIRENAの見解を意味するものではない。

IRENAについて

国際再生可能エネルギー機関 (International Renewable Energy Agency: IRENA) は、世界のエネルギーシステムの変革推進に向けた主要な協力プラットフォーム、研究拠点、政策・技術・リソース・資金に関する知見のリポジトリ、そして実際の活動を促す原動力としての役割を担う国際機関である。IRENAは、持続可能な開発、エネルギーアクセス、エネルギー安全保障、低炭素経済成長・繁栄を目指し、全ての再生可能エネルギー（バイオ、地熱、水力、海洋、太陽、風力）の広範な採用と持続可能な使用を促している。

www.irena.org

謝辞

本書はElizabeth Pressのガイダンスの下、Rabia Ferroukhi、Gayathri Prakash、Xavier Casals、Bishal Parajuli、Nicholas Wagner (IRENA)、Padmashree Sampath (IRENA consultant) により執筆され、Claire Kiss 及びNeil MacDonald (IRENA) から支援を受けた。また、Dolf Gielen、Ricardo Gorini、Paul Komor (IRENA)、Jonas von Freiesleben (Ministry of Climate, Energy and Utilities, Denmark)、Hafida Lahiouel (UNFCCC) の各氏より貴重なレビューならびにフィードバックを頂いた。本書の編集はSteven Kennedyが担当した。IRENAは、本書の出版を可能にしてくれたデンマーク政府からの支援に心より感謝する。

英語オリジナル版ダウンロード：www.irena.org/publications

詳細及び問い合わせ先：info@irena.org

日本語版翻訳：公益財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES)

(訳者：田村堅太郎、梅宮知佐、服部友彦、上野訓弘)

本翻訳は暫定非公式訳である。IGESは、翻訳の正確性について万全を期しているが、翻訳により不利益等を被る事態が生じた場合には一切の責任を負わないものとする。日本語版と原典の英語版との間に矛盾がある場合には、英語版の記述・記載が優先する。

序文

IRENA 事務局長から

気候変動の脅威に対応して、世界中の国々が低炭素エネルギーへの投資を約束した。しかし、各国の計画と投資パターンは、地球の気温上昇を2℃以下に抑え、理想的には1.5℃を維持しようとするパリ協定の目標を達成するための道筋とは明らかなミスマッチを示している。

今世紀半ばまでに世界中で少なくとも95兆米ドル相当のエネルギー投資が計画されている。IRENAの分析によると、気候変動に耐えうるエネルギーミックスとするためには、これらの投資を110兆米ドルまで上昇させなければならない。同時に、計画されている化石燃料投資を大幅に変更し、再生可能エネルギーへの年間投資額を今後10年間で倍増させなければならない。

再生可能エネルギーとエネルギー効率改善は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によって示された時間軸の中で、エネルギー起源の二酸化炭素排出量を削減する最も現実的な方法を提供する。急速な電化と組み合わせることで、それらは必要な削減量の9割以上を達成することができる。

エネルギーシステムの変革は再生可能エネルギーの導入だけではない。これは、より柔軟なインフラへの投資に関するものであり、時代遅れのシステムにおける座礁資産を避けるために、現在の計画を再考することでもある。エネルギー投資をより広範な社会経済政策と連携させることで、誰も取り残されることのない公正でタイムリーな変化を確実にすることができる。

IRENAの2050年ロードマップによれば、再生可能エネルギーをベースとした変革は、現在の計画と比較して、雇用を14%増加させ、世界のGDPを2.5%増加させる。1米ドル使うごとに、燃料費の節約や投資の回避、健康や環境への被害の軽減など、3~7米ドルの便益をもたらすことができる。石炭や石油を燃焼する発電所が新しい投資オプションとして排除されるのが早ければ早いほど、より多くの国が前進的で目的に合ったエネルギーシステムから恩恵を受けることができる。

市場はコスト競争力のある技術のシグナルを送っている。政策立案者は、気候変動に対応した投資を加速させるための枠組みを整備しなければならない。私たちは、地球の気温上昇を食い止めるために低炭素エネルギーシステムを構築しなければならない。それは、実現可能である。



国際再生可能エネルギー機関
(IRENA)

事務局長
フランチェスコ・ラ・カメラ

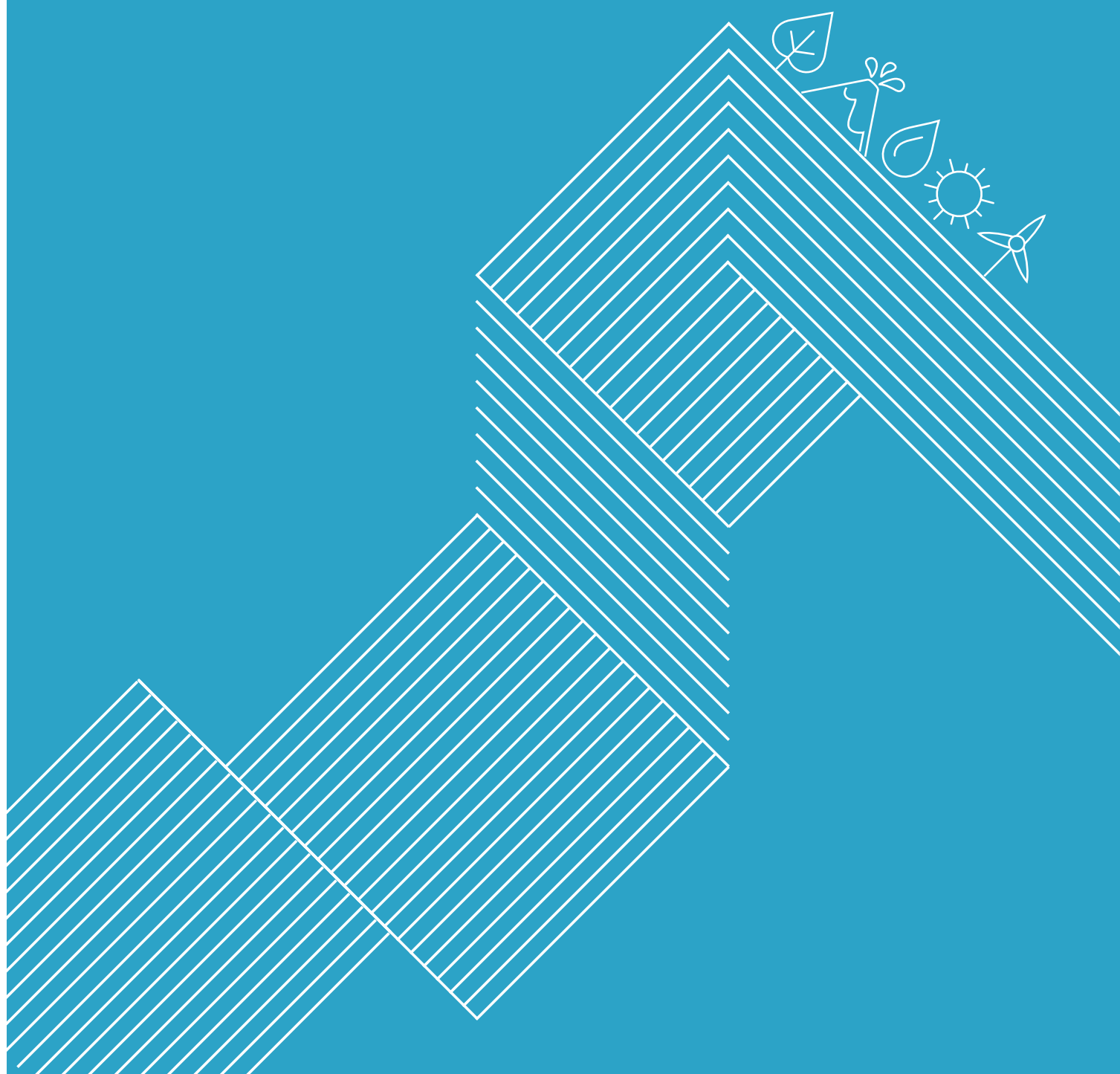
目次

図・表・BOX	05
主な結果	06
主な数字	10
1. 気候の安全が確保された未来	12
1.1. 現在の計画、あるいは真のエネルギー変革?	14
1.2. 気候に安全なエネルギー変革とは?	17
1.3. そしてそれは何をもたらすか?	19
2. 1.5°C目標への道筋に向けて必要となる投資	20
2.1. 再生可能発電への投資	23
2.2. エネルギー効率への投資	28
2.3. 電化と直接利用への投資	29
2.4. 地域ごとの投資の内訳	31
2.5. 投資の転換	33
3. エネルギー変革の推進力とその社会経済的なフットプリント	36
3.1. 世界のGDPと雇用創出	38
3.2. 地域のGDPと雇用	43
3.3. 再生可能エネルギーへの移行がもたらす様々な影響	45
4. 公平な結果の実現に向けた政策	47
4.1. 普及政策	48
4.2. 環境整備に向けた政策	48
4.3. 統合政策	51
参考文献	52
略語	52
付録：現在の計画の社会経済的フットプリントVS. エネルギー変革	53

図・表・BOX

図 1.1	年間エネルギー関連二酸化炭素排出量と削減量、 2010～2050年	15	図 3.2	エネルギー変革とその社会経済的フットプリント	38
図 1.2	2つのシナリオの主要な指標：現行計画と エネルギー変革	16	図 3.3	2019～2050年における現行計画とエネルギー変革の 間の世界のGDP、貿易、消費者支出、及び 投資額の差 (%)	39
図 1.3	2つのシナリオにおける、2050年までの 一次エネルギー供給全体に占める再生可能 エネルギー及び非再生可能エネルギーの割合	17	図 3.4	2019～2050年における現行計画及びエネルギー変革 シナリオ間における世界の雇用者数の差 (%)	40
図 1.4	2010年から2018年までの公益事業規模の 再生可能発電による世界の電力コスト	18	図 3.5	2017年、2030年及び2050年におけるエネルギーセク ターと再生可能エネルギー関連の世界の雇用者数	41
図 1.5	現行計画シナリオと比較した2050年までの エネルギー変革によるコストと節約	19	図 3.6	技術、価値部分及び要求される技能別に分類された、 エネルギー変革2050での世界の雇用者数	43
図 2.1	2050年までの現行計画シナリオとエネルギー 変革シナリオにおける累積投資額	22	図 3.7	2050年までの特定の地域・国におけるGDPに対する 現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの影響 (相違率)	44
図 2.2	2050年までの再生可能電力の発電容量における 年平均投資額	23	図 3.8	2050年までの特定の地域・国における雇用に対する 現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの影響 (相違率)	45
図 2.3	技術別の2050年までの再生可能発電容量への 累積投資額	26	図 4.1	公平な移行に向けた政策枠組み	49
図 2.4	2050年までの送配電網、エネルギー貯蔵、 スマートメーター、及び供給可能な化石燃料 発電容量における投資額	27	図 4.2	公平な移行枠組みにおける環境整備に向けた政策	50
図 2.5	2050年までのエネルギー効率対策における 年平均投資額	28			
図 2.6	2050年までの熱と輸送を電化するための 年平均投資額	29	表 2.1	技術別の現行計画及びエネルギー変革シナリオに 基づく2050年までの必要な投資額	24
図 2.7	2050年までに直接最終利用及び熱利用に必要な 再生可能エネルギー投資(累積)	30	表 2.2	2050年までの地域別及び技術別のクリーン エネルギーへの年平均投資額	32
図 2.8	エネルギー変革シナリオの下での2050年までの 地域別年間クリーンエネルギー投資額	31	表 3.1	エネルギー変革及び現行計画シナリオの下での 世界GDP	39
図 2.9	2050年までの採掘、処理、発電のための化石燃料の 累積投資額：現行計画シナリオ 対 エネルギー変革 シナリオ	33	表 3.2	現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの間の 雇用数の差：経済全体、エネルギーセクター及び 再生可能エネルギー	42
図 2.10	世界のエネルギーシステムを変革するために セクターレベルで今すぐ必要とされる行動	34			
図 3.1	ニーズと機会	37	Box 1.1	世界のエネルギーの脱炭素化に向けて 実用的な選択肢	15

主な結果



パリ協定は、気候変動のリスクと影響を大幅に削減するため、「世界の平均気温の上昇を工業化以前の水準より2℃を十分に下回る水準に抑え」、さらには「1.5℃に抑制する努力を追求する」という目標を設定している。今日の世界では、炭素排出量を大幅に削減するために20年もの猶予はない。気候変動に関する政府間パネル (IPCC, 2018) によると、もし大幅な削減に失敗すれば、私たちは、破滅的な気候変動の未来への転換点を越えてしまう¹。

エネルギー部門への野心的な投資、つまり、供給と需要の両面において発電、輸送、その他のエネルギー利用を再構築することは、持続可能な未来に必要な多くの短期的な便益をもたらすことができる。再生可能エネルギー源は、エネルギー効率の着実な改善と相まって、IPCCが示す時間軸の中で最も実用的かつすでに利用可能な解決策を提供する。今日、包括的なエネルギー変革に着手することにより、我々はより良いエネルギーシステムを作り始めることができる。それは、今世紀末の世界平均気温が工業化以前の水準より1.5℃以上高くないことを確実にするものでもある。

今日、世界中において、各国のエネルギー計画や国が自ら決定した貢献 (NDCs) は、必要とされる排出削減にはるかに及ばない。現在、世界は、エネルギー起源排出量に関する今世紀末までの「カーボンバジェット」(訳注：パリ協定の長期気温目標達成のために許容される、今世紀後半までの累積総排出量) を、あと10年で超過してしまう可能性がある

る。1.5℃を維持するためには、エネルギー関連の二酸化炭素 (CO₂) の累積排出量を、2050年までに現在の政策や計画で示されているよりも400ギガトン (Gt) 削減しなければならない。

国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) は、二つの広範な将来の道筋を模索している。**現行計画** (現在及び計画されている政策によって設定されたものを意味する)、及びクリーンで気候変動に耐えうる**エネルギー変革**への道筋である²。IRENAの分析によれば、このような低炭素で気候に安全な未来を築くことは、幅広い社会経済的便益をもたらす可能性がある。しかし、これを実現するためには、再生可能エネルギーへの投資のペースと規模を遅滞なく加速させなければならない。

再生可能エネルギー技術だけでは、大規模な脱炭素化を達成するのに十分ではない。将来のエネルギーシステムは、相互に関連する3つの要素を含んでいる。つまり、エネルギー効率の着実な改善と最終利用部門の電化の進展に依存する。コストの方程式も重要であり、手頃な価格の再生可能エネルギーによって、従来の石炭や石油を燃やすシステムをより速く、より実用的に置き換えられる。

再生可能エネルギー、エネルギー効率、さらにこれらを電化と共に推し進めることによって、必要な削減量の9割以上を達成することができる

1 パリ協定2条 (1) (a) .

2 *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050* (IRENA, 2019b) はこうした二つの投資及び発展経路を2050年までの時間軸で分析、比較している。

さらに、再生可能エネルギーの価格低下は、電動モビリティと熱との重要な相乗効果をもたらす。再生可能エネルギーを利用した熱と輸送の解決策だけでも、合意された国際的な気候目標を達成するために必要なエネルギー起源排出削減の2/3を提供することができる。

近代的で、ますます「スマート」なグリッド・インフラは、エネルギーの生産、流通、利用にかつてない柔軟性をもたらす。しかし、これらの利益を最大限に活用するためには投資が必要である。

投資パターンは変化しなければならない

気候の緊急性にもかかわらず、現在の投資パターンは1.5°Cラインを維持する経路とは明らかなミスマッチを示している。低炭素エネルギーへの投資への解決策は、この3年間、行き詰まりを見せている。

現在実施されている政府の計画では、今後30年間で少なくとも95兆米ドルをエネルギーシステムに投資することが求められている。しかし、こうした計画や関連投資は、必ずしも気候変動に強いシステムに向けられているわけではない。投資の方向転換が必要である。

気候変動に対して安全な将来を確保するためには、再生可能エネルギー、エネルギー効率、そして関連するエネルギーインフラを優先するシステムに移行する必要がある。異なるエネルギー投資ミックスを用い、総投資額にわずか15兆米ドルを追加するだけで、世界のエネルギーシステムは、効率的な利用に支えられた費用対効果の高い再生可能エネルギー技術によって、気候変動に耐えうるものとなる。

低炭素エネルギーへの転換を達成するためには、世界の国内総生産 (GDP) 総額の約2%に相当する3兆2,000億米ドルを毎年投資する必要がある。これは現在の計画より約5,000億米ドル多い。2050年までの世界のエネルギーへの

累積投資は16%増加するが、その全体構成は化石燃料から決定的にシフトする。

再生可能エネルギーとそれに関連するインフラがこの差の半分近くを占め、エネルギー効率化と電化された輸送・熱利用が残りを占めている。

- 再生可能エネルギー発電容量を拡大するための投資は、現在予測されている額の2倍が必要であり、2050年までに22兆5,000億米ドルに達する必要がある。
- エネルギー効率化には1兆1,000億米ドルの投資が必要である。これは、現在の4倍以上である。
- 太陽光発電や風力発電の増加に伴い、電力システム全体を柔軟に運用するための新たな設備が必要である。解決策の中には市場ベースのものもあれば、近代的な技術革新への投資を必要とするものもある。急速な火力発電のバックアップ、揚水発電、送電網と配電網の強化、デジタル制御機器、大幅に拡張された貯蔵容量、及びヒートポンプ、電気ボイラー、需要家側バッテリー (BTM) による需要側での管理は、電力システム投資の分野のほんの一部である。
- 変革されたエネルギーシステムには、2050年までに世界中で10億台以上の電気自動車が含まれる。充電インフラと鉄道の電化を合わせた投資額は年間2,980億米ドルに達する可能性がある。
- 産業や建築物には、現在稼働しているものの10倍以上に相当する、3億以上の高効率ヒートポンプを組み込むことができる。これは毎年760億米ドルの投資を意味する。
- このシステムの相乗効果をさらに高めるためには、再生可能な水素、つまり再生可能な資源から製造された水素によって、世界のエネルギー需要の19エクサジュール近くを満たすことができる。しかし、これは、2050年までに約1テラワット規模の電解設備を追加することを意味し、世界中で年平均160億米ドルの投資コストがかかる。
- 再生可能エネルギー由来の熱利用、燃料、及び直接利用への投資は、昨年合計約250億米ドル (IEA, 2019a) であったが、今後数十年間で約3倍の毎年730億米ドルに増加しなければならない。

エネルギーシステムの変革とは、今後30年間に計画されている再生可能エネルギー発電への投資を倍増させることを意味する

- 東アジアは2050年までエネルギー変革への年間投資額が7,630億米ドルと最も多く、北米が4,870億米ドルと続く。サハラ以南アフリカとオセアニアが最も低く、それぞれ年間1,050億米ドルと340億米ドルである。

IPCCが評価したシナリオで1.5°C上昇以下にとどまるには、世界は2050年までの累積エネルギー投資のうち、18兆6,000億米ドル近くを化石燃料から低炭素技術にシフトしなければならない。この期間の化石燃料への年間平均投資額は5,470億米ドルに減少するが、これは化石燃料産業が2017年に投資した額の約半分である。

**1米ドル使うごとに、
燃料費の節約、投資の回避、
健康や環境への被害の軽減など
7米ドルもの便益を
もたらすことができる**

投資をシフトすることによって、世界はより大きな利益を達成することができる。幸いなことに、エネルギーシステムの変革は、そうしないよりも安価であることがわかった。これは、気候変動を緩和し、長期的な持続可能性を達成することのメリットを考慮しなくても当てはまる。2050年までに、正味のエネルギー補助金を削減し、環境への健康被害を削減することによって節約される金額は、投資額の3倍から7倍になる。

IRENAの分析によると、2050年までに現在の計画と比較してGDPが約98兆増加する。

エネルギー部門の雇用は変革によって14%増加するだろう。化石燃料関連の雇用の減少が失業につながるとしても、新たな雇用は失業を上回るだろう。再生可能エネルギー関連の雇用は、2050年までにすべての技術で推計64%増加する。

このような指標は非常に有望であるが、エネルギー投資はもはや、より広い社会経済的文脈から切り離して追求することはできない。再生可能エネルギーへの転換が進むにつれ、今後の変革のためには包括的な政策枠組みが必要となるだろう。計画と投資戦略は、公正かつ時宜を得た移行のために、エネルギーシステムがより広範な経済とどのように相互作用するかについての明確で統合された評価を伴わなければならない。

経済成長を刺激しようとしている国は、同時に再生可能エネルギーの効果を最適化し、経済と雇用調整のコストを最小化することができる。先見の明のあるエネルギー投資政策は、優れた社会経済政策と結びつけられれば、誰も取り残されない公正な変革を確実にするのに役立つ。

情報に基づき、今日から開始される投資を通じて、国やコミュニティは費用対効果の高い方法で再生可能エネルギーを拡大し、エネルギー効率を着実に向上させ、さらには電化を促進させることによって驚異的な相乗効果を達成することができる。2050年までに変革されたエネルギーシステムは、今世紀後半の世界のニーズを満たすことができるはずである。

社会経済的ニーズと願望が並行して満たされれば、そのような変化は、気候変動を緩和するための今日の緊急のシフトを超えても受け入れられ、持続する可能性が高い。そうしてこそ、世界のエネルギー変革が真に持続可能なものとなるだろう。

**変革されたエネルギーシステムは、
持続可能な開発目標を達成し、
複数の部門にわたる便益を
刺激するのに役立つであろう**

主な数字



110 兆米ドル

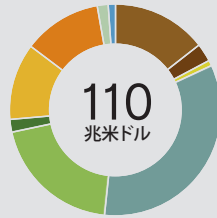
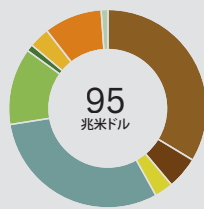
エネルギー変革

