



IRENA

国際再生可能エネルギー機関

再生可能エネルギー 世界展望

2020 年版





国際再生可能エネルギー機関

© IRENA 2020

別途規定がない限り、本刊行物に記載された資料は自由に使用、共有、複写、複製、印刷および／または保存することができる。ただし、情報の出所および著作権者としてIRENAを適切に明記する場合に限る。本刊行物に記載された資料のうち第三者に帰属するものには、別段の使用条件および制限が適用される可能性があり、かかる資料を使用する前に、かかる第三者から適切な許可を得る必要がある可能性がある。

IRENA (2020)、再生可能エネルギー世界展望：エネルギー転換 2050

(2020年版)、国際再生可能エネルギー機関、アブダビ

ISBN 978-92-9260-420-2

本レポートは"Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050"

ISBN: 978-92-9260-238-3 (2020)の非公式な邦訳版である。英語オリジナル版と日本語版で相違がある場合は、英語版の記述が優先される。本翻訳物は、日本国政府環境省のご好意によるものである。

本報告書はオンラインでダウンロードできる：www.irena.org/publications

ご意見・お問合せ：info@irena.org

IRENA について

国際再生可能エネルギー機関(IRENA)は、世界のエネルギーシステムの転換を前進させるために、国際協力の重要な基盤として、中核的研究機関として、政策、技術、資源、財務に関する知識の保管庫として、また実地の取り組みの推進力としての役割を果たしている。2011年に設立された政府間組織であるIRENAは、持続可能な開発、エネルギー利用、エネルギーの安定供給、および低炭素の経済成長と繁栄を追求するため、バイオエネルギー、地熱、水力、海洋、太陽光、および風力エネルギーを含むあらゆる形態の再生可能エネルギーの幅広い採用と持続可能な使用を促進している。

www.irena.org

免責

本報告書およびこれに含まれる内容は、「現状のまま」提供される。本報告書に含まれる内容の信頼性を確認するため、IRENAはあらゆる合理的注意を払っている。しかし、IRENAも、またそのいかなる職員、代理人、データまたはその他の第三者資料提供者も、明示的、暗示的に関わらず、いかなる保証を提供するものではなく、本報告書またはその内容の使用の結果に対していかなる責任も引き受けない。

本報告書に含まれる情報は、必ずしもすべてのIRENA加盟国の見解を代表するものとは限らない。特定の企業やプロジェクト、製品に対する言及は、類似の特徴を持つが言及されていない他のものと比較してIRENAがこれを認証または推奨することを意味するものではない。本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、いかなる地方、国、領土、都市、または地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連したIRENA側の見解を表明するものではない。

日本語版(2021年3月)

翻訳者: 安田 陽(京都大学大学院経済学研究科 再生可能エネルギー経済学講座 特任教授)

本翻訳は環境省「令和2年度 長期戦略等を受けた中長期的な温室効果ガス排出削減達成に向けた再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」の一環で(株)三菱総合研究所の協力の下に行われた。

謝辞

本報告書は、IRENA の再生可能エネルギー・ロードマップ (Remap) チームと政策チームによって作成された。技術関連の章 (第 1 章、第 3 章、第 5 章) は、Dolf Gielen、Ricardo Gorini、Nicholas Wagner、Rodrigo Leme、Gayathri Prakash によって執筆され、Luca Lorenzoni、Elisa Asmelash、Sean Collins、Luis Janeiro、Rajon Bhuiyan から貴重な補足と支援を受けた。社会経済関連の章 (第 2 章、第 4 章、第 6 章) は、Rabia Ferroukhi、Michael Renner、Bishal Parajuli、Xavier Garcia Casals によって執筆され、Amir Lebdioui (London School of Economics/University of Cambridge)、Kelly Rigg (The Varda Group)、Ulrike Lehr (GWS) から貴重な補足をいただいた。マクロ経済モデル分析 (E3ME) の結果は、英国・ケンブリッジ・エコノメトリクス (Cambridge Econometrics) の Eva Alexandri、Unnada Chewpreecha、Zsofi Kőmúves、Hector Pollitt、Alistair Smith、Jon Stenning、Pim Vercoulen、および他のチームメンバーから提供を受けた。

また、本展望は、IRENA の専門家である Toshimasa Masuyama および Seungwoo Kang (バイオエネルギー)、Francisco Boshell および Arina Anisie (系統連系の実現技術)、Carlos Guadarrama (経済のグリーン化)、Paul Durrant および Sean Ratka (脱炭素化が困難な部門)、Michael Taylor、Pablo Ralon、および Harold Anuta (発電原価と化石燃料への助成金)、Emanuele Taibi および Raul Miranda (電力システムのディスパッチモデルと水素の役割)、Elena Ocenic (スウェーデンの電力系統におけるイノベーションニーズ) から有益な寄与をいただいた。

IRENA は、各章 (第 1 章、第 3 章、第 5 章) をレビューしていただいた David Wogan (Asia Pacific Energy Research Centre - APERC)、Randolph Bell (Atlantic Council)、Morgan Bazilian (Colorado School of Mines)、Ruud Kempener (欧州委員会エネルギー総局)、Ioannis Tsiropoulos (欧州委員会合同研究センター)、Michael Hackethal (ドイツ連邦経済技術省 - BMWi)、Eric Williams (キング・アブドゥッラー石油調査研究センター - KAPSARC)、Andres Schuschny (ラテンアメリカエネルギー機構 - OLADE)、Maged K. Mahmoud (再生可能エネルギー・エネルギー効率地域センター - RCREEE)、Kieran Coleman および Mark Silberg (ロッキーマウンテン研究所)、Deger Saygin (SHURA エネルギー転換センター)、Jeffrey Logan (米国国立再生可能エネルギー研究所 - NREL) に心より感謝する。

また、IRENA 職員である Ahmed Abdel-Latif、Prasoon Agarwal、Fabian Barrera、Hurrem Cansevdi、Pablo Carvajal、Laura Casado Fulgueiras、Yong Chen、Nopenyo Dabla、Celia Garcia-Banos、Arieta Gonelevu Rakai、Gurbuz Gonul、Zoheir Hamedi、Hyun Ko、Paul Komor、Reem Korban、Neil MacDonald、Asami Miketa、Gayathri Nair、Elizabeth Njoki Wanjiru、Elizabeth Press、Alessandra Salgado、Jose Toron、Badariah Yosiyana、Benson Zeyi から貴重なレビューと意見を頂いた。

本展望の各章の編集は、John Carey、Steven Kennedy、Lisa Mastny が担当した。

IRENA は、本展望の刊行を実現してくれたドイツ連邦経済エネルギー省の惜しみない支援に心より感謝する。

本報告書はオンラインでダウンロードできる: www.irena.org/publications

ご意見・お問合せ: info@irena.org

序文

今回初めてとなる「再生可能エネルギー世界展望」は、世界が新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミックの只中で苦しんでいる時期に刊行された。パンデミックは、地域、国、コミュニティにおびただしい数の感染者、多数の死亡者、社会経済的混乱をもたらしている。目下の優先事項は引き続き、できるだけ多くの命を救うこと、衛生上の緊急事態を管理すること、苦難を緩和することである。それと同時に、各国政府は景気刺激・回復策を編み出すという大仕事に取り組み始めている。それらの仕事は今後の社会と経済を形成する大規模なものである。

このような対応は、中長期的な優先事項に沿ったものでなければならない。国際連合の「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」とパリ協定に定められた目標は、方向を見失いそうになるこの時期に我々の軌道を維持する羅針盤としての役割を果たすことになる。この 2 つの目標によって、新型コロナウイルス感染症に直面して採用される短期的ソリューションが、中長期的な開発目標と気候目標に沿ったものとなる。

景気刺激・回復策は、持続可能な脱炭素経済とレジリエンス（強靱性・回復性）の高い包摂的社会への移行を加速するものであることが望ましい。パリ協定に基づいて 2020 年末までに表明されることになっている「国が決定する貢献(NDC)」を、景気刺激策の支柱とすることが望ましい。

この点で「再生可能エネルギー世界展望」は、持続可能な将来のエネルギーシステムを創出する道筋を示している。本報告書は、2050 年までの気候にとって安全な投資の選択肢やエネルギー転換を管理するために必要な政策枠組みに焦点をあてている。また過去に発行された「世界のエネルギー転換」に関する報告書を踏まえ、課題の多い産業部門や運輸部門の脱炭素化も取り上げ、より大規模な脱炭素化に関する見通しを提示している。地域レベルおよび国レベルの意欲を引き上げることが、相互に関連し合うエネルギー目標と気候目標を達成するために不可欠である。再生可能エネルギー、エネルギー効率化（省エネルギー）、電化（エレクトリフィケーション）は、21 世紀半ばまでの取り組みの明確な焦点となる。本展望では、複数の地域で再生可能エネルギー導入率が 70~80%に達すると想定されている。同様に、熱供給部門と運輸部門の電化も全体的に拡大すると見込まれる。

この危機の性質上、対策にあたっては国家が重要な役割を果たす必要がある。この対策には、解決に向けた戦略の策定や直接介入への着手などが挙げられる。この取り組みを支えるための拡張的な予算政策も考えられる。

各国経済が必要としているのは、景気に弾みをつけることだけではない。持続的な設備が必要とされており、低炭素な開発を支える包摂的なエネルギーシステムもそのひとつである。そうでなければ、世界的な景気低迷によって一時的に二酸化炭素（CO₂）排出量が減少しても、いずれは再び増加してこれまでの長期的傾向に戻ってしまう可能性もある。化石燃料への投資は、大気汚染を進行させ、医療コストを増大させ、持続可能でない慣行を固定化してしまう可能性がある。

再生可能エネルギー技術は他の投資と同様にパンデミックによる影響を受けるかもしれないが、エネルギー市場の動きによって再生可能エネルギーへの投資が中断する可能性は低い。価格の変動性によって非在来型の石油・ガス資源や長期契約の存続可能性は低下し、それによって再生可能エネルギーの投資対効果はいつそう高まる。さらにその結果として、社会的混乱を増大させることなく、化石燃料への補助金削減やクリーンエネルギーへの補助金振り替えが進む可能性もある。

再生可能エネルギーのロードマップ

景気回復策は、公正な移行を加速する役割を果たさなければならない。既存の例である欧州グリーンディールは、いかにしてエネルギー投資を世界の気候目標に適合させることができるかを示している。化石燃料ではなく、持続可能なエネルギーインフラに巨額の投資を行う時代がすでに到来している。

景気回復策は、柔軟性の高い電力系統、エネルギー効率化ソリューション、電気自動車(EV)充電システム、エネルギー貯蔵設備、系統に連系された水力発電、グリーン水素、その他多数のクリーンエネルギー技術の設置を促すことができる。エネルギー脱炭素化の必要性に変わりはないため、そのような投資によって、短絡的な意思決定や座礁資産がさらに積み重なることを防ぐことができる。

新型コロナウイルス感染症は、我々の社会を脱炭素化し持続可能目標を達成するために必要な、存続にかかわる道筋を変えることはない。各国政府は、より広範な復興に欠かせない要素としてエネルギー転換を組み込むことにより、健康で、包摂的で、繁栄した、公正かつレジリエンスを備えた未来の追求という点で飛躍的な変革を遂げることができる。

各国はそれぞれ異なる資源構成のもとエネルギー転換に取り組まなければならないが、すべての国が21世紀のエネルギーシステムを必要としている。そのための対策は、既存の社会経済構造への救済策だけに留まってはならない。

今や公共政策や投資決定は、これまで以上に持続可能かつ公正な未来のビジョンに沿ったものでなければならなくなっている。これを実現するためには、あらゆるレベルで社会経済的課題と連動させてエネルギー目標や気候目標に取り組む幅広い政策パッケージが必要である。公正な移行は誰も取り残してはならない。

この新たな刊行物がエネルギー転換への道筋を示すために役立つことを心から願っている。



フランチェスコ・ラ・カメラ
国際再生可能エネルギー機関
事務局長

目次

本報告書とその焦点	12
本報告書の要点	14

要約	18
言葉と行動のギャップの拡大	19
エネルギー転換の進展	22
長期的計画	33
世界における社会経済的影響	40
各地域の社会経済的影響	43
段階的な社会の脱炭素化を目指して	54

01	2050年へのロードマップ	56
	1.1 エネルギー転換の促進要因	57
	1.2 現実と要求の間に広がるギャップ	64
	1.3 2050年に向けた、意欲的だが実現可能な、気候耐性のある 変革的道筋：エネルギー転換は何をもたらすか？	67
	1.4 2030年に向けた展望とNDCの策定	91
	1.5 投資の方向転換が必要	95

02	世界における社会経済的影響	98
	2.1 雇用と技能	100
	2.2 国内総生産(GDP)	109
	2.3 福祉	111
	2.4 結論	113

03	地域のエネルギー転換：技術・経済的状况	116
	3.1 状況と特徴	118
	3.2 優先順位と促進要因	125
	3.3 IRENAが提唱する2050年に向けたエネルギー転換の道筋	129
	3.4 主要な取り組み	133

04	地域ごとの社会経済的影響	136
	4.1 背景	137
	4.2 エネルギー転換の社会経済的指標：雇用	141
	4.3 エネルギー転換の社会経済的指数：GDP	151
	4.4 政策に関する結論	156

カーボンゼロ到達に向けて	158
5.1 カーボンゼロ到達に向けて：技術的な選択肢とコスト	159
5.2 産業部門・運輸部門など課題のある部門も含めた残存排出量の削減	170
5.3 再生可能エネルギー電力の大量導入	176
5.4 水素の役割	180
5.5 課題のある部門：運輸部門	183
5.6 課題のある部門：産業部門	186
5.7 課題のある部門：天然ガスインフラ	191

05

社会の脱炭素化への転換を目指して	192
6.1 変革的なエネルギー転換	193
6.2 課題の解決	196
6.3 脱炭素化社会に向けた政策介入	201
6.4 成功のための基盤：資金動員、政策の一体性、国際協調	204

06

参考文献	206
略語一覧	211

地域別ファクトシート	212
● 東アジア	212
● 東南アジア	220
● その他アジア	228
● 欧州連合	236
● その他欧州	244
● ラテンアメリカ・カリブ諸国	252
● 中東・北アフリカ	260
● 北米	268
● オセアニア	276
● サハラ以南アフリカ	284

図一覽

要約	図 S.1 エネルギーと化石燃料使用の性質の変化……………	21
	図 S.2 世界のエネルギーミックスに占める再生可能エネルギーの比率： 6 倍への増加が必要……………	23
	図 S.3 電化が進むエネルギーシステム……………	25
	図 S.4 系統柔軟性のニーズ……………	27
	図 S.5 どのような未来のエネルギーシステムにも不可欠：水力とバイオエネルギー……………	29
	図 S.6 水素：未来のエネルギーシステムの重要な要素……………	31
	図 S.7 排出量削減の大部分：再生可能エネルギーとエネルギー効率化……………	33
	図 S.8 新規投資の優先順位：再生可能エネルギー、エネルギー効率化、 熱供給と運輸の電化……………	34
	図 S.9 エネルギー転換：費用に対する便益……………	35
	図 S.10 地域ごとに異なるエネルギー転換のロードマップ……………	38
	図 S.11 福祉向上：健康面の便益と排出削減が影響……………	42
	図 S.12 エネルギー部門の雇用 1 億人：地域的分布……………	44
	図 S.13 エネルギー部門の雇用増加数：すべての地域で雇用減少数を上回る……………	45
	図 S.14 再生可能エネルギー関連雇用は推定 4,200 万人：地域分布……………	47
	図 S.15 GDP 増加の最大の促進要因：エネルギー転換の影響と貿易……………	50
	図 S.16 1 人あたり GDP 増加額の地域格差……………	51
	図 S.17 社会、環境面の向上が促す地域レベルの福祉向上……………	52

第 1 章	図 1.1 喫緊のニーズと魅力的な機会……………	57
	図 1.2 太陽光発電と風力発電：2030 年までコスト低下が続く予想……………	60
	図 1.3 エネルギー補助金：エネルギー転換シナリオでは全体的に減少……………	62
	図 1.4 2050 年までに必要な排出削減量の大部分を、再生可能エネルギー、 エネルギー効率化、EV、水力発電が占める……………	65
	図 1.5 合意された世界の気候目標を達成するため、世界のエネルギー供給の 3 分の 2 を再生可能エネルギーによって提供することが必要……………	67
	図 1.6 2050 年までの太陽光発電、風力発電、その他の再生可能エネルギー発電……………	69
	図 1.7 2050 年における 1 時間単位の系統シミュレーション： システム柔軟性には大きな課題なし……………	70
	図 1.8 再生可能エネルギー：2050 年までに世界最大のエネルギーキャリアに……………	72
	図 1.9 エネルギー消費原単位改善率：毎年 3.2%の改善が必要……………	73
	図 1.10 再生可能エネルギーによる電化： 2050 年のエネルギー関連の CO ₂ 排出量の 60%を確保する……………	75
	図 1.11 低コストの輸送用電力……………	76
	図 1.12 スマート充電：EV によるシステムレベルの柔軟性とローカルレベルの柔軟性……………	77

図 1.13	EV のスマート充電を実現する技術、ビジネスモデル、規制の枠組み	78
図 1.14	システム全体にわたるエネルギー転換： すべてのエネルギー利用部門における変革	84
図 1.15	電力システムのエネルギー転換を促進する要因としての 「モノのインターネット」(IoT)	86
図 1.16	未来に対するさまざまなビジョン： 他の主なエネルギー研究で提示されたシナリオ	89
図 1.17	再生可能エネルギー電力の役割に関する新たなコンセンサス	90
図 1.18	国が決定する貢献： パリ協定の気候目標を達成するには現時点で不十分	91
図 1.19	すべての部門で再生可能エネルギーの比率を増やすことが必要	93
図 1.20	再生可能エネルギーに関する目標を掲げた NDC： 地域別件数	94
図 1.21	2016 年～2030 年のエネルギー投資	95
図 1.22	2016 年～2050 年のエネルギー投資	97

図 2.1	エネルギー部門と経済の密接な連関	99	第 2 章
図 2.2	エネルギー部門における雇用の増加： 2050 年に 1 億人に到達	100	
図 2.3	再生可能エネルギー関連の雇用： 太陽エネルギー技術が大多数	102	
図 2.4	詳細な分析： 雇用の大多数は、建設・設置および一般作業員・技能者の 各分野で創出される	103	
図 2.5	エネルギー部門における雇用の増減： 4 つのケース	105	
図 2.6	経済全体における雇用： 650 万人増加	107	
図 2.7	再生可能エネルギー、エネルギー部門、経済全体	108	
図 2.8	エネルギー転換シナリオは世界の GDP を後押し	109	
図 2.9	世界の 1 人あたり GDP の増加は投資コストを上回る	110	
図 2.10	福祉向上： 健康面の便益と排出削減が影響	111	

図 3.1	世界人口の増加： 現在の 75 億人から 2050 年までに 97 億人超へ	118	第 3 章
図 3.2	地域間の富の偏在	119	
図 3.3	1 人あたりエネルギー消費量： 富とアクセス率の増加に伴い エネルギー消費量も増加	120	
図 3.4	エネルギー関連の CO ₂ 排出量： 各地域の現行水準	121	
図 3.5	化石燃料の輸出と輸入： 地域別の収支	122	
図 3.6	エネルギー集約型産業： 東アジアに高い需要が集中	123	
図 3.7	都市の大気質： 急成長する都市の大きな懸念事項	124	
図 3.8	再生可能エネルギー電力： ほとんどの地域で平均電力価格より安価	125	
図 3.9	現行計画シナリオ： 地域ごとに異なる見通し	126	
図 3.10	世界のエネルギー脱炭素化： 地域ごとに異なるエネルギー転換への道筋	130	
図 3.11	エネルギー転換シナリオ： 地域ごとに異なる投資ニーズ	132	
図 3.12	世界のエネルギー脱炭素化： すべての部門で迅速な取り組みが必要	134	

図一覽 (続き)

第 4 章	図 4.1	人口と雇用の比率が際立って高い地域がある一方、GDP の比率が 際立って高い地域もある……………	138
	図 4.2	北米、オセアニア、EU： 1 人あたり GDP は世界平均を大きく上回る ……	139
	図 4.3	人口、雇用、GDP の成長率は地域によって差がある ……	140
	図 4.4	1 人あたりのクリーンエネルギーへの投資額は地域によって大きな差が出る ……	141
	図 4.5	エネルギー部門の雇用 1 億人： 地域的分布 ……	143
	図 4.6	すべての地域でエネルギー部門の雇用増加数が雇用減少数を上回る ……	144
	図 4.7	再生可能エネルギー関連の雇用は推定 4,200 万人： 地域分布 ……	145
	図 4.8	EU は経済全体の雇用数増加が最大 ……	148
	図 4.9	間接効果と誘発効果： 欧州と北米で最大の効果があらわれる ……	149
	図 4.10	中東・北アフリカとオセアニアを除く全地域で GDP が増加……………	151
	図 4.11	GDP 増加の最大の要因： 間接効果と誘発効果、貿易 ……	152
	図 4.12	1 人あたり GDP 増加額の地域格差 ……	154
	図 4.13	社会経済的向上によって促進される地域レベルの福祉水準の向上 ……	155
<hr/>			
第 5 章	図 5.1	産業部門と運輸部門： 2050 年に残存する排出量の大部分を占める……………	160
	図 5.2	脱炭素深化見通し： ネットゼロ、さらに最終的にゼロカーボンの達成 ……	161
	図 5.3	再生可能エネルギーと効率化： 排出量削減の大部分を実現 ……	165
	図 5.4	再生可能エネルギーによる CO ₂ 削減： ゼロカーボンへの削減量の 3 分の 2……………	166
	図 5.5	1 ドル支出につき、環境面と健康面において 3 ドル～8 ドルの便益がある ……	167
	図 5.6	低廉な CO ₂ 排出緩和策： 効率化、再生可能エネルギー、構造改革 ……	168
	図 5.7	各シナリオにおける緩和コスト： 23～156 ドル/t……………	169
	図 5.8	産業部門の CO ₂ 排出量： エネルギー転換シナリオにおける残存排出量の 3 分の 2 を占める……………	171
	図 5.9	スウェーデンの電力系統における 4 つの革新的ソリューション ……	178
	図 5.10	グリーン水素の製造コスト： ブルー水素の競争力に近づく ……	181
<hr/>			
第 6 章	図 6.1	グローバルなグリーンニューディール： 社会・経済・環境目標を達成するソリューションの中心……………	193
	図 6.2	エネルギー転換が地域や国にもたらす成果……………	196
	図 6.3	再生可能エネルギーのイノベーション： 先導国……………	198
	図 6.4	包括的な政策枠組み： 普及政策、実現政策、統合政策……………	202

表・ボックス一覧

表一覧

表 2.1 2050 年へのロードマップ：世界のエネルギー転換における 主な社会経済的指数の追跡	113
表 3.1 エネルギー転換シナリオにおける 2050 年までの地域別年間投資額(億ドル/年)	133
表 5.1 部門別の主要な脱炭素化ソリューション	172

ボックス一覧

ボックス 1.1 再生可能エネルギー発電のコストは継続的に低下	60
ボックス 1.2 エネルギー転換におけるエネルギー補助金	62
ボックス 1.3 エネルギー転換における電力系統柔軟性の概要	70
ボックス 1.4 再生可能エネルギーによる電化：エネルギーサービスの変革を促進	74
ボックス 1.5 EV のスマート充電	76
ボックス 1.6 バイオエネルギー	80
ボックス 1.7 デジタル化され、相互接続された世界に向けた前進	86
ボックス 1.8 シナリオの比較	88
ボックス 2.1 エネルギー部門における雇用増減の促進要因	104
ボックス 2.2 経済全体の雇用と GDP の促進要因	106
ボックス 2.3 福祉指数の構成	112
ボックス 5.1 二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)	173
ボックス 5.2 変動性再生可能エネルギー電力の大量導入を支えるイノベーション	177
ボックス 6.1 欧州グリーンディールにおける公正な移行のメカニズム	195
ボックス 6.2 既存の能力を活用してエネルギー転換を支援：ブラジルの事例	199

本報告書とその焦点

国際再生可能エネルギー機関(IRENA)は、世界のエネルギーシステムの転換を定量化して解説するために、一連の研究を実施している。これらのロードマップは、クリーンで持続可能なエネルギーの未来を創出する低炭素技術を導入するための、意欲的だが技術的にも経済的にも実現可能な道筋を提示している。

IRENA による初期の研究のひとつは、「エネルギー転換に向けた見通し」(Perspectives for the Energy Transition) (IEA and IRENA, 2017)の主要な章で概説されており、長期的な世界の脱炭素化の技術的実行可能性と社会経済的便益に重点を置いたものである。それに続く「世界のエネルギー転換:2050年へのロードマップ」(Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050) (IRENA, 2018a)は、再生可能エネルギー導入加速の影響をさらに詳細に論じ、関連する投資ニーズを調査し、エネルギー転換に伴う部門別の主な要件を検討し、社会経済的影響に関するさらなる知見を提供した。

「世界のエネルギー転換」ロードマップの第2版(IRENA, 2019a)では、主な国と地域に関するIRENAの分析を更新し、再生可能エネルギーを用いた電化が主要な実現化ソリューションとしての役割を果たすことを示した。また同報告書は、エネルギー転換のコスト、助成金、投資ニーズに関する新たな知見も提示した。IRENAの社会経済分析は、世界のエネルギー転換がもたらす効果を国内総生産(GDP)と雇用の観点から検証すると同時に、起こりうる気候被害の影響を評価した。

今回の「再生可能エネルギー世界展望」は、現在進行しているエネルギー転換について、エネルギーと社会経済の両面から地域レベルのニーズと影響をより詳細に検討している。また本報告書は、これまでの研究よりさらに踏み込んで、より大規模に脱炭素化が進んだグローバル社会の創出を促す変革的なエネルギー政策の視点を示している。イノベーションと技術の観点では、本報告書は、船舶、航空、重工業といった課題の多い部門における二酸化炭素(CO₂)排出量の削減という課題に取り組んでいる。このような課題への対処は、21世紀半ばまでにネットゼロ(実質排出量ゼロ)を実現するために、じきに不可欠なものになると考えられる。

第1章では、IRENAの再生可能エネルギーロードマップ(REmap)におけるエネルギー転換の分析を概説し、2050年に向けて世界のエネルギー転換を実現するための主な技術的ソリューションとビジョンに焦点をあてる。第2章では、世界におけるエネルギー転換の社会経済的影響に焦点をあて、GDP、雇用、福祉を指数として用いている。第3章では、2050年に向けた各地域における技術・経済面での転換の道筋を概説し、第4章では地域ごとの社会経済指数の違いを解説する。第5章では、エネルギー関連と工業プロセス関連のCO₂排出量をゼロにまで削減する方法を説明するとともに、課題の多い部門についてソリューションを提示している。第6章では、持続可能な社会に向けた変革的な脱炭素化を加速し、公正な移行を保証するために必要な包括的政策パッケージ、大規模な資金動員、国際協調の強化について論じる。さらに、世界10地域の主要データと指数を巻末にまとめる。

本展望におけるシナリオと見直し

本報告書ではいくつかのシナリオを提示するとともに、それらの社会経済的効果を論じる。

「**現行計画シナリオ(PES)**」は、本研究の主たる参照ケースであり、各国政府の現行のエネルギー計画と他の計画目標および政策(2019年時点)に基づいたエネルギーシステムの発展見直しを提供する。パリ協定に基づく「国が決定する貢献(NDC)」はここに含まれる。また国がそれ以降に新たな気候とエネルギーに関する目標または計画を策定している場合はそれらを用いている。

「**エネルギー転換シナリオ(TES)**」は、主に再生可能エネルギー源とエネルギー効率化の着実な向上に基づく(ただしこれらの技術のみに限らない)意欲的だが現実的なエネルギー転換の道筋を提示している。この転換への道筋は、21世紀中の世界の気温上昇を摂氏2度(°C)よりも十分低く抑え、さらには1.5°Cを目指すための軌道へとエネルギーシステムを導く。

「**脱炭素深化見直し(DDP)**」は、エネルギー関連と工業プロセス関連のCO₂排出量をエネルギー転換シナリオよりさらに削減する追加的選択肢を検証している。脱炭素深化見直しは、特定分野の対策を加速することにより、2050年から2060年の間にエネルギー関連と工業プロセス関連のCO₂排出量をゼロにまで削減できる可能性があることを示唆している。

「**ベースラインシナリオ(BES)**」は、2015年のパリ協定採択前後に実施されていた各国の政策を反映したもので、必要に応じてエネルギー開発に関する最近の経年的視点を加味している。

これらのシナリオの**社会経済的分析**は、エネルギーシステムと世界経済を単一かつ一貫性のある定量的枠組みで結び付けるマクロ経済モデル(E3MEモデル)を用いて行われた。GDP、雇用、福祉といった可変要素に対するエネルギー転換の影響を分析し、世界、地域、国家レベルで公正かつ包摂的なエネルギー転換を実現するために講じるべきエネルギーシステム計画、経済政策立案、その他の対策に資する情報を提供している。

21世紀半ばまでの30年間という重要な期間を対象に、エネルギー投資や広範な社会経済的発展について考えられるこれらのさまざまな道筋を検討した。本報告書では2019年4月までの政策目標や進展を考慮に入れている。それ以降に発表された政策変更や目標は、今回の分析では考慮されていない。