を達成するため、
2050年までに
このセクターに
110兆米ドルの投資

+15兆米ドル

現行計画比

15兆米ドル増

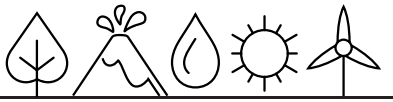


2050年のエネルギー種別内訳については図2.1を参照

エネルギー効率への
投資：

37兆米ドル

vs. 29兆米ドル



再生可能
エネルギーへの
投資：

27兆米ドル

vs. 12兆米ドル

発電



vs. 12兆米ドル

最終利用



2.5兆米ドル

vs. 1兆米ドル

バイオ燃料



2兆米ドル

vs. 1兆米ドル

貿易、
支出、
投資

パターンの変化

分析については図3.3を参照



より高い
GDP

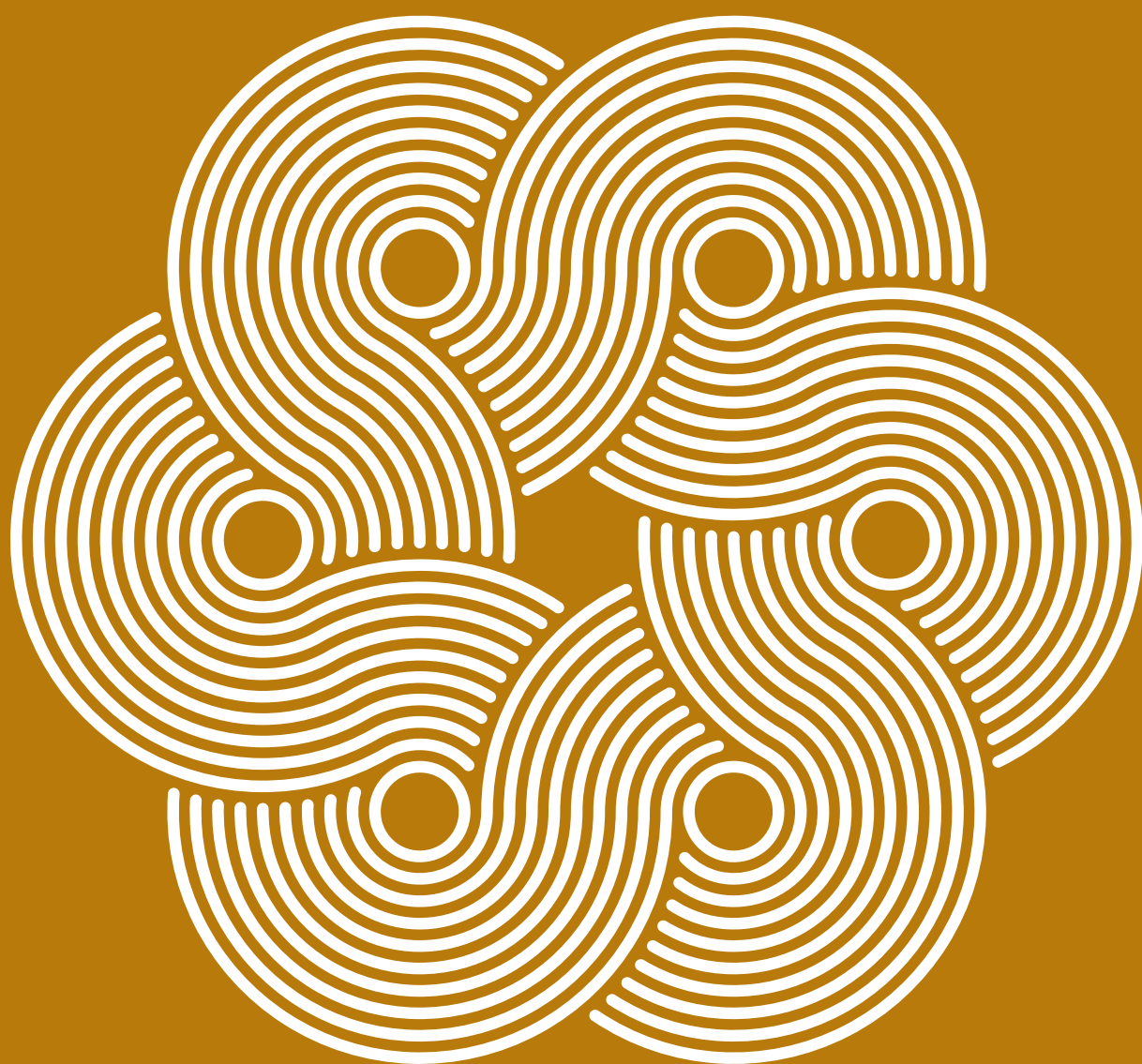
700万

より多くの雇用*



* 2050年時点で、エネルギー変革シナリオにおける経済全体での正味の雇用は、現行計画シナリオに比べ、0.15%増加すると見積もられる。

気候の安全が
確保された未来



01

持 続可能で、費用が負担可能で、安全で、かつ包括的なエネルギーシステムの創造は、世界の発展を支えるために不可欠である。この広範囲の変革の必要性は全く新しいというわけではなく、気候変動への国際的な対応の一環として著しい緊急性を帯びてきた。

エネルギーの未来を予見するのは困難であるが、新しいシステムの輪郭は十分に明確である。光、熱、モビリティ、そしてバイオエネルギー、太陽光、風力、水力、地熱、初期段階にある海洋エネルギーを含む再生可能エネルギーは、あらゆる実現可能な気候変動への対処法の中核にある。

このように、世界のエネルギーシステムは速さ、幅、そして到達範囲の観点から前例のない変化の途中にある。すでに、この変化は経済及び社会の形を変えている。セクター間には新しいつながりができ、エネルギー供給者、消費者、ネットワーク、市場の間の関係は再定義されている。

継続的に改善され、強靱となった再生可能エネルギービジネスは、気候問題に対して経済的にも魅力的な対処法をもたらした。この新たなパラダイムは、エネルギー安全保障、持続的成長、雇用に対処し、中期的に国やコミュニティに確固たる便益をもたらす。2011年以降の全世界の追加的発電容量の半分以上は再生可能エネルギーによるものであり、全発電量に占める割合も徐々に上昇している。主に風力及び太陽光発電施設の新設の増加によって、2018年には全世界での再生可能エネルギー発電容量は2,300ギガワットを超えた (IRENA, 2019a)。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によって提言された、産業革命以前から今世紀末までの地球全体の平均気

温の上昇を1.5°C未満に抑えるためには、エネルギー効率化と組み合わせられた再生可能エネルギーが世界のエネルギーシステムに必要である。IPCCによると、地球温暖化を1.5°Cに抑えるには、2050年を目途に全世界で二酸化炭素の正味ゼロ排出を達成する必要がある。同時に、メタン、オゾン、その他の温室効果ガスの排出を大幅に削減することが求められる。

IPCCはまた、世界が1.5°C目標への道筋に向かうためには、今後10年間で温室効果ガスの排出量を大幅に削減する必要があると強調している。しかしながら、そのためには、エネルギー需要の減少、電力及びその他燃料における脱炭素化 (特に、再生可能エネルギーの野心的な展開による)、エネルギー最終利用の電化等、あらゆる分野での行動が必要である。この道筋の成功は、エネルギー供給及び需要を変化させることが可能となるような、非常に野心的かつ国際協調的な政策環境によって支えられなければならない (IPCC, 2018)。

地球の存続に必要なエネルギーミックスの決定的変革はまだ起きていない。再生可能エネルギーはまだ熱利用、建物、輸送等のいわゆる最終利用セクターに十分に普及していない。さらなる技術的進歩とあわせて、再生可能エネルギー (特にシステムデザイン及び建設) における次のコスト低下の波は、決定的な変革が1.5°C目標への道筋にとどまるのに間に合うかどうかを決定づけるかもしれない。

最終的には、技術のみならず、技術を実用化し経済及び社会的インパクトを最適化するための政策パッケージも含めた包括的変革への投資が気候の安全が確保された未来へのカギとなる。

1.1. 現在の計画、あるいは 真のエネルギー変革?

国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) は、現在の計画及び政策に基づく道筋と、現在起きつつあるエネルギー変革によって1.5°C目標を確実に達成するのに十分な投資レベルに基づいた気候変動に対して強靱な道筋という2つの道筋によって求められる努力のレベルを検討した³。

2つの道筋についてはBox 1.1の通りである。

現在、全世界で計画されている政策では、パリ協定の目的及び気候変動に関する政府間パネルの1.5°C報告で示されている排出削減を満たさない。現行及び計画された政策では、10年から18年の間にエネルギー起源の二酸化炭素 (CO₂) のバジェット (訳注: パリ協定の長期気温目標達成のために許容される、今世紀後半までの累積総排出量) を使い尽くしてしまう見込みである。気温上昇を1.5°C未満に抑えるために、現行及び計画された政策による累計排出量よりも、2050年までに少なくとも400ギガトン減らされなければならない。

現行計画でのシナリオ (黄色の線) 及びエネルギー変革によるシナリオ (緑色の線) における年間のエネルギー起源CO₂の排出量及び削減量は図1.1の通りである。現在の計画では、エネルギー起源のCO₂の排出は2030年まで毎年上昇した後、2050年まで僅かずつ減って今日のレベルとなる見込みである。

しかしながら、温暖化を1.5°C未満に抑えるには、年間のエネルギー起源のCO₂排出量を現在から2050年までの間に70%以上、つまり34ギガトンから9.8ギガトンに減らす必要がある。大規模な再生可能エネルギーへの転換及び電化によって必要量の4分の3は削減でき、エネルギー効率の向上によって90%まで削減可能である⁴。

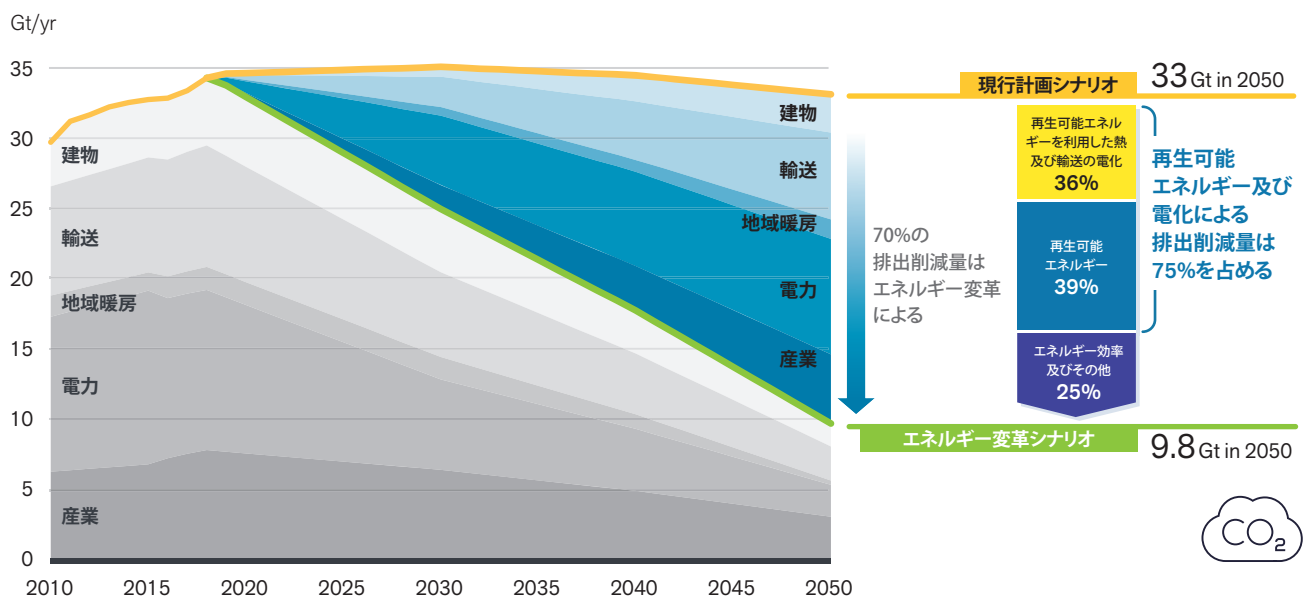
過去5年間のCO₂排出量は毎年1.3%の増加傾向にある。もしこの傾向が続いた場合、世界のカーボンバジェットは2030年までにほとんど使い尽くされ、工業化以前からの温暖化が3°C以上となる見込みである。2015年にパリ協定に署名し、多くの政府が排出削減を約束したため、このケースはベースラインシナリオとしてみなされない。したがって、現在の計画及び政策の下では、CO₂排出量は歴史的傾向よりも低くなるべきである。しかしながら、現在の計画は2050年までに1.5°C目標を達成するには十分に野心的でない。

そのため、世界のエネルギー変革のペースを加速させる必要がある。図1.1の通り、この加速は幅広いセクターや技術に対して求められている。具体的には、輸送セクターでの最終利用の電化や再生可能エネルギーによる熱、再生可能エネルギーの直接利用、エネルギー効率、そしてインフラ投資等である。

3 ここでの投資必要額は、IRENAの*Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*で示された工程表に基づき見積もられている。

4 エネルギー変革シナリオは、1.5°Cカーボンバジェットに整合する世界エネルギーシステムの変革をもたらすために、再生可能エネルギーとエネルギー効率向上を中心とする低炭素技術の普及に重きを置いている。これは、IPCC 1.5°C特別報告書で評価されたシナリオ群に含まれるものである。

図1.1: 年間エネルギー関連二酸化炭素排出量と削減量、2010～2050年



出典: IRENA, 2019b

注: 「再生可能エネルギー」は、風力や太陽光発電等の電力セクター及び太陽熱、地熱、バイオマスの直接の最終利用を指す。「エネルギー効率」は、産業、建物、輸送 (例: 建物の断熱性の向上またはより効率的な機器や設備の設置) を指す。「電化」はヒートポンプや電気自動車などの熱及び輸送手段の電化を指す。Gt = ギガトン; RE = 再生可能エネルギー

Box 1.1 世界のエネルギーの脱炭素化に向けて実用的な選択肢

IRENAは2つの主要な観点からの世界のエネルギー開発における選択肢を調査した。1つ目は現行及び計画された政策に基づき、2つ目は再生可能エネルギーやそれに伴う技術のより野心的な取り組みに基づくクリーンかつ気候変動に対して強靱な道筋である。この報告書全体を通して、1つ目の**現行計画シナリオ**が、より野心的な**エネルギー変革シナリオ**の比較ベースラインを提供している。

Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (IRENA, 2019b) では、この2つの投資及び発展の道筋が今世紀半ばまで分析及び比較されている。

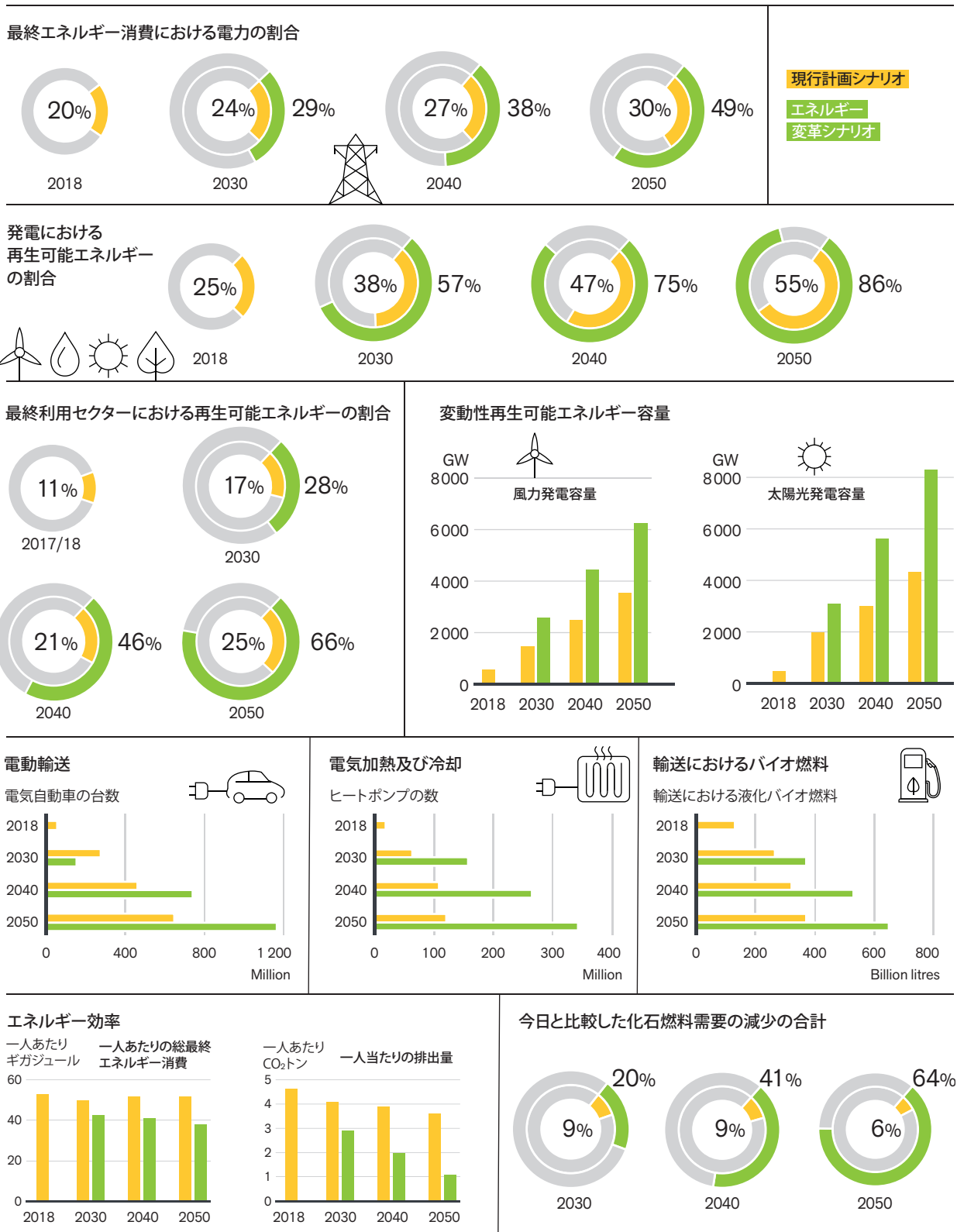
毎年更新されるロードマップの継続的な分析は、いくつかの重要な段階に分かれる。

- 2050年までの全世界での投資の選択肢を比較するため、ベースラインシナリオ (またはリファレンスケース) として世界のエネルギー開発における**現行計画シナリオ**を特定する。これは、2015年以降にパリ協定の下での各国が自ら決定した貢献 (NDC) で定められた目標を含む、各政府の現在のエネルギー計画及びその他の目標や政策に基づいたシナリオを示す。

- 再生可能エネルギー、エネルギー効率、電化を含む低炭素技術及びアプローチをスケールアップまたは最適化する**追加的可能性**を評価し、一方で他の技術が果たす役割についても考慮する。
- 他の出版物ではREmapケースと呼ばれている、現実的かつ実用的な**エネルギー変革シナリオ**を作成する。ここでは再生可能エネルギー及びエネルギー効率に基づいたかなり迅速な低炭素技術の展開が求められ、産業化以前から今世紀までの温暖化を1.5°C未満に抑えるためのエネルギー利用の変革が起こる。このシナリオでは主に、全世界の温室効果ガス排出の約3分の2を占めるエネルギー関連のCO₂排出削減に焦点を当てる。
- 世界中の低炭素技術により想定されるエネルギー変革を達成するための**コスト、便益、必要な投資**の分析。

世界のロードマップ及びその分析の詳細は、www.irena.org/remapを参照のこと。

図1.2: 2つのシナリオの主要な指標：現行計画とエネルギー変革



出典：IRENA分析

注：総風力発電容量には、陸上及び洋上風力が含まれる。総太陽光発電容量には、公益事業及び小規模が含まれる。

EVs = 電気自動車; GJ = ギガジュール; GW = ギガワット

1.2. 気候に安全なエネルギー変革とは？

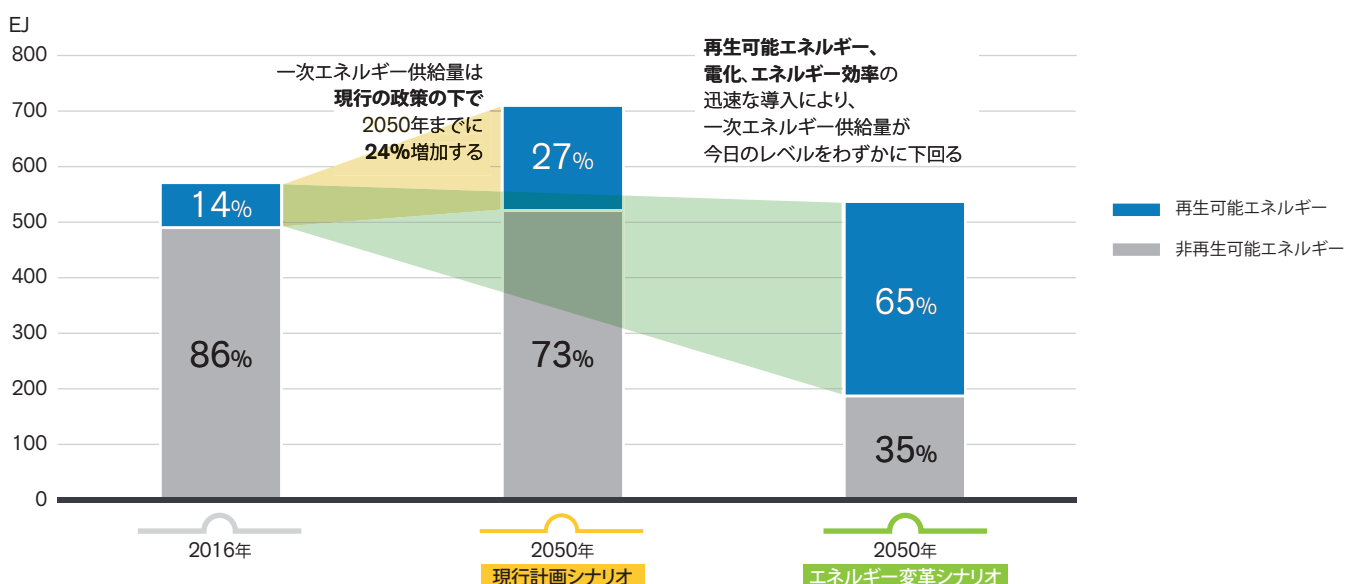
1.5°C目標を維持するには、一次エネルギー供給量に占める再生可能エネルギーの割合を今日の14%から2050年には65%に上げる必要がある(図1.3)。IRENAのエネルギー変革シナリオでは、再生可能エネルギーの利用は2050年までに4倍になる。一次エネルギー供給量も今日よりやや下がる見込みである。2010年から2016年にかけて、人口増加及び経済活動によって一次エネルギー供給量は毎年1.1%ずつ増加した。現行計画シナリオではこの数字が2050年まで0.6%に減るが、エネルギー変革シナリオでは2050年まで毎年0.2%減少となる(IRENA, 2019b)⁵。