本報告書は、2014年より継続して行われてきた一連の世界、地域、国レベルの部門別分析の基盤となるIRENAのREmap(再生可能エネルギーロードマップ)の分析手法、ならびにエネルギー転換が経済と社会に及ぼす影響をこれまで以上に包括的な全体像として捉えるIRENAの社会経済分析に立脚している。

本報告書の要点



再生可能エネルギー世界展望

2020年版

- **新型コロナウイルス感染症のパンデミックがもたらした衛生、人道、社会、経済の危機は、適切な社会経済対策に基づいた決定的かつ大規模な対応を必要とする。**各国は経済刺激策の選択肢を検討しているが、依然として国民の健康と福祉の向上を図りながら持続可能性を確保しレジリエンスを強化するという課題に立ち向かわなければならない。社会の脱炭素化によって世界の気候目標を達成するために取り組みを加速する必要性は存続している。
- **本報告書で説明するエネルギー転換シナリオは、脱炭素深化見通しとともに、安定した長期的な経済発展をもたらす、気候にとって安全な、持続可能かつ低炭素な基盤を提示する。**このシナリオでは、雇用の増加、経済成長の拡大、よりクリーンな生活環境、福祉の大幅な向上が見込まれている。またこの意欲的な展望では、世界のエネルギー関連の二酸化炭素(CO₂)排出量を2050年までに70%削減することを想定している。この削減量の90%以上が、再生可能エネルギーとエネルギー効率の改善によって達成されると見込まれる。
- **社会の変革的な脱炭素化を促進する包括的政策によって、エネルギー転換は広範な社会経済的発展を促すことができる。**このような全体的なアプローチによって、経済目標、環境目標、社会目標に沿ったエネルギーの脱炭素化が実現すると考えられる。その好例が、クリーンエネルギーの国際的支援を盛り込んだ欧州グリーンディール計画である。2020年のパンデミック後の景気刺激策も、多くの社会を同様の方向に導くことができると考えられる。
- **最終的な世界の気候目標は、排出量ゼロへの到達である。**本展望においても、2050年以降にCO₂排出量をネットゼロにまで削減する方法、さらにはゼロにまで削減する方法を模索している。そのためには革新的なビジネスモデル、構造の変化、行動変容と併せて、水素、合成燃料、直接的な電化、先進的バイオ燃料、カーボンマネジメントが不可欠となる。
- **それでもなお世界のCO₂排出量のうち最後まで残る部分は削減が最も困難であり、また削減に要するコストも最も大きくなると予想される。**意欲的なエネルギー転換を実現しても、エネルギー消費原単位の大きい産業、船舶、航空部門は2050年の時点でなお排出量が多く、世界全体で現行水準の約3分の1程度の排出量が残存すると見込まれる。脱炭素深化見通しは、これらの部門の排出量をゼロにまで削減する方法に焦点をあてている。まだ未解明な部分が多いものの、この最後に残った排出量の削減の60%が、再生可能エネルギー、「グリーン水素」、再生可能エネルギーを用いた電化により実現すると推定される。

低炭素投資の選択肢

- エネルギー関連の CO₂ 排出量は、過去 10 年間に年 1%のペースで増加してきた。2020 年はパンデミックと原油価格下落によって排出量が減少する可能性があるが、反動により長期的傾向に回帰すると考えられる。
- 一方、エネルギー転換シナリオは、パリ協定に沿って 21 世紀中の世界の気温上昇を「2°C より十分低く」抑えることのできる気候にとって安全な道筋を提示する。またこのシナリオは国別の気候目標の継続的な更新の指針となり、再生可能エネルギー導入目標の引き上げによる気候目標の強化に資することができる。
- またこのエネルギーシステム転換の見通しは高い GDP 成長率を示しており、21 世紀半ばまでに現行計画よりも 2.4%高い GDP 成長率を実現すると見込まれる。現在から 2050 年までの累積 GDP 増加額は 98 兆ドルにのぼり、エネルギーシステム転換に必要な追加投資額を大きく上回る。
- 想定されるエネルギー転換はそれ自体で採算が取れるもので、投資 1 ドルごとに 3~8 ドルの効用をもたらす。2050 年までに、エネルギー転換シナリオは現行計画シナリオよりも 19 兆ドル多くコストがかかる一方、少なくとも 50 兆ドル相当の便益をもたらすと見込まれる。脱炭素深化見通しでは、ネットゼロを達成するためにさらに 16 兆ドルの追加コストを要する。また CO₂ 排出量を完全に削減するための追加コストは 26 兆ドルとなり、合計 45 兆ドルの追加コストがかかるが、節減の累積額はそれを上回る 62 兆ドル以上となる。
- エネルギー転換によって、持続可能なエネルギーの未来だけでなく、新たな形での社会経済発展がもたらされる。本展望で想定される投資先の変化によって、世界の再生可能エネルギー分野の雇用は 2050 年までに現在の 4 倍となる 4,200 万人に増加すると予想される。エネルギー分野全体の雇用は 2050 年までに現在より約 4,000 万人増加し、1 億人に達すると見込まれる。エネルギー転換によって経済全体の雇用は現行の計画より 700 万人多くなる。世界のすべての地域で、人々の福祉が広範囲にわたって向上するとともに、環境面と健康面の便益が実感できるようになると予想できる。
- エネルギー転換シナリオでは、人々の福祉はより迅速かつ大幅に向上し、福祉指数は 2050 年までに 13.5%向上すると見込まれる。向上の大きな要因は大気汚染の減少であり、すべての地域で健康の改善をもたらす。エネルギー転換によって、あらゆる場所で人々の福祉が向上する。

円滑なエネルギー転換に向けた協調

- 相互に関連し合うエネルギー目標と気候目標を達成するためには、地域の意欲を引き上げることが不可欠である。再生可能エネルギー、エネルギー効率の改善、電化は、地域や国レベルで排出量の大幅な削減に取り組むうえでの明確な焦点となる。エネルギー転換の道筋はそれぞれ異なるものの、すべての地域で再生可能エネルギーの利用率は上昇する。東南アジア、ラテンアメリカ、EU、サハラ以南アフリカでは、エネルギー構成全体に占める再生可能エネルギーの比率は 2050 年までに 70%から 80%に達すると見込まれる。同様に、熱供給部門や運輸部門のような最終消費部門の電化率もすべての地域で上昇し、東アジア、北米、そして欧州諸国の多くで 50%を超えると見込まれる。
- エネルギー転換により世界全体の雇用は明白に向上するが、構造的影響や労働市場への影響は場所、職種、部門によって大きく異なる。再生可能エネルギー、エネルギー効率の改善、その他の移行関連部門の雇用は拡大するが、他のエネルギー関連の雇用は減少する。しかし、公正な移行を確保するための戦略を取れば、個人やコミュニティの不整合は最小限に抑えられる。
- 社会経済面での出発点の差異は、エネルギー転換の地域的な差異をもたらす。各地における影響は、化石燃料や他の一次産品への依存度、既存の産業生産性、技術の選択肢の拡大、そして国内のサプライチェーンの規模と多様性によって決まる。また地域や国の移行計画、制度の構造、能力、政策上の意欲もさまざまであるため、2050 年には地域によって異なる結果が生じる。
- 急速な脱炭素化を実現するためには、前例のない政策取り組みと投資が必要である。2019 年に発足が発表された気候投資プラットフォームは、パリ協定の目標に沿ってクリーンエネルギー導入を促進することを目的としている。地域レベルの投資フォーラムでは、適正な条件を創出し、資金へのアクセスを改善し、収益性を見込めるプロジェクトを策定できるよう支援を行う。
- 世界のエネルギー転換を完遂し壊滅的な気候変動を食い止めるためには、国際協調の強化が必要となる。各国政府やその他機関が、民衆の決意を固め、誰も取り残さないことを目的とした多岐にわたる意欲的な政策を採用できるようにすることが目的である。
- 最終的に気候変動の危機を緩和することができるか否かは、採用される政策、それらの政策が実施されるスピード、投入される資金の量によって決まる。今後の投資決定は、包摂的な低炭素経済の構築との整合性に基づいて評価されることになる。それが実現できない場合、脱炭素化社会への移行を妨げるおそれがある。

再生可能エネルギー 世界展望： 要約



言葉と行動のギャップの拡大

本文
第1章、
第5章

気候変動による被害の証拠が次々に明らかになる中、気候変動対策における意欲と現実の間には依然として大きな隔りがある。気候変動の悪影響は、年々明白になってきている(NASA, WMO, 2020)。しかし、世界のエネルギー関連 CO₂ 排出量は、横ばいになる時期があるものの、過去 10 年間に年平均 1%のペースで増加している。

各国の対策のための努力は依然としてばらつきがあり、ネットゼロ(実質排出量ゼロ)を目指している国もあれば、未だに政策目標を掲げていない国もある。各国政府の計画は、市場のリアリティをまだ完全に反映しているわけではない。パリ協定の枠組みで策定された「国が決定する貢献(NDC)」は、多くの場合、最新のエネルギー計画や市場動向と比べて意欲的ではない。IRENA の推計によれば、現行の NDC で定められた発電目標では、世界の気候目標達成のために 2030 年までに必要とされる再生可能エネルギー電源導入量の 40%しか達成できない(IRENA, 2019b)。

目下の新型コロナウイルス感染症の世界的流行がもたらした健康、人道、社会、経済面での危機によって、この隔りがさらに広がる可能性もある。また、反対に社会の脱炭素化が加速する可能性もある。その結果は、各国が景気刺激のために如何なる対策を講じるかにかかっている。持続可能性の確保、レジリエンス(強靱性・回復性)の強化、国民の健康と福祉の向上という課題は、何にもまして重要である。本報告書が提示する「エネルギー転換シナリオ(TES)」は、気候に影響を及ぼすことなく、持続可能で安定したエネルギーと経済の長期的発展を達成する方法を描く。さらに「脱炭素深化見通し(DDP)」を推し進めることができれば、この見通しが低炭素政策の指針となり、気候変動対策における言行一致の実現に寄与することになる。

本報告書では、エネルギー関連の CO₂ 排出量の推移について考えられるいくつかのシナリオを提示している。「ベースラインシナリオ(BES)」では、エネルギー関連の CO₂ 排出量は年平均 0.7%の割合で増加し、2019 年に年間 34 Gt(ギガトン, 10 億トン)であった排出量が 2050 年には年間 43 Gt に達する。その結果、21 世紀後半の気温上昇は 3°C 以上になる可能性が高い。本報告書の基準シナリオとなる「現行計画シナリオ(PES)」では、排出量は 2030 年にかけてやや増加するも、その後減少に転じて 2050 年には今日とほぼ同水準の年間 33 Gt となる。その結果、21 世紀後半の世界の気温上昇は 2.5°C になると予想される。これに対し、IRENA のエネルギー転換シナリオでは、排出量は年平均 3.8%の割合で減少し、2050 年までに今日の水準を 70%下回る年間 10 Gt 程度となる。気温上昇は、2°C を十分下回る水準を維持することができる。

脱炭素深化見通しを取れば、気温上昇を 1.5°C に抑えられ、早ければ 2050 年、遅くとも 2060 年までに排出量をゼロに削減する可能性がある。

最近のエネルギー動向を見ると、明らかに CO₂ 排出量の削減を加速する必要があることがわかる。実行可能ないずれの対策においても、再生可能エネルギーが重要な要素となっている。再生可能エネルギーの導入率、GDP あたりのエネルギー消費原単位、エネルギーの最終消費における電化率はいずれも近年改善しているが、その改善ペースはパリ協定目標を達成するためには十分なものではない。またエネルギー部門以外でも排出量を削減する取り組みが必要である。

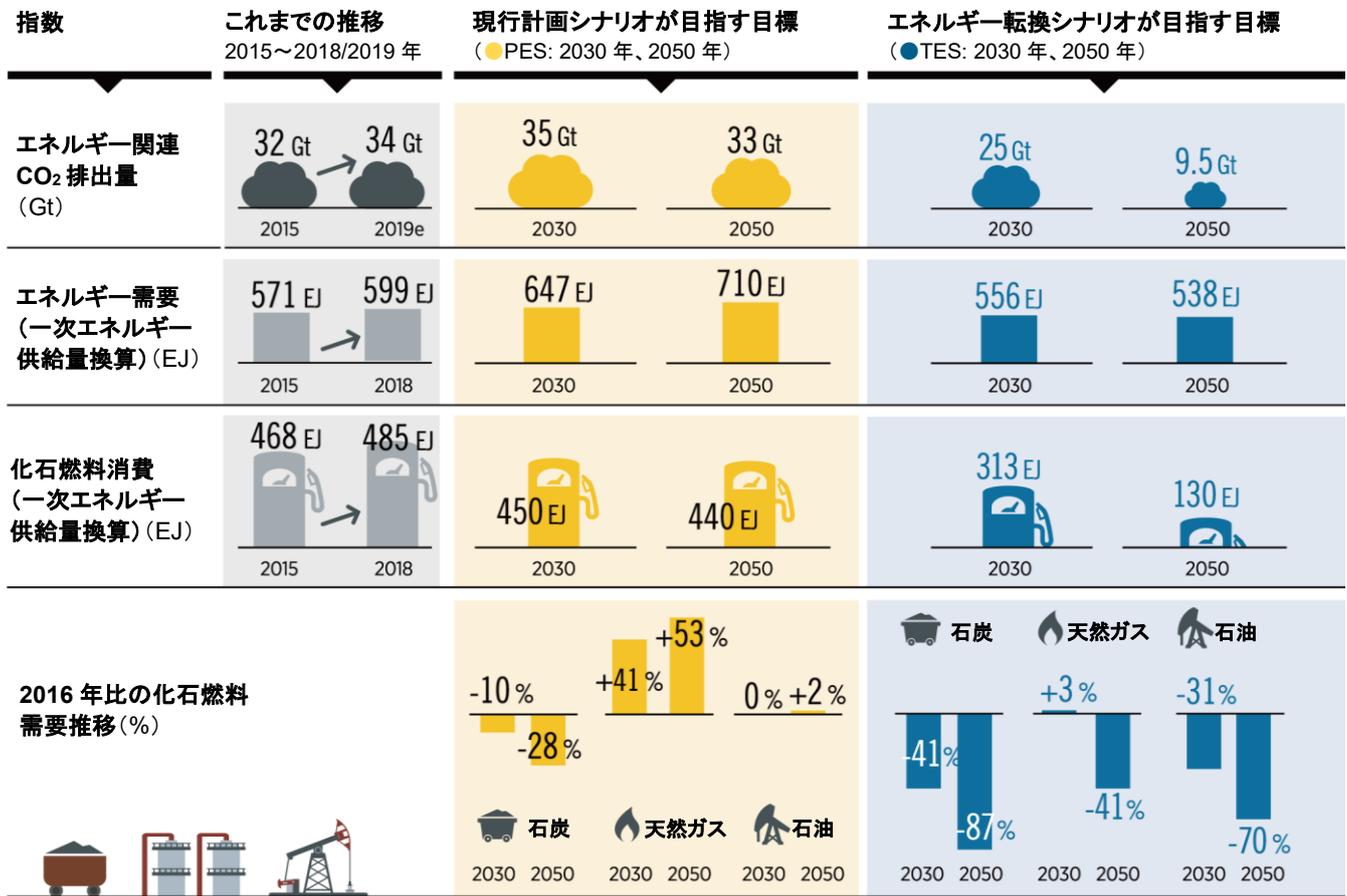
化石燃料は、依然として世界各地で負の影響を及ぼしている。大気、水質、土壌の深刻な汚染や慢性的なエネルギー輸入依存などがその一例である。現在、大気汚染による早期死亡者数は年間 700 万人に及んでいる (WHO, 2020)。今なお推定 8 億 4,000 万人が電気を利用できず、26 億人がクリーンな調理用燃料を利用することができない状況にある。世界ではクリーンかつ持続可能なエネルギーの調達が喫緊の課題となっている。一部の地域では、現在もエネルギー輸入への依存が拡大し続けている (IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO, 2019)。

エネルギー転換シナリオを取ると、化石燃料の消費量は 21 世紀半ばまでに約 75% 減少する。現行計画シナリオでは、一次エネルギー需要は 2050 年までに現在の約 600 EJ (エクサジュール、10¹⁸ ジュール = 100 京ジュール) から 710 EJ に拡大するが (図 S.1 参照)、化石燃料消費量は現在と概ね同程度となり、再生可能エネルギーの役割が拡大することを示している。しかしながら、化石燃料の消費量が現在と同程度では、排出量削減を実現できない。エネルギー転換シナリオでは、化石燃料の消費量は現在の水準より 75% 減少し、2050 年には 130 EJ となる。これは、現在の中国のエネルギー需要とおおむね同程度である。消費量が最も大きく減少するのは石炭で、2030 年までに 41%、2050 年までに 87% 減少すると予測される。次に減少率が大きいのは石油で、2030 年までに 31%、2050 年までに 70% 減少すると予測される。天然ガスの消費量は 2030 年までに 3% 増加するが (現行計画シナリオでは、天然ガスの消費量は 2030 年までに 40% 以上増加する)、2050 年までに 41% 減少すると予測される。



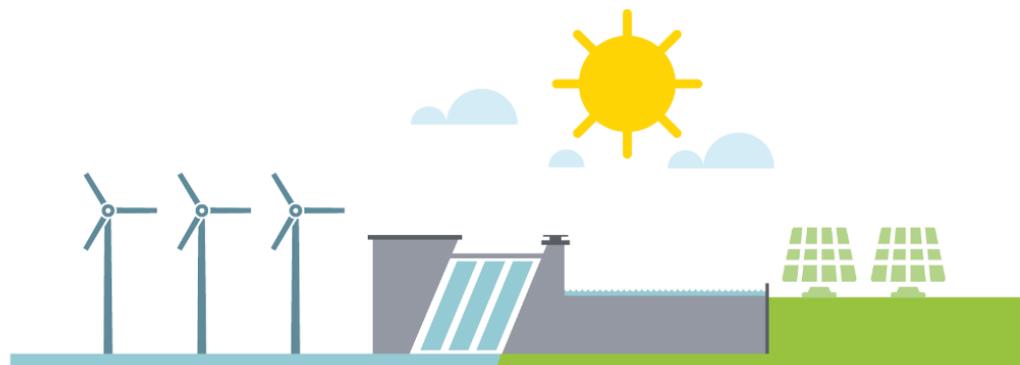
図 S.1 エネルギーと化石燃料使用の性質の変化

エネルギー関連の CO₂ 排出量、エネルギー需要、化石燃料の展望



注: e=推定、Gt=ギガトン、EJ=エクサジュール

IRENA のシナリオ (PES、TES) に基づく。2015 年から 2018 年のエネルギー需要と化石燃料消費の推移については IEA (2019a、2019b) に基づく。



エネルギー転換の進展

エネルギー部門には有望な変化が既に起こっている。再生可能エネルギーやその関連技術が広く採用され、持続可能な未来への明るい兆しを見せている。再生可能エネルギー技術は、新規電源のグローバル市場を席捲している。太陽光と風力は多くの市場で最も安価な電源となりつつあり、またほとんどの再生可能エネルギー電源は、今後10年間で十分にコスト競争力が高まると予想されている（IRENA, 2019c）。

再生可能エネルギー電源は今や、電力需要全体の増加よりも速いペースで拡大している。2019年には再生可能エネルギー電源の拡大が電力需要の拡大を上回り、新たなマイルストーンに到達した。その一方で化石燃料による発電は縮小した。総発電電力量が増加したにもかかわらず化石燃料による発電電力量が減少したのは、数十年ぶりである（Kabberger, 2019）。

運輸部門の電化は、爆発的な加速の兆候を見せている。エネルギー転換の加速を後押ししているのは、太陽光発電と風力発電（洋上を含む）の急速な低コスト化、蓄電池や電気自動車（EV）などの主要な実現技術に起こりつつある急速なコスト低下、そしてゲームチェンジャーとして有望視されるいわゆるグリーン水素である。

しかし、建築物部門や産業部門などの主要なエネルギー消費部門では、再生可能エネルギーの進展が十分ではない。これらの部門における再生可能エネルギーの導入は、気候的に安全なエネルギーシステムの構築に必要な水準を大きく下回っている。エネルギー効率の改善やバイオ燃料開発の進展の遅れは、すみやかに是正されなければならない。

世界の最終エネルギー消費に占める近代的再生可能エネルギーの比率は、2010年からわずかに増加したのみで、10%前後の水準にとどまっている¹。端的に言えば、再生可能エネルギーも増えているが、エネルギー需要も増えているのである。現行計画シナリオでは、最終エネルギー供給に占める近代的再生可能エネルギーの比率は2030年までに17%に増加し、2050年までに25%に増加する。エネルギー転換シナリオを取るならば、この比率は2030年までに28%に、2050年までに66%に増加する。つまり、現在の比率と比べて6倍に、現行計画シナリオの比率と比べて2.5倍に拡大する必要があるということである。

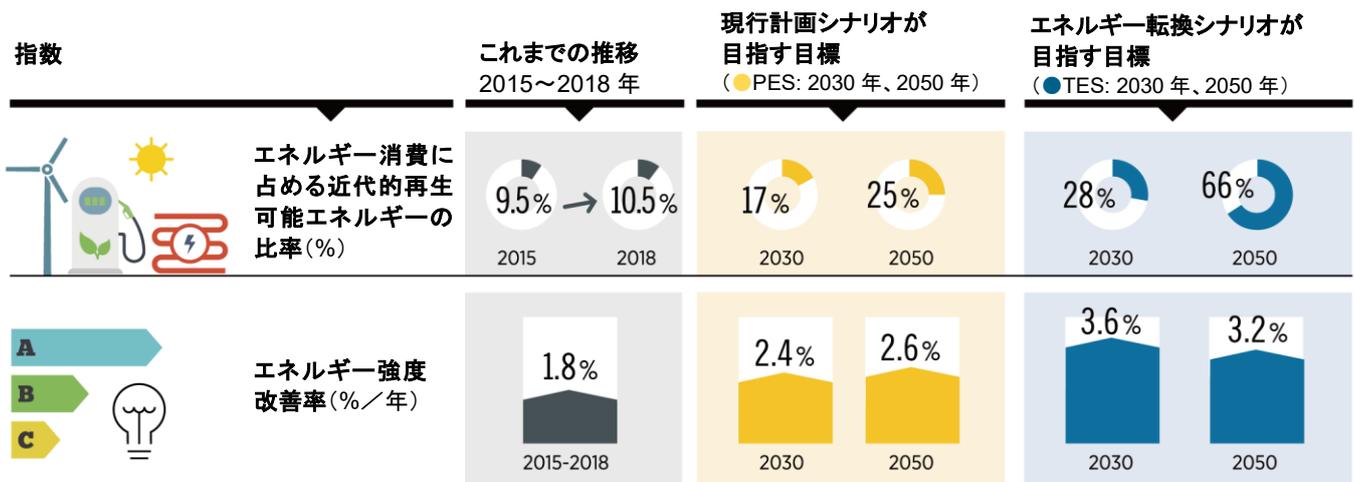


¹ 近代的再生可能エネルギーには、伝統的なバイオエネルギー利用は含まれない。これを含めた場合、最終エネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの割合は18%になる。

エネルギー効率は迅速かつ大幅に改善されなければならない。エネルギー効率の改善と再生可能エネルギーは、世界的なエネルギー転換を実現するための 2 つの主要なソリューションである。しかしながら、エネルギー消費原単位の改善は遅れをとっている。2019 年の改善率はわずか 1.2%と推定され、過去 10 年間の年平均改善率 1.8%を下回っている(IEA, 2019a)。エネルギー転換シナリオでは、エネルギー消費原単位の改善率を年 3.2%に高める必要がある。これは、2019 年の改善率と比べて 3 倍近く、近年の推移と比べてもおおよそ 2 倍である。再生可能エネルギーとエネルギー効率の改善は既に「準備万端の」ソリューションであり、大幅な拡大に踏み切ることができる。

エネルギー転換シナリオでは、再生可能エネルギーとエネルギー効率の改善が、エネルギー関連 CO₂ 排出量削減の 90%以上に寄与する。エネルギー転換シナリオを実現するためには、エネルギー関連の CO₂ 排出量を 2050 年まで年平均 3.8%ずつ削減し、現在より 70%低い水準まで下げる必要がある。これに対し、過去 10 年間の排出量は年平均 1%のペースで増加し、2019 年に横ばいになっている。図 S.2 は、必要な排出量削減を達成するために求められる再生可能エネルギーの導入率とエネルギー効率の改善率を示している。

図 S.2 世界のエネルギーミックスに占める再生可能エネルギーの比率：6 倍への増加が必要
再生可能エネルギーの導入率とエネルギー効率改善度



IRENA のシナリオ(PES、TES)に基づく。2015 年から 2018 年の最終エネルギー消費に占める再生可能比率の推移については IEA(2019a, 2019b)に基づく。



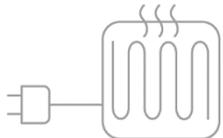
エネルギーの未来を支える 5つの技術の柱

第1の柱:

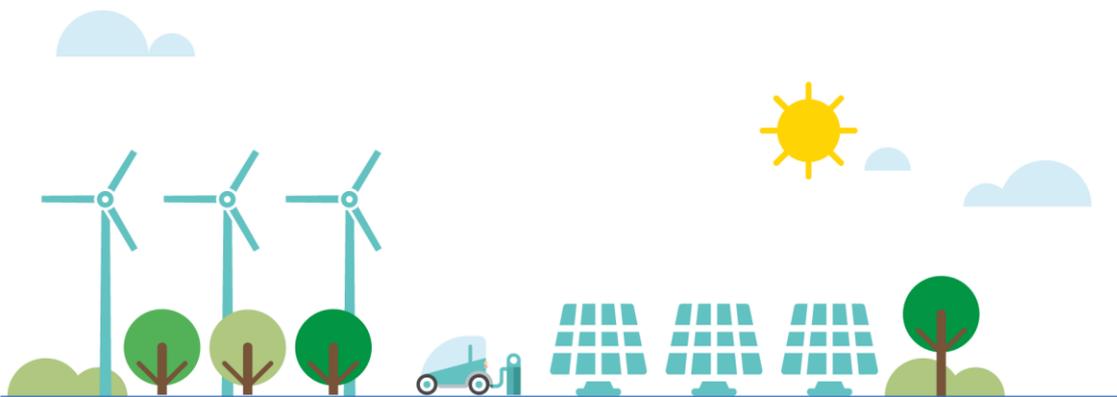
電化(エレクトリフィケーション)

助成金の縮小や世界の GDP 成長の鈍化にもかかわらず、再生可能エネルギー発電技術は、低コスト化と新規容量追加の記録を塗り替え続けている。エネルギー転換シナリオでは、2050年までに電力は中心的なエネルギー形態となる。最終エネルギー消費に占める電力の比率は、現在の20%からほぼ50%に増加し、その結果、総消費電力量は2倍以上に増加する。

最終エネルギー需要に占める電力比率の増加率(パーセンテージポイント、ppt)は、現在の年0.25 ppt から4倍の年1.0 ppt へと上昇する必要がある。換言すれば、最終消費部門の電化によって、現行計画に加え毎年1,000 TWh(テラワットアワー、10億 kWh)の電力需要の増加が必要となる。これは、日本全体の発電電力量を毎年追加することに等しい。この新たな再生可能エネルギー電力の需要を満たすには、毎年520 GW(ギガワット、100万 kW)を超える新規の再生可能エネルギー電源を追加する必要がある。それに並行して、発電電力量に占める再生可能エネルギーの比率を、現在の26%から2030年までに57%へ、2050年までに86%へと拡大する必要がある。この拡大を後押しするのは低コスト化である。2020年に運転開始する太陽光および風力発電プロジェクトの5分の4は、化石燃料による発電よりも安価な電力を生み出すと見込まれている(IRENA, 2019c)。



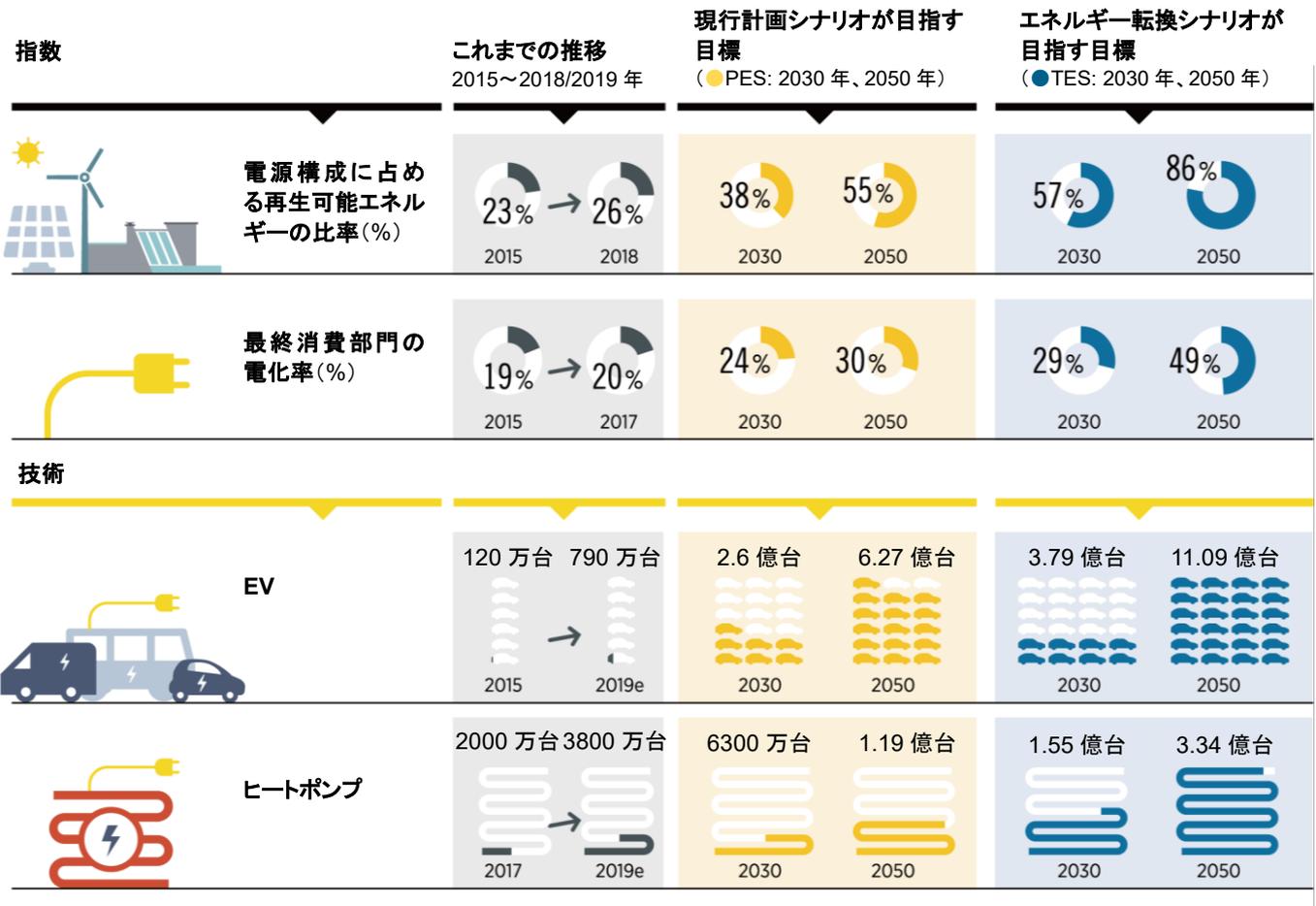
最終消費の電化が電力需要の増加を促し、再生可能エネルギーが増加した需要を満たすと期待される。運輸部門に関しては、2019年に約800万台であったEVの数が、エネルギー転換シナリオでは2050年に11億台以上に増加する(図S.3を参照)。熱供給部門では、ヒートポンプによってエネルギー効率が従来の熱供給システムの2~4倍に向上する。2050年までにヒートポンプの設置台数を10倍に増加させる必要があると考えられる。このような効率の高い電化技術へのシフトも、エネルギー効率の改善を促進する。



01

図 S.3 電化が進むエネルギーシステム

発電電力量に占める再生可能エネルギーの比率、電化率、有望技術



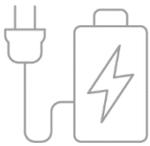
IRENA のシナリオ(PES、TES)に基づく。2015年から2018年の推移については、Spiegel(2020)、IEA(2019a、2019b)、IEA and IRENA(2017)、およびIRENA(2019a)に基づく。



第2の柱:

電力システムの柔軟性の向上

電力システムの柔軟性は、変動性再生可能エネルギー電源の大量導入を実現するための重要な要因のひとつであり、未来の電力システムの屋台骨である。気候にやさしいエネルギーシステムとは、分散化され、デジタル化と電化が進んだシステムである。現在、変動性再生可能エネルギー（VRE）の年間導入率が30%を超える国が増えている（これよりはるかに高い国も存在する）。その結果、時にはVREの瞬間導入率が電力需要全体に匹敵し、またこれを上回る場合さえある。このような電力余剰期は、電化を促進する新たな機会となる。エネルギー転換シナリオでは、変動性電源（太陽光および風力）が設備容量の73%を占める。発電電力量に占める比率は、現在の10%から60%以上に増加する。



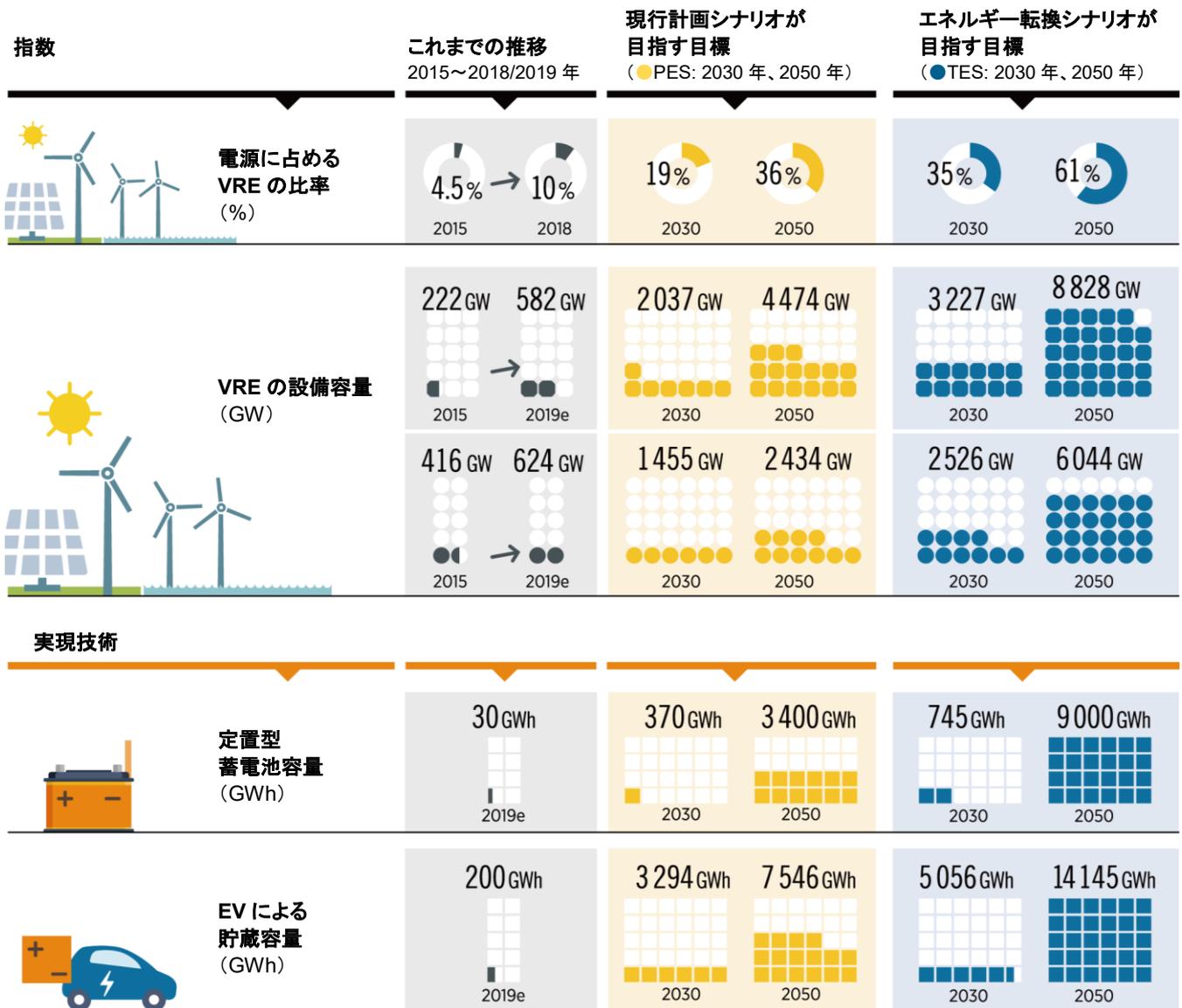
電力システムは、実現技術、ビジネスモデル、市場設計、系統運用における現在および開発中のイノベーションを生かして最大限の柔軟性を実現しなければならない。技術面では、長期貯蔵と短期貯蔵のいずれもが、柔軟性向上のために重要となる。定置型蓄電池（EVを除く）の容量は、現在の約30 GWhから、2050年には9,000 GWh以上に拡大される必要がある（図 S.4 を参照）。電力システムに連系可能なEVの貯蔵容量を含めれば、容量は14,000 GWh以上増加し、23,000 GWhとなる。それでもなお、柔軟性の大部分は、系統増強や系統運用の改善、需要側の柔軟性、セクターカップリングなど、電力貯蔵以外の方策によって達成されることが考えられる。IRENAの検証では、EVのスマートチャージなどのスマートソリューションによって貯蔵容量や需要側の柔軟性が有効活用され、VREの導入が大幅に促進すると見込まれている。エネルギー転換シナリオでは、2050年までに最終消費の電化、電力システムおよび柔軟性増強にかかる投資額は、現行計画シナリオの13兆ドルから26兆ドルに増加すると予想されている。



02

図 S.4 系統柔軟性のニーズ

発電電力量と設備容量に占める VRE の比率、電力貯蔵技術



IRENA のシナリオ (PES、TES) に基づく。2015 年から 2018 年の推移については、Bohlsen (2020)、GWEC (2020)、IEA (2019a)、IRENA の分析、IRENA (2019d、2019f) に基づく。

第3の柱:

従来型の再生可能エネルギー源

水力、バイオエネルギー、太陽熱、地熱といった再生可能エネルギーはいずれも大幅な規模拡大の可能性を秘めており、エネルギー転換シナリオでは排出量削減の4分の1以上に寄与する。特に重要な役割を果たしうるのは、水力とバイオエネルギーである。



水力は、未来のエネルギーシステムに大きな相乗効果をもたらしうる。エネルギー転換シナリオでは、水力発電の設備容量を2030年までに25%、2050年までに60%増加させる必要があり、揚水発電の設備容量は倍増させる必要がある。両方の水力を合わせると、今後30年間で新たに約850GW程度の設備容量が必要となる。これは2020年のEU全体の設備容量に匹敵する。系統運用における水力発電と他の再生可能エネルギーの相乗効果には、風力発電や太陽光発電の短期的な変動性に対処するために水力発電を用いるコスト効率性の高さや、季節ごとの発電パターンの補完などが挙げられる。多目的ダムは、河川の流量調整や洪水の抑制といった付加的な便益ももたらしうる。

水力発電の設備容量を増やすための方策は、新たなダムの建設だけに限らない。既存発電所のタービンや系統の性能向上、流れ込み式発電の活用、治水ダムの発電利用などの選択肢もある。しかし、新たな水力発電所を建設する場合、計画者は地域環境への影響を考慮し、影響を受ける地域のコミュニティと話し合いを行う必要がある。また、電力系統のニーズの変化(例えば、より迅速かつ頻繁な出力変化)や、計画画面の実務(例えば、水供給量と貯水量要件に気候変動が及ぼす影響の評価)を反映し、水力発電所の運用を変更する必要もある。新たな水力発電ダムの建設は、計画サイクルが長期にわたることから、政策決定者と計画者は、新規プロジェクトについてすぐに検討を始める必要がある。既存のダムについては、旧式の水力発電所を近代化するための投資が必要である。

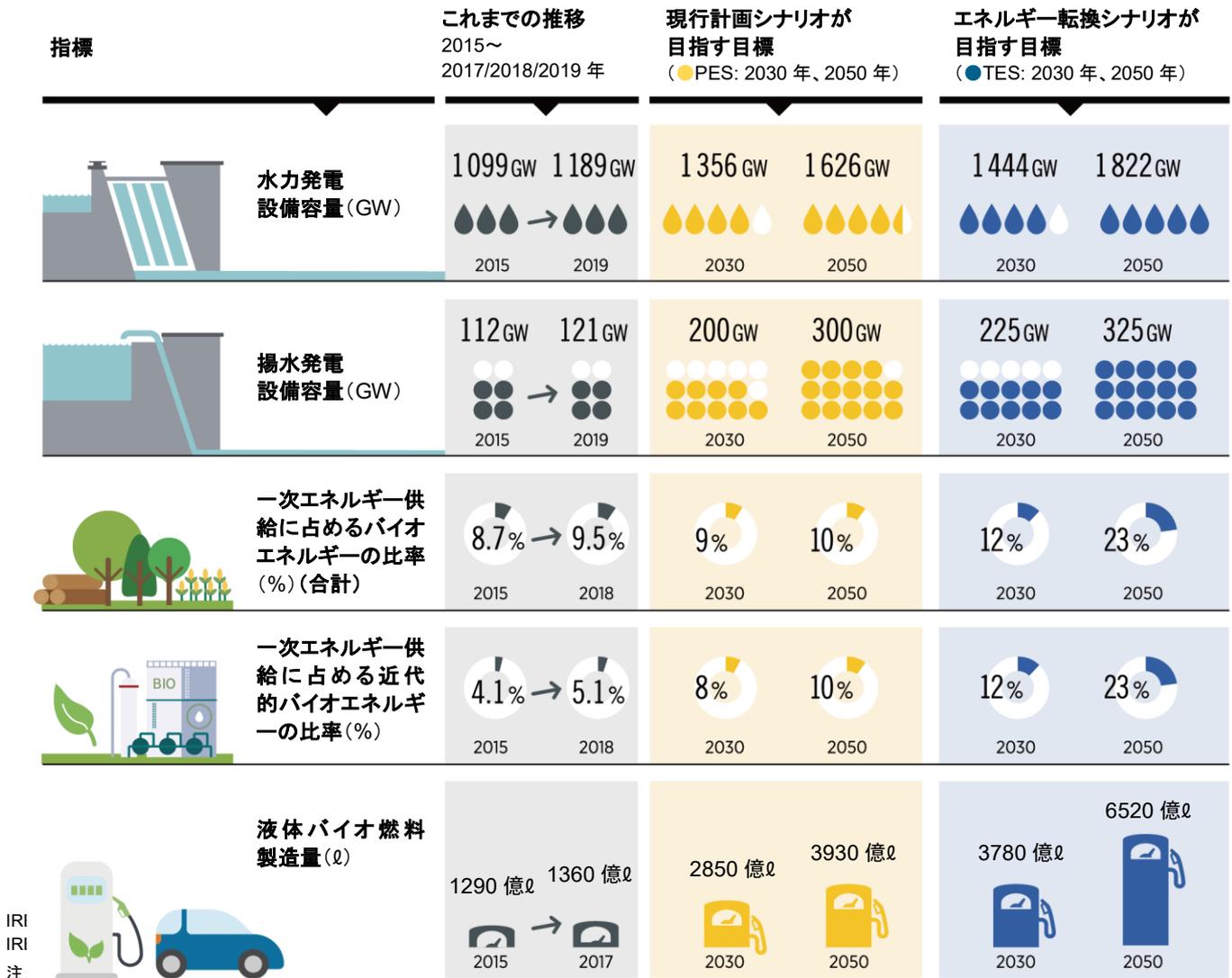


バイオエネルギーは、最終消費部門においてますます重要な役割を担うと予想される。バイオエネルギーは、現在利用されている再生可能エネルギーの中で大きな比率を占めており、産業部門では電力・熱を供給する燃料源として、運輸部門では燃料として、将来も重要な役割を果たすと考えられる。現行計画シナリオでは、一次エネルギー供給に占める近代的バイオエネルギー(伝統的なバイオ燃料の利用は除く)の比率は、現在の5%から10%へと拡大する。エネルギー転換シナリオでは、特に船舶・航空部門や産業部門のような電化が難しい部門において、バイオエネルギーは重要な役割を果たす。産業部門では、工業プロセスにおける熱供給源や原材料として利用される。エネルギー転換シナリオでは、一次エネルギー供給に占める近代的バイオエネルギーの比率は23%に拡大する(図S.5を参照)。一方、今日のバイオエネルギー需要の大部分を占める伝統的なバイオエネルギーの利用は、今後は段階的に廃止し、近代的バイオエネルギーや他の再生可能エネルギーなどのよりクリーンな選択肢に替えていく必要がある。

バイオエネルギーの生産は、環境・社会・経済面で持続可能な方法でなければならない。既存の農地や草地でコスト効率が良く持続可能な形でバイオエネルギーを生産すること、また熱帯雨林を侵食することなく既存の生産林から出た残材を活用することは、非常に有望な手段である。そのような資源から生まれたバイオエネルギーは、余剰作物を活用するものであるため、食糧生産を脅かすことはない(IRENA, 2016a)。

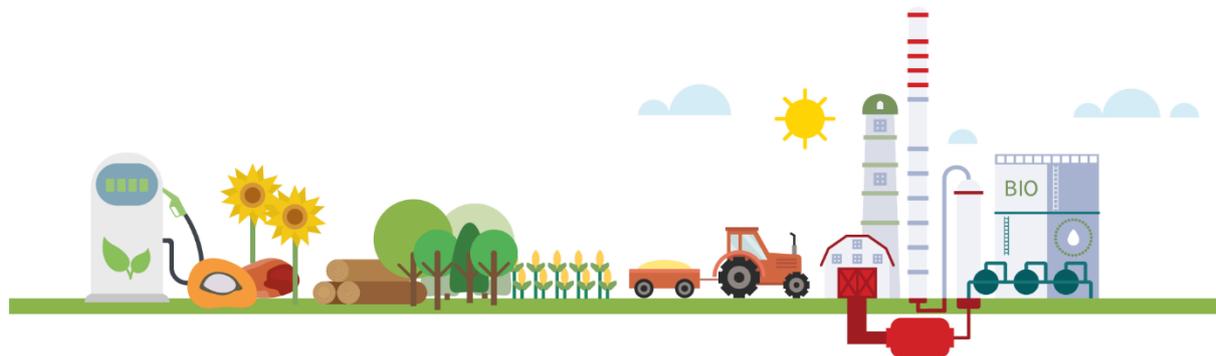
03

図 S.5 どのような未来のエネルギーシステムにも不可欠：水力とバイオエネルギー
水力発電設備容量、バイオエネルギーの比率、液体バイオ燃料の製造



IRI
IRI
注

PES では伝統的利用は 2030 年までに大幅に減少するが、完全に廃止されることはない。
一方、TES では伝統的利用は 2030 年までに完全に廃止される。



第4の柱:

グリーン水素

水素は、直接電化することが難しいエネルギー需要に対する解決策となりうる。現在、年間約 120 Mt(14 EJ)の水素が生産されている(IRENA, 2019g)。しかしそのほとんどは化石燃料か化石燃料由来の電力によって生産されているため、二酸化炭素排出量が多く、「グリーン」水素は生産量全体の1%に満たない。一方で開発は進んでおり、2020年初めには10 MWの電解装置容量を備える世界最大のグリーン水素製造プラントが日本で操業開始している(Recharge, 2020)。

グリーン水素は、再生可能エネルギー電力を利用した電気分解により製造され、そのコストは急速に低下している。低コストの再生可能エネルギー電力が利用できる立地では、グリーン水素の製造コストは今後数年で、「ブルー」水素(化石燃料と二酸化炭素回収・貯留(CCS)技術を併用して製造される水素)のコストと同程度になると考えられる。さらにコスト低下が進めば、多くの場所で今後5~15年のうちに、グリーン水素はブルー水素より安価になると考えられる。将来、一部のエネルギー集約型産業は、安価なグリーン水素を活用するため、再生可能エネルギー源が豊富な地域に移転する可能性もある。例としては、製鉄業やアンモニア工業が挙げられる。グリーン水素からアンモニアを製造する最初の工場は2020年に開設される予定である(Yara, 2019)。

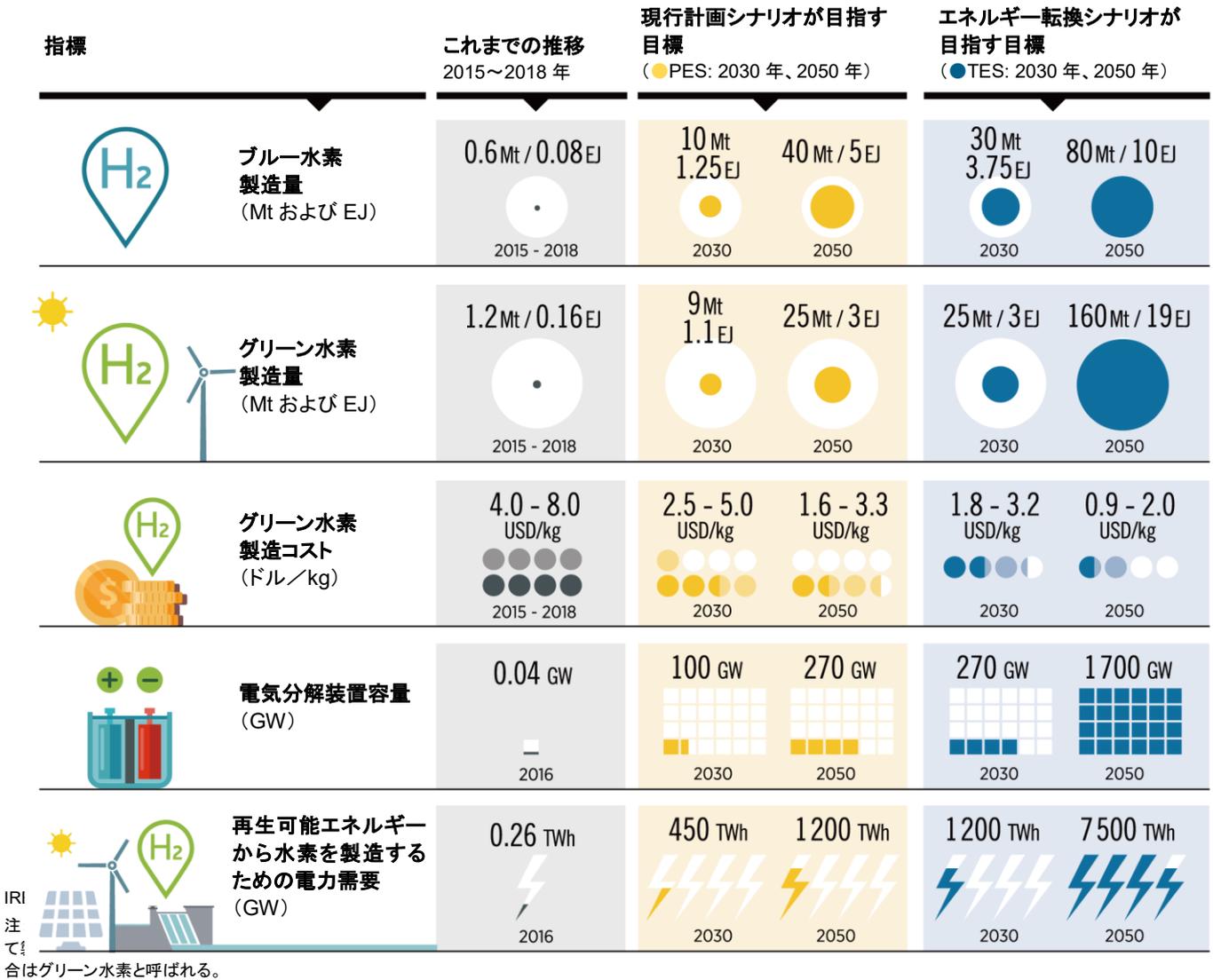
H₂

さらに、水素を用いて炭化水素やアンモニアを製造することが可能であり、それによって船舶・航空部門の排出量を削減することができる。天然ガス産業も、ガスシステムを脱炭素化し、既存インフラの寿命を延長する有望なソリューションとして水素を検証し始めている。しかし、実際にガスシステムの排出量を大幅に削減できるかどうかは不透明であり、またCO₂排出量の多いインフラを固定化する可能性もあることを踏まえると、このような方策は慎重に考慮されなければならない。水素の商取引はまだ初期段階であるが、水素は、遠隔地にある豊富な低コストの再生可能エネルギー源の利用を可能にするクリーンなエネルギーの媒体となりうる。水素の商取引の進展は、重要な地政学的影響をもたらすとともに、再生可能エネルギー発電の需要をさらに加速すると考えられる。エネルギー転換シナリオでは、2050年には年間160 Mt(19 EJ)のグリーン水素が製造されるようになる(図S.6を参照)。それでもなお、今日の世界のエネルギー需要のわずか5%を満たす程度の量であり、ブルー水素を考慮に入れても2.5%の追加にとどまる。それだけの水素を製造するには電解装置の大幅な設備容量増加が必要となり、現在から2050年にかけて毎年50 GWから60 GWの新規容量追加が想定される。



04

図 S.6 水素：未来のエネルギーシステムの重要な要素
水素製造量、コスト、電解装置容量の推移



第5の柱:

課題部門に対応するイノベーション促進

エネルギー転換シナリオを取れば、2050年までにエネルギー需要の半分を電力で賄うこともできるが、残りの半分についても対策を取らなければならない。このうち3分の1は既に最終消費側の再生可能エネルギー源によって賄われており、残りの3分の2は化石燃料によって賄われている。化石燃料使用をさらに削減するソリューションとしては、再生可能エネルギーの直接利用(バイオエネルギー、太陽熱、地熱)、エネルギー効率の改善、構造的な変化によるエネルギー需要削減や電化の推進がある。それでもなお、特に船舶、航空、重工業のような部門において、さらなる対策が必要とされる。実際に、エネルギー転換シナリオでも2050年に残ってしまう排出量の4分の3は、航空、船舶、重工業部門からの排出となる。



本報告書では、これらの残りの排出量を「脱炭素深化見通し(DDP)」で如何に削減していくかを示す。脱炭素深化見通しはシナリオではなく、エネルギー転換シナリオからさらに排出量を削減するための新たな技術的選択肢である。貨物、船舶、航空、重工業のような課題の大きい部門では、バイオ燃料、合成燃料、新素材、そして循環経済のすべての発展が必要となる。産業部門は、中国をはじめとする多くの国々で最大のエネルギー消費部門であり、最終エネルギー消費のおよそ半分を占めている。産業部門のエネルギー需要の大部分を占める鉄鋼、セメント、石油化学などの主要部門については、早急に解決策を見出す必要がある。これらの部門における工業プロセスからの排出や非エネルギー利用についても、CO₂排出量ゼロを実現するイノベーションが必要である。また電化が難しい運輸形態(具体的には航空・船舶部門)に関しても、引き続きイノベーションが不可欠となる。

脱炭素深化見通しでは、エネルギー転換シナリオで残ったエネルギー関連および工業プロセス関連のCO₂排出量をゼロにする方法を示している。必要な削減の60%は再生可能エネルギー(再生可能エネルギー、グリーン水素、再生可能エネルギーを用いた電化を合わせた場合)によって、37%はエネルギー効率の改善と構造・行動変容によって、残りの3%は二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)技術と原子力によって達成される。全体を考慮して、エネルギー関連および工業プロセス関連のCO₂排出量をベースラインシナリオの水準からゼロに削減すると想定すると、削減に占める比率は再生可能エネルギーが43%、エネルギー効率の改善が26%、EVが12%、グリーン水素が9%、ブルー水素とCCSおよび二酸化炭素除去(CDR)が7%、行動変容が2%、原子力が1%未満となる(EVと行動変容はエネルギー効率改善の一環と考えることも可能であり、またEVが再生可能エネルギーを電力源としている場合には再生可能エネルギーと見なすことも可能であるが、それらの相対的重要性を示すため別個に提示した)。