再生可能エネルギーによる電化は世界のエネルギー変革において、変化を起こす最大の推進力である。最終エネルギー消費量における電力の割合は、エネルギー変革シナリオにおいて、今日の20%から2050年までに49%に増加する。産業及び建物セクターでの電力消費の割合は、2050年にはそれぞれ2倍の42%及び68%に増加し、輸送セクターでは今日の僅か1%から2050年には40%になる。建物セクターでの暖房及び調理や、輸送セクターでの旅客及び道路貨物で、燃料の代替としてのクリーンな電気の利用での最も実質的な成長が必要とされる(IRENA, 2019b)。

再生可能エネルギーにより発電した電力の利用の増加によって、非効率的な燃料消費は減らされる。エネルギー変革シナリオでは、特に再生可能エネルギーによる輸送及び熱の電化によってエネルギー効率が改善される。

気候を守るには、世界のエネルギー供給はより効率的かつより再生可能にならなければならない

図1.3: 2つのシナリオにおける、2050年までの一次エネルギー供給全体に占める再生可能エネルギー及び非再生可能エネルギーの割合



出典: IRENA, 2019b

注: EJ = エクサジュール; TPES = 一次エネルギー供給量

5 REmap方法論についての詳しい情報は、www.irena.org/remap/methodologyを参照のこと。

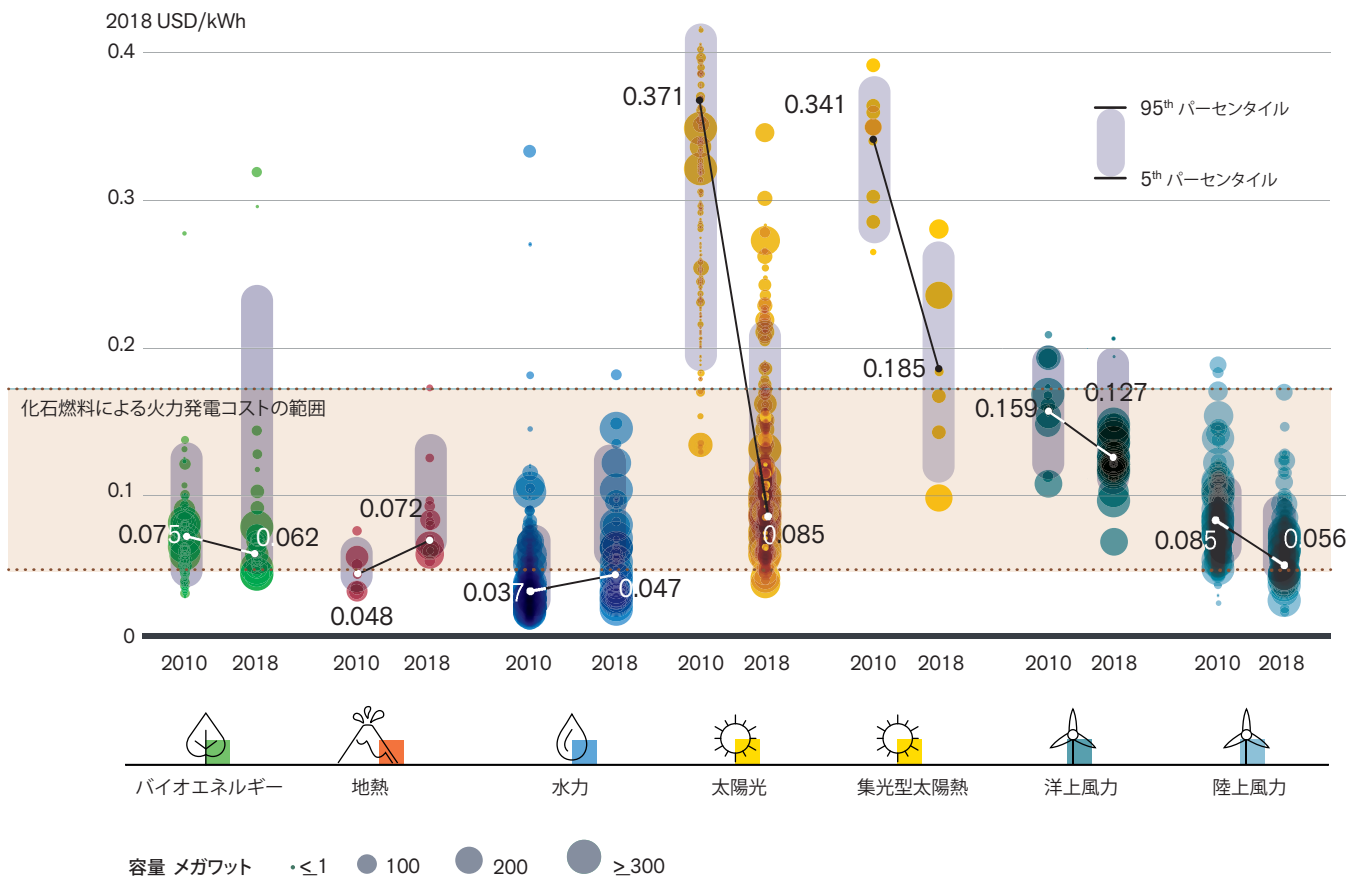
電力ミックスの大幅な転換によって、電力の炭素強度は90%低下する。エネルギーセクターでは再生可能エネルギーが大幅に展開されるが、柔軟なエネルギーシステムが構築されることで、変動性再生可能エネルギー（VRE）のシステムへの統合が支えられる。エネルギーセクターにおける再生可能エネルギーの割合は今日の24%から2050年には86%に増加する。この転換にはエネルギーシステムの計画、システム及び市場の運営、そして規制及び公的政策における新たな手法が必要とされる（IRENA, 2019b）。

最終利用における電気技術の幅広い採用の組み合わせによるものである。その相乗効果だけで、パリ協定及び気候変動に関する政府間パネルが示した1.5°C経路の達成に必要なエネルギー関連排出量の3分の2を提供する。

エネルギー変革シナリオで描かれるように、2050年までに世界経済の炭素強度を3分の2に削減するために必要な解決策及び技術の展開で、2050年の一次エネルギー供給量は2016年よりわずかに減るが、経済規模は今日の3倍になる見込みである。

世界のエネルギー変革において最重要な相乗効果は、低コストの再生可能エネルギー技術（図1.4）及び輸送と熱での

図1.4: 2010年から2018年までの公益事業規模の再生可能発電による世界の電力コスト



出典：IRENA, 2019c

注：これらのデータは委託年のものである。円の直径はプロジェクトのサイズを示し、円の中心はY軸上の各プロジェクトのコストを示す。太線は、世界で各別に委託されたプラントを加重平均した均等化発電単価（LCOE）である。実質的加重平均資本コスト（WACC）は、経済協力開発機構の国々と中国は7.5%、それ以外の国々は10%である。ペーヅ色の領域は、化石燃料による火力発電コストの範囲を表している。各技術と年の灰色の領域は、再生可能エネルギープロジェクトの5パーセンタイルと95パーセンタイルの領域を表している。

MW = メガワット；USD/kWh = キロワット時あたりの米ドル

**再生可能エネルギーに基づく技術は、
最もコストの低いエネルギー供給の選択肢になりつつある**

1.3. そしてそれは何をもたらすか？

気候変動の緩和及び持続可能性の達成によりもたらされる見返りを考慮しなくても、エネルギーシステムを変革した場合、変革なしの場合よりも低コストとなる。2050年までの補助金額の削減及び、温室効果ガス排出やその他のエネルギーに由来する汚染による健康や環境への損害の緩和によって節約される額は、投資額の3倍から7倍である(図1.5)。

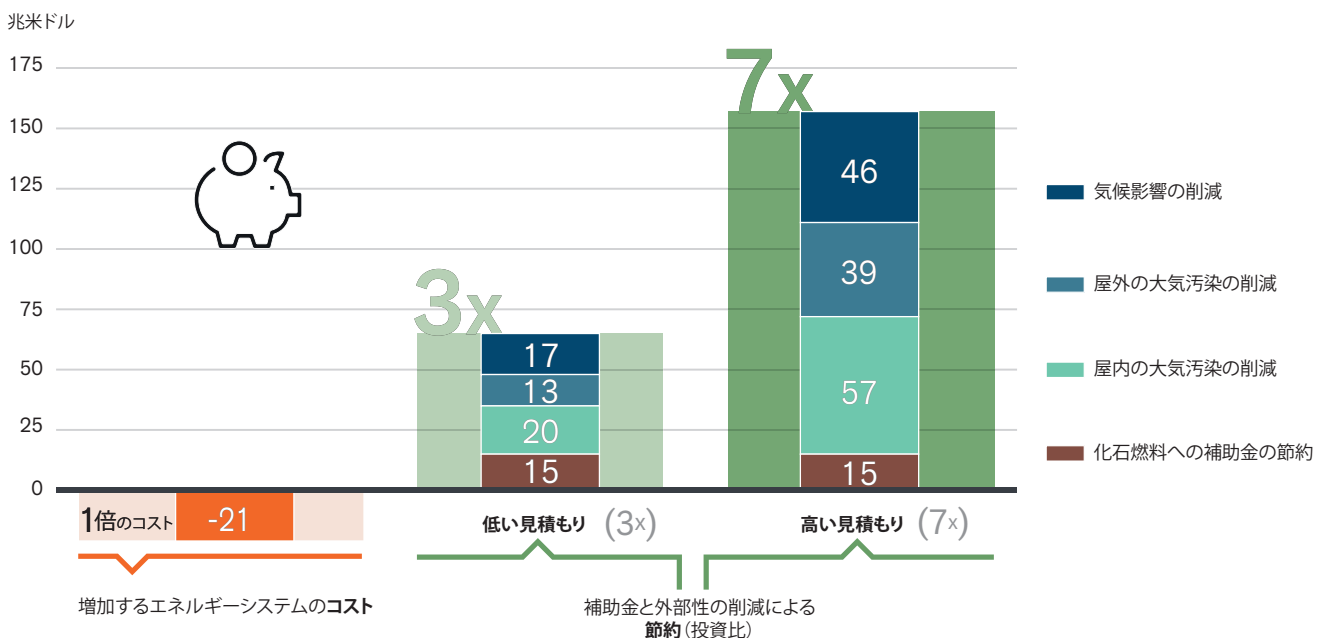
言い換えれば、現在から2050年までにエネルギー変革に費やされる追加費用は、燃料節約、投資回避、外部性の削減により、1米ドルにつき3米ドルから7米ドル分払い戻される。

この期間の累積純削減は、45兆米ドルから140兆米ドルの間であり、現在の世界のGDPの約2倍である。

2030年まで、この利益は現行の計画への少ない追加投資で得られるが、それ以降は、(現行計画シナリオと比較して)追加投資は求められない。実際、エネルギー変革ケースの場合、再生可能技術のコスト低下により、必要な投資も減少する。

エネルギー変革シナリオを現実にするために2050年までに必要な投資は、次に続くセクター別及び地域別の章で説明する。第3章では、エネルギー変革の種類ごとの社会経済的フットプリントを分析し、結論の章では政策へ焦点を移す。

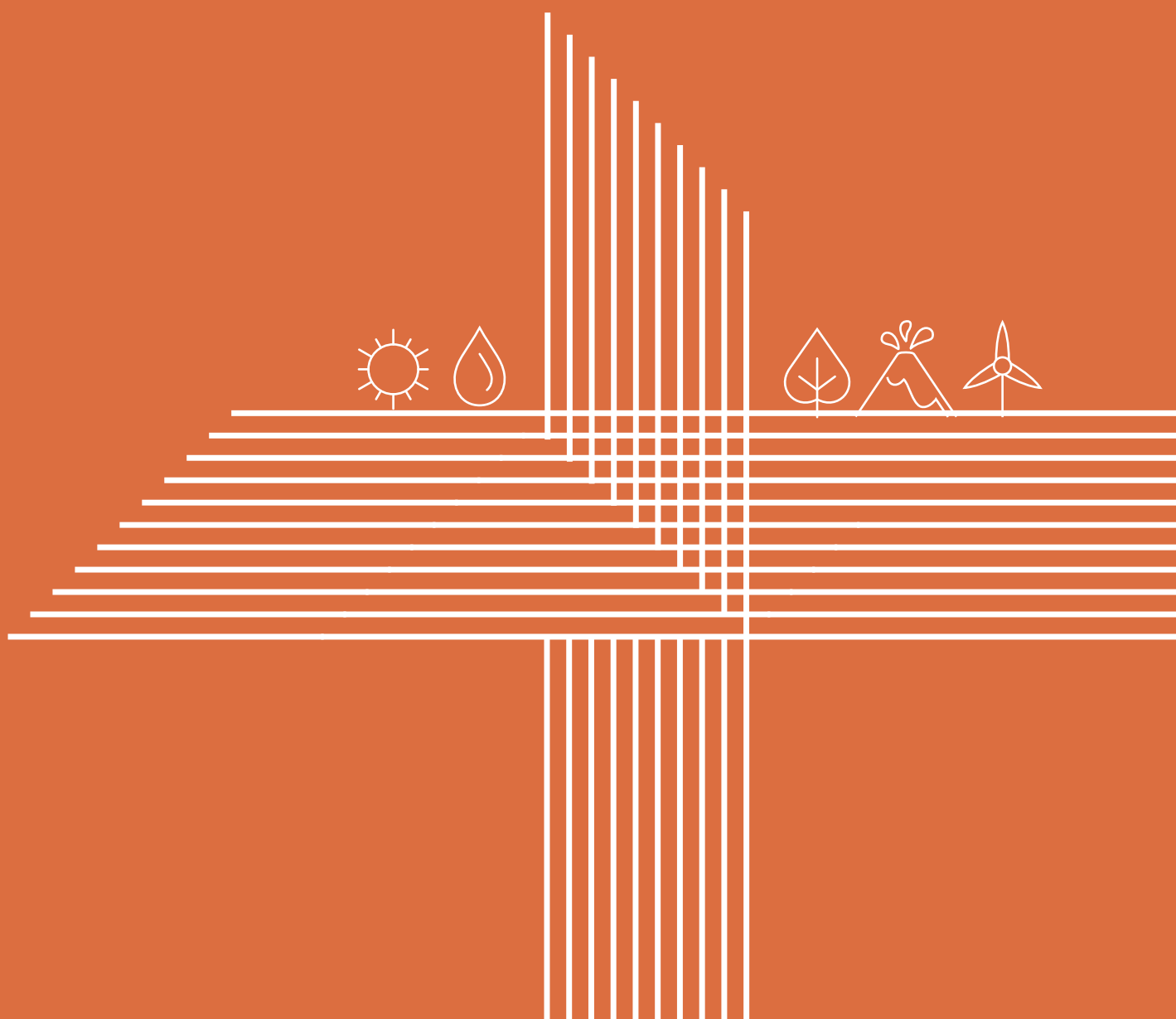
図1.5: 現行計画シナリオと比較した2050年までのエネルギー変革によるコストと節約



出典: IRENA, 2019b

エネルギー変革に費やされた費用は、外部性がどのように評価されるかに応じて、1ドルにつき3ドルから7ドルの見返りをもたらす。再生可能エネルギーの利用が増加すると、大気汚染や気候の影響による健康コストと同様に、純エネルギー補助金が減少する。エネルギー変革ケースに基づく追加支出の半分は、補助金の回避により回収できる

1.5°C目標への道筋に向けて 必要となる投資



02

クリーンエネルギーへの投資は、過去3年間、停滞する一方で、化石燃料部門への投資は増加した。IPCCで示される1.5°C目標も含むパリ協定で想定されている脱炭素化へ向けた道筋に対し、現在の傾向は明らかに不整合なものとなっている (IEA, 2019a)。

IRENAは、2018年の再生可能電源への世界の投資額が、2017年のレベルからわずかに減少し、3,090億米ドルであったと推定している⁶。さらに200億米ドルが最終用途の再生可能エネルギー（太陽光熱、熱用バイオエネルギー、地熱など）に投資され、年間の再生可能エネルギーへの総投資額は3,290億米ドルとなった。また、技術革新と研究開発にも投資されている。推定で500億米ドルが「スマートエネルギー」に投資されたが、これは、スマートグリッド、デジタルエネルギー、エネルギー貯蔵、電気自動車に焦点を当てた企業による資金調達と考えられている。国際エネルギー機関 (IEA) によると、低炭素エネルギー技術に関連する研究開発への世界的な公共投資額は年間で5%増加し230億米ドルに達した。一方、クリーンエネルギーへの企業投資は約900億米ドルだった (IEA, 2019b)。

現在の計画と政策の下では、増加する世界のエネルギー需要を満たすために、最近の投資額から50%拡大投資する必要がある。1.5°C目標への道筋をつけるには、現在のクリーンテクノロジーへの年間投資額を2倍にする必要がある。現在から2050年まで、基盤整備やクリーンテクノロジーを含むエネルギーシステムへの累積投資は、現行計画シナリオの下では95兆米ドルとなり、エネルギー変革シナリオの下では110兆米ドルとなる。

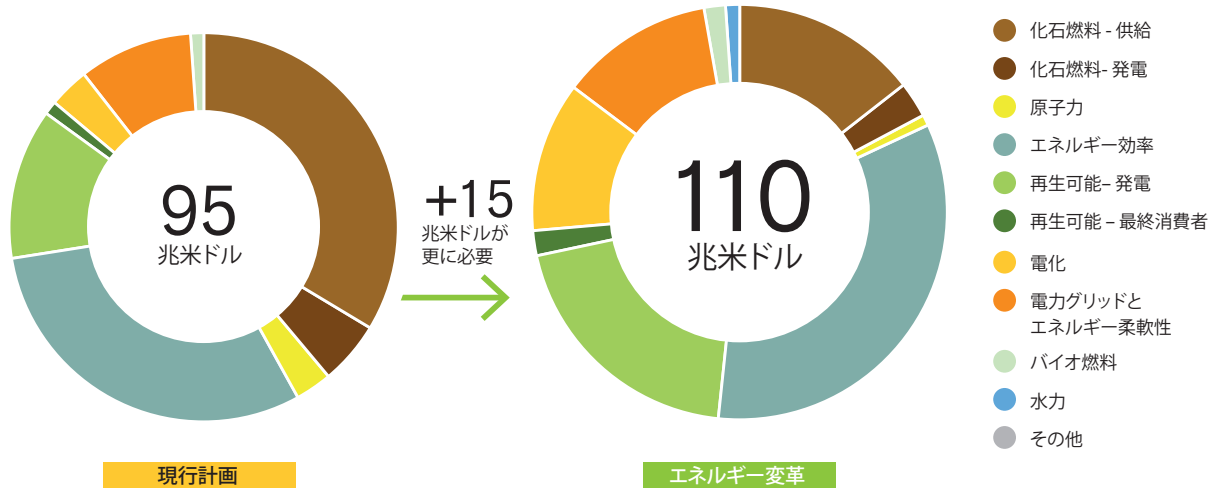
低炭素エネルギーシステム (図2.1) を達成するためには、毎年約3.2兆米ドル (当該期間中における世界の国内総生産 (GDP) の約2%に相当) の投資が必要であり、それは、現行計画シナリオよりも毎年約0.5兆米ドル多い額である。ちなみに、2017年の世界のエネルギーシステムへの投資額は1.8兆米ドル (IEA, 2018) であった。再生可能エネルギーと関連の基盤整備は、2つのシナリオの差の半分弱を占め、エネルギー効率と輸送の電化及び熱利用が残りを占める。

経済が現在の3倍になったとしても、世界経済の炭素強度を軽減するのに要求される解決策や技術を、2050年までにエネルギー変革ケースの2/3だけ展開すれば、一次エネルギー供給量を現在のレベルより少し低いところまで減らすことになるだろう。

**1.5°Cへの道筋をつけるには、
エネルギー投資を、再生可能エネルギー、
エネルギー効率、熱や輸送の電化に向けて
シフトさせる必要がある**

⁶ Bloomberg New Energy Finance は、大規模な水力発電を除く再生可能エネルギー電力技術への世界的な投資は、2018年に合計2,720億米ドルに上ると予測している (BNEF, 2019)。IRENAは、大規模な水力発電への投資は約370億米ドルと推測している。

図 2.1: 2050年までの現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオにおける累積投資額



出典: IRENA 分析

注: 本報告書中の米ドルは2015年の値で示している。

1.5℃への道筋をつけるには、エネルギー投資を、再生可能エネルギー、エネルギー効率、熱や輸送の電化に向けてシフトさせる必要がある

エネルギー変革ケースにおける投資額の量の経時変化をさらに見ると、エネルギー部門への年平均投資額は2030年までに4.3兆米ドルに達するが、これは経年の平均レベルである1.85兆米ドルの2倍以上にあたる。投資額の多くは、最終利用設備でのエネルギー効率対策や電力部門のために必要であり、残りの投資額のほとんどは上流側である一次エネルギー供給用及び最終消費者用となる。そして、最終利用側の再生可能エネルギーに必要な投資額はわずかである。

上流側の供給と発電の基盤の両方で化石燃料への投資を低減することで、2030~2050年における年平均投資額は2.6兆米ドルから2.8兆米ドル程度の額まで減少できるだろう。この低減分は、現行計画シナリオと比較して、全体で年間0.1~0.3兆米ドルの節約になる。

しかしながら、最終使用部門のエネルギー効率改善と変動性再生可能エネルギーのシェア上昇に対応するための対策に、さらに多くの追加投資が必要である。直接的な最終用途の再生可能エネルギー技術の直接的な最終使用における投資の必要額も、2030年から2050年の間に3倍になるだろう。

脱炭素化された世界的エネルギーシステムへの移行には、投資額の構成で化石燃料部門の割合を低減させながら、現行計画シナリオよりもエネルギー部門への投資をさらに16% (2050年までに追加的な15兆米ドル) 拡大する必要がある。全体として、エネルギー変革ケースでは、エネルギー効率、再生可能エネルギー、電力系統と柔軟性、及びその他の技術に36兆米ドルの追加投資が必要になる。しかし、18.6兆米ドル分の化石燃料への投資を不必要なものとする