長期的計画

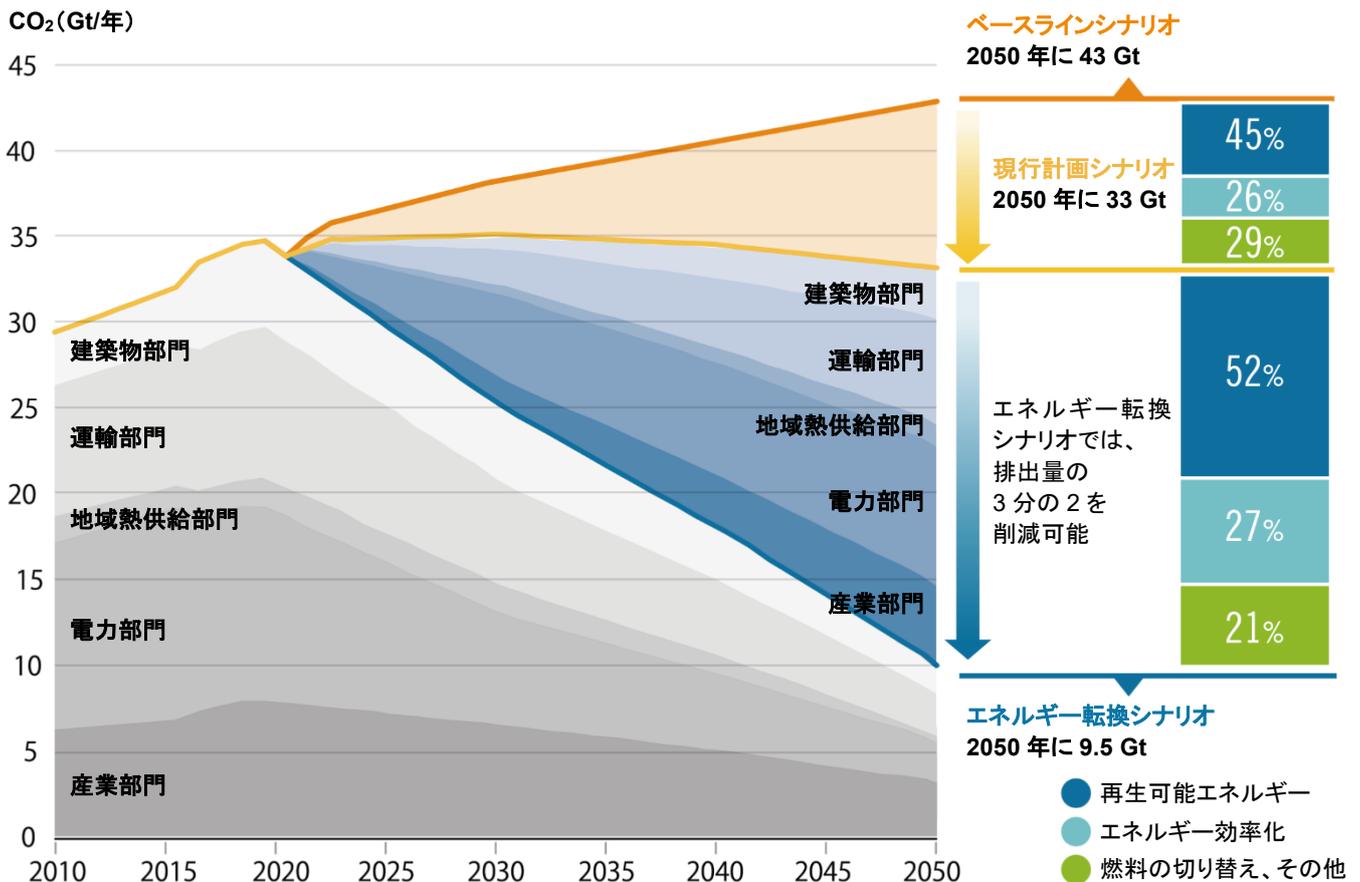
本文
第 1、第 3 章、
第 5 章

エネルギー転換シナリオを実現するには、エネルギー関連の CO₂ 排出量を 2050 年までに年平均 3.8%のペースで削減する必要がある。エネルギー関連の年間 CO₂ 排出量は、2050 年までに現在の水準から 70%削減する必要がある。エネルギー転換シナリオでは、2050 年までに必要な排出量削減の半分以上が再生可能エネルギー（電力および最終消費の両者を含む）によって達成され、約 4 分の 1 がエネルギー効率の改善によって達成される（図 S.7 参照）。これに直接的な電化と間接的な電化（グリーン水素や EV などの技術）を合わせると、必要な削減量の 90%以上に達する。脱炭素深化見通しはさらに、残りの排出量（3 分の 2 以上は航空、船舶、重工業などの課題部門に起因する）をゼロにするために、再生可能エネルギー、電化（直接利用およびグリーン水素の両者を含む）、エネルギー効率の改善、カーボンマネジメント、構造と行動変容が必要であることを説明している。エネルギー部門以外でも、非エネルギー利用からの排出、土地利用・土地利用変化および林業部門（LULUCF）からの排出、石炭・石油・ガス産業からの漏洩ガスを削減する努力も必要である。



図 S.7 排出量削減の大部分：再生可能エネルギーとエネルギー効率化

エネルギー関連の CO₂ 排出量、2010～2050 年



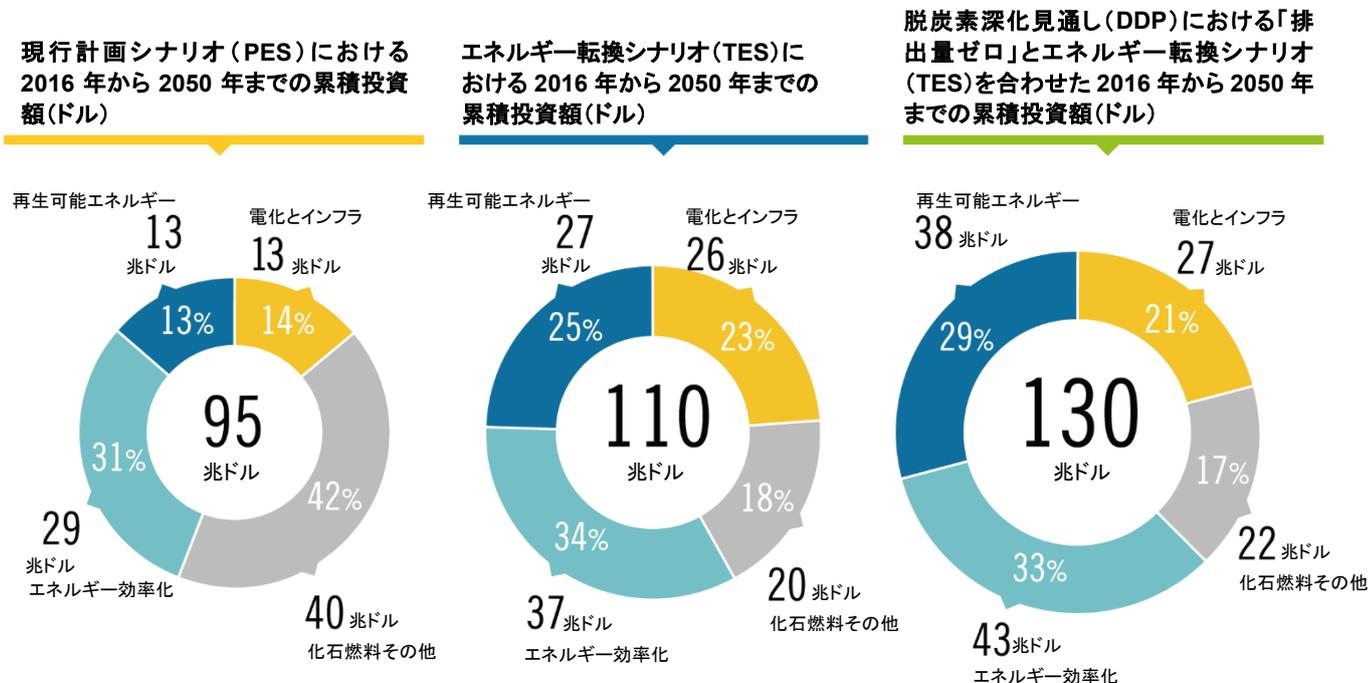
IRENA の分析に基づく。



気候の安定した未来を実現するためには、クリーンエネルギー技術への投資拡大と投資転換が必要である。化石燃料への投資は再生可能エネルギーやエネルギー効率改善への投資にシフトする必要がある。化石燃料への助成は段階的に廃止しなければならない。エネルギー転換シナリオでは、エネルギーシステムへの投資総額を 2050 年までに 110 兆ドルに増やす必要がある(図 S.8 を参照)。言い換えれば、この期間の平均年間 GDP の約 2%を投資に回す必要がある。再生可能エネルギー、エネルギー効率化、最終消費部門の電化、電力系統および柔軟性への投資が、投資総額のうち 80%以上を占める。年間投資額に換算すると、2050 年まで毎年 3 兆 2,000 億ドルを世界のエネルギーシステムに投資する必要がある。これに対し、近年の投資実績(2014~2018 年)は年間 1 兆 8,000 億ドル程度であり(IEA, 2019c)、現行計画シナリオにおける投資額は年間 2 兆 9,000 億ドルである。

脱炭素深化見通しでは、排出量ゼロを実現するために、エネルギー転換シナリオで想定される 110 兆ドルの投資に加えさらに 20 兆ドルの投資が必要とされ、投資総額は 130 兆ドルに上る。このような新たな投資「水域」でのかじ取りを助け、気候にとって望ましい技術への資金のシフトを加速するため、IRENA はパートナーとともに、特に途上国におけるクリーンエネルギーへの転換に向けた資金調達を目的とする「気候投資プラットフォーム」(CIP)に取り組んでいる。CIP は、再生可能エネルギーへの投資拡大を妨げる主なリスクや障壁に対処することによって、低炭素エネルギーへの転換を加速し、持続可能な成長を促進する役割を担う。

図 S.8 新規投資の優先順位:再生可能エネルギー、エネルギー効率化、熱供給と運輸の電化



IRENA の分析に基づく。

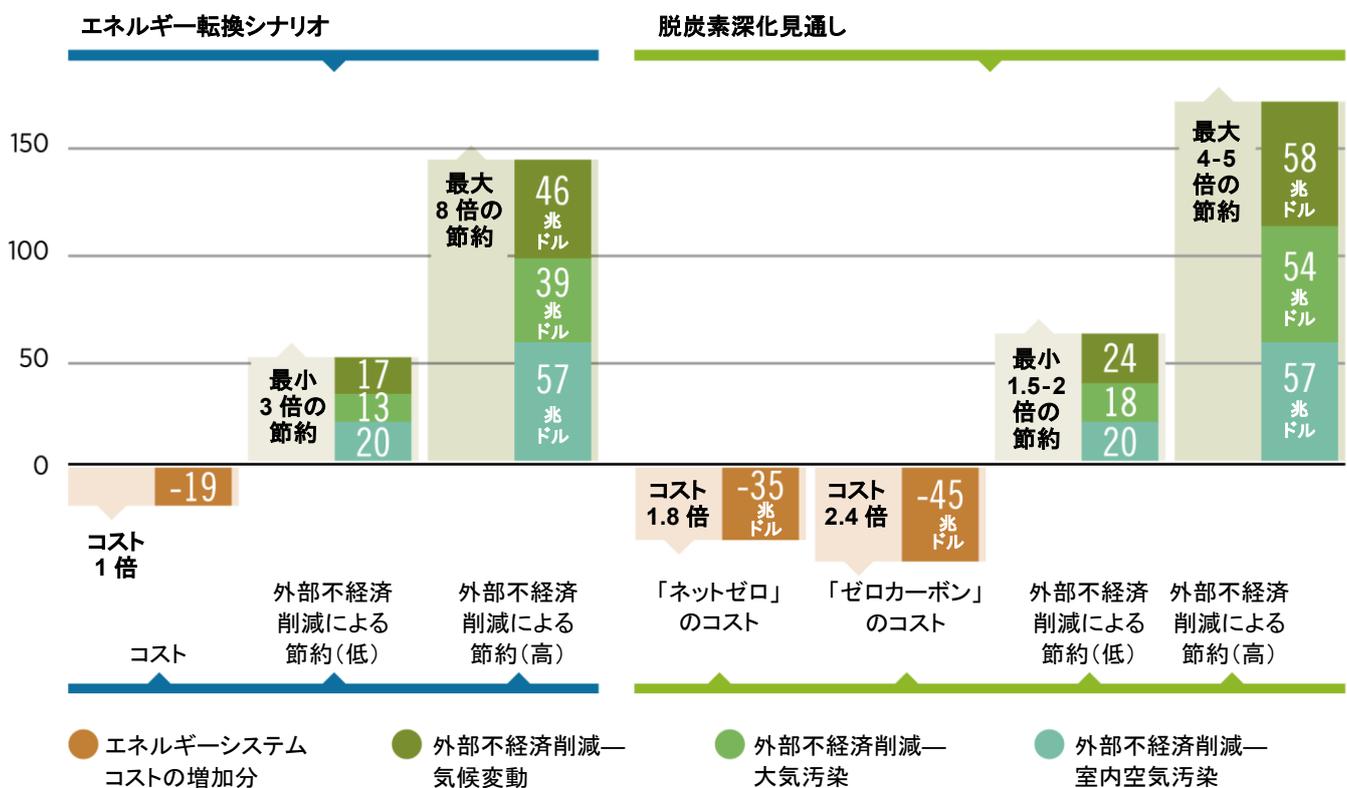


再生可能エネルギー導入やエネルギー効率改善を加速することで得られる効用は、コストの何倍にもなる。エネルギー転換シナリオでは、エネルギー転換に費やされる1ドルに対し、3ドルから8ドルの便益が得られると想定される(図 S.9 を参照)。累積額で見ると、エネルギー転換シナリオでは2050年までの期間に19兆ドルの追加コストが発生するが、環境面と健康面における外部不経済の削減により50兆ドルから142兆ドルの便益が得られる。脱炭素化見通しでは、ネットゼロを達成するために、さらに16兆ドルの追加コストが発生する。カーボンオフセットを算入しないゼロカーボン達成する場合には、追加コストは26兆ドルとなる。

よってゼロカーボン達成するために必要な追加コストの総額は、35兆ドルから45兆ドルになる。しかしこのようなコスト増加も、ゼロカーボン達成し、外部不経済を削減することで得られる62兆ドルから169兆ドルの便益と比べるとはるかに少ない。コストを分析するもうひとつの方法は、2050年までの期間を通して、1トンあたりのCO₂削減コストがいくらになるかを計算することである。エネルギー転換シナリオでは、このコストは34ドル/t-CO₂と想定される。ネットゼロDDPでは100ドル/t-CO₂、ゼロカーボンでは156ドル/t-CO₂のコストがかかると想定される。

図 S.9 エネルギー転換：費用に対する便益

エネルギー転換シナリオにおける2050年までの期間とDDPにおける2060年までの期間の累積システムコストと外部性削減によるコスト削減(ドル)



IRENA の分析に基づく。



気候変動の影響は、世界の金融システムに大きな弊害と不安定化をもたらすおそれがある。火災、洪水、干ばつ、異常気象、海面上昇、その他の気候変動による影響は、経済、環境、人間にますます大きな被害をもたらすようになり、最終的には納税者、政府、地域に負担を強いることになる（IMF, 2019）。また汚染による健康被害は、特に途上国においてますます深刻な問題となっている。中央銀行、金融機関、保険会社は気候リスクを意識し、財務計画に気候リスク評価を組み込み始めている。気候リスクを組み込む措置を発表した主な機関は、国際通貨基金、ブラックロック（Blackrock）社、ノルウェーの政府系ファンド、ドイツ復興金融公庫（KfW）グループなどである。

化石燃料の供給インフラを拡充するための投資を続けることは短絡的であり、リスクはますます高まっている。そのような投資は多くの座礁資産を生み出し、今後数十年にわたり化石燃料による排出を固定化し、パリ協定の目標達成に対するリスクとなると予想される（Tong et al., 2019）。近頃の原油価格低迷を見ると、石油（およびその他の化石燃料）市場の変動性や、現在のエネルギーシステムに伴う地政学が思い出される。化石燃料ではなく、既存の再生可能エネルギー技術、エネルギー効率の改善、再生可能エネルギーを用いた新興技術が主流となれば、多様なエネルギーサービスを通して化石燃料より低い価格でエネルギーを供給することができる。化石燃料と併せて、コストが高く、多くの場合効果が実証されていない炭素除去技術や炭素リサイクル技術を使用する場合はなおさらである。特に CCS の利用が想定される産業などの部門において、既存の化石燃料資産をよりクリーンかつ低炭素なものにする方法の模索が必要である一方、政府や投資家は総じて新たな化石燃料供給インフラへの投資を避けることが望ましい。

エネルギー部門における排出量削減の進捗が緩慢であるため、エネルギー転換シナリオでは、**2050年までに11兆8,000億ドル分の座礁資産が発生すると既に予想されている**。また対策が10年遅れることで、2050年までにさらに**7兆7,000億ドル分の座礁資産が発生すると推定される**。将来の座礁資産の額を抑えるためには、気候変動によって企業、銀行、投資家が直面するリスクと気候変動対策にいつその注意を向ける必要がある。このようなリスクをより明確に把握するひとつの取り組みに「気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）」があり、気候関連の財務情報を自発的に開示する仕組みの策定を支援している。



政策立案者は、エネルギー計画における長期的かつ総合的な戦略を確立し、目標を定め、気候によって望ましいエネルギーシステムを促進および形成するよう政策と規制を適合させる必要がある。エネルギー転換の総合的影響を捕捉するためには、エネルギーシステム全体にわたる包括的かつ長期的な視点を備えた、統合的エネルギー計画の策定が求められる。長期的なエネルギーシナリオは、気候にとって望ましいエネルギーシステムを計画するための多様な使い道がある。ステークホルダー間の対話を促し合意を形成するため、あるいはクリーンエネルギーへの転換を計画するにあたり、長期目標に向けたロードマップ作成の意欲を高め、短期的な課題を特定するために用いることもできる。シナリオの対象範囲に、電力部門だけでなく、伝統的な燃料、工業プロセス、LULUCF、その他経済全体にわたる影響も含める必要がある。また全体として、エネルギーシナリオの構築やエネルギー計画の立案プロセスに関与するさまざまなステークホルダーと政府機関の間で、参加のすそ野を広げ、協調を強める必要がある。それにより、持続可能な開発目標とNDCも併せたエネルギーと気候の両面のニーズを考慮した長期戦略の策定にもつながることが望ましい。

グローバルな意思とローカルな行動を結びつけるのは地域である

気候変動は世界規模の脅威であるが、エネルギー部門の転換に向けた道筋は地域によって異なる。エネルギー転換の計画と優先順位は、国によって必然的に異なるものの、同じ地域にある国々は似たような課題に直面する傾向があるため、地域規模の取り組みを行いやすい。各国が単独で努力するよりも、地域が協力してエネルギー転換に取り組むほうが目標は達成しやすくなる。エネルギー転換のための対策は、地域レベルと国レベルで連携し、かつグローバルな気候目標に沿ったものでなければならない。また地域間の連携においては、公正と正義の問題に正面から取り組む必要がある。国や地域の意欲を高め、エネルギーと気候の問題を関連付けることが、エネルギー転換を実現する鍵となる。IRENAはこの取り組みに力を注いでおり、エネルギー転換を加速させる切り口について地域内の国々と話し合う一連の地域投資フォーラムを発足させる予定である。本報告書の成果も、議論の促進に役立てられる。地域に焦点をあてることで、より良い「地に足ついた行動」が可能になる。



図 S.10 地域ごとに異なるエネルギー転換のロードマップ

エネルギー転換シナリオにおける地域ごとの排出量、エネルギー需要、電化率などの指数

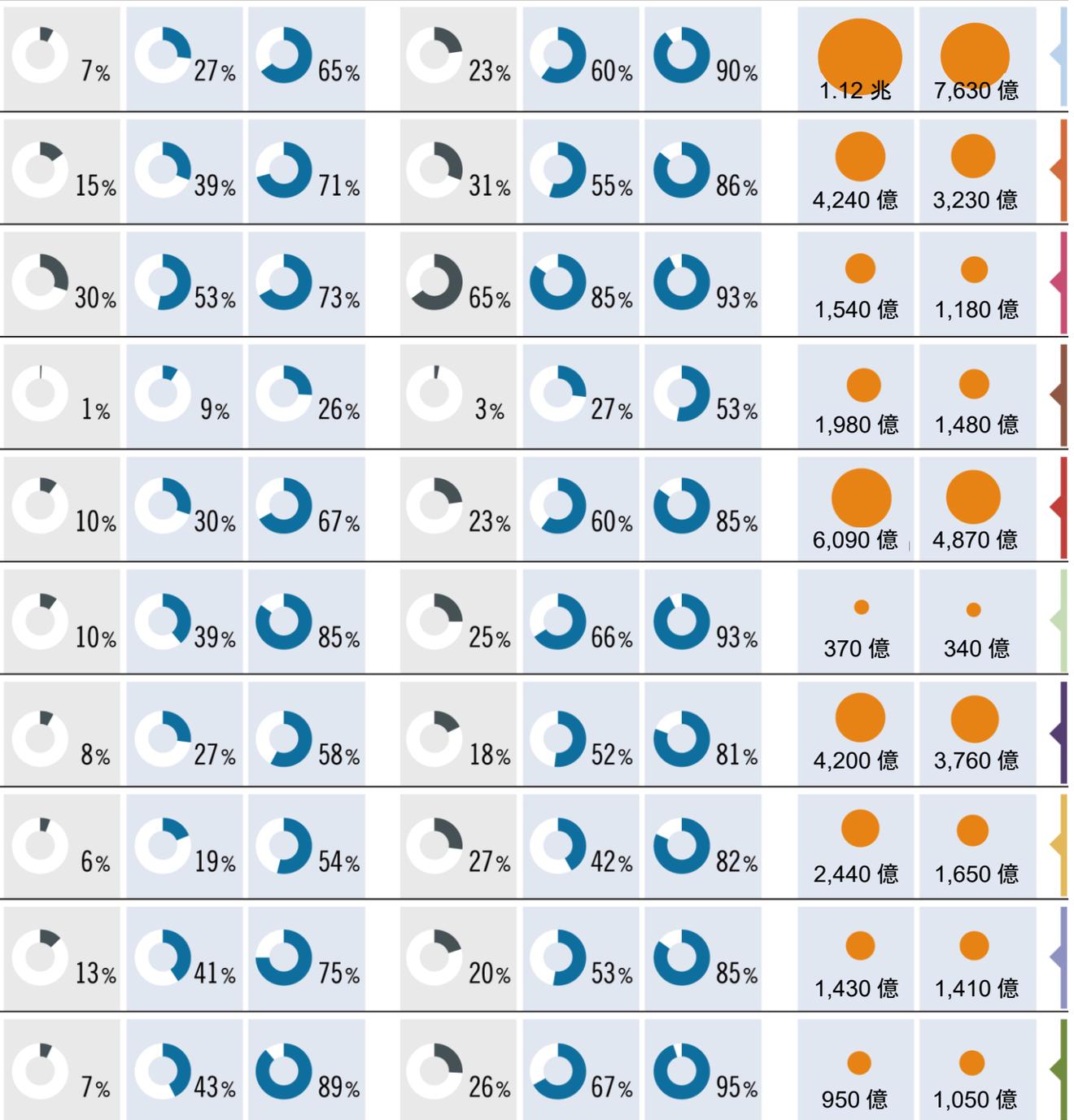


注: 2017 年データは IEA (2019b)、Global Carbon Atlas (2019)、IRENA の分析に基づく。

● 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 (%)

● 電源構成に占める再生可能エネルギーの割合 (%)

● クリーンエネルギーへの投資 (ドル/年)



世界における社会経済的影響

再生可能エネルギー技術は、エネルギー転換の中核である。本章で説明する転換へのロードマップは、より持続可能なエネルギーシステムを提示し、社会経済的発展の新たなパターンを実現するための基盤となる。本報告書では、エネルギー転換が雇用や GDP に及ぼしうる影響を検討するとともに、人間福祉に関する統合指数も提供している。分析は、エネルギー、経済、環境を統合するモデルに基づいて行われている。その結果は、世界、地域、国家レベルで公正かつ包摂的なエネルギー転換を実現するために実施されるエネルギーシステム計画、経済政策、その他政策に役立てることができる。

雇用



意欲的だが達成可能なエネルギー転換シナリオにおいて、エネルギー転換関連技術（再生可能エネルギー、エネルギー効率化、ならびに電力系統およびエネルギー柔軟性）、化石燃料、原子力からなるエネルギー部門全体の雇用者数は、2050年までに1億人に達すると予想される。これは現行計画シナリオ（現行の各国の公約と計画を反映したもの）における雇用者数より15%多く、現在のエネルギー部門の総雇用者数より72%多い。総雇用者数増加の根底にあるのは、雇用構成の大幅な変化である。エネルギー転換に関連した技術や部門での新規雇用は、化石燃料と原子力エネルギー関連の雇用減少を上回ると予想される。2050年には、エネルギー効率化関連職だけで2,100万人、電力系統およびエネルギー柔軟性関連職で1,450万人の雇用が見込まれており、現行計画シナリオの雇用者数をそれぞれ21%と14%上回っている。これに対し、2050年の化石燃料関連雇用者数は2,200万人で、現行計画シナリオの雇用者数を27%下回る。

エネルギー転換シナリオで予測される投資は、再生可能エネルギー部門を中心に大幅な雇用拡大を促す。再生可能エネルギー部門の雇用者数は、2050年までに4,200万人に増加すると予想される。これは現行計画シナリオにおいて予測される雇用者数より64%多く、今日の再生可能エネルギー部門雇用者数の4倍に近い。そのうちのほぼ半数を太陽光発電関連の雇用が占め、次いでバイオエネルギー、風力発電関連の雇用が多くなる。再生可能エネルギーのバリューチェーンを構成する分野のうち、建設・設置業の雇用が最も多く、全体の47%を占める。職業構成では、建設労働者と工場労働者（技術者を含む）が総雇用者数の77%を占める。



このように増加する再生可能エネルギー部門の労働者は、特定の知識と技能を必要とする。労働市場はこのニーズに応える必要があり、そのための施策として特に教育、(再)訓練、社会政策が重要である。再生可能エネルギー技術の拡大だけでなく、他の部門や経済全体における転換の動向も、エネルギー部門全体における雇用の推移に確実な影響を及ぼす。

またエネルギー転換シナリオでは、2050年までに経済全体で700万人近い雇用者数の純増を見込んでおり、これは現行計画シナリオの予測を0.15%上回っている。経済全体の雇用者数は、投資だけでなく、経済の多くの部門にまたがる間接効果と誘発効果、貿易パターンの変化など、主要な推定・要因を反映している。全体として雇用は純増するものの、投資の再配分や消費パターンの変化により、一部の分野では雇用減少が起こる可能性もある。

エネルギー転換による雇用創出を最大化するためには、将来求められる技能とそれに呼応する労働力の移転を促す有効な手段を十分に理解している必要がある。公正かつ包摂的な転換政策は、エネルギー転換の際に生じると予想される労働市場の混乱、すなわち雇用の喪失や不均衡を抑制することができる。的を絞った教育・能力開発政策によって、迫りくる変化に備え、エネルギー転換に必要とされる多様な人材の育成と拡大に力を入れなければならない。

国内総生産(GDP)

エネルギー転換シナリオにおける2050年の世界のGDPは、現行計画シナリオと比べて2.4%増加し、累積増加額は約98兆ドルとなる。これは、グローバル経済のいくつかの促進要因に基づいて算定したものである。転換の初期に行われる先行投資は、最初の数年間のGDPの成長に大きく寄与し、その後はプラスだが比較的小さな影響に転じると考えられる。GDP増加の大部分は、財政政策に反応した消費者の支出の変化や、その他の間接的要因や誘発的要因によるものである。それに比べて、エネルギー転換シナリオにおける貿易額が世界のGDPの増加に寄与する額は、現行計画シナリオよりもわずかに多いのみである。これは、いずれのシナリオにおいても世界の貿易のバランスが概ね保たれていることに起因する。



世界のGDP累積増加額(98兆ドル)は、エネルギーシステム転換のための投資コスト(15兆ドル)を大きく上回る。エネルギー転換シナリオでは、世界の1人あたりGDPは年間367ドル増加し、この増加を生み出すために必要な1人あたりの追加投資額(54ドル)を大幅に上回る。投資の拡大と、経済成長・雇用創出の見込みはいずれも、政策的賛同を得るための後押しとなりうる。だがエネルギー転換の真の目標は、クリーンエネルギーの供給、経済と社会の発展、気候変動の緩和によって、人々の福祉を向上させることにある。

福祉

エネルギー転換シナリオにおける福祉は迅速かつ大幅に向上し、2050年には現行計画シナリオと比較して13.5%向上すると推定される。IRENAのモデルで用いた統合指数は、福祉の多面的な性質を考慮し、経済、社会、環境にまたがる要素で構成されている(図S.11を参照)。経済面では、世帯消費のほか、投資総額と雇用を統合して算出した。社会面では、教育と健康への支出額を反映している。環境面では、温室効果ガス排出量と資源消費量に基づいている。エネルギー転換シナリオにおける福祉向上の大部分は社会面と環境面の向上によるもので、大気汚染の減少と温室効果ガス排出量削減による大幅な健康改善を反映している。

エネルギー転換は、世界に大きな社会経済的便益をもたらす。しかし国や地域レベルでは、成果に大きなばらつきが生じる。これは、地域や国に固有の社会経済構造や、その構造とエネルギーシステムの複雑な相互作用に起因している。世界のそれぞれの地域に固有の課題や切り口があるため、地域に適したソリューションが必要となる。

図 S.11 福祉向上：健康面の便益と排出削減が影響

エネルギー転換シナリオにおける2030年と2050年の世界の福祉指数

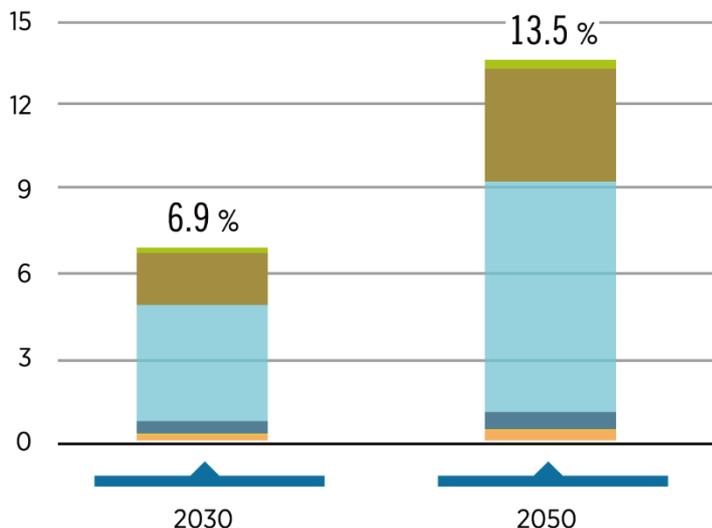


- 経済**
- 消費と投資
 - 雇用

- 社会**
- 教育
 - 健康

- 環境**
- 温室効果ガス排出
 - 資源消費

エネルギー計画シナリオ(PES)と比較した福祉の差 (%パーセント)



IRENAの分析に基づく。

各地域の社会経済的影響

本文
第4章

エネルギー転換は、経済構造や成長段階の異なるさまざまな国や地域で生じる。差異の一例として、天然資源、工業生産力、産業支援政策、貿易構造、国内サプライチェーンが挙げられる。これらすべての要因によって、エネルギー転換がもたらす機会をある経済がどの程度活用できるかは決まる。したがって、エネルギー転換による雇用・GDP・福祉面での成果は、それぞれの地域によって異なったものとなる。

エネルギー部門全体およびエネルギー部門を構成する各部門において、エネルギー転換がもたらす地域的影響はさまざまである。従来型エネルギー産業（化石燃料と原子力）とエネルギー転換関連産業（再生可能エネルギー、エネルギー効率化、ならびに系統柔軟性および系統増強）のそれぞれについて、起こりうる結果を慎重に分析する必要がある。エネルギー転換シナリオの最終的な影響は、地域ごとの現在のエネルギー部門構造、エネルギー部門のロードマップ、エネルギー転換関連機器に関連する貿易パターンに左右される。



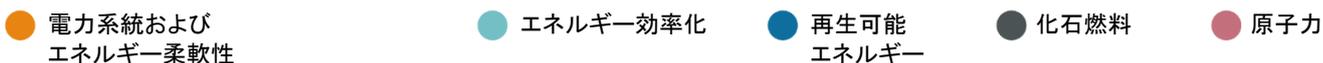
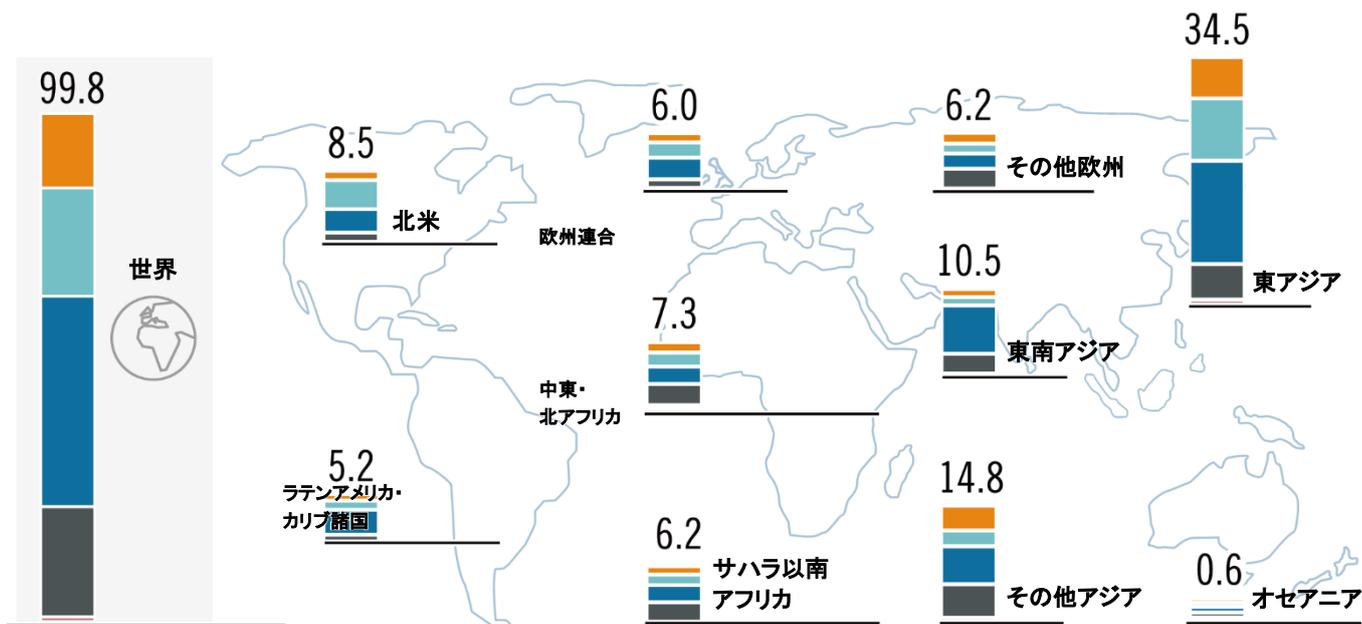
エネルギー転換がもたらす機会をある経済がどの程度活用できるかは、天然資源、工業生産力、産業支援政策、貿易構造、国内サプライチェーンにおける差異によって決まる。

エネルギー部門の雇用

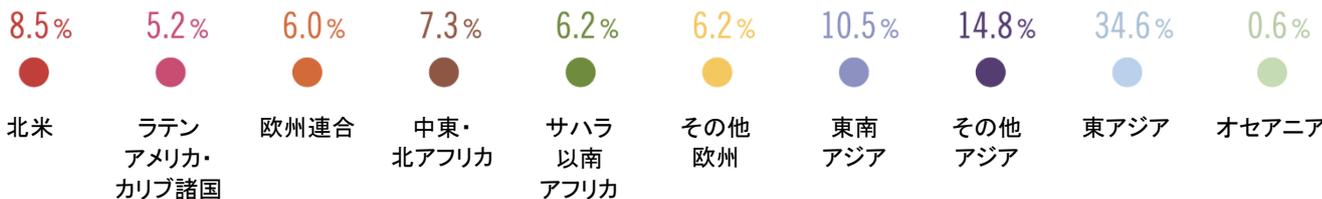
エネルギー転換シナリオでは、エネルギー部門の総雇用者数は 2017 年の 5,800 万人から 1 億人近くまで増えると予想されるが、地域によってその分布は異なる。2050 年におけるエネルギー部門の総雇用者数の 60%を占めるのはアジアである(図 S.12 を参照)。現行計画シナリオと比較すると、エネルギー転換シナリオではすべての地域で雇用の増加が見られる。なかでも最も差が大きいのは東南アジアで(81%)、オセアニア(57%)、サハラ以南アフリカ(36%)、北米(28%)がこれに続く。

図 S.12 エネルギー部門の雇用 1 億人：地域的分布

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年の地域別エネルギー部門雇用数



世界の総雇用者数に対する地域雇用者数の割合(%)



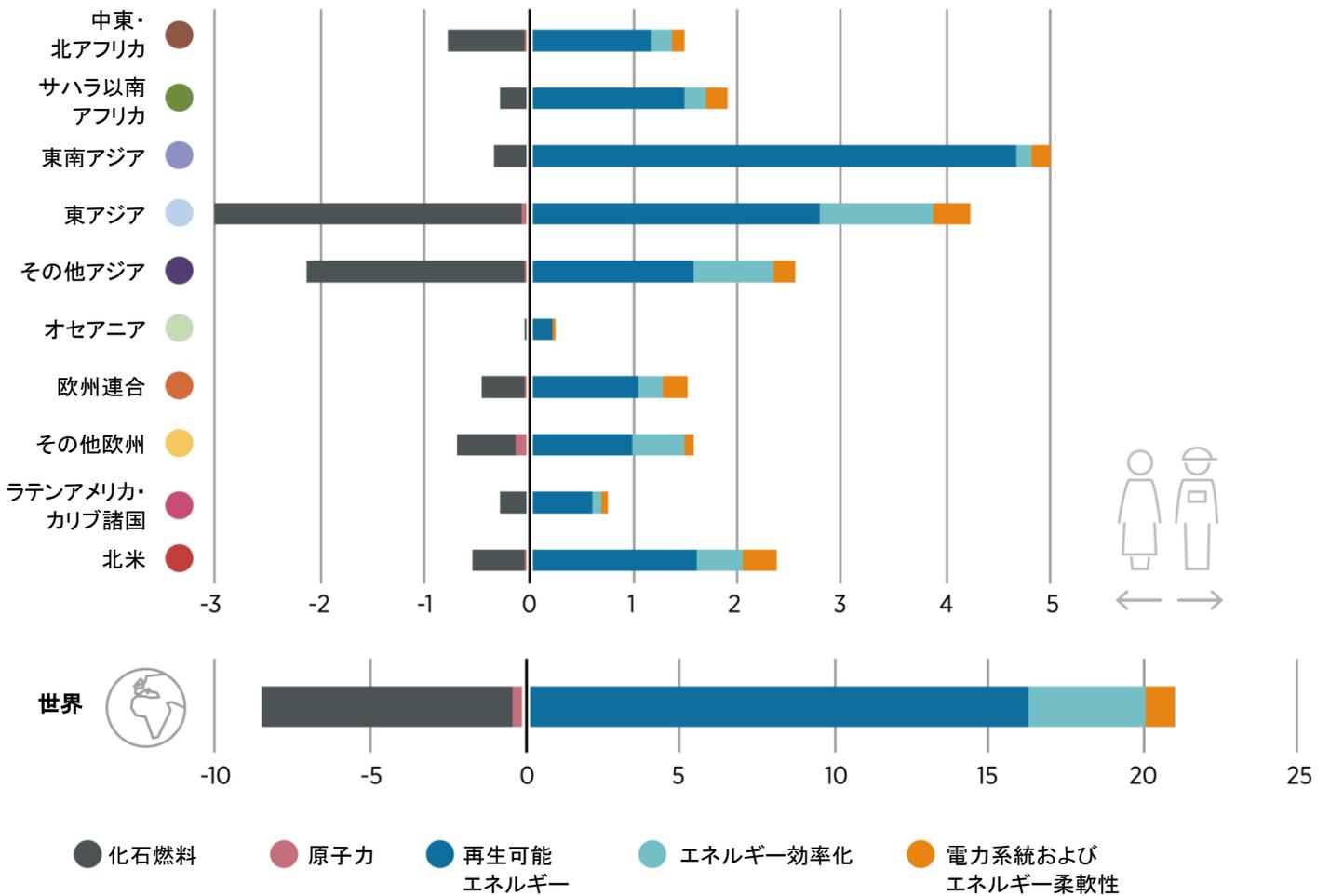
IRENA の分析に基づく。

免責事項: 本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、如何なる地方、国、領土、都市、または地域とその機関の法的地位、また境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

エネルギー部門全体で創出される雇用数は、技術や地域によって異なる。絶対数で見れば、雇用への影響が最も大きいのはアジアで、最も小さいのはオセアニアとラテンアメリカである。東アジアとその他アジア地域では、ほかの地域と比較して最も雇用喪失数が多いが、エネルギー転換関連技術による雇用増加数がそれを上回っている(図 S.13 を参照)。

図 S.13 エネルギー部門の雇用増加数：すべての地域で雇用減少数を上回る

エネルギー転換シナリオと現行計画シナリオにおける 2050 年の地域別および部門別
エネルギー部門雇用数の比較



IRENA の分析に基づく。

エネルギー転換関連の雇用

エネルギー転換に直結した雇用には、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、ならびに電力系統およびエネルギー柔軟性に関する雇用がある。

エネルギー転換シナリオでは、雇用に占めるエネルギー転換関連技術職の比率はすべての地域で従来型技術職を上回る。エネルギー転換関連の雇用が占める比率は、北米と EU が 85%で最も高く、サハラ以南アフリカとその他欧州 (EU 非加盟国) が 60%で最も低い。再生可能エネルギー関連の雇用の比率が最も高いのは東南アジアとラテンアメリカ (それぞれ 83%と 72%) で、最も低いのは北米と中東・北アフリカ地域 (それぞれ 40%と 45%) である。エネルギー効率化関連の雇用では北米が他の地域を大きく上回り、エネルギー部門の雇用全体の 45%を占める。EU におけるエネルギー効率化関連の雇用比率は 29%となる。東南アジアにおけるエネルギー効率化関連の雇用比率が最も低く(7%)、残りの地域の雇用比率は 10%から 25%の間に位置する。電力系統およびエネルギー柔軟性に関連する雇用の比率が最も高いのはその他アジア (22%) とその他欧州 (17%) で、東南アジアが最も低い(6%)。

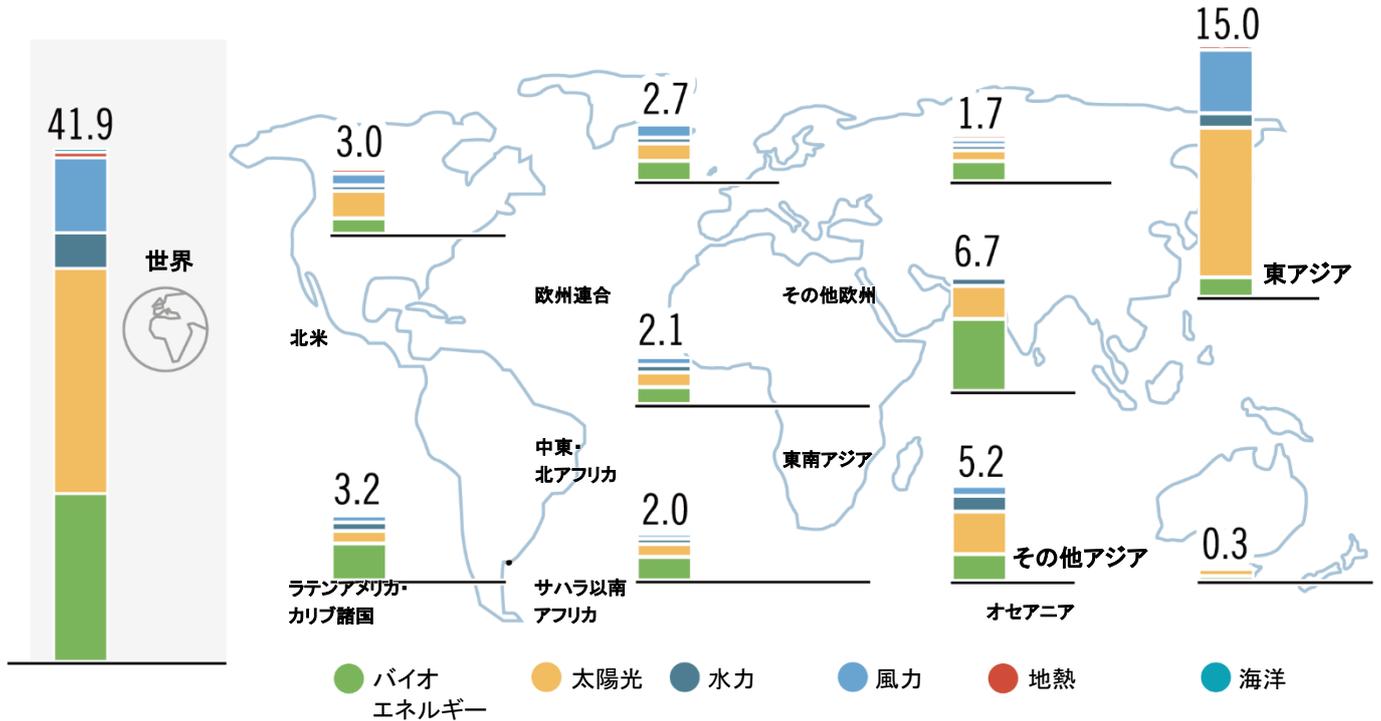
2050 年までに世界のあらゆる地域において、すべてのエネルギー転換関連技術の雇用増加が実現できる。再生可能エネルギー関連の雇用について、現行計画シナリオと比較したエネルギー転換シナリオでの雇用増加率は、東アジアとラテンアメリカでは 20%超、オセアニアでは 380%となる。エネルギー効率化関連の雇用については、地域により 10%から 115%の相対的な増加が見られ、その他欧州とその他アジアが最も高い。電力系統およびエネルギー柔軟性関連の雇用増加は、その他欧州、東アジア、その他アジアで約 6%、北米でほぼ 65%となる。

エネルギー転換シナリオでは、2050 年の再生可能エネルギー関連雇用の地域分布には大きなばらつきが生じる。世界における再生可能エネルギー関連雇用の比率は、最も高い東アジアが 36%であるのに対し、最も低いオセアニアは 1%である。これは主に人口、労働力、投資の規模によるものである (図 S.14 を参照)。発電技術別に見ると、太陽光発電は北米とアジアにおいて再生可能エネルギー関連の雇用全体の半分を占め、次いで欧州で 30%を占める。それに対し、バイオエネルギーはラテンアメリカ、東南アジア、サハラ以南アフリカ、その他欧州で最も顕著であり、再生可能エネルギー関連雇用の 60%以上を占める。風力発電の雇用比率が最も高いのは東アジアと EU の約 25%で、北米と中東・北アフリカでは約 15%である。水力発電関連の雇用はその他アジアにおいて再生可能エネルギー関連雇用全体の 15%を占め、ラテンアメリカと中東・北アフリカにおいては 10%を占める。

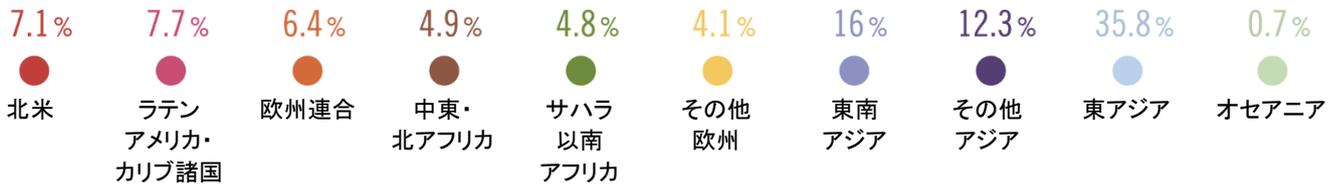


図 S.14 再生可能エネルギー関連雇用は推定 4,200 万人：地域分布

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年の再生可能エネルギー関連雇用の地域分布



世界の総雇用者数に対する地域雇用者数の割合 (%)



IRENA の分析に基づく。

免責事項: 本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、如何なる地方、国、領土、都市、または地域とその機関の法的地位、また境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

すべての地域で、エネルギー部門の雇用増加が雇用減少を上回る。エネルギー転換関連技術による雇用創出が化石燃料部門の雇用減少を上回るからである。

従来型エネルギー関連の雇用

エネルギー転換シナリオでは、エネルギー転換関連技術職の雇用増加とは対照的に、すべての地域で従来型エネルギー部門の雇用減少が予想されている。化石燃料関連の雇用減少は、北米、東アジア、EU で最も著しく、約 40%の減少が予想される。次いで、その他アジアが約 30%、ラテンアメリカと中東・北アフリカがそれぞれ約 25%の減少となる。化石燃料関連の雇用減少は、輸出国だけでなく、化石燃料に関する大規模なインフラ、流通網、アセット（設備）、ノウハウを構築してきた輸入国にもかかわる問題である。原子力発電関連の雇用もすべての地域で減少する。ラテンアメリカ、東アジア、その他アジアでは 20%の減少、最も減少率が高い欧州と北米では 65%の減少となる。

従来型エネルギー関連の雇用は全体としては減少するものの、一部の地域では引き続き高い比率を占める。従来型エネルギー関連の雇用は、サハラ以南アフリカ、中東・北アフリカ、その他欧州においてエネルギー部門の雇用の最大 40%を占める。これに対して EU、北南米、東アジアにおける従来型エネルギー関連の雇用比率は 10%から 15%である。従来型エネルギー関連の雇用の存続は、従来型エネルギー源への継続的な依存の程度を反映している。

エネルギー転換が加速するにつれ、従来型技術関連の雇用減少はますます顕著になる。誰一人取り残さない公正なエネルギー転換政策を策定するためには、詳細な分析によって、雇用が減少する職種の技能構成と労働者の分布を理解する必要がある。

経済全体の雇用

エネルギーはすべての経済にとって不可欠なものであり、他のあらゆる部門と相互作用し、相対的賃金に影響を及ぼし、他の部門で支出される所得を生み出す。広範な社会経済システムに深く組み込まれたエネルギー部門の特性とエネルギー転換の複雑な作用は、他の経済部門にプラスの影響を及ぼす場合もあれば、マイナスの影響を及ぼす場合もある。それに対して他の部門も、エネルギー部門が抱える転換の課題に有利に働く場合もあれば、不利に働く場合もある。望みうる最善の結果を得るためには、包括的で公正な移行政策の枠組みが必要である。



ある地域において経済全体の雇用が増加するか減少するかは、エネルギー転換のロードマップや地域の社会経済構造など、さまざまな要因に左右される。現行計画シナリオでは、2050 年までに経済全体の雇用が EU と北米でそれぞれ 2.4%および 1%増加すると予想される。これらの地域の雇用増加は、世界の平均雇用増加率 0.15%を大きく上回る。他の地域では、経済全体の雇用の増加率はおしなべて 0.5%未満であり、中には雇用が減少する地域もある（中東・北アフリカ、その他欧州、ラテンアメリカ、東南アジア、その他アジア）。サハラ以南アフリカには大きな変化は見られない。

エネルギー転換に関連する新たな雇用が創出される一方、経済のさまざまな部門で労働市場問題が起こることは確実である。化石燃料部門の雇用減少がその最たる例であるが、他の部門にも影響は及ぶ可能性がある。事実、分析が示すところでは、エネルギー転換シナリオにおける 2050 年の経済全体の雇用者数が、現行計画シナリオと比べて少なくなる地域がある。EU、北米、東アジアなどの一部の地域は、エネルギー転換の間接効果と誘発効果を活用する経済的な力を備えているため、経済全体では大きな純便益を得る。一方、サハラ以南アフリカとその他アジアは、サプライチェーン構造がもろく多様性に欠けるため、このような効果を活用できない。このほかの地域、例えば石炭と炭化水素に依存する地域では、現行計画シナリオと比べて正味の雇用減となる。

現実の構造的問題により、労働市場には、時間、空間、教育、あるいは部門に関連するさまざまな不均衡が生じる可能性がある。これは、どのような転換にも起こりうることである。本報告書の社会経済的分析が提示する、潜在的な部門間における雇用のミスマッチに係る定量データは、公正な転換を目指す政策立案に役立つと考えられる。労働問題は個別の状況によって異なるため、公正な転換の成否は、それぞれの地域や国の状況に応じた政策にかかっている。

国内総生産(GDP)

2019 年から 2050 年の期間、2 つのシナリオの GDP の差は世界で平均 2%にのぼるが、それぞれの地域の増加率には大きなばらつきがある。EU では 5%近い増加が予測されているのに対し、中東・北アフリカでは 0.5%の減少が予測されている。世界平均より高い増加を示す地域は、東南アジアと東アジアである。一方、その他欧州、北米、その他アジア、サハラ以南アフリカの増加率は平均を下回る。中東・北アフリカとオセアニアでは例外的に、エネルギー転換シナリオにおける GDP 成長率が現行計画シナリオよりも低くなる。

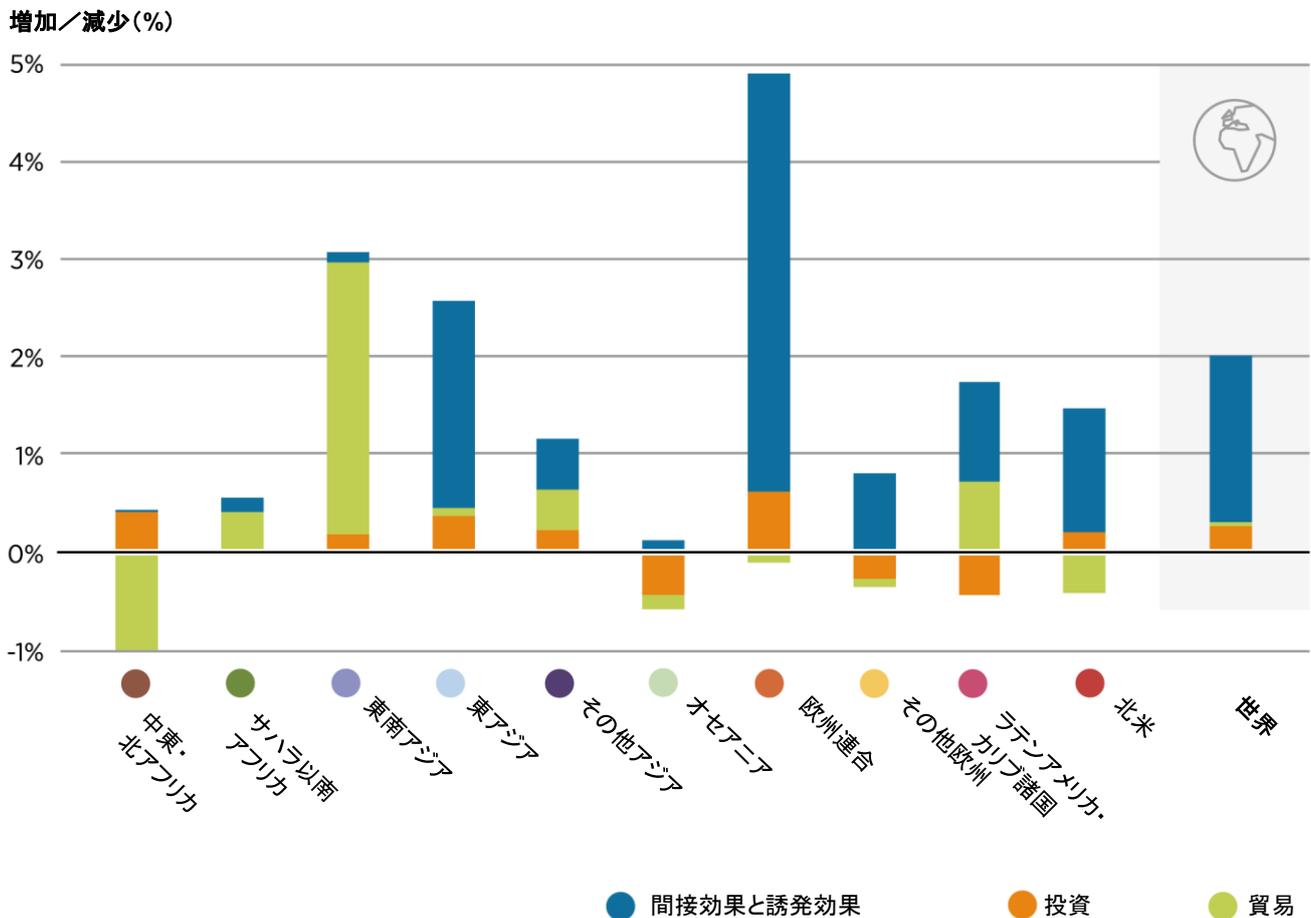
地域経済の未来を築くうえで貿易がきわめて重要な役割を果たす地域もある。東南アジアとサハラ以南アフリカにおける GDP の大幅な増加は、純輸出の順調な伸びによる。一方中東・北アフリカでは、炭化水素輸出の減少により逆の効果が生じる。ラテンアメリカとその他アジアでは、貿易によるプラスの効果が顕著となる。それに対し、北米では化石燃料貿易の減少が足かせとなり、他の財やサービスの貿易がさらなる負担をもたらす(図 S.15 を参照)。



ある地域において経済全体の雇用が増加するか減少するかは、エネルギー転換のロードマップや地域の社会経済構造など、さまざまな要因に左右される。

図 S.15 GDP 増加の最大の促進要因：エネルギー転換の影響と貿易

2019 年～2050 年の地域 GDP におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異に 3 組の促進要因が及ぼす影響



IRENA の分析に基づく。

投資水準は、エネルギー転換による地域の社会経済的成果を左右するもうひとつの重要な要因である。世界レベルで見ると、エネルギー転換に関連するクリーンエネルギー投資額は 1 人あたり年間平均 122 ドルである。地域間の投資額は大きく異なり、サハラ以南アフリカでは 1 人あたり年間約 50 ドルであるが、北米では 1 人あたり年間 450 ドルを超える。投資額が大きい地域では結果としてマクロ経済的影響が大きくなるが、それだけでなく、それぞれの経済における波及効果が、投資効果の高さを決定するうえで大きな役割を果たしている。

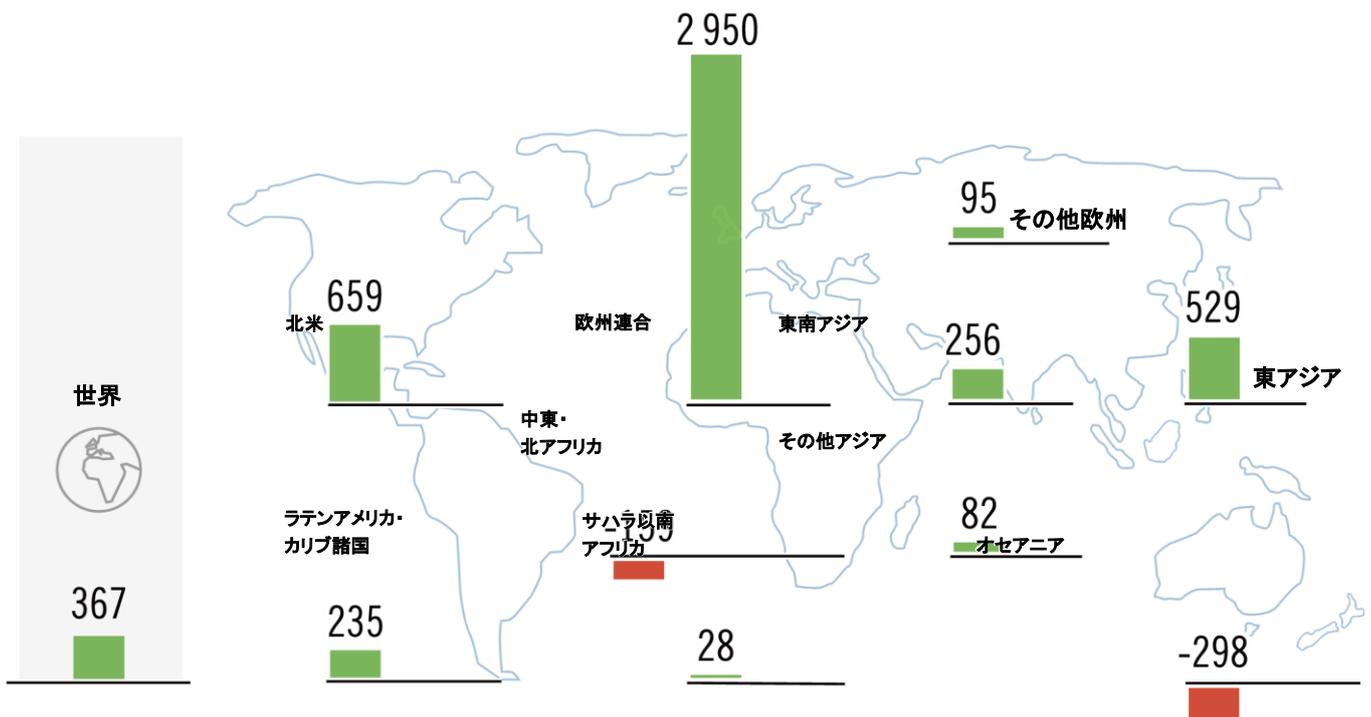
堅牢なサプライチェーンがある場合、間接効果と誘発効果は経済にプラスの貢献をすることができる。適切な財政政策による支えがあればなおさらである。これは特に、EU、東アジア、北米といった主要経済地域に当てはまる。新たな雇用は、誘発効果をもたらす鍵となる。なぜなら、雇用は新たな賃金所得をもたらし、消費支出の増加によって波及効果が生じるからである。財政政策は、ある地域や国の社会経済的状况に対する明確な理解に根差したものであれば、最大限に効果を発揮する。ただし、政策の導入が成功するかどうかは、複雑な行政構造の存在にかかっている。