する。全体としては2050年までに15兆米ドル(または4,410億米ドル/年)の追加投資が必要となり、現行計画ケースより16%増加する。

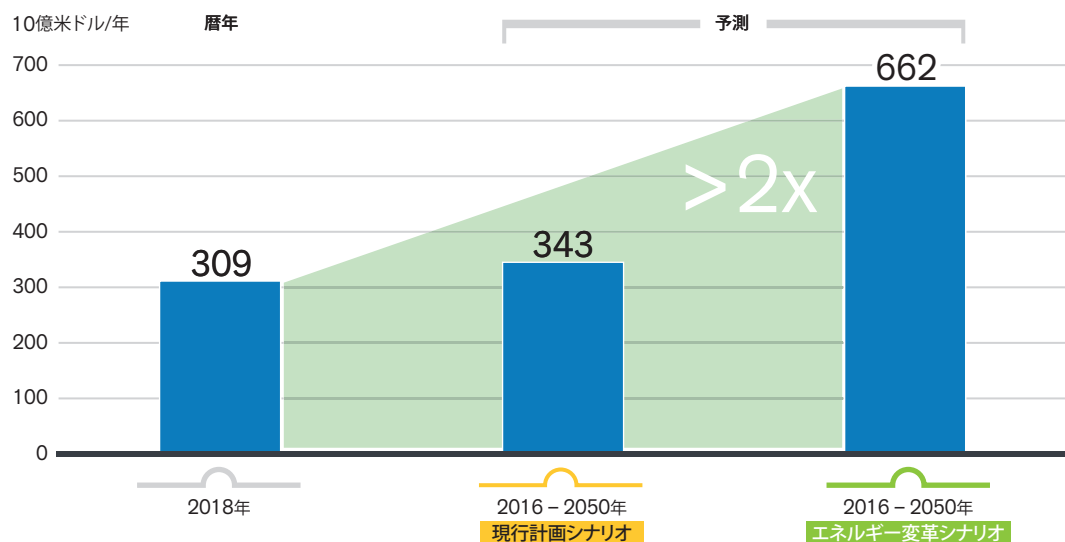
エネルギー変革シナリオの実現化を念頭に、表2.1に示されている再生可能エネルギーの各技術は、以下のセクションで個別に検討される。その後、地域ごとの投資ニーズの内訳及び投資フローのあり方についての検討が続く。

2.1. 再生可能発電への投資

エネルギー変革シナリオの脱炭素化オプションには、2050年までに再生可能発電容量に22.5兆米ドル近くの投資が必要であり、現行計画シナリオ(11.7兆米ドル)のほぼ2倍にあたる。年間投資額は、倍増して年間6,600億米ドルを超える(図2.2)。全体の大部分は、風力(45%)と太陽光発電(30%)となり、バイオエネルギー(9%)、水力(7%)、集光型太陽熱発電(4%)が続く(図2.3)。

エネルギー変革シナリオ下では、**22.5兆米ドルが再生可能エネルギーに投資される**

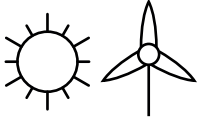
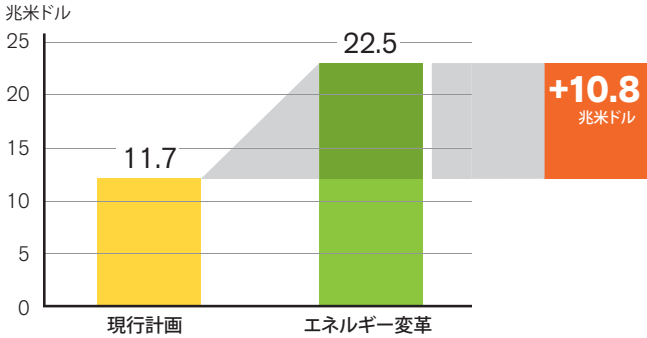
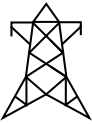
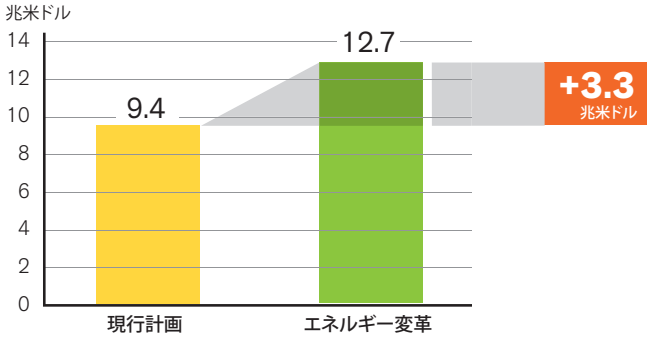
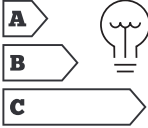
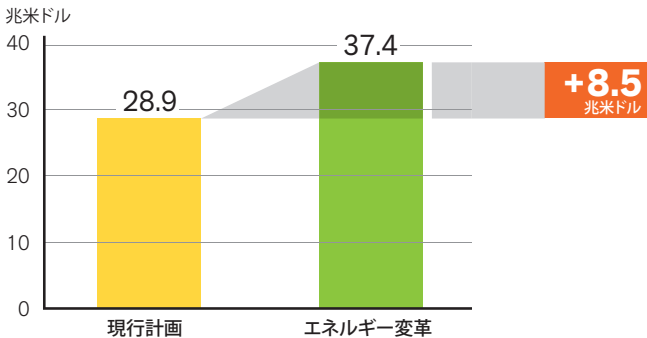
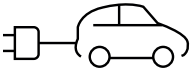
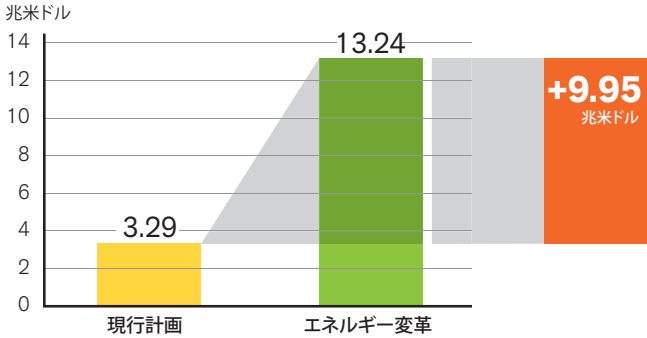
図 2.2: 2050年までの再生可能電力の発電容量における年平均投資額



出典: IRENA分析


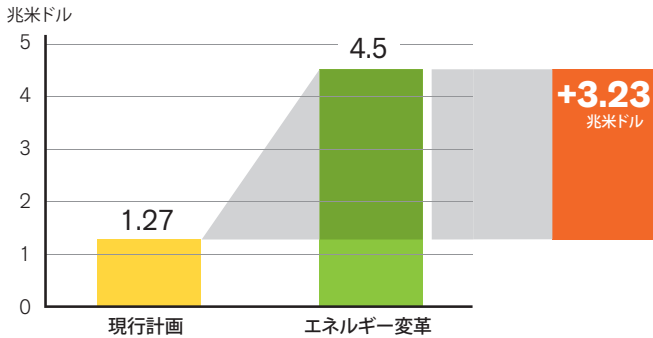
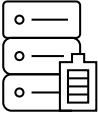
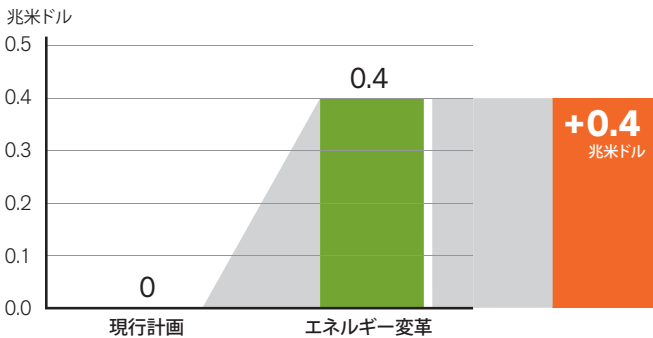

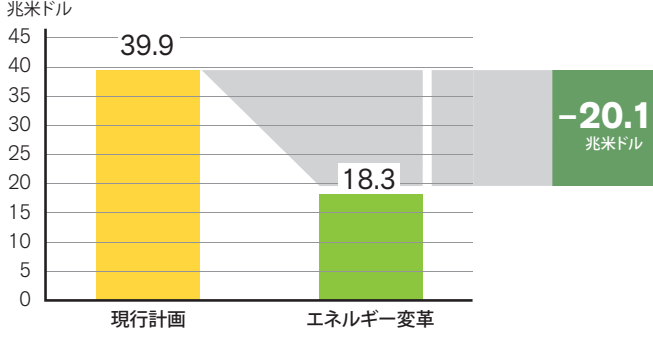
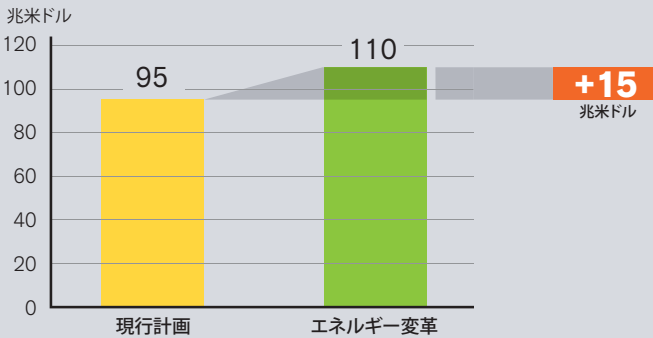
注: 2018年のデータは、BNEF (2019) 及びIRENAの推定に基づいている。

表 2.1: 技術別の現行計画及びエネルギー変革シナリオに基づく2050年までの必要な投資額

カテゴリー	2016年から2050年までの累積投資額	差額	コメント
再生可能をベースにした発電容量 (電化を除く) 	 <p>兆米ドル</p> <p>25 20 15 10 5 0</p> <p>11.7 22.5</p> <p>現行計画 エネルギー変革</p> <p>+10.8 兆米ドル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 主に、風力及び太陽光発電により供給される発電容量の建設 	
電力グリッドと柔軟性 	 <p>兆米ドル</p> <p>14 12 10 8 6 4 2 0</p> <p>9.4 12.7</p> <p>現行計画 エネルギー変革</p> <p>+3.3 兆米ドル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 送配電網の拡張や強化のために80% 残りの20%は、スマートメーター、エネルギー貯蔵(揚水発電、バッテリー貯蔵)、適切な予備容量の確保のための改修または新規発電容量 	
最終消費部門のエネルギー効率 (電化を除く) 	 <p>兆米ドル</p> <p>40 30 20 10 0</p> <p>28.9 37.4</p> <p>現行計画 エネルギー変革</p> <p>+8.5 兆米ドル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 建物の改修と新たな効率的な建物の建設に50% 残りは、輸送と産業の改善のため 	
最終消費部門の電化 	 <p>兆米ドル</p> <p>14 12 10 8 6 4 2 0</p> <p>3.29 13.24</p> <p>現行計画 エネルギー変革</p> <p>+9.95 兆米ドル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 電気自動車の基盤整備と鉄道の電化のために80% 残りは、建物セクター向けヒートポンプ(12%)及び産業セクター向けヒートポンプ(8%) 19エクサジュール(EJ)の水素を生成するための電解槽容量1 TWには1%弱 	

注: EJ = エクサジュール; PEM = 高分子電解質膜; PV = 太陽光発電; TW = テラワット

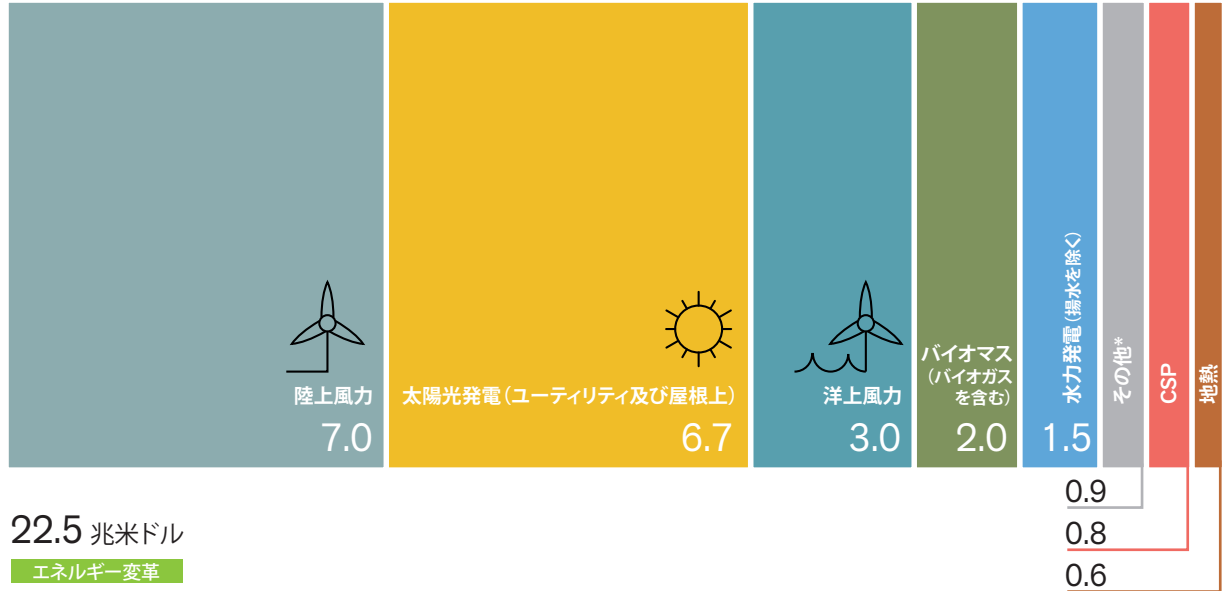
表 2.1: (続き)

カテゴリー	2016年から2050年までの 累積投資額	差額	コメント
再生可能の 直接利用 	兆米ドル 	<ul style="list-style-type: none"> 輸送部門(特に、航空と船舶)を脱炭素化するためのバイオ燃料生産に42% 産業(第一次)及び建物での太陽光熱の整備に40% 新型バイオマスに11%、残りは地熱整備 	
その他 	兆米ドル 	<ul style="list-style-type: none"> 産業における炭素回収貯留、及び材料の効率改善を含む 	
非再生可能 	兆米ドル 	<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料への支出の減少(上流供給、発電容量)による変革に90%以上 原子力発電容量への投資回避を反映 	
総計額の差	兆米ドル 	<div style="border: 1px solid white; padding: 10px; text-align: center;"> <p>全体的な 増分投資ニーズは 15兆米ドル である。</p> </div>	

出典: IRENA 分析

図 2.3: 技術別の2050年までの再生可能発電容量への累積投資額

兆米ドル



出典: IRENA 分析

注: その他には、海洋、水上太陽光、ハイブリッド再生可能容量が含まれる。CSP = 集光型太陽熱発電; PV = 太陽光発電

発電のみならず、変動性再生可能エネルギーの増加量を確実に吸収できる拡張電力システムの適正かつ柔軟な運用を確保するためのさらなる投資が必要である。その構成としては、送配電網、スマートメーター、揚水水力、分散型及び大規模な定置型バッテリー貯蔵（主に分散型太陽光システムと結合）、及び十分な発電量を確保するための改修及び新設発電容量が含まれる。

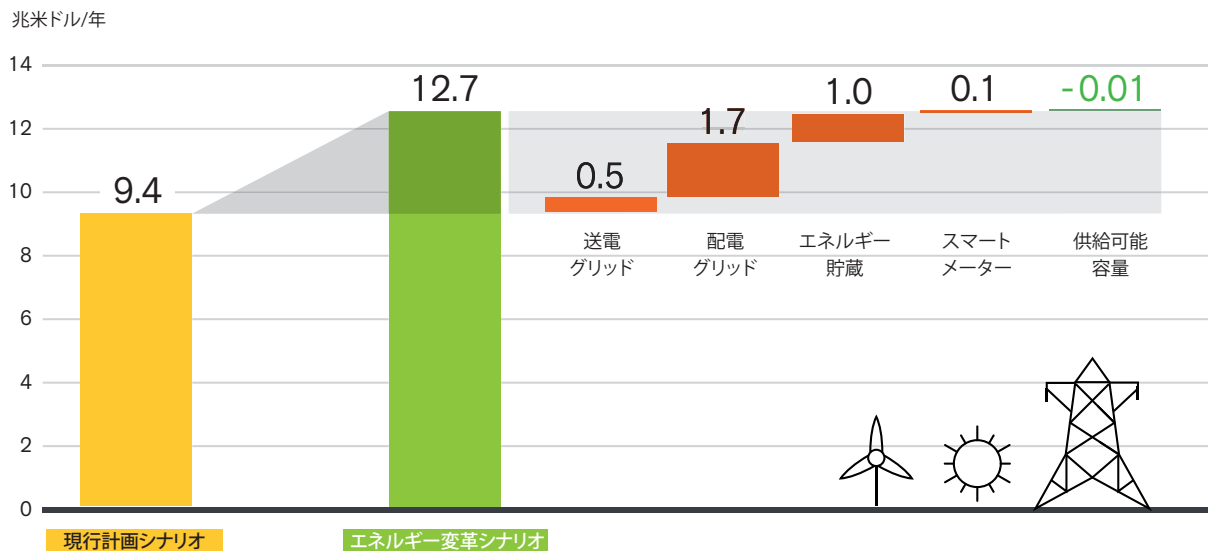
これらの投資は、エネルギー変革ケースで13兆米ドルに近づき、現行計画ケースの9兆米ドルよりも3分の1高くなる。送電網と配電網の拡張及び強化には、約3分の2の増額が必要になり、残りの3分の1の増額分は、スマートメーターの設置、及び電力システムの適切性と柔軟性を保証する対策に必要となる（図2.4）。主に再生可能エネルギーを電源とする電力システムの安全で信頼性の高い柔軟な運用を確保するために、2050年までに年間約3,740億米ドルが必要である。

世界的には電力網の維持、拡張、改善への投資は2017年から2018年に1%低下し、全体の投資は2,930億米ドルだった（IEA, 2019a）。一方、大規模及び需要家サイド（BTM）のバッテリーへの投資は、2018年に400万米ドルを超える記録的なレベルに達し、2017年のレベルより45%高くなった（IEA, 2019a）。

エネルギーの基盤整備には追加的な投資が要求される

エネルギー変革シナリオ下では、風力エネルギーの総設置容量は2018年の約564 GWから2050年には6,000 GW以上に増加する。同期間において太陽光発電は480 GWから8,500 GWに増加する。この規模拡大は、2050年に至るまでの数十年間で、再生可能エネルギーを基にした発電容量への全体的な投資の60%以上となる。

図 2.4: 2050年までの送配電網、エネルギー貯蔵、スマートメーター、及び供給可能な化石燃料発電容量における投資額



出典：IRENA 分析

変動性再生可能エネルギーの費用は、そのエネルギー源の固有の特性と、それらを電力システムに統合するという課題に関連する。変動性、不確実性、及び場所への依存性により、システムがリアルタイムで需要と供給のバランスを保ち、予期しない出来事から迅速かつ効率的に回復することがより困難となる。上記の機能を効果的に実行できる電力システムは、十分な柔軟性を備えることになる (IRENA, 2019d)。

変動性再生可能エネルギーを、非常に高い割合で統合することはすでに技術的に可能であることを経験が示している。その割合を高めることの制約は、主に経済面である (IRENA, 2019d)。

変動性再生可能エネルギーの割合が拡大するにつれて、グリッドの柔軟性を高めるための設備とシステムへの大規模な投資も必要になる。

それらの投資先には、急速な火力発電のバックアップ、揚水水力、強化された送配電グリッド、デジタル制御機器、大幅に拡張された貯蔵容量 (設置型、季節的、及び電気自動車向け)、及び柔軟な需要 (需要側管理、ヒートポンプ及び電気ボイラー) が含まれる。

特定の電力システムを変革するために必要な資本的支出は、地域の特性により左右される。同様に、実現技術への投資の要件は、既存の柔軟性のレベル、予想される需要の成長 (経済成長と電化による)、季節変動幅 (特に電気熱に関連)、新規建設 対 改修 (未開発地域における柔軟性の強化には、投資費用は低くなる) と消費者の選好 (例：電気自動車) に依存する。

2.2. エネルギー効率への投資

世界が長期的な脱炭素目標を達成するための道を歩むためには、エネルギー効率への投資を2018年のレベル(0.240兆米ドル⁷)の約5倍にあたる年間1.1兆米ドルに拡大する必要がある(図2.5)。再生可能エネルギーの大半において、エネルギーサービスに変換される際のエネルギー損失は、化石燃料の場合と比較して低くなる。従って、再生可能エネルギーは、需要を削減するエネルギー効率対策の利点を強化することになる。この効果は、輸送、暖房、その他の最終用途の大部分が電化されるようになるにつれて、さらに増強されるかもしれない(IRENA, 2019e)。

効率化対策の大部分は自動車や類似の乗用車(87%)に向けられ、他の乗客モード(バス、鉄道、二輪車及び三輪車)がそれに続く。効率化対策には、乗用車から公共交通機関(電気鉄道または路面電車)へのモーダルシフト、また、貨物の場合はトラックから電気鉄道への転換が含まれる。このような転換は、多くの国で輸送の脱炭素化に大いに貢献し、同時に燃料費用の削減にも貢献する。

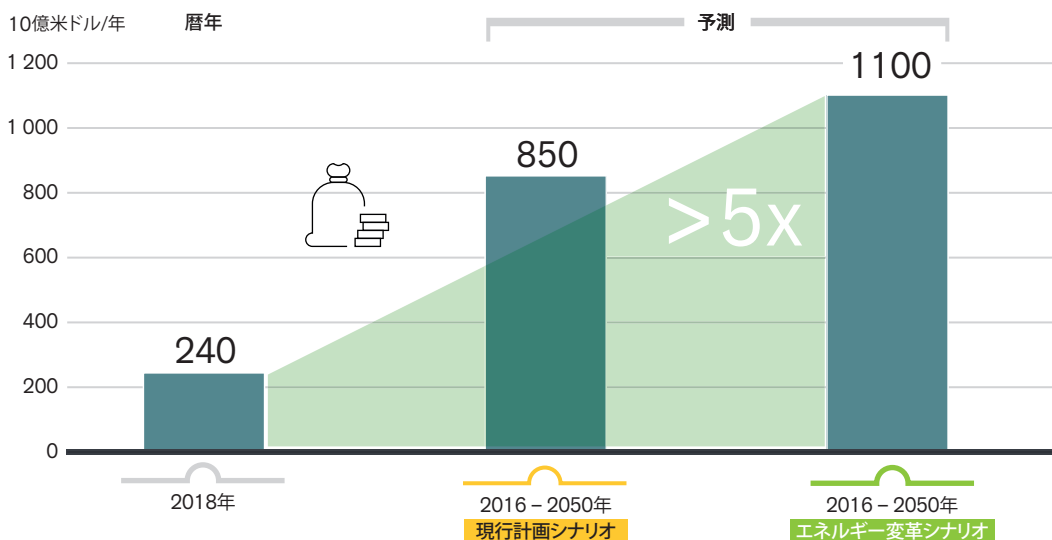
残りは、船舶と航空輸送における効率化対策に投資することになる。

2050年までのエネルギー変革ケースでは、再生可能な熱、燃料及び直接利用への合計2.5兆米ドルの投資に加えて輸送、特に航空及び輸送を脱炭素化するバイオ燃料の生産のために約2兆米ドルが必要である。