エネルギー転換プロセスの成果の差は、地域によって社会経済状況の出発点が異なることに起因する。つまり、すべての地域が同程度の目標を設定し、実施に成功したとしても、それぞれの結果は異なるということである。その根本的な原因には、マクロ経済的状況、化石燃料などへの依存度合、制度の構造と機能、投資パターン、貿易収支など、国に固有のいくつかの要因や構造を挙げることができる。

エネルギー転換シナリオでは、2050年までに世界の累積 GDP 増加額が 98 兆ドルにのぼる。これを 1 人あたりに換算すると年間平均 367 ドルの増加となるが、地域によって増加の分布は異なる。EU では、堅固な社会経済構造を背景に、1 人あたり年間 2,950 ドルの増加が予想される。しかしほとんどの地域では、増加額は約 100 ドルから 650 ドルの範囲に収まる。サハラ以南アフリカでは約 30 ドルという小幅な増加が見られ、中東・北アフリカとオセアニアは現行計画シナリオと比べて減少すると予測される(図 S.16 を参照)。経済的な成果の差は、それぞれの地域における福祉予測の差の一因となっている。

図 S.16 1 人あたり GDP 増加額の地域格差

現行計画シナリオと比較したエネルギー転換シナリオにおける地域別の GDP 累積増加額 (ドル、1 人あたり年額)



IRENA の分析に基づく。

免責事項: 本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、如何なる地方、国、領土、都市、または地域とその機関の法的地位、また境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

福祉

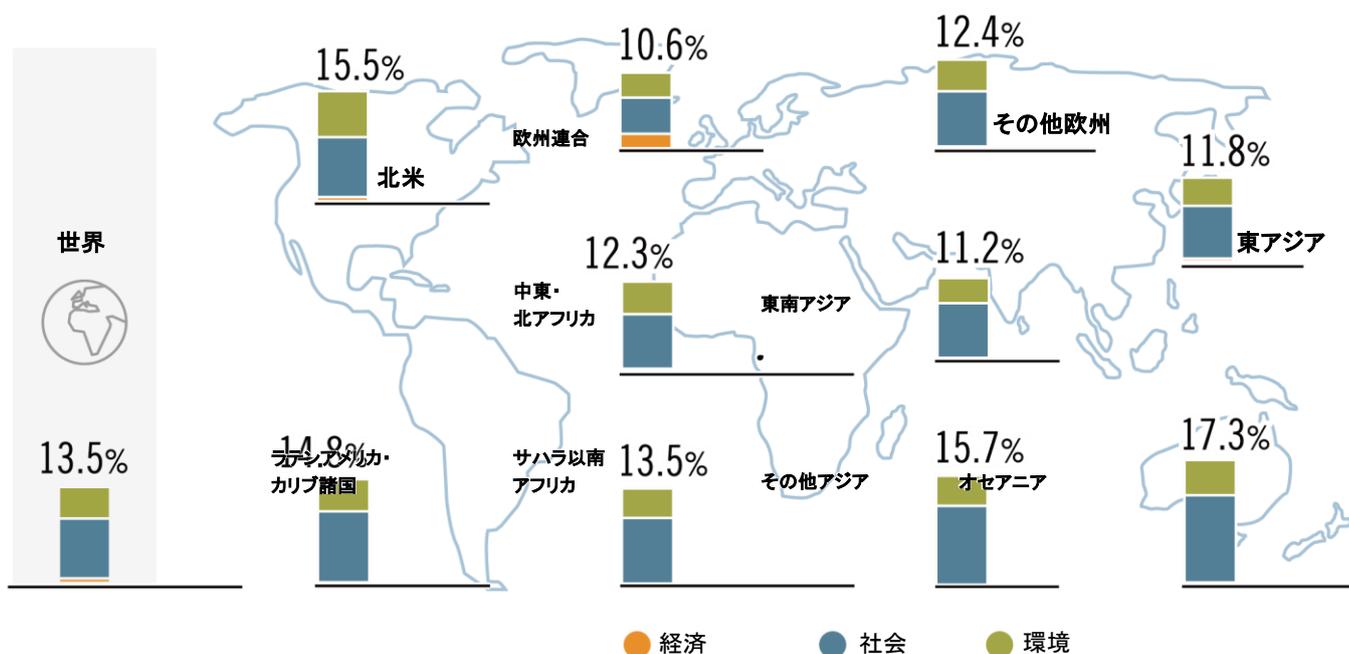


エネルギー転換は、すべての地域において人々の福祉を大幅に向上させる。エネルギー転換シナリオでは、現行計画シナリオと比べて福祉指数が向上し、向上率は最も少ない EU で 10%、最も多いオセアニアで 17%となる。その他アジア、北南米、サハラ以南アフリカは世界平均をやや上回り、それ以外の地域は世界平均をやや下回る。

福祉の向上は、主に社会指数と(次いで)環境指数の向上に起因する。社会指数は、健康と教育という 2 つの要素により構成される。健康面では、すべての地域で大気汚染の低減による改善が最も大きな影響を及ぼし、特に大気汚染の被害が大きい人々の福祉は大幅な改善を見せる。環境面の 2 つのサブ指数では、温室効果ガス排出量の低減が資源消費量の変化よりも顕著な改善を示す。これもすべての地域に共通して見られる。雇用および消費と投資からなる経済指数は、EU と北米において最も顕著な改善を示す(図 S.17 を参照)。

図 S.17 社会、環境面の向上が促す地域レベルの福祉向上

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年の地域別複合福祉指数



IRENA の分析に基づく。

免責事項: 本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、如何なる地方、国、領土、都市、または地域とその機関の法的地位、また境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

影響

世界のすべての地域でエネルギー転換による便益を期待できるが、地域による差の原因を解明するためには綿密かつ解像度の高い分析が必要である。個々の地域は、エネルギー転換の関連部門（再生可能エネルギー、エネルギー効率化、ならびに電力系統およびエネルギー柔軟性）で便益が等しく増加するわけではなく、また従来型エネルギー部門でもそれぞれ異なる度合の損失に直面する。

地域により GDP、雇用、福祉の成果には違いが生じる。雇用については、エネルギー部門とその主な分野（エネルギー転換関連技術、従来型エネルギー）においても、経済全体においても、地域ごとの成果に違いが見られる。

社会経済的な成果の地域による差は、構造、生産力、貿易パターン、国内サプライチェーンの規模と多様性の差に起因する。既存の構造は、政策上の意欲や将来を見据えた計画立案によって徐々に変えていくことができる。エネルギー転換がもたらす機会を十分に活用するためには、地域よりも細かい単位や国単位で、エネルギー転換と広範な経済との相互関係を分析する必要がある。

エネルギー転換を成功させるためには、経済政策、産業政策、労働政策、教育政策、社会政策の中心にエネルギー政策を組み込む必要がある。横断的で一貫性のある政策立案は、気候とエネルギーに関する目標の達成に貢献する。そのような政策により、複数のプログラム、プロジェクト、イニシアティブを組み合わせることで成果を上げることが可能となり、またエネルギー転換の進展とともに労働市場に生じる不均衡を回避あるいは低減することが可能となる。

想定外の事態： 新型コロナウイルスの世界的流行と世界経済への影響、それにより 2020 年初めに見られた原油価格下落は、想定外の要因がいかに関与し、現実の動向と計画に混乱を及ぼすかを知らしめるものとなった。このような状況は、エネルギーシステムが広範な経済と密接に相互連携することの重要性を裏付けている。現実社会の複雑な状況下で、深く根づいた構造的な依存を克服するためには、たゆまぬ努力が必要である。

コロナウイルスがエネルギー転換にも影響を及ぼし、多くの部門のグローバルサプライチェーンを脅かすことは必至である。原油価格のボラティリティは、相反する効果をもたらす可能性がある。電力部門では原油の役割は限定的であるが、運輸部門では総需要の半分を原油が占めているため、重要性ははるかに大きい。排出量規制が敷かれていない場合、原油価格が低い状態が長引くことで、EV の導入ペースに影響が及ぶ可能性がある。その一方で、原油価格の変動性は非在来型石油・ガス資源の開発や長期契約の実現性を低下させる可能性がある。このような影響の重大度と継続期間は、現時点では不明である。しかし、低炭素社会の構築に必要な道筋に影響を及ぼすことはないと思われる。



段階的な社会の脱炭素化を目指して

本文
第6章

急速に高まる気候変動への懸念、蔓延する経済的不平等、沸き上がる社会正義の問題は、世界経済の包括的変革を求めている。これらの課題には包摂的なソリューションが必要であり、その中心となるのは再生可能エネルギーである。気候目標の達成、経済成長の助長、雇用創出、公共の福祉の促進といった相互に関連し合う目標を達成するためには、エネルギー転換の成功が不可欠である。

比較的短期間でグローバル経済の脱炭素化を進めるには、かつてない大規模な政策介入と大規模な資金投入が必要となる。社会正義、経済、気候の問題が重なった結果、エネルギーシステムと経済に大規模な変化をもたらすグローバルな「グリーンニューディール」を求める声が高まっている。かつてない規模の公的介入によって、不利な立場の労働者やコミュニティを置き去りにしない公正な移行施策がこれに伴う。一連の政策だけでなく、社会の脱炭素化への転換の必要性を認識することが重要である。

エネルギー転換に乗り出すさまざまな国や地域の出発点の違いは、種々の構造的依存や国内サプライチェーンの規模に起因している。化石燃料や他の一次産品への依存、技術、貿易といったこれらの要因は、必然的にエネルギー転換がもたらす2050年の成果に反映される。エネルギー転換は、世界レベルではプラスの成果をもたらすものの、個別の地域や国によって成果が大きく異なる可能性は高い。

化石燃料への依存は、資金の流れや経済構造に表れる。生産国の輸出収入（GDP または国庫予算に対する比率として）だけでなく、石油、ガス、石炭の採掘や加工、配給に必要なさまざまな設備も、化石燃料に依存している。その影響は、サプライチェーンに原材料を提供する部門や、労働力を教育・訓練する機関にも及ぶ。しかし

依存はエネルギーの輸出国に限られた問題ではない。輸入国もまた、石油、ガス、石炭に関する大規模なインフラや流通網、資産、ノウハウを構築している。このような依存は、エネルギー転換が進展すると負担になる可能性がある。

課題となる構造的要因に加え、想定外の事態もまたエネルギー転換に影響を及ぼす場合がある。新型コロナウイルスの感染拡大によって、再生可能エネルギーを含む多くの部門のグローバルサプライチェーンは混乱している。2020年初めに見られた原油価格の変動性は、相反する効果をもたらす。石油の役割が限定的である電力部門においては再生可能エネルギーに大きな影響を及ぼす見込みは低いが、運輸部門においては電化のペースに影響を及ぼす可能性がある。また原油価格の変動性は、非在来型石油・ガス開発の実現性を低下させる（「想定外の事態」欄）。これらの事態がどれほどの混乱を及ぼすかは、現時点では不明である。短期的影響は大きな影を落としているが、脱炭素化や持続可能な開発の長期的な計画に影響を及ぼす可能性は少ない。

世界中の国々が、汚染をもたらす従来型エネルギー源に依存したエネルギーシステムの転換、ひいては世界経済の転換という課題に取り組む中、「グリーンニューディール」という概念が欧州やその他の国で注目を集めている。この言葉は1930年代の「ニューディール政策」から着想を得ているが、一連の政策提案にどのような名称を選ぶかということより、経済問題、社会問題、環境問題に同時に取り組むエネルギー転換への包括的アプローチが必要であると認識することのほうが重要である。

市場メカニズムだけでは、エネルギーシステムを転換し構造的な依存を克服するために今後数十年で求められる大規模な排出量削減を実現することはできない。環境に配慮した公正で包摂的な経済への転換を実現するためには、民間資金と併せて、はるかに大規模な公的介入と国際協力が必要である。各国は生産力を獲得し、開発を進め、グリーンテクノロジー開発の新たな機会を捉える必要がある。再生可能エネルギーの急速な普及やエネルギー効率改善策といった技術的転換は、経済低迷国が遅れを取り戻す好機となる可能性がある。同様に、他の部門に大きな波及効果をもたらす製造業をはじめとする既存の生産力は、グリーンテクノロジーのイノベーションを生み出す有望な基盤となりうる。

エネルギー転換の成功は、先を見越した一貫性のある一連の公的介入にかかっている。知識の共有やベストプラクティスの交換を軸としたイノベーション支援策、再生可能エネルギーをエネルギー供給システムや最終消費部門に導入・統合するための政策、変動性再生可能エネルギー（太陽光、風力）の増加に備え十分な系統柔軟性を確保するための対策などがその一例である。またエネルギー転換を実現する政策には、産業政策、労働市場への介入、教育・技能開発、社会保障政策などがある。公正かつ包摂的なエネルギー転換のための戦略は、個人、コミュニティ、国、地域の不整合を最小限に抑え、エネルギー転換による便益が広く行きわたるようにすることを目的としている。

機関の強化とともに、協調した一貫性のある政策の拡大に成功はかかっている。国レベルでは強固な機関が、エネルギー転換の加速と必要な規模と強度を備えた変革を推進するための重要な役割を果たす。国内での協調と同様に、国際レベルでの協調も重要である。必要な資源を集め、機関の機能を高め、技術的なノウハウを蓄積する各国の能力差がきわめて大きいことを考えれば、なおさらである。教訓やベストプラクティスを活用しようとする前向きな姿勢を共有することが、すべての当

事者の利益となり、脱炭素化に向けた多国間協調のさらなる強化をもたらす。これには、意欲的なエネルギー転換の成功を支えることを視野に入れて、世界の貿易システムを統制するルールを再考することも含まれる。

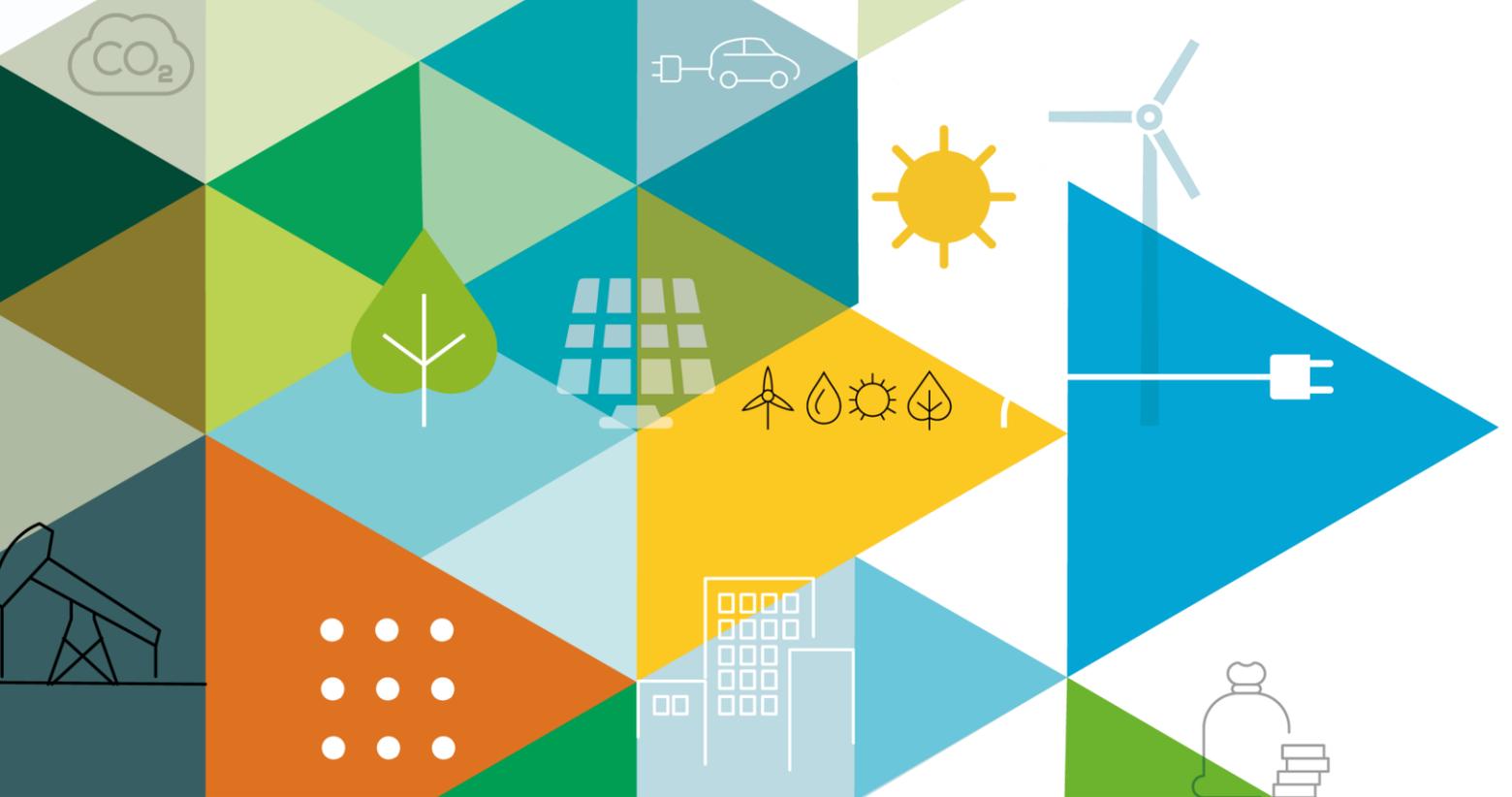
大規模な資金投入は不可欠である。国際レベルでは、IRENA、国際連合開発計画、マルチパートナー・イニシアティブ「万人のための持続可能なエネルギー」、緑の気候基金によって2019年9月に発足が発表された気候投資プラットフォームは、気候目標に見合う規模でのエネルギー転換への投資動員を目指している。IRENAが調整役を務める地域レベルの投資フォーラムは、実現可能な条件を創出し、資金へのアクセスを改善し、収益性を見込める再生可能エネルギープロジェクトを策定できるよう開発者を支援することを目的としている^{原注1}。

最終的には、エネルギー転換によって気候変動の危機を緩和することができるか否かは、採用される政策、政策の実施スピード、投入される資金の量によって決まる。相互に関連し合う世界において、国際協調と連帯は単に望ましいというだけでなく、気候変動、経済的不平等、社会正義の問題に取り組むための不可欠な条件である。今後の投資決定は、それが包摂的な低炭素経済への移行をいかに加速するかという点に基づいて評価されることが望ましい。これに沿わない如何なる決定も、脱炭素化社会への道を著しく妨害する可能性がある。

原注1 詳しくは <https://irena.org/irenaforcip> を参照。

01

2050年への ロードマップ



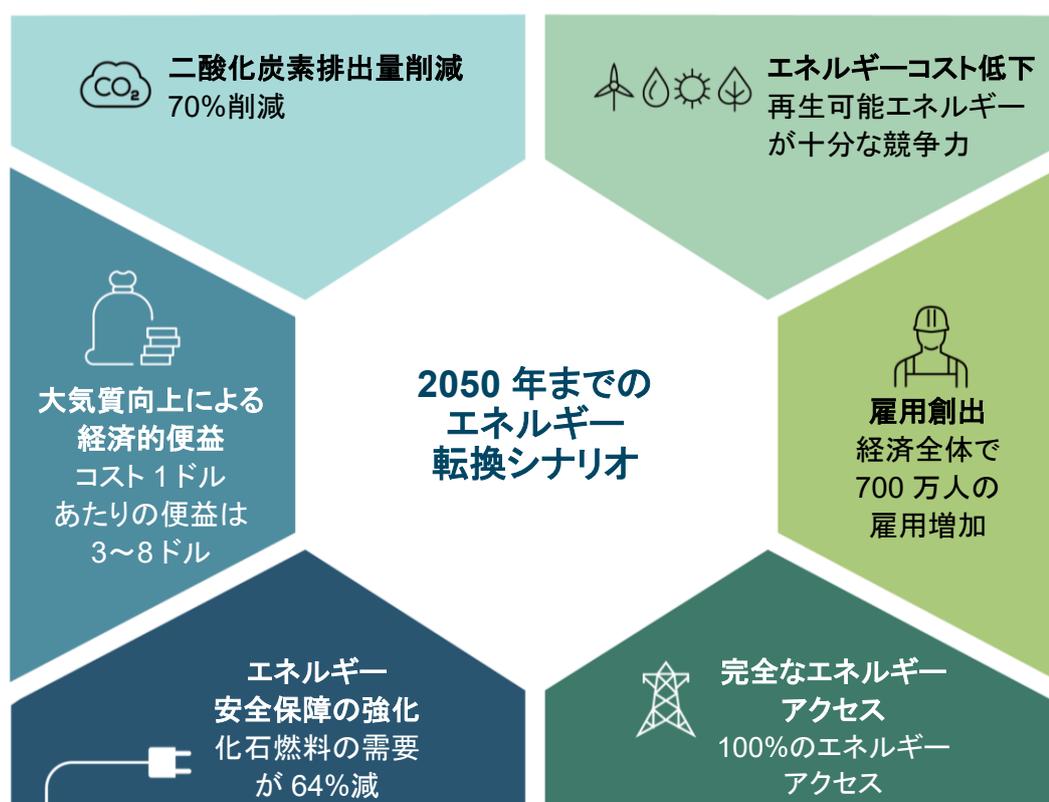
エネルギー転換の促進要因

1.1 気候変動は、今世紀の主要な懸念事項となっている。この懸念に対する緊急の対応は、気候変動の原因となっている二酸化炭素排出量を急速に削減するエネルギー転換である。パリ協定は、今世紀中に、世界の気温上昇を産業革命前の水準と比べて 2°Cより「十分低く」保ち、理想的には 1.5°Cに抑えるという明確な目標を設定している。この気候目標を実現するためには、世界のエネルギー情勢を根底から変革することが不可欠である。

世界が化石燃料消費からよりクリーンな再生可能エネルギーへと急速にシフトすることが、パリ協定で合意された気候目標を達成するために極めて重要である。そのようなエネルギー転換は、従来型化石燃料発電とその利用を低炭素技術に急速に置き換えることによって可能となる。エネルギー部門の脱炭素化と二酸化炭素排出量の削減は、国際再生可能エネルギー機関（IRENA）のエネルギー転換ロードマップにおける主要目標である。このロードマップは、より持続可能でクリーンなエネルギーの未来に向けて低炭素技術を導入するための、意欲的であるが技術的にも経済的にも実行可能な道筋を検証し、提示するものである。しかし、世界がエネルギー転換を受け入れるべき理由は、二酸化炭素排出量の削減だけではない。他にも多くの促進要因が背景にある（図 1.1）。

図 1.1 喫緊のニーズと魅力的な機会

エネルギー転換の主な促進要因





再生可能エネルギーの急速な低コスト化：商用の再生可能エネルギー発電技術の世界加重平均コストは、近年低下し続けている。

たとえば、系統用太陽光発電(PV)のコストは、2010年以降、目覚ましく低下している。2010年から2019年の間に、世界加重平均による均等化発電原価(LCOE)は、太陽光発電の場合82%低下して68.4ドル/MWhに達しており、陸上風力発電の場合45%低下して52.8ドル/MWhに達している。世界における企業の太陽光発電電力購入量は44%もの飛躍的増加を示し、2018年の5.4GWから2019年の9.6GWへと上昇した(Martin, 2020)。

2017年から2018年には、太陽光発電の入札の半数近くが、南・東アジア、太平洋地域で実施された。これは、豊富な日射量と発電原価の低下によるものである。インドだけでも17GWの太陽光発電が入札にかけられ、その平均価格は42.3ドル/MWhであった。同様に中国でも、全10回の入札において5GWの太陽光発電が平均価格64.6ドル/MWhで販売された。フィリピンでは、50MWの入札で43.9ドル/MWhという低価格の入札が受け付けられた。電力購入契約(PPA)および入札結果に関するIRENAのデータベースによると、2020年も引き続き太陽光発電のコストが低下すると示唆されている。

陸上風力発電の入札は、欧州で最も広く用いられており、南・東アジア、太平洋地域がそれに続く。欧州の洋上風力発電プロジェクトはいまや、補助金なしでも卸電力市場で化石燃料発電に対する競争力をますます高めている(ドイツとオランダにおける補助金なしの入札など)。ドイツだけでも、2017年から2018年までの間に全7回の入札において5GW以上が決まり、平均価格は51.65ユーロ/MWh(58.7ドル/MWh)であった。

米国では、太陽光や風力といった水力以外の再生可能エネルギー源が、今後2年間で最も急速に成長する電源になると予想される。バイオマスの入札は主に欧州と北南米に集中していた。アルゼンチンでは、RenovArプログラムの第2回入札において143MWのバイオマスが平均価格107.5ドル/MWhで落札された。集光型太陽熱発電(CSP)の入札は主に中央・西アジア地域、特にアラブ首長国連邦で実施され、ドバイでは700MWが73ドル/MWhで落札された(IRENA, 2019h)。



大気質の改善：大気汚染は、主に規制のない非効率で高い汚染を引き起こすエネルギー源(化石燃料の燃焼や化学処理に関連する排出など)によって引き起こされ、公衆衛生上の重大な危機となっている。

低コスト化や運輸部門の電化の発達に伴いクリーンな再生可能エネルギー源に切り替えることができれば、都市の大気質を改善し、健康障害の解消を促進することができる。また、農村部に近代的エネルギーへのアクセスをもたらし、生産性を向上させることもできる。

汚染削減と健康の改善による便益は、再生可能エネルギーの全体的システムコストを上回る可能性がある。健康の改善、補助金の削減、気候変動の影響の低減がもたらすコスト削減の総額は、30年間の累積で160兆ドルにもものぼると見込まれる。

したがって、世界のエネルギーシステムを転換するための費用1ドルがもたらす便益は、少なくとも5ドル、外部性の評価によっては7ドルを超える可能性もある。



二酸化炭素排出量の削減と気候変動影響の低減：化石燃料の利用から再生可能エネルギー源への移行ができれば、二酸化炭素排出量を削減するだけでなく、気候変動の影響を低減し、社会やビジネスの状況を改善することができる。



エネルギーアクセスの普遍化：世界のエネルギーシステムを転換することにより、すべての人にクリーンエネルギーへのアクセスをもたらすことができる。現在、何億人もがエネルギーへのアクセスを欠いている状況は、深刻な不平等の一因となっている。電力網がまだ敷設されていない農村部に再生可能エネルギー技術を適用すれば、農村電化、コミュニティエネルギー事業、分散型エネルギー源をもたらすことができる。それにより住民の生活を大幅に向上させ、地域経済を刺激することが可能である。



エネルギー安全保障の強化：化石燃料輸入に大きく依存する国にとって、エネルギー安全保障は重大な課題である。再生可能エネルギーは、化石燃料に代わるセキュリティの高いエネルギー源となりうる。なぜなら、その地域で発電しながらエネルギー源の多様化を進めることができるからであり、ひいてはシステムの柔軟性に貢献し、外乱に対する抵抗力を高めることができる。



社会経済的便益：世界のエネルギーシステムを転換することは、大規模な社会経済的便益をもたらす。それは、政治的意思決定に影響を及ぼす上で極めて重要である。エネルギー転換プロセスそのものによって、労働市場に重大な変化を起こし、雇用の創出、減少、代替、変革という4種類の雇用効果をもたらされる（IRENA, 2020a）。地域の再生可能エネルギー産業が発達することで雇用が創出されれば、あらゆるジェンダー、あらゆる分野、あらゆる経歴の人に就労機会が開かれる。もし地域産業が発達していない場合には、エネルギー安全保障の問題を抱える国々は、化石燃料の輸入から再生可能エネルギー設備の輸入に移行すればよいことになる。

一方、一部の雇用は人員余剰となる。特に化石燃料生産分野だけでなく、輸送の電化に伴って従来型自動車といった他の分野でも起こりうる。このような雇用の一部は失われるが、雇用転換措置によって維持される雇用もある。また、再生可能エネルギーが支える未来に向けた移行にも、化石燃料産業から既存の専門知識を継承する機会がある。特に、洋上風力発電などの再生可能エネルギー産業に生かすことができ、たとえば、洋上石油・ガス生産設備の支持構造物の建造に従事する労働者や技術者の専門知識は、洋上風車の基礎や変電設備を建設するために活用できる可能性がある（IRENA, 2019e）。

エネルギー転換によって、2050年までに世界の国内総生産（GDP）を2.5%、総雇用数を0.2%拡大することが可能となる。またさらに、社会や環境により幅広い便益をもたらすことができる。



ボックス 1.1 再生可能エネルギー発電のコストは継続的に低下

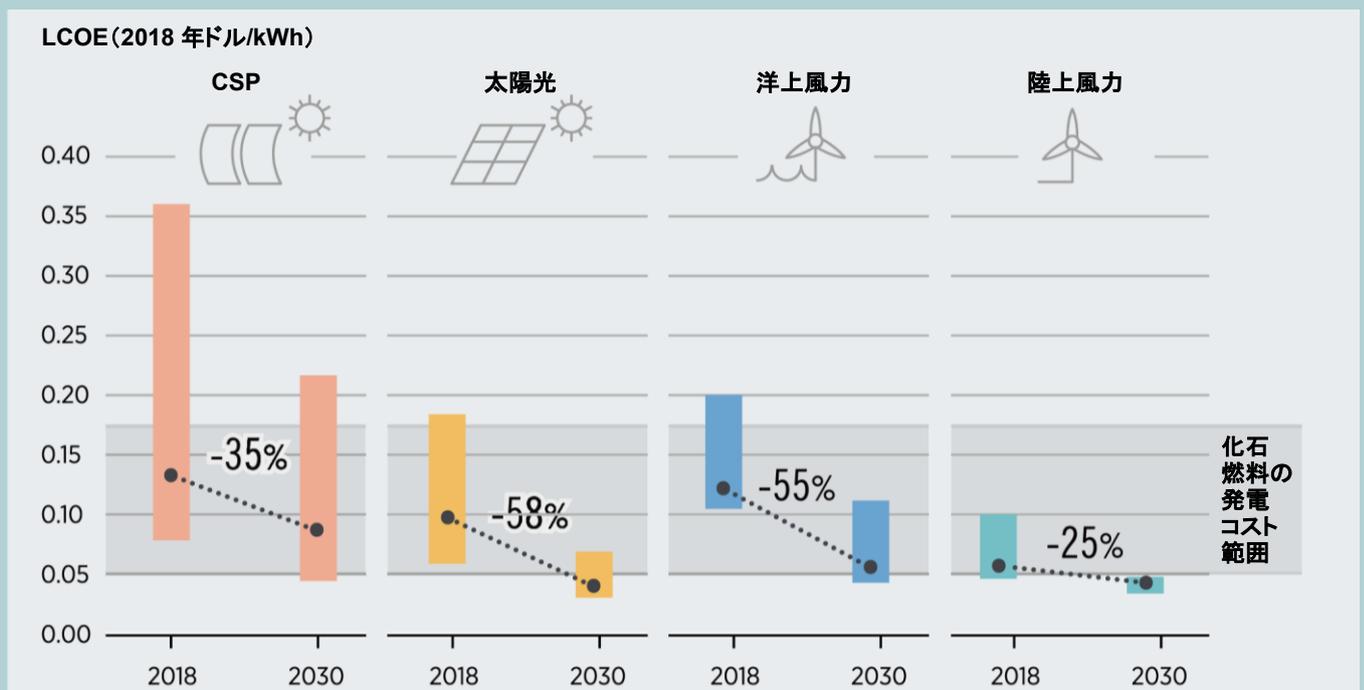
現在、世界の大半の場所において、再生可能エネルギーは最も低コストの新規電源となっている。今後も太陽光発電や風力発電の技術コストが下がり続けるため、このような状況の国はますます増えることが見込まれる。

IRENA Renewable Cost Database のデータによれば、2010 年以降、バイオエネルギー、地熱発電、水力発電、陸上・洋上風力発電プロジェクトの世界加重平均 LCOE はいずれも、化石燃料火力発電の LCOE の範囲内に収まっており、陸上風力発電、太陽光発電、CSP についても急速に低コスト化が進んでいる (IRENA, 2019i)。2012 年から 2018 年の間に、太陽光発電の LCOE は 77% 低下し、CSP は 46%、陸上風力発電は 35%、洋上風力発電は 20% 低下した。太陽光発電と風力発電については、2030 年まで技術コストが下がり続けると予想される (図 1.2)。

● **CSP**: G20 諸国における CSP 発電所の LCOE 中央値は、2018 年の推定値が 0.132 ドル/kWh であったが、2030 年までに 35% 低下して 0.086 ドル/kWh になると見込まれる。CSP の LCOE 推定値の範囲も、0.077 ドル/kWh ~ 0.357 ドル/kWh から 0.044 ドル/kWh ~ 0.214 ドル/kWh へと、幅が狭まると予想される。コスト削減要因はそれぞれの技術の種類によって異なる。たとえばパラボラトラフ型システムの場合、熱伝達流体を熔融塩に切り替えることで飛躍的なコスト削減が期待できる。

図 1.2 太陽光発電と風力発電: 2030 年までコスト低下が続く予想

2018 年~2030 年における CSP、太陽光発電、洋上・陸上風力発電の LCOE の推移
(G20 諸国の平均)



IRENA (発刊予定 a) の暫定結果に基づく。

この切り替えにより設備配置が簡素化でき、発電ブロックの効率性を向上させ、電力貯蔵コストを削減することができる。ソーラータワー型システムの場合は、現行の最先端技術から徐々に進化させる方法が取られる可能性が高く、一般的な設備設計を大幅に変更することはないと考えられる。

● **陸上風力発電**：風車の大型化、ハブ高さの増加、受風面積が広い風車への移行が続き、この発電方式の設備利用率が向上するに伴い、**陸上風力発電は、2018 年から 2030 年の間に 25%のコスト削減が予想される**。また、導入規模の拡大と製造工程の改善により、設備コストも、これまでにない削減が進んでおり、重要な貢献を果たしている。運用・保守分野においても、リアルタイムデータ、予知保全、大規模風車群の管理による相乗効果といったイノベーションによって、運用の効率性と適時性が向上している。

● **太陽光発電**：太陽光発電の世界加重平均 LCOE は低下傾向が続き、**2030 年までに 0.040 ドル/kWh(2018 年から 58%低下)に達すると期待される**。2025 年までの期間では、モジュールの効率性向上が続くこと、PERC(裏面不動態型セル)技術などの先進的セル構造が主流化する市場の動きに促進されて、このコスト低下に拍車がかかる。より長期的に見れば、いっそう効率性の高い新しいセル構造がさらなる改善を促すと予想される。

太陽電池のバリューチェーンに沿ったコスト要素を見ると、インゴットやウェハーの加工コストが最も大幅に低下すると予想される。その要因は、多結晶シリコンの低コスト化、カーフロス低減による利用率の向上、製造最適化である。セル製造レベルでは、ダイヤモンドワイヤやシルバペーストの低コスト化が続くと考えられる。ガラス製太陽電池バックシートや封止材の低コスト化も、2030 年までモジュール組立コストの

低下に貢献する可能性が高い。PERC 構造が主流化し、また、両面発電技術との親和性が高いことから、両面セルおよびモジュールの導入拡大に向かう重要な市場の動きも期待できる。

● **洋上風力発電**：洋上風力発電は、プロセスの全ライフサイクル(開発から運用・保守まで)にわたる改善によって、他の再生可能エネルギーに対する競争力を増しつつある。技術は向上しつつあり、風車は大型化し、風車定格出力はより高くなっている(2030 年のプロジェクトでは最大 20 MW の風車を使用されると予想される)。その結果、設備利用率が上昇し、エネルギー収量が増加し、総設備コストと運用・保守コストが低下している。また、近年(2017 年以降)のプロジェクトでは、入札価格が低く補助金なしのプロジェクトがサプライチェーン全体にわたって競争圧力(合併を含む)を高めていることも、競争力の強化と LCOE 低減を後押ししている。また、2010 年から 2019 年までの間に欧州と中国で洋上風力発電の導入率が拡大し、市場の成熟が進んだことは、投資家にとってリスクと不確実性を軽減するものとなっている。その結果、洋上風力発電部門への関心が高まり、資金調達コストが低減している。

LCOE のこれまでの推移を検討し(技術動向と市場促進要因を調査し、モデル化している)、2030 年までに実施されるプロジェクトの PPA 価格を考慮した結果、IRENA は、2030 年には LCOE の推定中央値が 0.054 ドル/kWh になると予想している。これは、2018 年の LCOE である 0.115 ドル/kWh から 55%近い下落となる。2030 年の LCOE 範囲は広く、既存の風力発電市場(英国、ドイツ、中国など)については平均 0.039 ドル/kWh という強気の予測がなされ、より新しい市場(トルコ、日本など)については 2018 年の加重平均値に近い平均 0.110 ドル/kWh と予測されている。

ボックス 1.2 エネルギー転換におけるエネルギー補助金

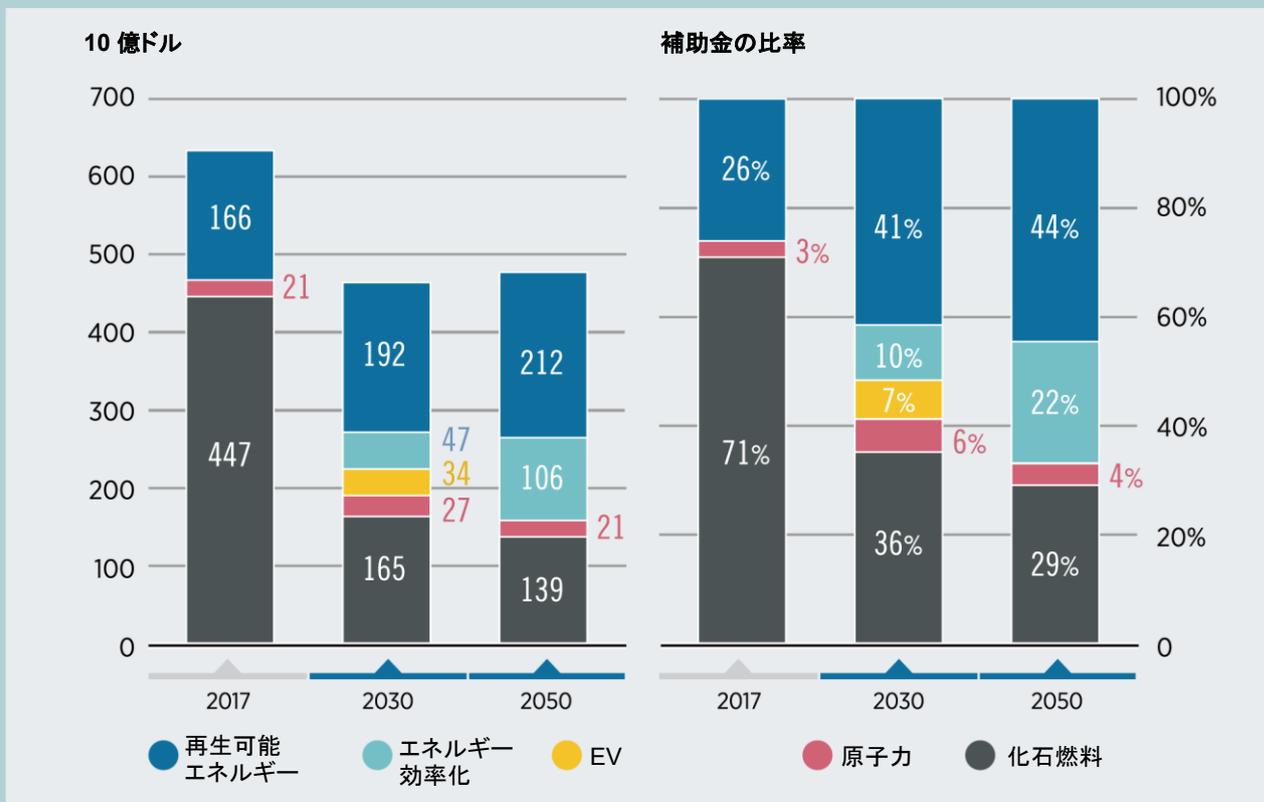


各国がパリ協定に基づく「国が決定する貢献(NDC)」において自国の計画を検討するにあたり、エネルギー転換コストを最小化することに大きな注意が向けられている。しかし、現行のエネルギー源がもたらす健康や環境への代償を無視すれば、結果的に最適ではない投資決定が市場において、あるいは政策立案者によってなされるおそれがある。この議論でもっと注意を向けるべきひとつの分野は、環境に悪影響を及ぼす化石燃料補助金の規模と影響である。

現代のエネルギー使用のほぼすべてにわたって、エネルギー部門はさまざまな補助金を受けており、それは多かれ少なかれ市場の機能を歪めるものとなっている(実際、エネルギー部門が積極的に補助金を求めることが多い)。多くの場合、政策立案者や業界が一時的な補助金と考えたもの(善意のものであれ、悪質なものであれ)が、継続を求める業界の積極的な働きかけにより、数十年にわたって存続している。場合によっては、補助金が出ないという理由で、業界が議論を強力に誘導してそのような政策を検討の対象から除外させることもあった。

図 1.3 エネルギー補助金：エネルギー転換シナリオでは全体的に減少

エネルギー転換シナリオにおける 2017 年、2030 年、2050 年のエネルギー部門直接補助金の燃料/資源別内訳



IRENA(発刊予定 b)に基づく。

経済協力開発機構(OECD)と国際エネルギー機関(IEA)のデータに基づいて、IRENAは、**2017年における化石燃料への(外部性を排除するため)直接補助金の額を4,470億ドルと推定した**(IRENA, 発刊予定 b)(図 1.3)。一方、化石燃料がもたらす負の外部性(地域汚染や気候変動による健康コストなど)を過小評価することによる、2017年における化石燃料への間接補助金は2兆6,300億ドルと推定された。

化石燃料への補助金は、特に環境に悪影響を及ぼす。なぜなら、化石燃料の価格を不当に安くして負の外部性(地域汚染による健康コストなど)の全コストを負担しない既存の状況をさらに悪化させるからである。環境に悪影響を及ぼす化石燃料補助金は、再生可能エネルギーへの支援(2017年に約1,660億ドル)の約19倍にのぼり、その額は桁違いである。大気汚染や気候への代償といった化石燃料による負の外部性がいまだに過小評価されている現在、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、その他のクリーンなエネルギー源に対する環境に配慮した支援制度によって、化石燃料の代替が促される。また、市場の失敗を是正することによってエネルギー部門の経済効率性が向上する。これらの支援制度は、エネルギーの生産と利用を、化石燃料による負の外部性を低減する技術の導入へと移行することで実現する。2017年における再生可能エネルギーへの補助金は1,660億ドルと推定され、約380億ドルが運輸部門に、1,280億ドルが発電部門に拠出された。

2050年までのエネルギー部門への補助金総額の推移を見ると、既存の化石燃料補助金の実質的廃止(2050年までに化石燃料補助金のほぼ全額が二酸化炭素回収・貯留(CCUS)によりまかなわれる)と再生可能エネルギーやエネルギー効率化の導入拡大を前提とした場合、2017年から2050年までのエネルギー部門への年間補助金総額は減少する。環境に悪影響を及ぼす化石燃料補助金を環境に配慮した補助金に切り替えることによって、2017年から**2050年までの間にエネルギー部門への直接補助金総額は25%減少して4,750億ドルとなる**。これは、現行計画シナリオにおいて**2050年に想定される額を約45%下回る**。



現実と要求の間に広がるギャップ

1.2 パリ協定の目標達成に向けて世界を軌道に乗せるためには、エネルギー関連の二酸化炭素(CO₂)排出量を現在から 2050 年まで毎年少なくとも 3.8%削減し、それ以後も削減を継続する必要がある。しかし、過去 5 年間の CO₂ 排出量は年間 1.3%のペースで増加している。このペースが続けば、地球のカーボンバジェットは 2030 年までに大部分が使い果たされ、世界の気温上昇は産業革命前の水準と比べて 3°C を超える道筋を辿ることになる。この場合は、多くの政府が、2015 年にパリ協定に署名して排出量削減を約束したように、気候と調和したシナリオと見なすことはできない。

図 1.4 は、ベースラインシナリオ(BES) (オレンジ色の線で表示)、現行計画シナリオ(PES) (黄色の線で表示)、IRENA によるエネルギー転換シナリオ(TES) (青の線で表示)の、3 通りのシナリオで想定されるエネルギー関連の年間 CO₂ 排出量と削減量の道筋を示している。

ベースラインシナリオでは、必ずしも各国の計画や誓約がすべて履行されるとは想定しておらず、パリ協定起草時(2015 年)の頃に実施されていた政策のみを考慮に入れており、エネルギー関連の排出量は年平均成長率 0.7%のペースで増加して 2050 年までに 43 Gt に達すると予想され(2019 年は 34 Gt)、その結果 21 世紀末までに気温の上昇は 3°C 以上になる可能性が高いとされている。しかし、過去 3 年の間に政策を実施し、クリーンエネルギー技術の導入拡大に向けて目標を修正する努力を行った国もいくつかある。努力と意欲の大部分は、再生可能エネルギーの設備容量を拡大することに向けられている。エネルギー効率改善目標がそれに続き、その後に注力されているのが輸送と熱供給用途の電化である。

計画エネルギーシナリオで想定されているとおり各国の計画と誓約が達成された場合、エネルギー関連の CO₂ 排出量は 2030 年まで毎年増加し続けるが、その後 2050 年までにやや減少して現在の水準をわずかに下回る程度になる。しかし、パリ協定の目標に基づいて世界の気温上昇を 2°C より十分低く保ち、1.5°C に抑えることを目指すためには、エネルギー関連の年間 CO₂ 排出量を 2050 年までに現在の水準より 70%以上削減する必要がある。絶対値では、排出量を現在の 34 Gt から 2050 年には 10 Gt を下回るまでに削減する必要がある。再生可能エネルギーの大規模導入と電化促進策を用いれば、必要な削減量の 4 分の 3 を賄い(電化と再生可能エネルギーが、可能な排出削減量の 75%に貢献する)、エネルギー効率化策を強化すれば最大で 90%も達成できる。

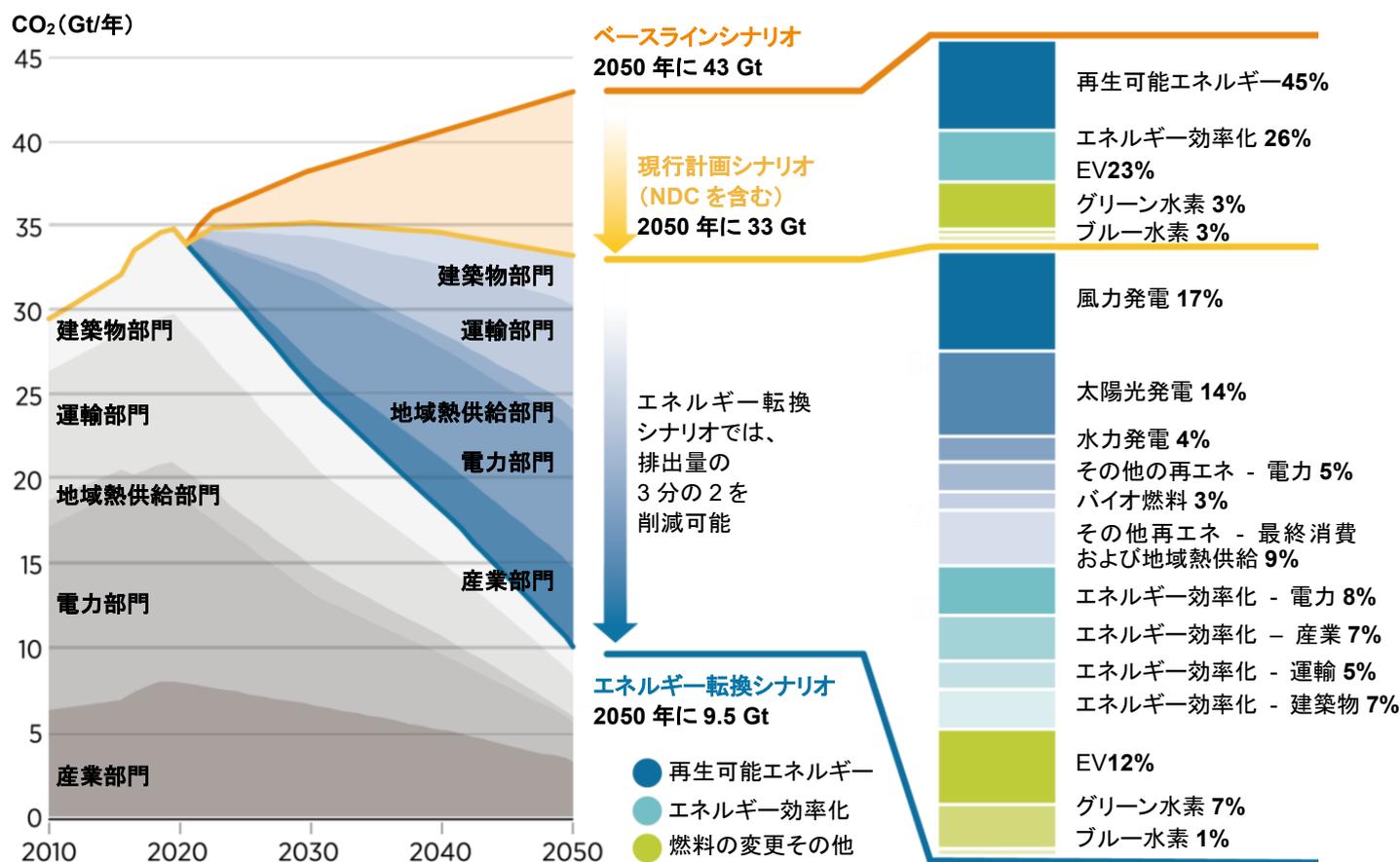


これだけの排出量削減を実現するには、さまざまな部門や技術にまたがって対策を加速する必要がある。これには、風力発電、太陽光発電といった再生可能エネルギーの急速な導入、再生可能エネルギー電力を用いた輸送の最終消費（電気自動車（EV）など）や熱供給（ヒートポンプなど）、再生可能エネルギーの直接利用（太陽熱、バイオマスなど）、エネルギー効率化（建築物の断熱、工程改善など）、インフラ投資（電力系統、貯蔵などの柔軟性強化策など）などが挙げられる。

IRENA のエネルギー転換シナリオは、エネルギー関連の CO₂ 排出量を 2050 年までに現行の水準から 70%削減し、残存するエネルギー関連の CO₂ 排出量を 21 世紀半ばまでに 9.5 Gt とする、気候への影響が少ない道筋を提示している（図 1.4）。2050 年に残存する 9.5 Gt のエネルギー関連の CO₂ 排出量のうち、発電部門と運輸部門による排出がいずれも 4 分の 1 弱、産業部門が 3 分の 1、建築物部門が 5%、他の部門（農業と地域熱供給）が残りの 15%を占める。

図 1.4 2050 年までに必要な排出削減量の大部分を、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、EV、水力発電が占める

ベースラインシナリオ、現行計画シナリオ、エネルギー転換シナリオにおける 2010 年～2050 年のエネルギー関連の年間 CO₂ 排出量と、3 つのシナリオにおける技術別の削減への貢献

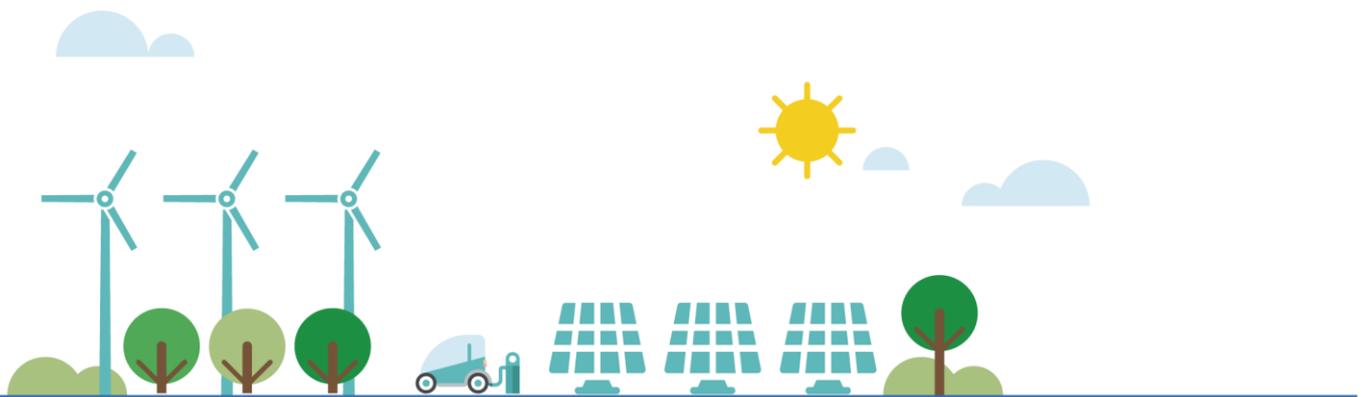


注：エネルギー転換シナリオは、天然ガス由来の水素製造（ブルー水素）に伴う二酸化炭素回収・有効利用・貯留が 2050 年に 250 Mt/年に達すると想定している。
IRENA の分析に基づく。

エネルギー転換シナリオは、世界の温室効果ガス排出量の約 3 分の 2 を占めるエネルギー関連の CO₂ 排出量削減に重点を置いている。

2050 年以降もさらなる努力が必要であり、排出量をゼロに削減する必要がある。 残存する 9.5 Gt のエネルギー関連の CO₂ 排出量と 10.4 Gt のエネルギーおよびプロセス関連の CO₂ 排出量を 2050 年代中に削減するために必要なソリューションはまだ十分に分析されていないが、いくつかのソリューションが視野に入っている。運輸部門では、電化、バイオ燃料、カーボンニュートラルな合成燃料、水素を併用することで、貨物、航空、船舶のさらなる脱炭素化が可能になる。産業部門では、石油化学製品に替えて、バイオマス炭素や CO₂ から作られた合成燃料を使用することが考えられる。循環型経済、水素原料、バイオマス原料を組み合わせることによって、二酸化炭素を排出しない鉄鋼業や化学産業を実現する必要がある。大半の建築物は、高度な効率化と建物一体型の再生可能エネルギー源を通じてゼロエネルギーを達成する必要があると考えられる。スマートで持続可能な都市・インフラ計画が当たり前ものにならない。

本報告書の第 5 章では、2050 年～2060 年の期間にエネルギー転換シナリオにおける排出量をゼロに削減する IRENA の「脱炭素深化見通し (DDP)」について詳しく論じる。



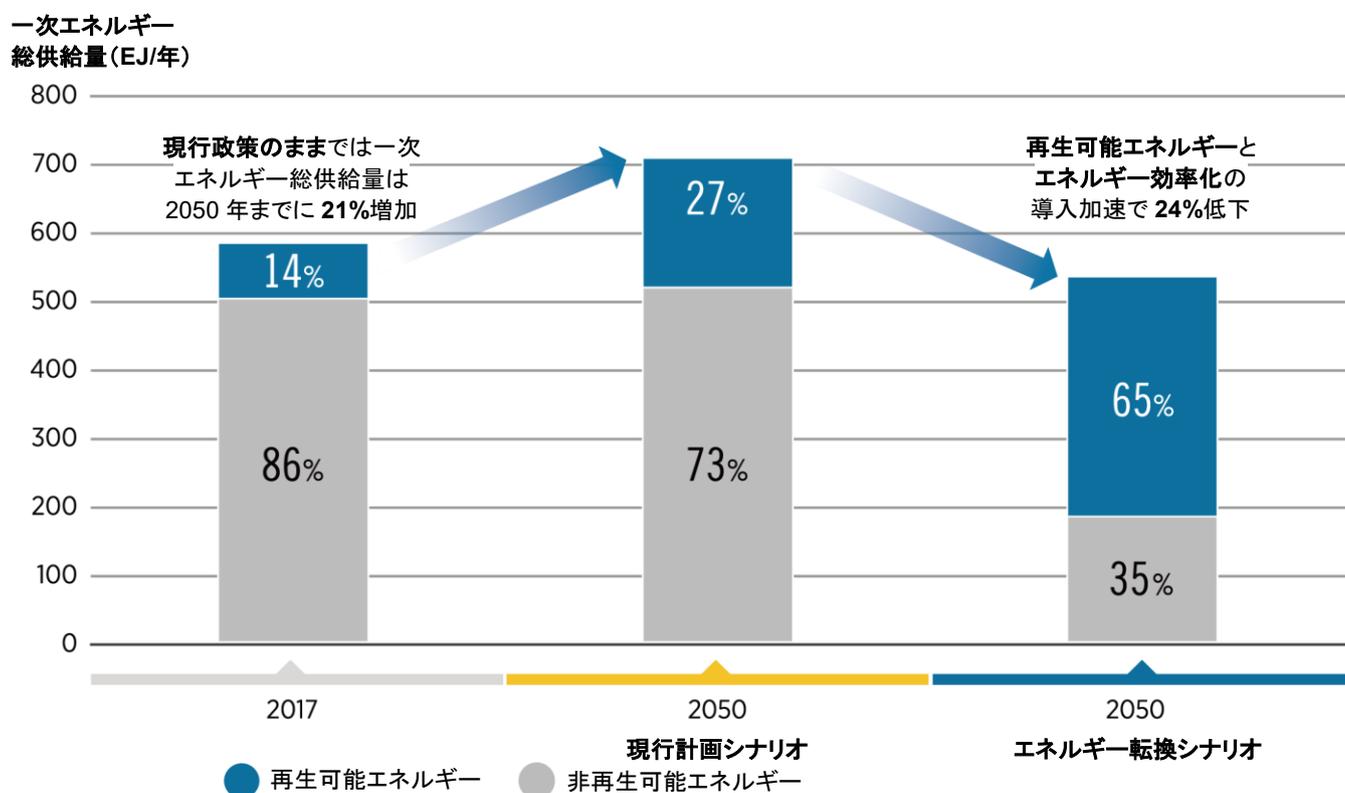
2050年に向けた、意欲的だが実現可能な、気候耐性のある 変革的道筋：エネルギー転換は何をもたらすか？