1.5°C目標を達成するには、
エネルギー効率対策に
5倍の投資が必要である

7 <http://www.iea.org/wei2019/end-use/>

図 2.5: 2050年までのエネルギー効率対策における年平均投資額



出典: IRENA 分析

注: IEA (2019a) に基づく2018年のデータ及びIRENA 推定値のデータ

2.3. 電化と直接利用への投資

エネルギーの脱炭素化にとって、最終エネルギー消費部門での大幅な電化は非常に重要な意味を持つ。エネルギー変革シナリオでは、2050年までの直接的な最終用途と熱設備に2.5兆米ドルの累積投資が必要であり、主に航空と船舶で使用するバイオ燃料を生産するために2兆米ドルが追加的に必要である。

部門としては、輸送セクターが最も大幅な変革を必要とするが、建物、都市開発プロジェクト及び産業向けの再生可能な冷暖房対策も重要である。電解槽の容量も大幅に増加する必要がある。次のパラグラフと図2.6は、これらの点を詳細に示す。

輸送における電化。 2050年までに脱炭素化するためには、輸送部門による化石燃料消費に伴う排出量を大幅に削減する必要がある。特に顕著なのは、従来の車両を電気自動車に転換することである。エネルギー変革シナリオでは、電気自動車の台数は2050年までに10億台を超えるだろうと予想されている。これには、電気自動車及び鉄道の電化のための充電設備の基盤整備に年間2,980億米ドルの投資が必要である（図2.6）。

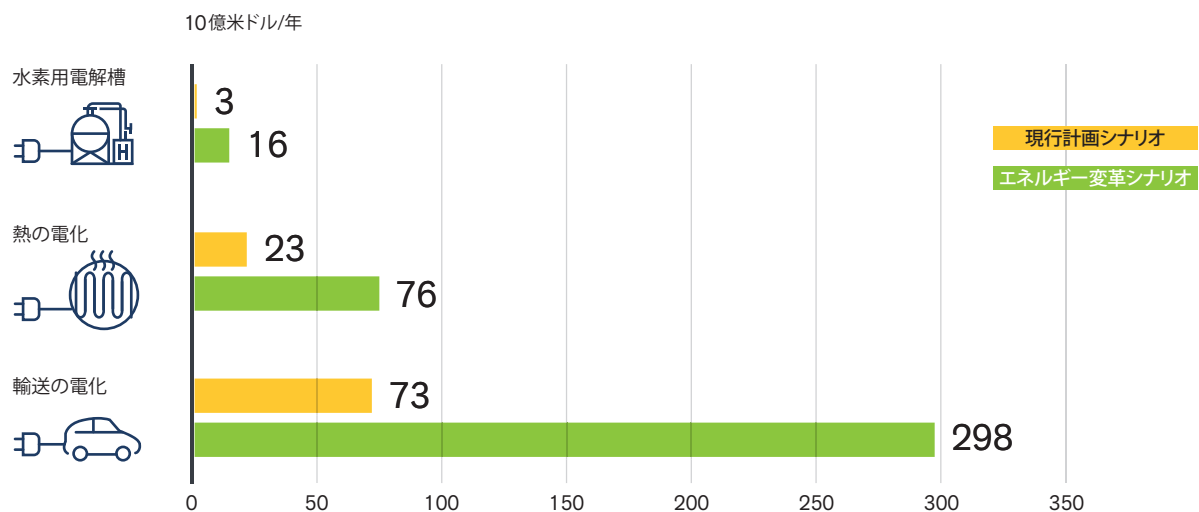
エネルギー変革のケースでは、
熱と輸送の電化においては
4倍の投資が必要である

電気自動車用のバッテリーパックを構築するために、バッテリー工場にも追加の投資が必要である。必要となる最大の追加的投資は、充電設備の基盤整備に集約される。

熱の電化。 世界の低温地域での熱需要の高まりにより、既存の化石燃料システムの代替技術のオプションが必要とされる。ヒートポンプは、一部の最終利用設備での熱需要に対して低炭素技術対策となっている。ヒートポンプは現在、ヨーロッパでは魅力的な選択肢であり、他の地域でも増加することが期待されている。エネルギー変革シナリオ下では、建物や産業セクターで使用されるヒートポンプ数は3億基以上に増加することとされ、現在の稼働数の10倍になっている。これには年間760億米ドルの投資が必要である。

太陽熱技術は、エネルギー変革シナリオの下で、
産業及び建物における
熱利用の需要の半分以上を満たす

図 2.6: 2050年までの熱と輸送を電化するための年平均投資額



出典：IRENA 分析

3分の2以上が建物に整備され、残りが産業に整備される。

水素。エネルギー変革ケースでは、2050年までにほぼ19 EJの世界のエネルギー需要が再生可能な水素、つまり再生可能な資源から生産された水素によって供給されることになる (IRENA, 近日公開)。これを達成するには、1 TW 近くの電解槽容量 (アルカリ及び高分子電解質膜) を整備するために、2050年までに年平均160億米ドルの投資が必要になる。

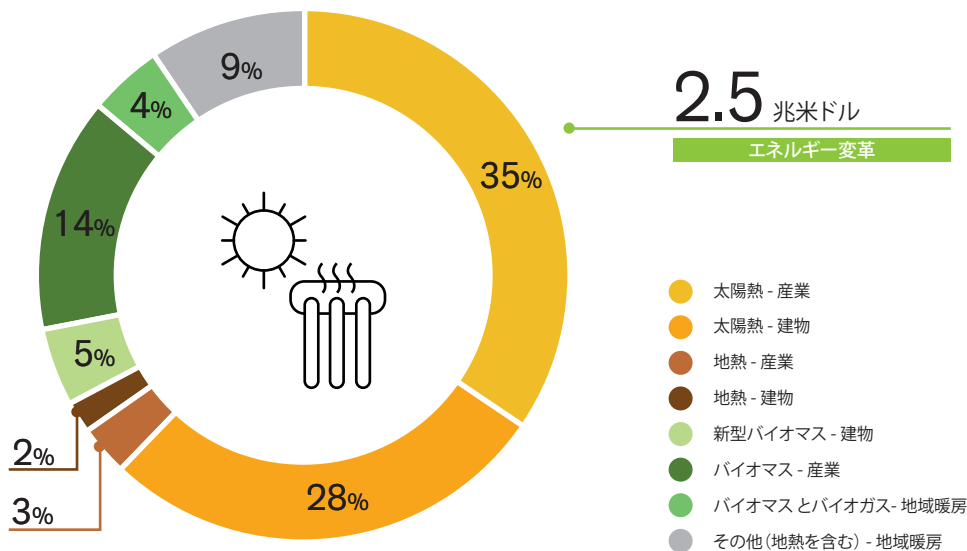
全体として、エネルギー変革シナリオの目標を達成するためには、再生可能な熱、燃料、及び直接利用への投資額は、2050年までの期間では年間730億米ドル弱が必要となり、

これは、2018年における年間約250億米ドル (IEA, 2019a) の3倍になる。投資の半分以上は、産業及び建物への太陽熱技術の迅速な整備のために必要であり、それに続いて、産業の熱プロセスでのバイオマスの使用のために、妥当な規模の投資 (14%) がなされるべきである (図2.7)。

また、エネルギー変革ケースでは、産業用素材とプロセスの改善とともに、炭素回収貯留 (CCS) の整備への投資が予期され、今から2050年までに合計0.4兆米ドルとなる。

**投資レベルは
世界で見ると大きく異なる**

図 2.7: 2050年までに直接最終利用及び熱利用に必要な再生可能エネルギー投資 (累積)



出典: IRENA 分析

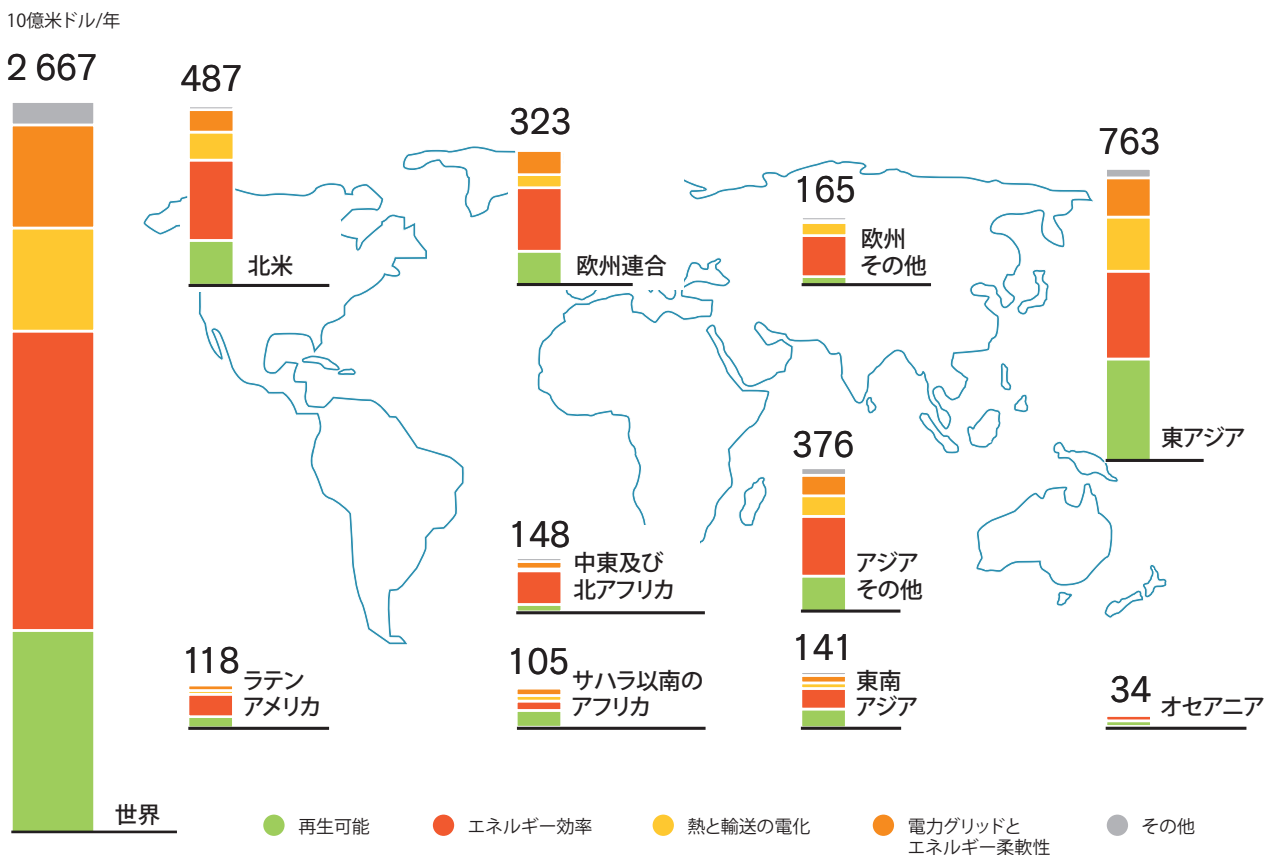
2.4. 地域ごとの投資の内訳

エネルギー変革シナリオを実施するために必要な再生可能エネルギーへの投資レベルは、地域によって大きく異なり、エネルギーシステムの大きさ、資源の異なる賦存状況、異なった出発点のため、現在の再生可能エネルギーの割合とは必ずしも相関しない。2050年における一次エネルギー供給における再生可能エネルギーの割合が最も高いのは、サハラ以南のアフリカとオセアニアで80%をはるかに超えるレベルに達し、続いて、ラテンアメリカと欧州連合 (EU)

が70%を超えるレベルに達する。対照的に、中東及び北アフリカ (MENA) 地域の割合が最も低く、わずか26%である。

2050年までの期間の平均的な年間クリーンエネルギー投資額の最高レベルは、東アジアで7,630億米ドル、北米で4,870億米ドルと続く(図2.8及び表2.1)。サハラ以南のアフリカとオセアニアは、クリーンエネルギー技術の整備における平均投資額が最も低く、それぞれ1,050億米ドルと340億米ドルになる。

図2.8: エネルギー変革シナリオの下での2050年までの地域別年間クリーンエネルギー投資額



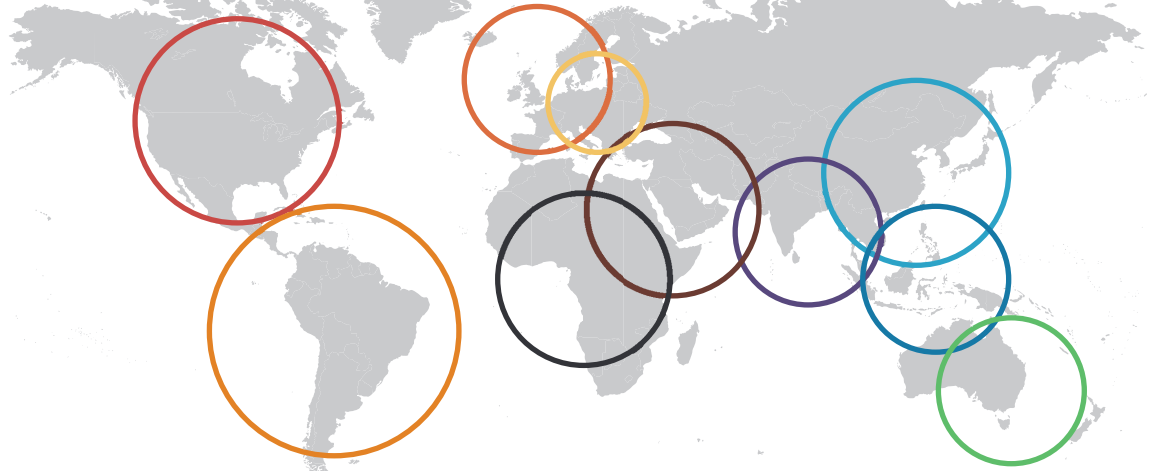
出典: IRENA 分析

注: その他には、水素製造のための電解槽、バイオ燃料製造、及び産業におけるCCS及び材料改善が含まれる。

免責事項: この地図に表示される境界と名前は、IRENAによる公式の承認または承認を意味するものではない。

エネルギー需要の増加のために、
エネルギー変革ケースにおける総エネルギー投資額の
ほぼ50%を東アジア及び北米で必要になる

表 2.2: 2050年までの地域別及び技術別のグリーンエネルギーへの年平均投資額



	年間投資額 (10億米ドル/年)	各地域の年間投資額総計の占有率				
		再生可能 (電力と最終消費者)	エネルギー効率	最終消費者の 電化	電力グリッドと 柔軟性	その他 ^a
東アジア	763	35	30	18	14	3
北米	487	24	45	15	13	2
アジアその他	376	25	42	14	14	5
欧州連合	323	25	45	10	17	2
欧州その他	165	15	57	18	4	6
中東及び北アフリカ	148	12	65	4	16	4
東南アジア	141	32	40	8	15	5
ラテンアメリカ及び カリブ海諸国	118	26	50	8	13	3
サハラ以南の アフリカ	105	41	24	15	17	3
オセアニア	34	37	39	8	12	4

出典：IRENA 分析

a. 水素製造のための電解槽、バイオ燃料供給、及び産業向け炭素回収貯留及び材料の改善

- 東アジアには、中国、日本、モンゴル、朝鮮民主主義人民共和国、大韓民国が含まれる。
- 北米には、カナダ、メキシコ、アメリカ合衆国が含まれる。
- アジアのその他の地域には、アフガニスタン、アルメニア、アゼルバイジャン、バングラデシュ、ブータン、インド、カザフスタン、キルギスタン、モルディブ、ネパール、パキスタン、スリランカ、タジキスタン、トルコ、トルクメニスタン、ウズベキスタンが含まれる。
- 欧州連合には、すべてのEU加盟国が含まれる。
- その他の欧州には、アルバニア、アンドラ、ベラルーシ、ボスニア及びヘルツェゴビナ、アイスランド、リヒテンシュタイン、モナコ、モンテネグロ、北マケドニア、ノルウェー、モルドバ共和国、ロシア連邦、セルビア、スイス、ウクライナが含まれる。
- 中東及び北アフリカには、アルジェリア、バーレーン、ジブチ、エジプト、イラン、イラク、イスラエル、ヨルダン、クウェート、レバノン、リビア、モロッコ、オマーン、カタール、サウジアラビア、シリア、チュニジア、アラブ首長国連邦、イエメンが含まれる。
- 東南アジアには、ブルネイダルサラーム、カンボジア、インドネシア、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナムが含まれる。
- ラテンアメリカ及びカリブ海諸国には、アンティグア・バーブーダ、アルゼンチン、バハマ、バルバドス、ベリーズ、ボリビア、ブラジル、チリ、コロンビア、コスタリカ、キューバ、ドミニカ、ドミニカ共和国、エクアドル、エルサルバドル、グレナダ、グアテマラ、ガイアナ、ハイチ、ホンジュラス、ジャマイカ、ニカラグア、パナマ、パラグアイ、ペルー、セントクリストファー・ネイビス、セントルシア、セントビンセント及びグレナディーン諸島、スリナム、トリニダードトバゴ、ウルグアイ、ベネズエラが含まれる。
- サハラ以南のアフリカには、アンゴラ、ベナン、ボツワナ、ブルキナファソ、ブルンジ、カボベルデ、カメルーン、中央アフリカ共和国、チャド、コモロ、コンゴ、コートジボワール、コンゴ民主共和国、赤道ギニア、エリトリア、エスワティニ、エチオピア、ガボン、ガンビア、ガーナ、ギニア、ギニアビサウ、ケニア、レソト、リベリア、マダガスカル、マラウイ、マリ、モーリタニア、モーリシャス、モザンビーク、ナミビア、ニジェール、ナイジェリア、ルワンダ、サントメ・プリンシペ、セネガル、セيشェル、シエラレオネ、ソマリア、南アフリカ、トーゴ、ウガンダ、タンザニア連合共和国、ザンビア、ジンバブエが含まれる。
- オセアニアには、オーストラリア、フィジー、ミクロネシア、ニュージーランド、パプアニューギニア、サモア、ソロモン諸島、バヌアツが含まれる。

免責事項：この地図に表示される境界と名前は、IRENAによる公式の承認または承認を意味するものではない。

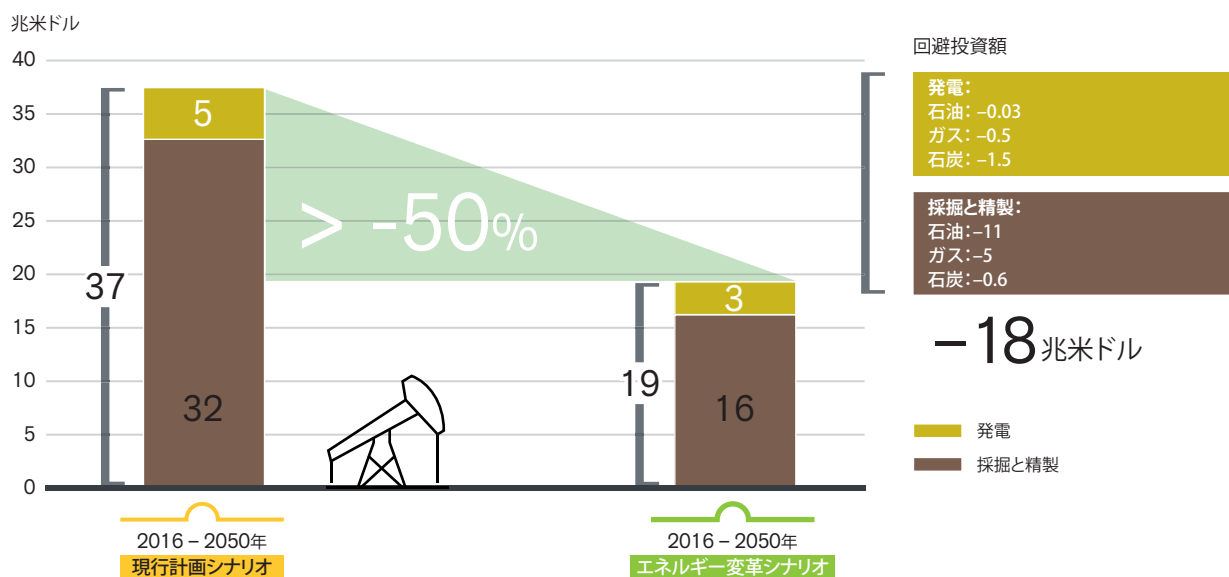
2.5. 投資の転換

IPCCが示すように温暖化を1.5℃に抑えるためには、現在と2050年の間に18.6兆米ドル近くの投資額を化石燃料から低炭素技術に切り替える必要がある。必要な切り替えにより、化石燃料の年間投資額は5,547億米ドルに削減される。これは、2017年に化石燃料産業が投資した額の約半分である（IEA, 2018）。この削減の大部分（89%）は上流の供給側で行われる（図2.9）。回避される化石燃料の上流側の累積投資額のうち、石油がほぼ64%を占め、天然ガスは33%、石炭は4%を占める。化石燃料発電所への2050年までの累積投資額は2.6兆米ドルにまで削減され、現行計画シナリオ下で予測されている金額の半分（5兆米ドル）になる。投資される額の大部分は、既存の火力発電所の改修であり、少額が既発注で完成間近の発電所に投資される。

回避される化石燃料への投資額は、エネルギー変革シナリオの下での再生可能エネルギー技術への投資に必要な36兆米ドルの半分以上を相殺し、そのシナリオの純増分の投資額は現行計画シナリオより15兆米ドル多くなるにとどまる。エネルギー変革シナリオ下での補助金の削減による広範囲に及ぶプラスの外部性（このレポートで後述する）により、もたらされる便益が投資費用を確実に上回ることになる。

エネルギー変革シナリオは、数兆米ドルに及ぶ化石燃料への投資額を回避させ、クリーンエネルギーへの投資のための資金を解放する

図 2.9: 2050年までの採掘、精製、発電のための化石燃料の累積投資額：現行計画シナリオ 対 エネルギー変革シナリオ



出典：IRENA 分析

図 2.10: 世界のエネルギーシステムを変革するためにセクターレベルで今すぐに必要なとされる行動

電力



再生可能の容量の追加を加速して、低炭素技術で十分な電力を生成する

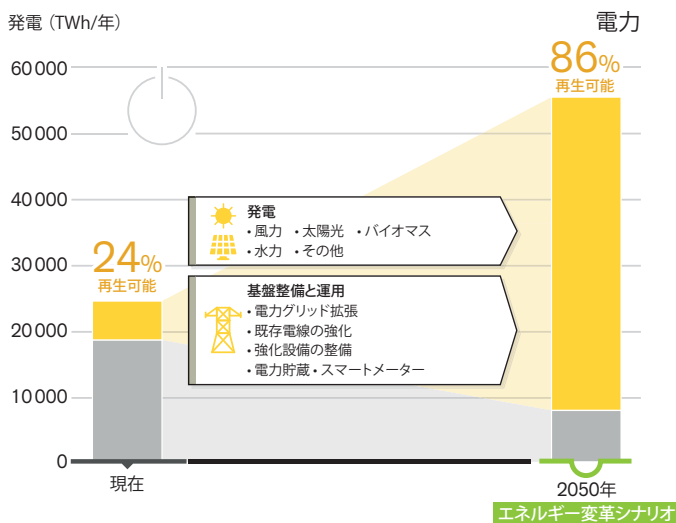
- 1) 再生可能エネルギー資源を特定及びマップ化し、資金調達可能なプロジェクトの中長期的なポートフォリオを開発する。
- 2) 新規石炭火力発電所の建設を行わず、寿命終了による段階的廃止を計画し、実施する。

変動性再生可能（太陽光及び風力）エネルギーの割合の上昇を調整するためのグリッド計画の更新

- 1) 柔軟な電力システムを開発する（柔軟な供給、貯蔵、需要応答、Power-to-X（訳注：再生可能エネルギーの余剰電力を水素、メタン、あるいはメタノール等の燃料・原料に変換し、貯蔵・利用する技術）、電気自動車、デジタル及び情報通信技術（ICT 技術）など）。
- 2) システム連系要件（グリッドコード）を更新する。
- 3) マイクログリッドを整備して、回復力を向上させ、再生可能エネルギー源によるエネルギーアクセスを拡大する。
- 4) 地域を相互接続するためにスーパーグリッドを整備する。
- 5) 体積料金（USD / kWh）、固定料金（例：USD / メートル-月）、及び該当する場合は需要料金（USD / kW）の間のバランスを適切に再調整することにより、費用を反映する関税構造を整備する。

分散型エネルギー資源（DER）の導入を支援

- 1) エネルギー消費者へ自給自活者となるよう奨励する。
- 2) 電気の生成と販売の権利、関税規制、及びグリッドアライバル政策を含む、規制及び価格設定政策を支援する。
- 3) エネルギー集約者が分散型エネルギー資源（DER）の使用を促進できるようにする。



交通



輸送量を減らし渋滞も軽減する

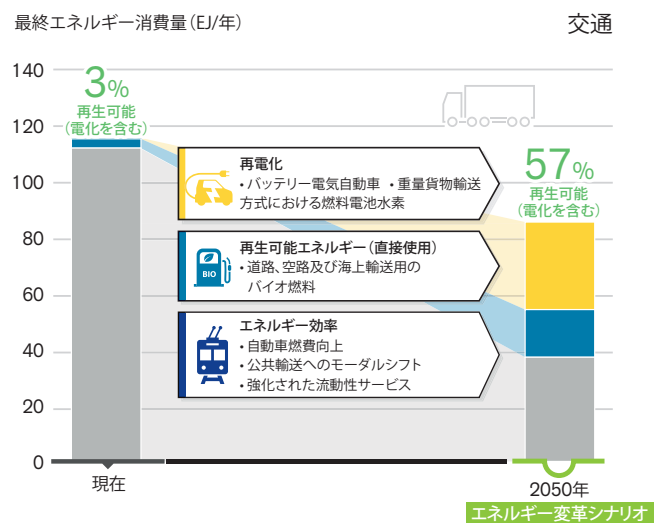
- 1) 高度なデジタル通信技術を採用して、都市交通の計画とサービスを改善する（例：交通渋滞を減らすための経路変更）。
- 2) モビリティサービスを促進する（例：自動運転、カーシェアリング）。
- 3) 乗用車から公共交通機関（電気鉄道、路面電車、またはバス）への移行を加速する。
- 4) 低排出型都市トラックを配備する。

電気自動車への移行を加速する

- 1) 車両排出ガスにおける最小の基準を設定する。
- 2) 都市へのアクセスにおいて、電気自動車（EV）を優先する。
- 3) 充電の基礎整備の開発にインセンティブを与える。
- 4) 統合された計画と政策設計（vehicle-to-grid—訳注：EVに蓄電した電力を系統に供給する技術）により、電力部門と輸送部門間の連携を強化する。

貨物輸送、航空輸送、船舶輸送におけるバイオ燃料の利用優先

- 1) 直接的な経済的インセンティブの提供や経済的リスクを軽減する措置を伴う、先端バイオ燃料の利用義務を導入する。
- 2) 第一及び第二世代のバイオ燃料の持続可能な生産を拡大するための支援政策を採用する。
- 3) 化石燃料への補助金を廃止し、再生可能燃料を使用した船舶輸送と航空の競争力を強化するために炭素税とエネルギー税を実施する。



出典：IRENA 分析 (2019b)

注：分析の基準年は2016年である。「エネルギー変革2050」とは、IRENAのREMapケースを指す (www.irena.org/remap)。

■ = 再生可能電力 ■ = 再生可能 (直接使用/DH) ■ = 非再生可能

産業



産業におけるエネルギー消費を削減する

- 1) 循環経済 (物質循環、廃棄物管理、材料効率の改善、再利用やリサイクルなどの構造変化) を促進する。
- 2) エネルギー効率基準を確立し、実際の効率レベルを上昇させる。

再生可能資源の企業調達を促す

- 1) 信頼できる透明性のある認証や企業の再生可能エネルギー使用の追跡システムを支援する。
- 2) 例えば、電力購入契約 (PPA) を通じて、あらゆる規模の企業と再生可能エネルギー開発者との間の直接取引を可能にするエネルギー市場構造を検討する。
- 3) 公益事業者及びその他の電力供給事業者と協働して、グリーン企業調達オプションを提供する。
- 4) 企業が自己発電に直接投資をできるようにする。

産業プロセス熱のための低炭素技術の導入を加速する

- 1) 既存の障壁を取り除き、低炭素熱の方法を推進する (例: 太陽熱暖房、最新のバイオエネルギー、ヒートポンプ)。
- 2) 発展段階のバイオマス及び水素技術を支援する。化石燃料ベースの原料とプロセス熱 (鉄鋼のサブ部門、アンモニア生産など) を再生可能ベースのものに代替する。

建物



建物のエネルギー消費を削減する

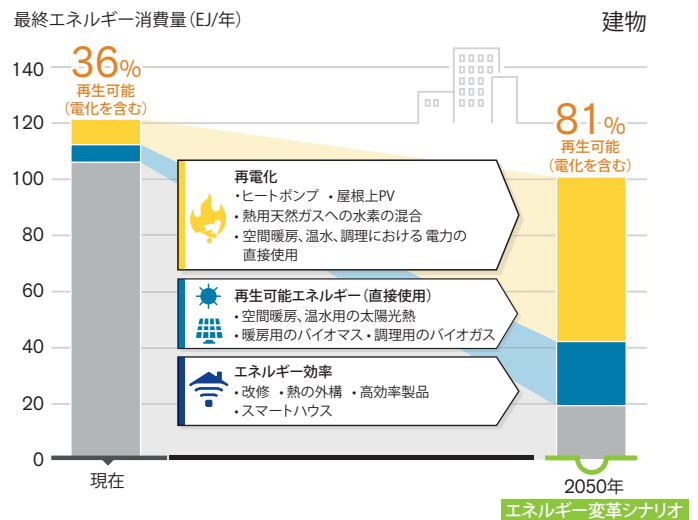
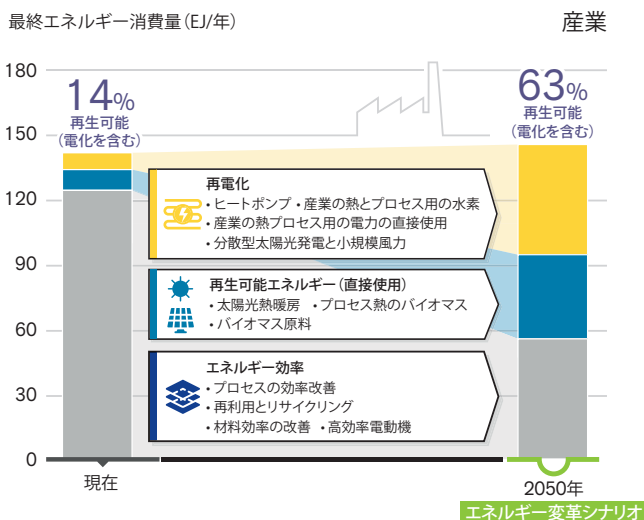
- 1) エネルギー効率の建築基準法と基準 (家電製品及び機器を含む) を設定または強化する。
- 2) 資金調達スキームを含む、改修及び改築を促すプログラムを採用する。
- 3) 都市及び州において、改修を奨励し、建築基準を修正する。
- 4) エネルギー効率と再生可能エネルギーの対策を組み合わせる (例: 公共の建物の改修に関する技術を統合する公共政策)。

分散型エネルギー資源 (DER) 整備の支援と育成を行う

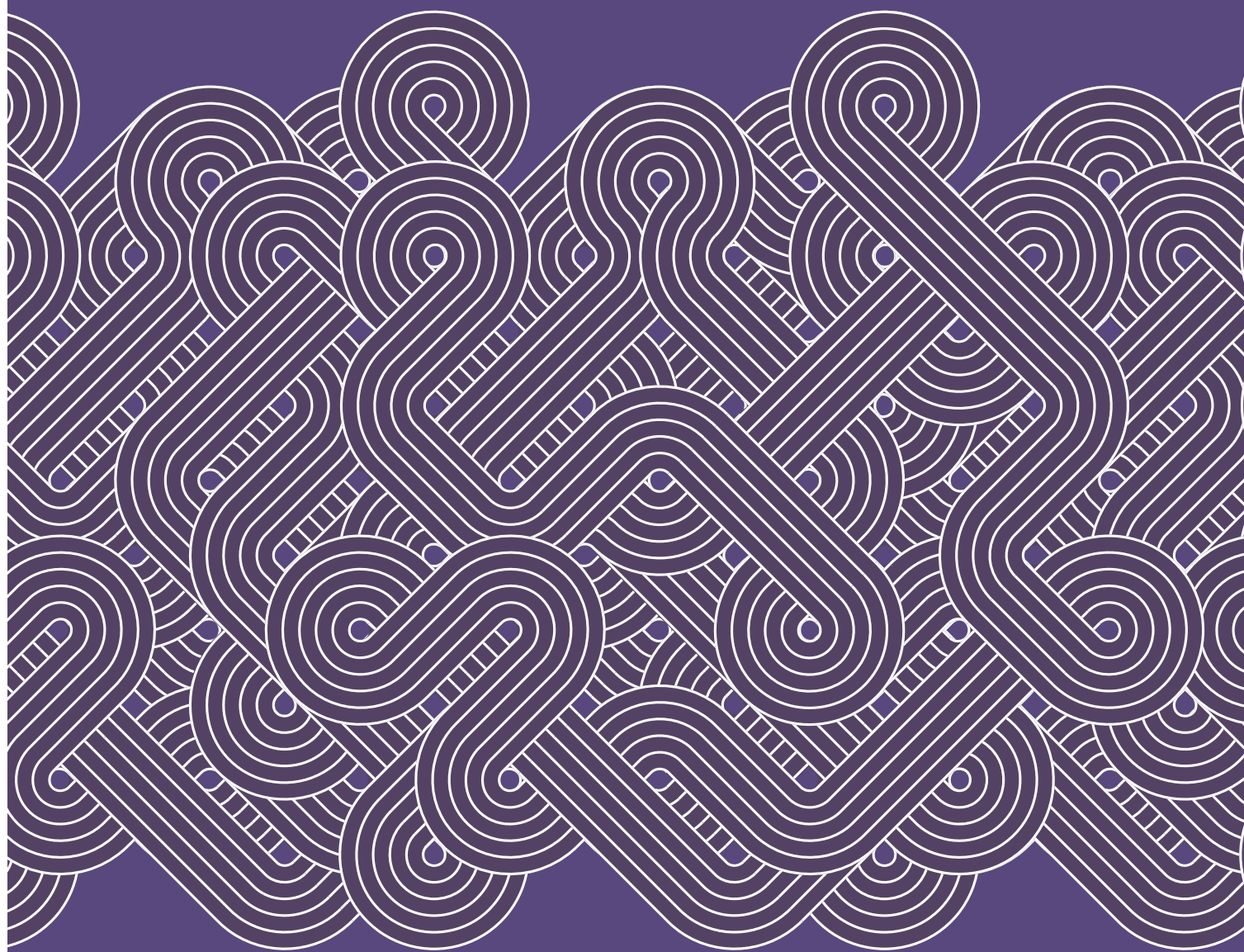
- 1) プロシューマー (エネルギーの生産消費者) がエネルギーシステムの変革を積極的に支援するための妨げとなっている障壁を取り除く。
- 2) 地域社会の所有モデルと革新的な資金調達スキームを促進する。
- 3) スマートメーターの整備を加速する。
- 4) 需要管理を可能にし、グリッドサービスを強化するために、スマートホーム及びデジタル化スキームに投資する。

建築部門での再生可能エネルギーのシェアを拡大する

- 1) 低炭素暖房技術の促進 (例: ヒートポンプ、太陽熱暖房、冷暖房用の最新のバイオエネルギー)。
- 2) 地域暖房を通じてこれらの再生可能エネルギー技術を適用する。
- 3) 調理用燃料としていた従来のバイオマスを段階的に廃止し、クリーンで効率的な調理用釜 (バイオガス、最新の固形バイオマス、電気) に代替する。



エネルギー変革の推進力と その社会経済的な フットプリント



差 し迫ったニーズと魅力的な機会が、継続的なエネルギー変革を推進している。再生可能エネルギー及びその他の低炭素技術オプションは、CO₂排出量を削減し、社会経済的便益をもたらし、エネルギー安全保障を向上させ、雇用を創出し、現代のエネルギーへのアクセスの拡大を支

援する(図3.1)。これらのメリットはそれぞれ、再生可能エネルギーにかかる費用が安定的に低下することで、より高まる。しかし、エネルギー変革への投資は、より広範な社会経済的考慮事項から切り離して行うことはできない。

図 3.1: ニーズと機会



出典: IRENA 分析

電力とエネルギーのシステムは、地球とその気候内に包含されるシステムに組み込まれている。エネルギー変革の成功のためには、計画と投資戦略は、エネルギーシステムがどのようにより広範な経済に作用するかの評価に基づいていなければならない。

IRENAは、エネルギー政策と社会経済的要因のさまざまな組み合わせによって生じる社会経済的なフットプリントを評価するために、統合マクロ経済モデルを用いる。これらのフットプリントを計測することにより、GDP、雇用、及び人間の幸福に影響を与える可能性を示すといった、エネルギー変革シナリオの成果についての包括的な見通しができる(図3.2)。成果は、地域別の社会経済システムに作用し、結果の多様化へとつながるさまざまな要因の観点から分析される。同要因は付録に記載されている。

IRENAのモデルは、GDPの変化を4つの主要な要因に分解する。

- 貿易
- 税の変化に応じた消費支出の変化
- 間接的及び誘発的影響に応じた消費支出
- 投資

雇用の変化は、3つの主要な要因に分解される。

- 貿易
- (税率及び間接的及び誘導効果に応じた) 消費者支出
- 投資

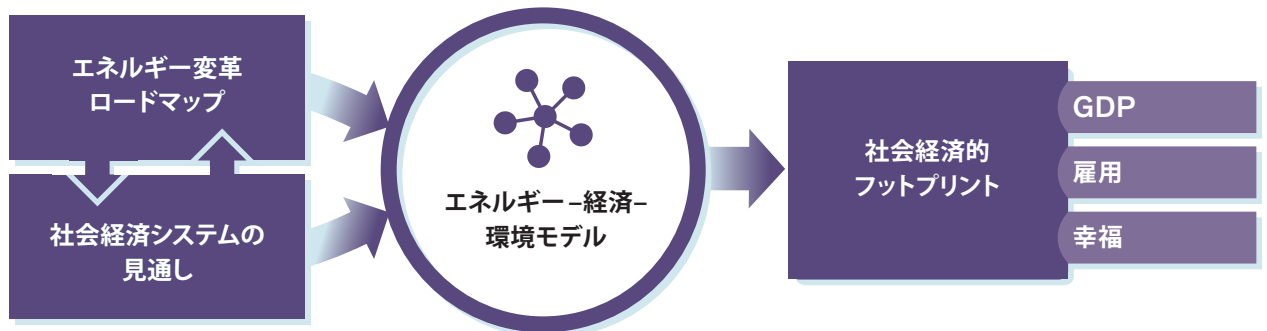
3.1. 世界のGDPと雇用創出

世界経済を通して、現行計画とエネルギー変革シナリオの両方において、GDPは2019年から2050年にかけて増加し、全体のGDPはほぼ3倍になり、一人当たりのGDPは2倍以上となる。GDPは、現行計画シナリオの下よりもエネルギー変革シナリオの下で大きく成長し(図3.3及び表3.1)、2017年から2050年までの累積額の差は97.7兆米ドル(2015年米ドル)である。

世界のGDPは、現行計画シナリオの下よりもエネルギー変革シナリオの下でより大きくなる

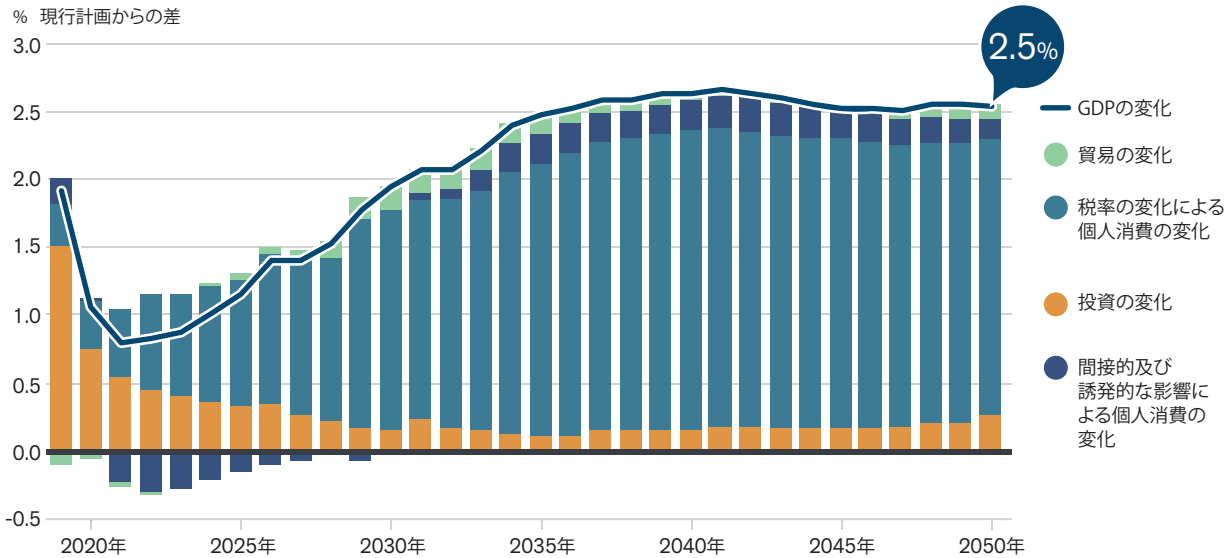
投資は、短期的にGDPにプラスの効果をもたらす、その後薄れていく。この効果は、主に、エネルギー変革を支えるための再生可能エネルギーの発電容量、エネルギー効率、及びエネルギーシステムの柔軟性に向けた先行投資によるものである。世界貿易が常に名目ベースで均衡しなければならないとの事実を反映し、貿易の効果は、全期間にわたってGDPにわずかにプラスの影響を与える。税率の変化に応じた消費者支出は、2022年から2050年までのGDP増加の主要な要因となる。この要因は、炭素税、化石燃料の段階的廃止、化石燃料の採掘権の変更などによる政府収入の変化

図 3.2: エネルギー変革とその社会経済的なフットプリント



出典: IRENA, 2018b
注: GDP = 国内総生産

図 3.3: 2019~2050年における現行計画とエネルギー変革の間の世界のGDP、貿易、消費者支出、及び投資額の差 (%)



出典: IRENA, 2019b
注: GDP = 国内総生産

の影響を捉えている(付録)。(付録で説明されている)炭素税及び関連する政府収入均衡政策は、この推進力のGDPへの影響の主な変動要因である。エネルギー変革ケースのフットプリント分析では、炭素税が1.5°C目標と整合していると想定している。

炭素税の増加がGDPに及ぼすプラスの影響は、他のマイ

ナスの社会経済的影響を上回ることができる。増加した炭素課税は、経済全体にわたって、エネルギーやその他の消費製品の価格の上昇を引き起こす可能性がある。収入の下位5分の1の人口は、不釣り合いの割合の負担を負うことになる可能性がある(付録を参照)。したがって、負担を分配する政策がなければ、炭素税は不平等を増大させ、エネルギー変革を妨げる可能性がある⁸。

表 3.1: エネルギー変革及び現行計画シナリオの下での世界 GDP

	シナリオ	複合年間成長率 (2017年から2050年)	2050年の対2017年比
人口	双方	0.67%	1.25
GDP	現行計画	3.17%	2.80
	エネルギー変革	3.25%	2.87
一人当たりGDP	現行計画	2.49%	2.25
	エネルギー変革	2.56%	2.30

出典: IRENA分析
注: 2つのシナリオを対比するために、小数点以下2桁が使用されている。
GDP = 国内総生産

8 GDPを超えた社会経済的影響を改善するために、どのようにこれらの影響が特定されるかを理解するために、IRENAは、エネルギー変革シナリオの分配的側面を分析している。

経済全体にわたって、2050年の雇用は両方のシナリオで2017年より17%増加するが、同期間に人口は25%増加する。ただし、雇用に関しては、エネルギー変革のケースでは、現行計画のケースよりもわずかに早く増加し、2050年の雇用数は0.15%高い（表3.2、図3.4、及び付録を参照）。

エネルギー変革シナリオと現行計画シナリオ間の世界経済全体の雇用者数の差を図3.4に示す。先行投資の効果と労働密度の高い他の経済部門に対する押し出し効果（crowding out）により、投資の増進は短期的には雇用プラスの効果をもたらす⁹。

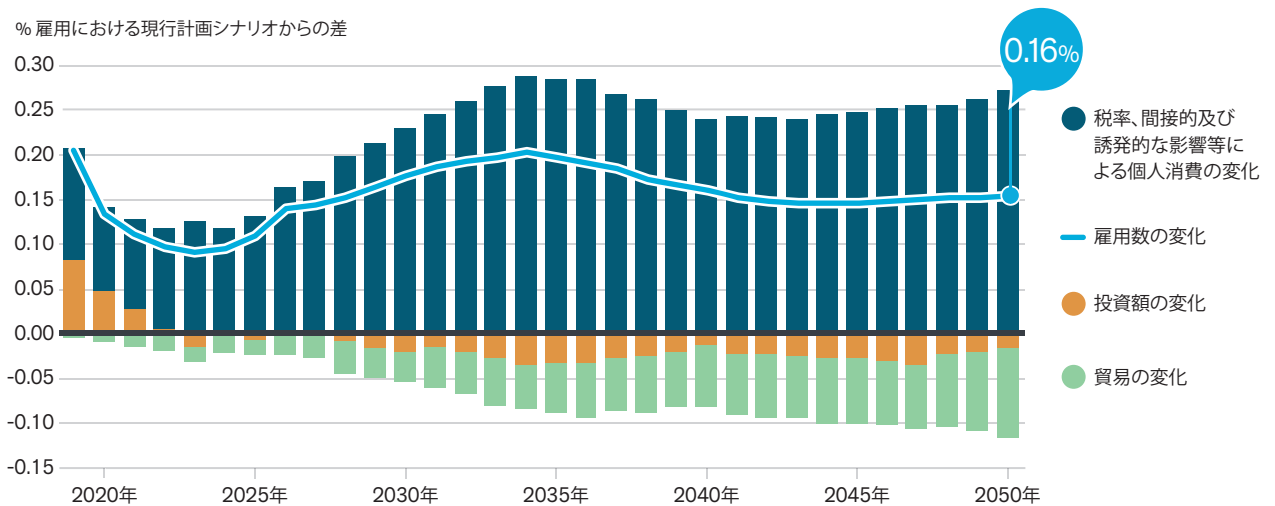
主に炭素税のおかげで、消費者の消費変化は雇用に対してプラスに働き、世界の雇用変化に大きな影響を与える。貿易の変化は、最初は燃料の正味の貿易量の変化により雇用

のフットプリントの指標にマイナスの影響を及ぼし、2035年以降は非エネルギー貿易の変化によりマイナス要因として残る。

エネルギーセクターは経済全体の発展を促進し、多くの雇用を支援するという二重の役割を果たす。エネルギー変革と現行計画の両方のシナリオで、当部門の雇用が増加する（図3.5）。2050年までのエネルギーセクターの雇用の伸びは、現行計画シナリオよりもエネルギー変革シナリオの方が14%高い（表3.2）。化石燃料の雇用の減少は、エネルギー変革（再生可能エネルギー、エネルギー効率、エネルギーの柔軟性）に関連した雇用の増加に比べると、かなり小さいものとなる。

両シナリオでは、
経済全体にわたって雇用が増加するが、
エネルギー変革はわずかに優位に立つ

図 3.4: 2019～2050年における現行計画及びエネルギー変革シナリオ間における世界の雇用者数の差 (%)



出典：IRENA, 2019b

9 この分析では、50%の押し出し効果が想定されており、エネルギー変革に必要な追加的な投資は他の部門からの投資を空にする。

エネルギー変革シナリオでは、2050年までに再生可能エネルギーにおける雇用が64%増加し、技術全体に波及する。エネルギーセクター全体の雇用の増加（14%、1,250万人の雇用）が再生可能エネルギーの雇用増加（64%、1,630万人の雇用）よりも低いのは、化石燃料産業の雇用が喪失した結果である。

エネルギー変革シナリオが現行計画シナリオよりも、経済全体の雇用数をわずかに増加させ（0.15%；700万人の雇用）、一方でエネルギーセクターの雇用者数の増加がより高いという事実は、エネルギー変革においては、経済全体で見ると、他のセクターで雇用が失われていることを示している。

エネルギーセクターと再生可能エネルギーの雇用は両方のシナリオで増加するが、エネルギー変革下ではより早く増加する

図 3.5: 2017年、2030年及び2050年におけるエネルギーセクターと再生可能エネルギー関連の世界の雇用者数

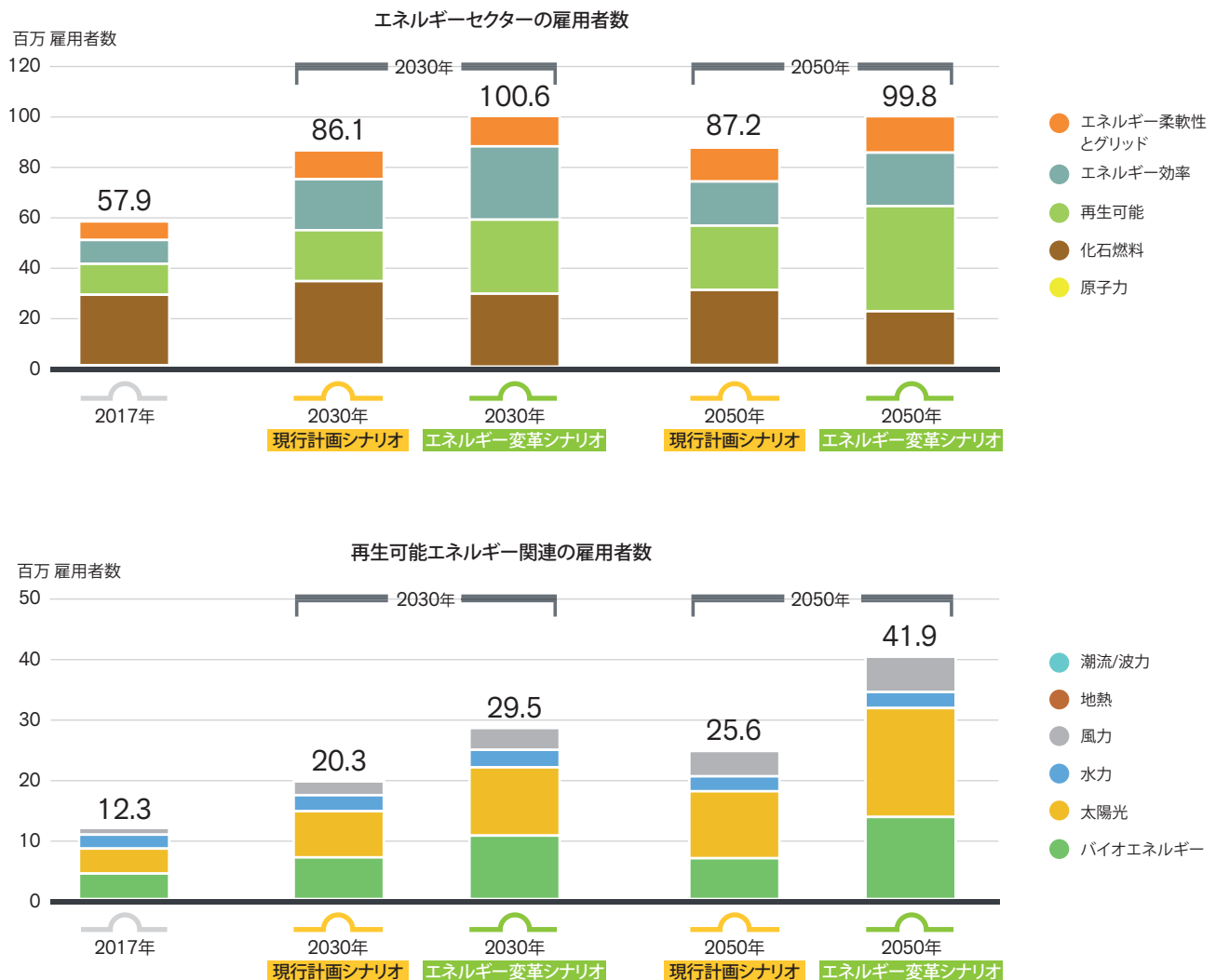


表 3.2: 現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの間の雇用者数の差：
経済全体、エネルギーセクター及び再生可能エネルギー

	雇用者数 (百万人)		パーセンテージ	
	2030年	2050年	2030年	2050年
経済全体	7.13	6.57	0.18%	0.15%
エネルギーセクター	14.50	12.53	16.83%	14.37%
再生可能エネルギー	9.24	16.32	45.49%	63.82%

出典：IRENA分析

注：この表には、2つのシナリオの経済全体の雇用の結果を対比するために、2桁の10進数が含まれている。

エネルギーセクターと再生可能エネルギーにおける雇用は、両方のシナリオ (特にエネルギー変革) で、時間とともに増加する。再生可能の雇用の増加は、化石燃料の雇用の喪失を上回り、エネルギーの柔軟性とグリッド開発に関連する新たな雇用と連動している

たとえそれが非常に多くの雇用の増加の中で、わずかな増加であるとしても、エネルギー変革シナリオは、労働市場構造に非常に重要な変容をもたらす。そうした変容は喪失した雇用と創出した雇用の間の多くの不均衡 (時間的、空間的、教育的、部門的) に対処するための包括的な労働政策の法律の制定を必要とする。

適切な労働市場政策を設計するには、変革によって生み出される新たな雇用の構造に関する深い知識が必要である。図3.6は、エネルギー変革シナリオの下で再生可能エネルギーの雇用を、バリューチェーン (価値連鎖) 及び職業的要件の区分ごとに分けて分析することにより、ギャップを埋めるのに役立つ¹⁰。

バリューチェーンで見ると、国内の供給網を強化することで、再生可能エネルギーの雇用を地域に分散させる機会が

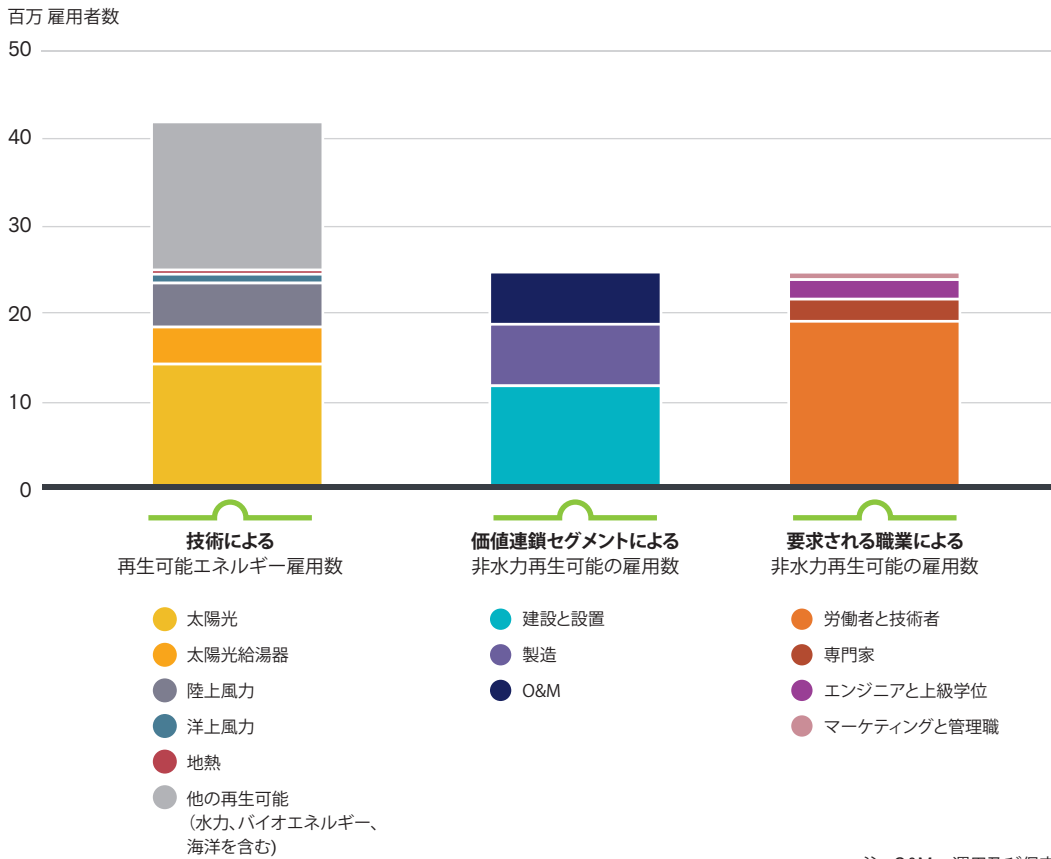
十分に存在する (図3.6)。バリューチェーンの中で地域分散が最も難しいのは製造部分であるが、図にあるように再生可能エネルギー技術関連の雇用の29%にとどまる。他方、建設・設置は47%、運用・保守点検 (O&M) は24%をそれぞれ占める¹¹。労働者と技術者は、ここでの再生可能エネルギー技術に関連する雇用の77.2%を占める。10.3%は専門家、9.1%はエンジニア、3.4%はマーケティング及び管理職である。(専門家は通常、大学教育を必要とし、エンジニアは大学院資格を必要とする。)

エネルギー変革は、再生可能エネルギーの雇用の地域分散を促し、国内の供給網を強化するための十分な機会を提供する

10 この図で使用されている再生可能エネルギー技術のサブセット (太陽光、陸上風力、洋上風力、太陽熱温水及び地熱) は、職業上の要件に関する情報の利用可能性によって決まる。情報のほとんどは、さまざまな再生可能技術の経済的活用に関するIRENAの一連の報告書 (2019c, 2018b, 2017a, 2017b) からの引用である (IRENA, 2019c, 2018b, 2017a, 2017b)。追加的な技術が今後の報告書で網羅されるので、分析はそれらの技術を網羅するように拡張される。

11 再生可能エネルギー技術の製造部門の地域への分散は、化石燃料や原子力技術のそれよりもはるかに簡単である。

図 3.6: 技術、価値部分及び要求される技能別に分類された、エネルギー変革2050での世界の雇用者数



ここでの再生可能技術のサブセットでは、価値連鎖全体での雇用の分布は建設・設置部門が多数を占める(47%)。他方、製造部門は雇用の29%にとどまる。職能上の要件としては、労働者と技術者が大多数を占める(雇用の77%)

3.2. 地域のGDPと雇用

社会経済構造の多様性とエネルギー変革との複雑な相互作用により、特定の国または地域におけるエネルギー変革の社会経済的フットプリントは、世界的なフットプリントとは異なる(図3.7及び3.8)。結果は、10の地域(東南アジア諸国連合、東アジア、その他のアジア、EU28カ国、その他の欧州、ラテンアメリカ及びカリブ海、中東及び北アフリカ、

北アメリカ、オセアニア、サハラ以南のアフリカ)、及び4つの追加国またはサブ地域(中国、石油輸出国機構の中東の加盟国、南欧州、及びその他のアフリカ)として表される。

現行計画シナリオに対するGDPへの影響は、9%の増加からほぼ中立までの範囲である。ほとんどの地域/国は、主に投資の増加、貿易利益、税の変化による間接的及び誘発的な効果により、GDPにプラスの影響を示している(図3.7)。

図 3.7: 2050年までの特定の地域・国におけるGDPに対する現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの影響 (相違率)



出典: IRENA 分析
 注: EU28= 欧州連合加盟国;
 GDP= 国内総生産;
 MENA= 中東及び北アフリカ;
 OPEC= 石油輸出国機構

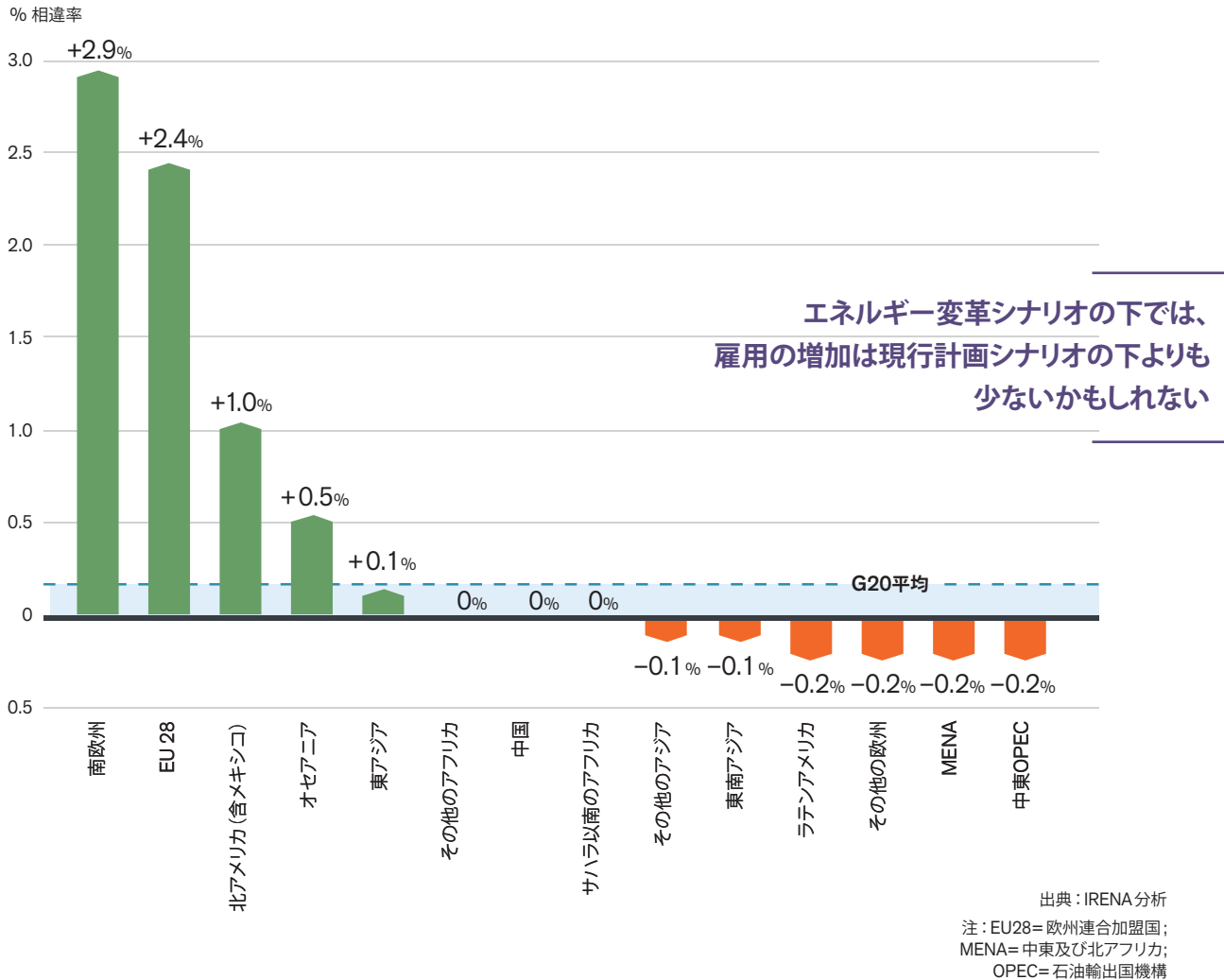
**エネルギー変革シナリオの社会経済的な
 フットプリントは地域や国により異なり、
 一部は他よりも良いパフォーマンスを示している。
 ほとんどの国は、現行計画シナリオよりも良好な
 GDPの結果を示している**

**エネルギー変革シナリオは、大部分の地域
 及び国において、現行計画から予測される
 水準を上回るGDP増加をもたらす**

しかしながら、石油輸出依存度の高い国・地域では、世界の石油需要がさらに減少するため、エネルギー変革シナリオの下では、現行計画シナリオの下での場合よりも悪い結果となる。エネルギー変革シナリオの下では、世界経済における追加的需要も実質賃金を押し上げるため、雇用増加(百分率で)は現行計画シナリオの下よりも少なくなる(図 3.8)¹²。

12 追加的な賃金量は、すべての労働者の賃金上昇、雇用数の増加、またはその両方に換算することができる。過去の傾向を見ると、賃金効果はGDPの上昇よりも雇用の増加により小さな影響を与える傾向にある。

図 3.8: 2050年までの特定の地域・国における雇用に対する現行計画シナリオとエネルギー変革シナリオの影響（相違率）



3.3. 再生可能エネルギーへの移行がもたらす様々な影響

前節で示した社会経済的フットプリントの分析は、エネルギー変革の道筋が、適切な政策（炭素税、化石燃料の段階的廃止、歳入の活用など）を伴った場合には、世界レベルでGDPと雇用にプラスの影響を与えることを示している。しかし、これは単独で起こるものではなく、エネルギー消費やアクセスのレベルへの影響によって制限されるものでもない。

むしろ、それは各国の基礎的な社会経済状況と継続的に相互に作用することによって起こる。これは、マクロ経済の安定、貿易、投資、サプライチェーン、生産能力及び雇用に影響を及ぼす。エネルギー変革が進展するにつれて、その便益を最大化し、経済の不整合を最小化し、ショックを緩和し、公平性を確保するための政策が必要となる。

地域レベルでの社会経済的フットプリントを分析することで、移行のコストと便益が世界の様々な地域にどのように異なる影響を与えるかが明らかになる。

13 例えば、装置製造；プロジェクトの企画・開発；エンジニアリング・調達・建設；エネルギー部門のO&M

地域差の主な原因は以下の通りである：

- 異なる出発点から移行しようとしている国々；
- 異なるレベルの国家的野心と実施手段；
- サプライチェーンの深さ、強み、多様性；
- 経済が化石燃料の生産と販売に依存する度合い。

これらの要素は、エネルギー変革が経済にどのように影響するのかを形作る。例えば、強固な産業基盤、相対的に高い能力、多様な経済を有する地域は、バリューチェーンのセグメントを地域に取り込むことができるため、最も大きな便益を得る。このような地域では、バリューチェーンに沿った経済活動の拡大は、経済の様々な部門からのより中間的な産業投入とサービスに対する需要を誘発し、エネルギーシステムの変化とより広範な経済との間に好循環を生み出す。

工業部門の中間財への需要を刺激することによって、再生可能エネルギー部門における生産とサプライチェーン活動の拡大は、誘発的及び間接的な効果を通じて消費を増加させる。一方で、GDPの拡大は非エネルギー部門における新たな経済活動への需要を刺激する。このように、このシフトは部門間の波及効果を生み、生産性と消費者支出を押し上げ、エネルギー部門と非エネルギー部門の両方で新たな雇用を強化する。しかし、これは、他の地域、特に化石燃料のサプライチェーンに依存している地域や、経済構造が弱く多様性に乏しい地域には当てはまらない。

この変革は、労働パターンに大きな変化をもたらし、すべての地域に著しい不整合をもたらす。これらの不均衡は、4つのカテゴリーに分類される。

- 時間的不均衡**：新たな雇用の創出は、必ずしも雇用の喪失と同時に起こるわけではない。
- 空間的不均衡**：新たな雇用は、必ずしも失業が発生する地域社会、地域、国などの同じ場所で創出されるわけではない。
- 教育上の不均衡**：失う仕事に関連したスキルは、必ずしも新しい仕事に必要なスキルと一致しない。
- 部門間の不整合**：サプライチェーン構造の違いや、成長産業と衰退産業との間の投入財の多様性を考慮すると、雇用の増減は経済の異なる部門に影響を与える可能性がある。

このような不均衡は、ほぼすべての国にとって依然として重要な問題である構造的失業という現実の下で、大きな課題となる。エネルギー部門全体では、エネルギー変革シナリオによる雇用の大幅な増加（2050年に世界レベルで14%増）が見込まれているが、経済全体の雇用は現行計画シナリオと比較して0.16%しか増加しない。

エネルギー変革シナリオと報告書のGDPフットプリントとを比較すると、雇用面での国のパフォーマンスが予測されたGDPパフォーマンスと異なることも示されている（図3.7と図3.8を比較する）。つまり、一部の国や地域ではGDPの上昇が続くが、追加的な需要は雇用を部分的にしか創出しなかったり、賃金上昇にはほとんどつながらなかったりすることもありうる。これらの知見は、労働市場の硬直性や欠陥に対処する政策の緊急性を強調しているにすぎない。また、成長と発展全体の重要な推進力としてのエネルギーセクターの重要性を強調している。これは、エネルギー変革の事例の間接的で誘発された効果を、経済の他の部分の最大の利益のために導く政策を考案する機会を示している。

公平な結果の実現に 向けた政策



エネルギー変革への投資のメリットを最大限に高めながら調整コストを最小限に抑えるには、公正な移行のより広い概念化が必要となる。そして、その概念化は、持続可能で気候変動に対して強靱な発展へのコミットメントに裏付けられたものでなくてはならない。システム全体に行き渡るような、エネルギーと経済全体との間の相乗効果を十分に活用できなければ、移行を推進するために必要な資金と投資の動員が制限されるだけでなく、マクロ経済の安定性も脅かすことになる。

経済へのエネルギー投資の効果の相乗効果を高めることは、貧しい地域や脆弱な地域が、貿易コストを削減し、雇用を創出し、効率的な生産を促進し、生活水準を上げ、商品・サービスの消費量を増やすための長期的な成長戦略の一環としてエネルギーを利用することを助ける。

変革の地域及び国レベルでの効果を平準化することは、2つの面で機能する政策枠組みに依存する。この枠組みは、エネルギー消費を削減すると同時にエネルギーへのアクセスを増やすために、再生可能エネルギーの普及を促進する必要がある。同時に、再生可能エネルギーの普及を、エネルギーを経済的、包括的かつ持続可能な成長の触媒とするより広範な政策の枠組みにしっかりと組み込む必要がある。このような公正な移行に向けた政策枠組みは、普及政策、環境整備に向けた政策、統合政策といった3つの変革的な政策セットに基づく(図4.1)¹⁴。

4.1. 普及政策

普及政策は、発電容量の新設を加速させる政策を通じて、総エネルギー供給における再生可能エネルギーの割合を着実に強化するべきである。以下を含むものである：

- 拘束力のある目標、割り当てとその達成義務及び義務的な基準などの後押政策 (push policies)。
- さまざまな技術の市場を創出するような、価格付け政策、取引可能証書、再生可能エネルギー規制などを含む牽引政策 (pull policies)。これらは、上記の後押政策の効果のバランスを取るためにも重要となる。
- 税制上の優遇措置、補助金、助成金などの財政的及び金融的措置は、再生可能エネルギー技術に対する譲許的融資と共に、再生可能エネルギーの普及を加速させる。

4.2. 環境整備に向けた政策

エネルギー分野と他の経済分野との間の政策連携や調整を強化することで、エネルギー変革がもたらす体系的な便益を最大限引き出すことができる。そのような政策は、再生可能エネルギーの生産、利用、適用に関する能力構築に焦点を当てると同時に、エネルギー部門とより広範な経済との間の体系的な効果を引き起こすために、制度体系の改革にも焦点を合わせなければならない。それらを可能とするためには、産業政策、労働市場と社会保障政策、教育と技能政策、金融政策という4つの重要な国家レベルの政策を結び付けた枠組みが必要となる。

¹⁴ 本節の主要部分はIRENA, IEA and REN21 (2018)に基づく。

図 4.1: 公平な移行に向けた政策枠組み



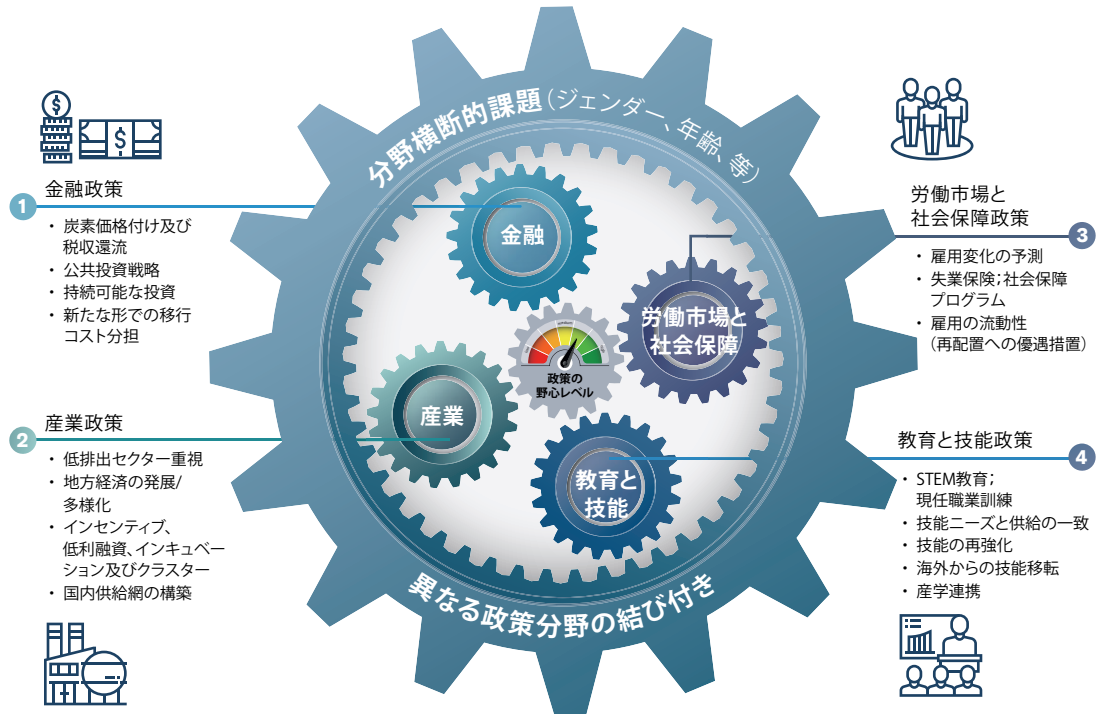
出典：IRENA, IEA, REN21 (2018) に基づく

注：R&D = 研究と開発

産業政策。産業政策は経済の多様化を支える。国内の能力を活用し、強化するには、ビジネスの事業の創出・創業に対する支援サービス（インキュベーションイニシアチブ）、供給者向け能力構築プログラム、中小企業のサポート、及び主要な産業クラスターの育成が必要となる。その最初の取り組みとして、移行を可能にする産業政策によって、エネルギーセクターを経済の主導的部門に位置づけるべきである。そうすることにより、政府は以下の分野でより直接的な役割を果たすことができる。

- 産業計画の戦略的セクターとして再生可能エネルギー技術を育成する。
- 産業セクターでのエネルギー効率投資へのインセンティブを提供し、消費者の意識を高める。
- 再生可能エネルギーに基づく研究開発戦略、及び公共・民間部門への普及を促進するための制度を促進する。
- すべての産業セクターにおいて再生可能エネルギーの着実な普及を支援するために狙いを絞った公共投資を可能にする。
- 産業政策目標を労働政策に直接リンクさせ、雇用を創出する。
- 再生可能エネルギー分野への公共投資を促進し、選択した分野で雇用と能力を創出し、これらの目標を効果的に結びつける。
- 再生可能エネルギーの技術的能力と技術移転の創出を促進する。
- 地元企業による再生可能エネルギーセクターへのサプライチェーン参加を奨励し、パートナーシップの構築を積極的に支援する。

図 4.2: 公平な移行枠組みにおける環境整備に向けた政策



公平かつ包摂的な移行の実現に向けた政策枠組みの拡大

出典: IRENA 分析

注: STEM = 科学、技術、工学及び数学

労働市場と社会保障政策。 技能ニーズの予測と労働市場状況のマッピングは、効果的な政策介入の前提条件となる。関連する政策には、雇用サービスを促進するもの (適格な応募者と仕事を一致させる; 従業員の福利を促進する; 職業訓練と職外訓練を促進する; セーフティネットを提供する) 及び労働の流動性と雇用の安定を促進する措置が含まれる。

エネルギー変革により転職した労働者の所得の安定は、雇用主が労働者を維持 (及び訓練) するための政策的インセンティブとともに不可欠となる。柔軟で長期の雇用契約、失業保険、及び雇用の移行を通じて影響を受ける労働者を積極的に対象とするプログラムは、雇用主のニーズに合った方法で雇用の安定と従業員の福祉を促進するためのいくつ

かの可能な手段である。最後に、社会保障措置は、女性や社会から取り残されたコミュニティを含む弱者や脆弱者の負担を軽減し、変革の影響が公平に分配されることにつながる。

教育と技能政策。 変革をもたらす雇用機会を活かすには、技術的能力と技術的学習とノウハウの構築/強化に役立つ科学、技術、工学、数学 (STEM) 教育に重点を置くことが求められる¹⁵。これらの技能と教育プログラムは、大学で導入されるとともに、労働者が追加的な技能を習得できるよう短期及び認定コースとして導入される必要がある。より専門性のある機会を提供するために、大学または研究所と協力あるいは並行して、専門的な訓練を提供することも可能である。

15 STEM教育は、これら4つの科目に重点を置いたカリキュラムへの変更、及び教育・訓練への学際的・応用的アプローチの促進を強調する。

再生可能エネルギーに関する産学連携は、いくつかの目標を一度に達成することができる：知識のインキュベーションと公的研究において産業に関連の深い、科学者と研究者の労働移動、地場生産への科学的関心の高まり、技術的側面へのより強い焦点など、これらはすべて、再生可能エネルギー部門のローカルサプライチェーンを強化することにつながる。政府はまた、長期的なスキル構築戦略の一環として、外国のサプライヤーとの協力や技術移転の機会を促進すべきである。

金融政策。適切な資金なしでは、いかなるタスクも達成できない。民間資金の役割に加えて、政府は、炭素の価格付けやグリーンボンドを含むその他の措置を通じて、大きな資金源を動員し、公正な移行を確実にするための収入還元スキームを考案する必要がある。収入は、新しいインフラストラクチャーを構築するためや、教育、医療、その他のセクターに便益をもたらす方法で、予算を再配分・還流するための戦略的な投資をサポートできる。炭素税収入は、新しい雇用創出を促進し、炭素価格付けによる低所得世帯や中小企業の金銭的負担を緩和するために活用できる。

税収還流、非エネルギー税の削減、その他のオプションの選択は、各国のニーズと状況に依存する。強固な経済構造を持たない多くの国は、移行のための資金を動員する際に追加的な課題に直面する。これらの国では、財政空間を拡大し、中長期的に移行プロセスに資金を供給するためにセクターの多様化を促進するためのプログラムを展開する必要があるかもしれない。

4.3. 統合政策

国家インフラ、部門結合（セクター・カップリング）、R & D政策などの統合政策は、計画と調整を促進する。一方、統合措置は、変動性再生可能エネルギーの割合が増加するにつれてシステムの柔軟性を高める（IRENA, IEA及びREN21, 2018）。このような統合政策には次のものが含まれる。

- **インフラ政策。**国家政策は、より広範なインフラ開発の一環としてエネルギー変革計画を推進し、それにより再生可能エネルギーをインフラ拡張のコア戦略として統合する必要がある。
- **部門結合に向けた政策。**例としては、エネルギー効率の高い電子機器の製造がある。これには、機器の性能向上に加え、再生可能エネルギー製品の需要を生み出すという二重の役割がある。
- **研究開発政策。**これらは、部門横断的な統合と、経済全体にわたる再生可能エネルギー技術のより広範な応用に不可欠である。

これらの3つの分野における政策の調整、計画、一貫性は、エネルギー変革と各国の経済的野心や雇用、福祉、包摂、全体的な繁栄などの社会的成果との統合を必要とするため、引き続き課題となる。

各国政府は、これらの政策・措置を、自国や地域の経済的及び社会的状況に合わせて組み合わせることが求められる。何よりも、すべての人々にとって繁栄し、包括的で、気候に安全な未来を確保するために、政策決定は横断的で一貫性があり、戦略的かつ意欲的である必要がある。

参考文献

- BNEF (2019)**, *Clean Energy Investment Trends 2018*, BNEF.
- IEA (2019a)**, *World Energy Investment 2019*, IEA, Paris.
- IEA (2019b)**, *Innovation*, www.iea.org/topics/innovation/.
- IEA (2018)**, *World Energy Investment 2018*, IEA, Paris.
- IPCC (2018)**, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, and associated press materials.
- IRENA (forthcoming)**, *Hydrogen: A Renewable Energy Perspective*, (published 24 September 2019), IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019a)**, *Renewable Capacity Statistics 2019*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019b)**, *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050* (2019 Edition), IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019c)**, *Renewable Power Generation Costs in 2018*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019d)**, *Global Energy Transformation: The REmap Transition Pathway (Background report to 2019 edition)*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019e)**, *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2019*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2019f)**, “Renewables and energy efficiency work in tandem”, *IRENA Quarterly*, Q1-2019, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2018a)**, *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050* (2018 Edition), IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2018b)**, *Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Offshore Wind*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2017a)**, *Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Solar PV*, IRENA and Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Abu Dhabi.
- IRENA (2017b)**, *Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Onshore Wind*, IRENA, Abu Dhabi.
- Paris Agreement** [referring to United Nations (2015), *Paris Agreement*], United Nations, New York, https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/02/20160215%2006-03%20PM/Ch_XXVII-7-d.pdf.

略語

BNEF	ブルームバーグ・ニュー・エネルギー・ファイナンス
CCS	二酸化炭素回収及び貯留
CO ₂	二酸化炭素
CSP	集光型太陽熱発電
EU	欧州連合
EV	電気自動車
GDP	国内総生産
GJ	ギガジュール
Gt	ギガトン
GW	ギガワット
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
IRENA	国際再生可能エネルギー機関
LCOE	均等化発電単価
MENA	中東及び北アフリカ
NDC	自国が決定する貢献
O&M	運用及び保守点検
OECD	経済協力開発機構
OPEC	石油輸出国機構
PV	太陽光発電
R&D	研究開発
REmap	再生可能エネルギーロードマップ
STEM	科学、技術、工学及び数学
SWH	太陽水暖房
TFEC	最終エネルギー消費量
TPES	一次エネルギー供給量
USD	米国ドル
VRE	変動性再生可能エネルギー

付録

現在の計画の社会経済的フットプリントVS. エネルギー変革

ここで紹介する社会経済的フットプリント分析は、エネルギー変革シナリオ (REmap) と、現在の社会経済的システム構造で展開されている一連の政策仮定 (炭素税、化石燃料補助金、税込還流など) に基づいている。この結果は、変革ロードマップをより広い社会経済的文脈に置くことの利点と課題の両方に対する洞察を提供する。その目標は、政策決定向けの情報を提供し、エネルギー使用の変化と社会経済開発の相乗効果を促進することである。それにより、変革が持続可能性と回復力を提供することを目指す。

エネルギー変革ロードマップは紙上にのみ存在し、それらを社会実装するためには、それらが適用されるシステムとの相互作用を理解することにかかっている。これらの相互作用を明らかにすることにより、社会経済的フットプリントは、潜在的な課題と障壁を克服することで社会実装を成功させるツールを提供する。

変化はエネルギー変革シナリオの範囲に限定されるものではなく、結果として生じる社会経済の構造でもない。ただし、この社会経済的フットプリント分析から得られた洞察は、政策立案者が情報に基づいた意思決定を行い、変革の結果を改善できるようにすることを目的としている。特に、エネルギー使用の変革は、持続可能性、回復力、繁栄という幅広い目標と密接に連携することができる。

GDPと雇用の観点からの社会経済的フットプリント

国内総生産 (GDP) と雇用のフットプリントは、エネルギー変革と現行計画のシナリオの相対的なパフォーマンスを示しており、駆動要因はこの文脈で解釈する必要がある。駆動要因はそれぞれ、異なる影響を定量化するものとして理解する必要がある。例えば、投資要因は、2つのシナリオの下で異なる投資のGDPまたは雇用への影響を示す。

駆動要因は、次の要素のフットプリントへの影響を捉える。

- **投資の変化。** この駆動要因は、経済における投資全体のGDP及び雇用への影響を評価する。これには、変革に関連する投資 (再生可能エネルギー、エネルギー効率、エネルギーの柔軟性、系統など)、化石燃料及び核燃料への投資、及び他のセクターへの投資の影響が含まれる。多くの場合、あるカテゴリへの投資は、別のカテゴリへの投資とは反対に動く (例えば、再生可能エネルギーへの投資の増加と化石燃料への投資の縮小)。投資の駆動要因は、これらの傾向の正味の効果を示す。
- **貿易の変化。** この駆動要因は、GDPと雇用への影響と貿易全体、つまりエネルギー貿易と非エネルギー貿易を評価する。

変化はエネルギー変革シナリオの範囲に限定されるものではない

- **税率の変更による個人消費の変化。** マクロ経済モデルは、所得税率の調整による政府収入の均衡を前提とする。政府の税金の変化（炭素税によるものか、化石燃料の生産による収入の減少によるものか）は、所得税の変化によって補われる（政府の収入の全体的な減少とともに増加する）。これらは消費者の収入、したがって支出を調整し、GDP全体の変化に貢献する。
- **間接的及び誘発的な影響による消費者支出の変化。** この駆動要因は、消費支出の他のすべての変更を捉える。これには、間接的な誘発効果による総消費支出の変化がもたらすGDPへの影響とともに、支出の再配分が含まれる（例えば、エネルギー価格の上昇がエネルギーの支出を削減し、結果として他の商品やサービスの消費の増加が捕捉される場合）。このカテゴリには、消費者の合計価格（エネルギー及び一般価格を含む）の影響も含まれる。

政府予算の収入収支

政府予算の管理方法は、社会経済的結果に重要な影響を及ぼす。このレポートで適用される分析手法は、政府が所得税を通じて収入のバランスを取ることを前提としている。その他の政策（炭素税、化石燃料補助金の段階的廃止、化石燃料の販売減少による化石燃料関連ロイヤリティの減少）は、政府の収入に直接影響を与える。

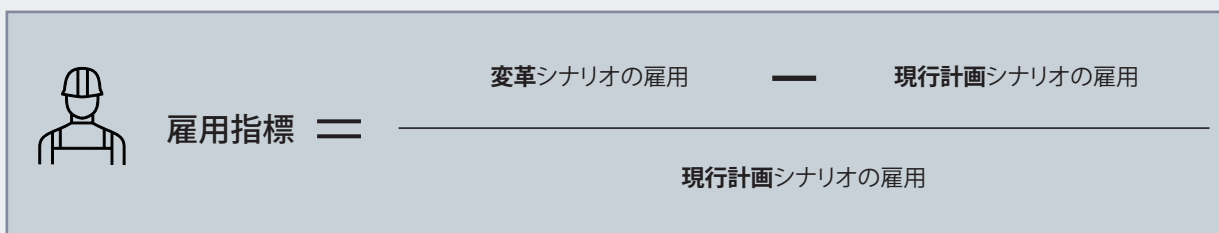
収入のバランスの下で、政府の収入は分析された全期間にわたって均衡が取られる。所得税の変化は、世帯の可処分所得と消費を増減させ、GDPを増減させる。

他の政府予算措置も可能である。例えば、不平等を減らすことや、公共投資を増やすための収入の増加（変革の維持）に主眼を置いた収入均衡アプローチ、あるいは過渡期における公共投資の資金調達に赤字支出を使用することも可能である。これらはそれぞれ、異なる社会経済的影響をもたらす。国際再生可能エネルギー機関（IRENA）は現在、さまざまな予算政策が社会経済的フットプリントに与える影響を調査している。

異なるパフォーマンス： 現行計画 vs エネルギー変革

エネルギー変革シナリオの社会経済的フットプリントは、現行計画シナリオと比較したパフォーマンスの違いに関して定義及び測定される。このアプローチにより、前者のパフォーマンスが後者よりも優れているか悪いかについて直接的な結論を導き、絶対パフォーマンス指標（GDP、仕事、福祉）の高い数値の中で失われる可能性のあるパフォーマンスの差に焦点を当てることができる。

したがって、雇用などのフットプリントのパフォーマンス指標に関して、2つのシナリオの下での雇用の絶対的な進展の結果を提示する代わりに、雇用指標は現行計画シナリオに対するエネルギー変革シナリオの異なる性能を評価するために雇用指標が使用されている。各時点で雇用指標は以下のように評価される。

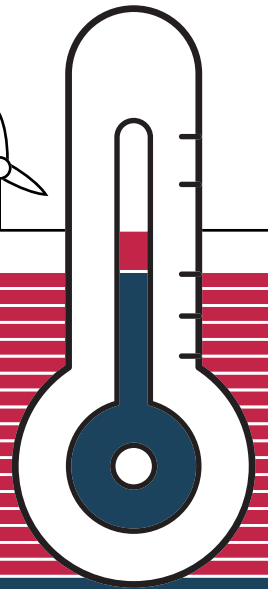
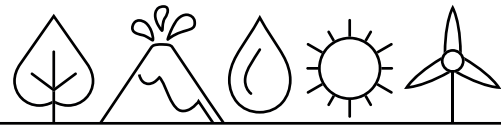




**エネルギーシステムを
変革する**
—そして、地球の
気温上昇を抑制する

www.irena.org

エネルギーシステムを 変革する



—そして、地球の
気温上昇を抑制する