1.5 輸送と熱供給部門のさらなる電化と再生可能エネルギー発電の拡大がともに実現すれば、2050年までに必要とされるエネルギー関連のCO₂排出量を約60%削減することができる。再生可能エネルギーの直接利用による追加的削減を考慮に入れると、削減率は75%まで拡大する。エネルギー効率化を加えると、この比率は、パリ協定の目標達成に向けて世界を軌道に乗せるために必要なエネルギー関連のCO₂排出削減量の90%超まで増加する。

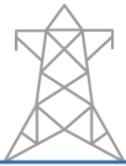
一次エネルギー総供給量に占める再生可能エネルギー全体の比率を、2017年の約14%から2050年までに約65%に引き上げる必要がある。現行計画シナリオではこの比率は27%に拡大するのみだが、エネルギー転換シナリオでは65%に拡大する(図1.5)。再生可能エネルギーの構成は今後変化し、エネルギー転換シナリオでは2050年までにバイオエネルギー由来の再生可能エネルギーの比率が3分の2から3分の1に減少し、太陽光発電と風力発電の比率が大幅に拡大する。一次エネルギー総供給も、人口と経済の大幅な拡大にもかかわらず、2017年の水準をやや下回るまでに減少する。

図 1.5 合意された世界の気候目標を達成するため、世界のエネルギー供給の3分の2を再生可能エネルギーによって提供することが必要

計画エネルギーシナリオとエネルギー転換シナリオにおける2017年と2050年の一次エネルギー総供給量、再生可能エネルギーの比率、非再生可能エネルギーの比率



注：2017年の現行計画シナリオおよびエネルギー転換シナリオ(IRENA)における値はIEA(2019b)に基づく。



2010年から2017年までの間に、世界の一次エネルギー需要は年1.1%のペースで拡大した。現行計画シナリオでは、これは2050年までに年0.6%に鈍化する。一方、エネルギー転換シナリオでは、エネルギー需要の成長率はマイナスに転じ、2050年まで年0.2%のペースで低下する(図1.5)。



再生可能エネルギー電力の拡大は、世界のエネルギーシステムの脱炭素化に不可欠である。世界のエネルギー転換に見られる最も重要な相乗効果は、再生可能エネルギー発電技術のさらなる低コスト化と、運輸部門、熱供給部門、水素製造部門における最終用途の電化によってもたらされる。必要なペースと規模でエネルギー転換を実現するためには、2050年までに電力部門の脱炭素化をほぼ完了させる必要がある。エネルギー転換シナリオでは、電源構成に占める再生可能エネルギーの比率が2050年までに86%に到達する(図1.6)。最終消費の側を見ると、最終エネルギー消費に占める電力の比率は、現在わずか20%であるが、2050年までにほぼ50%に拡大する。産業部門と建築物部門の消費電力量に占める電力の比率は倍増する。運輸部門におけるこの比率は、現在わずか1%であるが、2050年までに40%超まで拡大する。

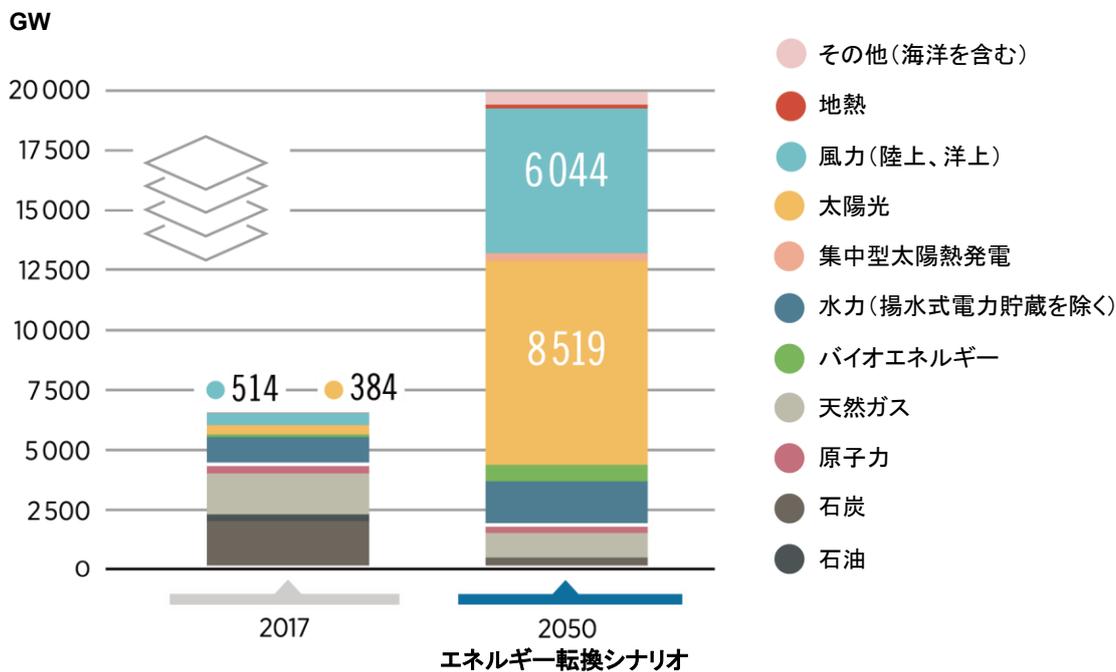
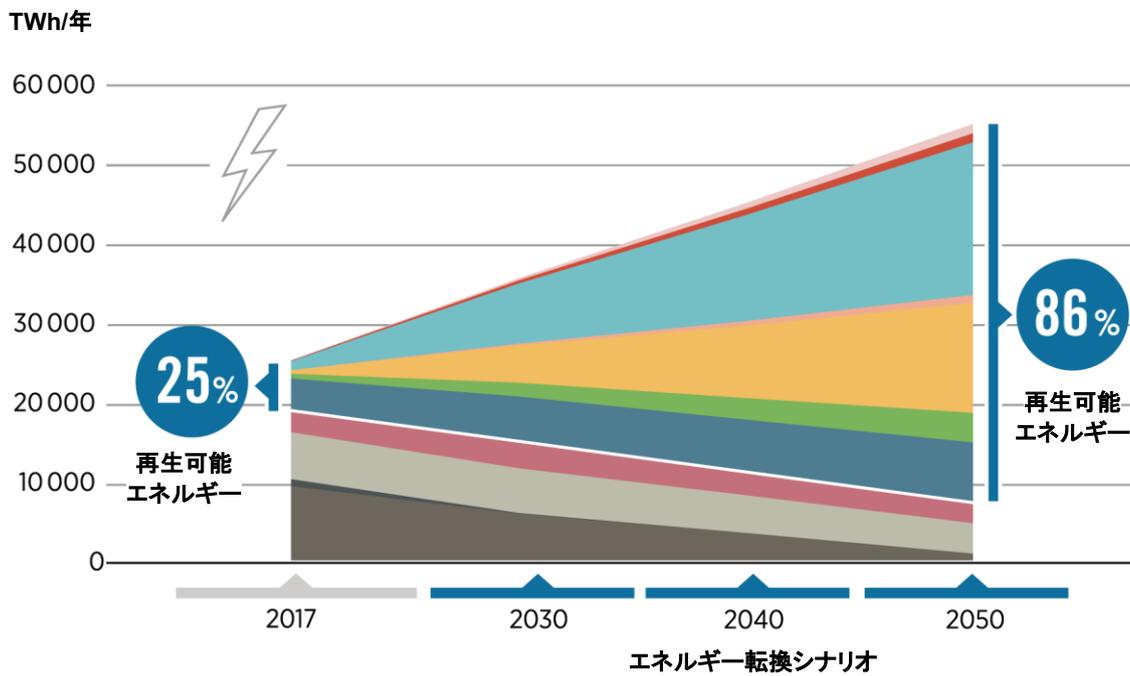


太陽光発電と風力発電は、世界の電力部門の変革を主導する。風力発電は主要な電源となり、総電力需要の3分の1以上を供給する。太陽光発電がそれに続き、総電力需要の25%を供給する(図1.6)。これは、2050年の電源構成に占める太陽光発電の比率が2017年の10倍以上に拡大することを意味する。2050年までに必要な総設備容量の拡大という点では、太陽光発電(8,519 GW)のほうが風力発電(6,044 GW)よりもはるかに大きな拡大が必要である。

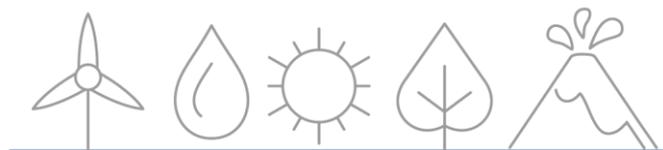
水力発電は、未来のエネルギーシステムに重要な相乗効果をもたらす。たとえば、水力発電は、変動性再生可能エネルギー(VRE)の導入率拡大を促進するうえで重要な役割を果たす。エネルギー転換シナリオでは、水力発電の設備容量は2050年までに現行の水準から3分の2拡大して、2,147 GWに達する。言い換えれば、今後30年間で約850 GWの新規設備容量が必要になる。なかでも揚水式電力貯蔵を2倍以上の325 GWに増強し、貯蔵とエネルギー柔軟性を提供する必要がある。新規容量のほか、600 GWを超える老朽化が進む既存の水力発電設備を改修する必要があると推定される。これは水力発電設備の近代化を図る絶好の機会であり、それによって柔軟性を強化し、変動性再生可能エネルギー部門を支えることができる。

また、水力発電は河川流量を調節し、洪水を抑制するという追加的役割も果たす。水力発電の設備容量を拡大する手段は、ダムの新設だけではない。既存発電所のタービンやシステムの更新、非発電用ダムの発電利用といった選択肢がある。新規の水力発電所を建設する場合、計画者は、地域の環境への影響を考慮し、関係する地域コミュニティとの対話を行う必要がある。水力発電所は、電力系統の変化するニーズを反映した運用上の変革が必要である。これには、より急速かつ頻繁な出力調整、気候変動が水供給量や貯水池の貯水必要量に及ぼす影響評価といった計画立案実務などが含まれる。水力発電ダムは計画サイクルが長期にわたるため、政策立案者と計画者は今から新規プロジェクトについて考え始める必要がある。有効な政策、市場条件、共通の投資枠組み、周到に準備されたプロジェクトがあれば、水力発電は、今後数十年における重要な技術のひとつになると考えられる。

図 1.6 2050年までの太陽光発電、風力発電、その他の再生可能エネルギー発電
2017年～2050年の発電電力量と設備容量の電源別内訳



注：2017年の現行計画シナリオおよびエネルギー転換シナリオ(IRENA)における値はIEA(2019b)に基づく。



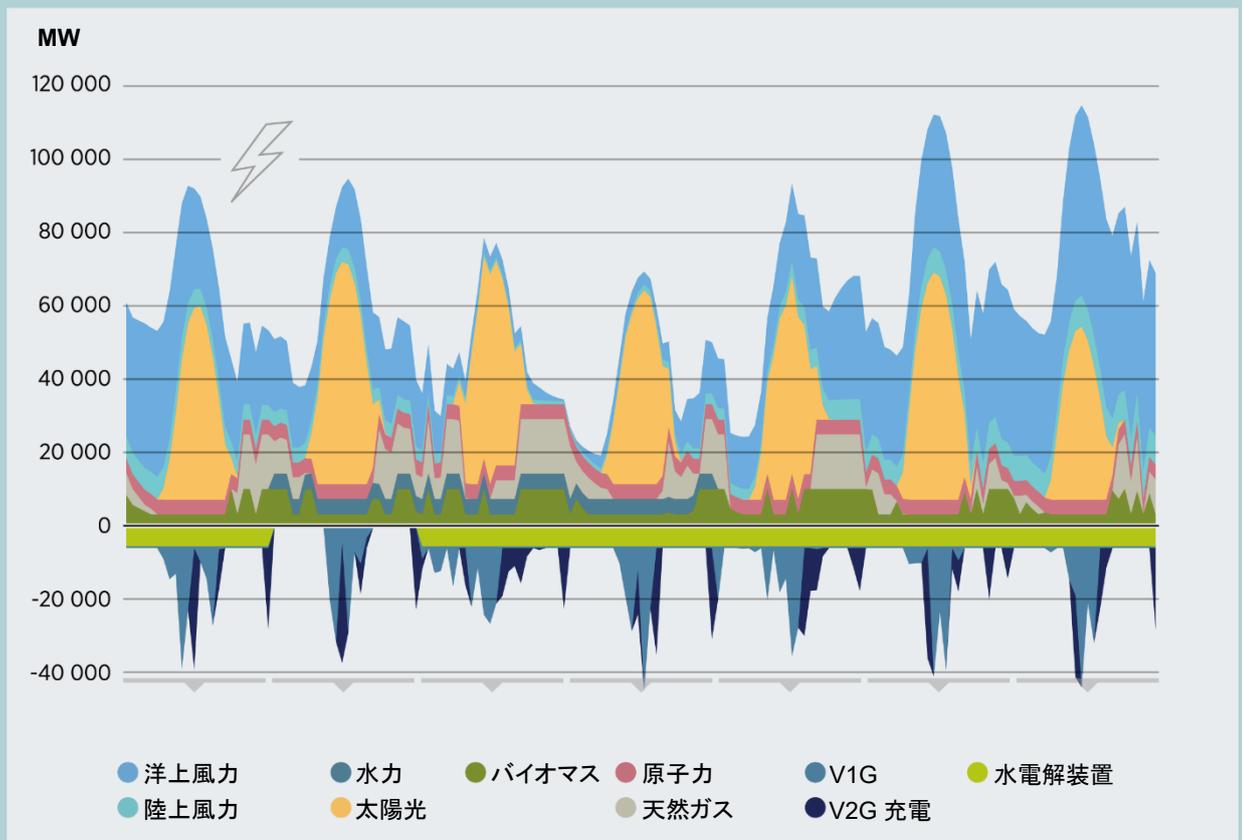
ボックス 1.3 エネルギー転換における電力系統柔軟性の概要

IRENA では、世界の電力系統の運用に関する更なる分析を行い、2050 年の電力系統について IRENA のエネルギーシナリオに基づく知見を提供するために、2050 年を想定したエネルギー転換シナリオで検討した電力系統に対する系統シミュレーションが行われている。

全世界の電力系統 (G20 諸国については国ごと、それ以外は本報告書で用いた地理的区分に沿った地域ごと) について、1 時間単位の系統シミュレーションを行った。それとともに、国/地域ごとの再生可能エネルギー資源と需要の特性を分析したほか、ユニットコミットメント、最低安定負荷や出力変化速度といった発電機の送電制約についても分析を行った。これにより、当該電力系統の機能を、ユニットサイクリング、システム出力調整、VRE の出力抑制といった点から検討し、図 1.7 に示すとおり、電力系統におけるさまざまな柔軟性供給源がシステムの運用にどのように貢献するかを評価することが可能になる。

図 1.7 2050 年における 1 時間単位の系統シミュレーション：システム柔軟性には大きな課題なし

太陽光発電と風力発電の導入率が高い 2050 年の英国の電力系統においてそれぞれの発電・貯蔵方式が需給バランスにどのように貢献するかを示す 1 週間の系統シミュレーション



IRENA の分析に基づく。

訳注: V1G は系統から EV へ方向の電力の供給、V2G は系統と EV 双方向の電力の供給を意味する。

分析の結果、いずれの国または地域の電力系統においても重大なエネルギー供給不足につながるマクロ的な柔軟性の課題はなく、VRE（風力発電や太陽光発電）の出力抑制は限定的であることがわかった。この結果は有望なものである一方、ローカルレベルの送電制約がないことを前提としたモデル分析の範囲内で考えなければならない。一部の国ではそのような制約が既に問題となっているからである。このように大きな区分でモデル化する場合、本質的にVREの出力抑制やエネルギー供給不足は過小評価され、程度がかなり深刻な場合のみモデルに登場する。これを補完するため、本解析では揚水発電による電力貯蔵を考慮に入れなかった。ローカルレベルの送電制約がないと想定した場合、既に存在する大規模な揚水発電の設備容量とエネルギー転換シナリオで想定される追加容量を高度に利用すると過剰に楽観的な結果が導き出されるからである。

出力抑制が少なく、供給不足がわずかな電力系統を実現するための主な柔軟性供給源は、EVの大量導入とスマート充電およびV2G（Vehicle-to-Grid）設備の併用、水電解装置を用いた水素製造、蓄電池貯蔵、デマンドレスポンスである。上記のようなさまざまな柔軟性の選択肢の相互作用が不可欠である。相補的なもの（蓄電池と水素など）もあるが、本報告書の分析で示されたとおり、大部分は、V2G、デマンドサイドマネジメント、蓄電池のように互いに競合するものである。本解析では、エネルギー転換は、単なる技術の導入ではなくさまざまな技術の統合を必要とすることを示している。

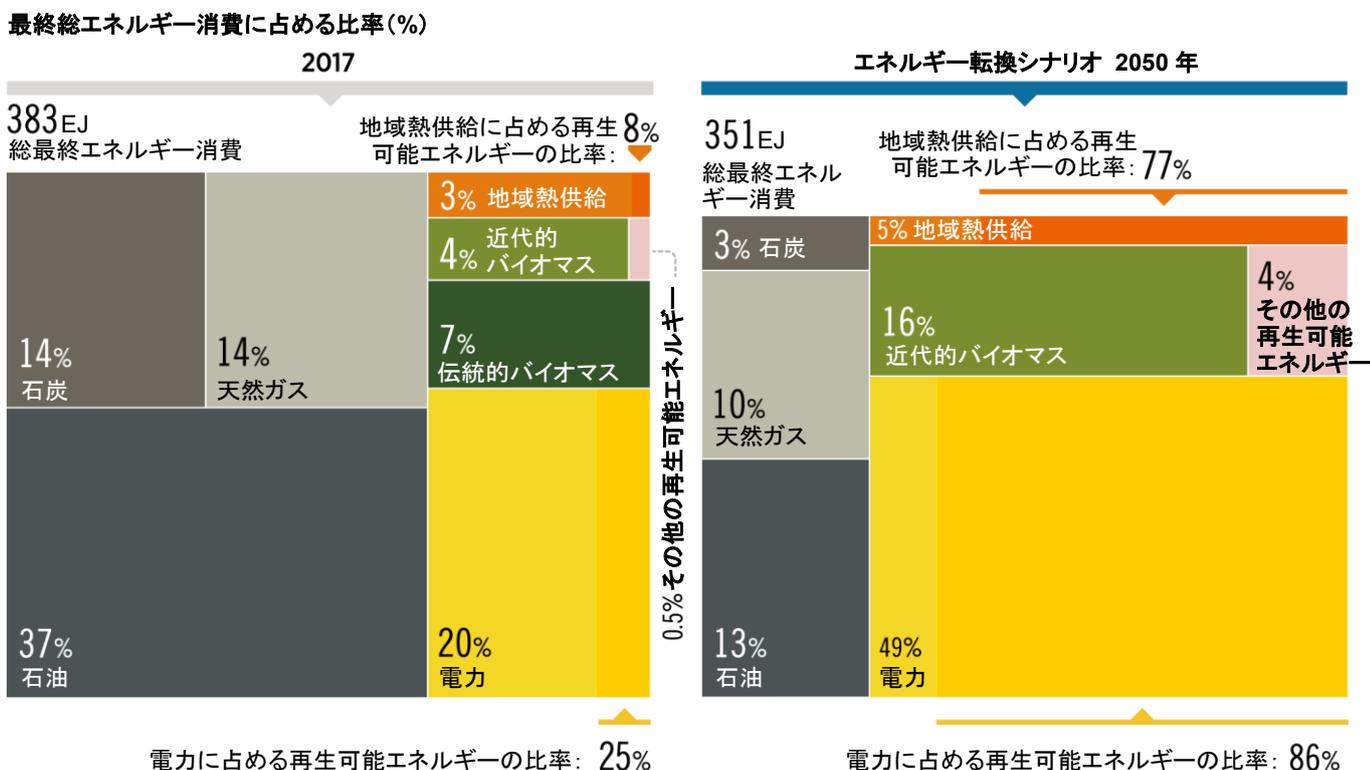
本解析結果では、2050年に向けたパリ協定目標に沿った運用可能な電力系統を実現する最も実務的なソリューションは、現在利用可能なものであることが明らかにしている。候補として挙げられているソリューションの一部（例えば、低慣性/合成慣性の運用）について、先進的な国々においてさまざまな技術が試みられている。しかしエネルギー転換シナリオのさらに先に進み、電力系統の再生可能エネルギー導入率を86%から100%に引き上げる際には、さらなる課題が生じる可能性がある。完全に脱炭素化した電力系統を実現するには、このギャップを埋める新たなソリューションが必要であり、そのいくつかは既に議論されている（再生可能エネルギー由来のグリーン水素を用いた季節間貯蔵など）。

IRENAのモデルに基づく解析は、電力系統用商用ソフトウェア PLEXOS を用いて行われたもので、パリ協定に沿った電力系統が柔軟性によっていかに運用可能となるかを示している。また、その運用はどのようなものになりうるかを、市場や規制の設計、分散型電源のリアルタイムに近い制御など、そのような電力系統の実現に向けて考えられる課題を可視化することによって示している。

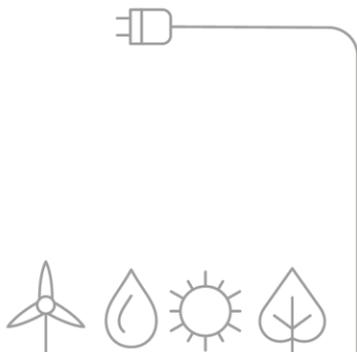
主に再生可能エネルギーによる電化と再生可能エネルギーの直接利用により、最終総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率も大幅に拡大する。現行計画シナリオでは、最終総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は、2017年の17%から2050年までに25%に拡大し、エネルギー転換シナリオでは、それを大きく上回る66%を想定している。つまり、その全体の比率を1年目に17%から18.5%に拡大し、その後徐々に増加し2050年に66%に到達するためには、再生可能エネルギーの比率がパーセンテージポイントにして6倍以上速いペースで拡大(現行計画シナリオでは約0.25ポイント/年であるのに対し、ほぼ1.5ポイント/年に増加)することが必要とされる(図1.8)。

図 1.8 再生可能エネルギー：2050年までに世界最大のエネルギーキャリアに

2017年とエネルギー転換シナリオにおける2050年の最終総エネルギー消費(EJ)のエネルギーキャリア別内訳



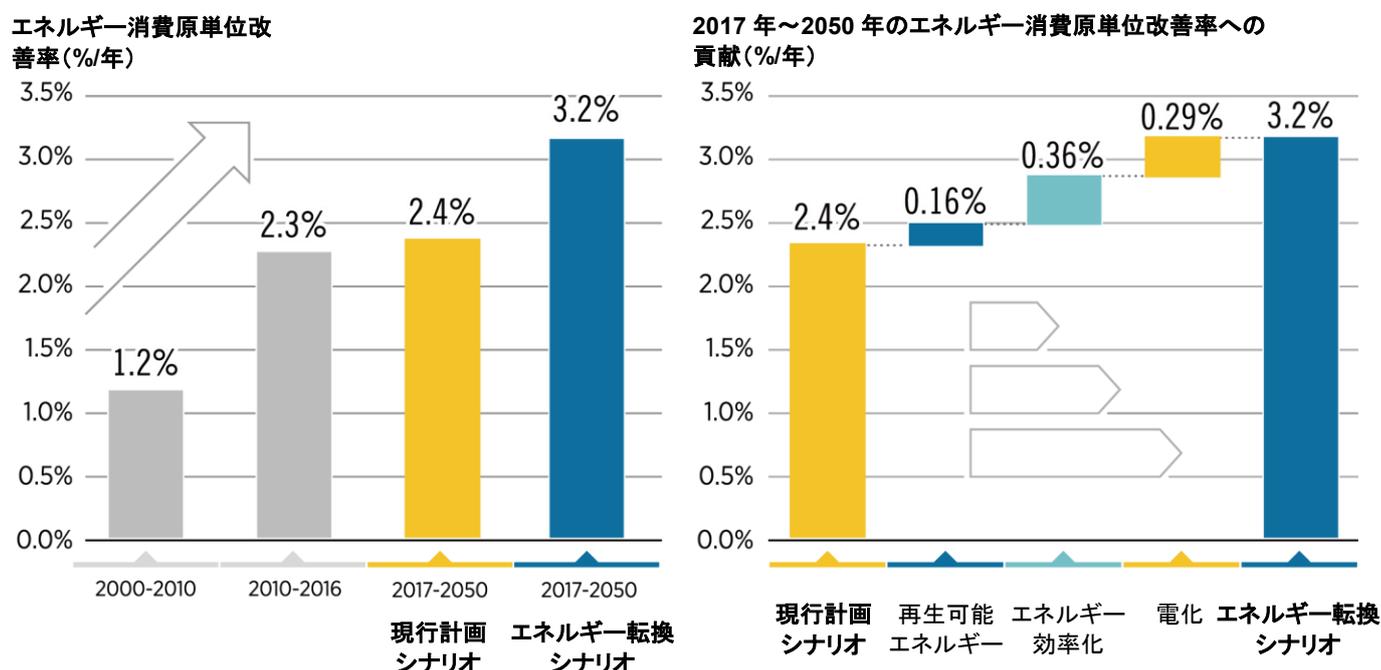
注：2017年のエネルギー転換シナリオ(IRENA)の値はIEA(2019b)に基づく。



エネルギー転換シナリオでは、世界経済のエネルギー消費原単位は2050年までに3分の2低下する。近年では、エネルギー消費原単位は毎年約2.3%のペースで改善している。しかし、この改善率は2018年では1%強であったと推定される。とはいえ、計画エネルギーシナリオでは、改善率が年間2.4%に加速すると予測されている。エネルギー転換シナリオでは、エネルギー消費原単位改善率は年3.2%となる(図1.9)。エネルギー消費原単位の改善は、電化、再生可能エネルギー、エネルギー効率化によって促進される。

図1.9 エネルギー消費原単位改善率：毎年3.2%の改善が必要

エネルギー消費原単位改善率と2017年～2050年の計画エネルギーシナリオとエネルギー転換シナリオの差の内訳



注：エネルギー消費原単位改善のグラフに示した内訳は、それぞれの技術的選択肢の下での電力部門と最終消費部門における対策の総和を表す。「再生可能エネルギー」は、再生可能エネルギー技術の電力部門における導入(風力発電、太陽光発電など)と最終消費部門における直接利用(太陽熱など)に関連して達成されたエネルギー消費原単位改善を表す。「エネルギー効率化」は、産業部門、建築物部門、運輸部門に導入された効率化策(建築物の断熱性向上、省エネ電化製品など)を含む。また、エネルギー効率化には、モードシフトを伴う構造改革も含まれる。たとえば、サービス部門は他の産業部門と比べてエネルギー消費が少ないが、GDPに占める比率は拡大する。「電化」は、ヒートポンプやEVの導入といった熱供給や輸送用途の電化を表す。現行計画シナリオでも既に構造的変化による一部の改善を考慮に入れているが、エネルギー転換シナリオではさらなる削減が達成される。

IRENAの分析に基づく。



ボックス 1.4 再生可能エネルギーによる電化： エネルギーサービスの変革を促進

気候変動に取り組み、持続可能な開発を行うという喫緊のニーズを満たすため、広範囲にわたるエネルギー転換が必要である。このエネルギー転換では、増加する安価な再生可能エネルギー電力の十分な活用を可能にする「スマートな」デジタル技術を併用することで、クリーン電力が主要なエネルギー源となる。

再生可能エネルギーによる電化は、需要部門（電力、運輸、産業、建築物）における導入や利用方法を調整することによって、電力利用の大幅拡大と再生可能エネルギー発電の相乗効果を引き出すことができる。再生可能エネルギー、特に風力発電と太陽光発電のコストは急速に低下し続けており、設備コストのさらなる低下と性能の継続的向上により、さらに低下すると見込まれる。そのため、これらの技術は、すべての化石燃料電源に対して競争力を持つようになっている。

電力は、エネルギーキャリアとして融通が利く特性があり、ほぼすべての最終用途に利用できるため、エネルギー部門を脱炭素化するための低コストの選択肢となる。それと同時に、再生可能エネルギーによる出力はその時の天候条件によって変動するため、VRE を大量導入した電力系統は運用上の課題が増す。

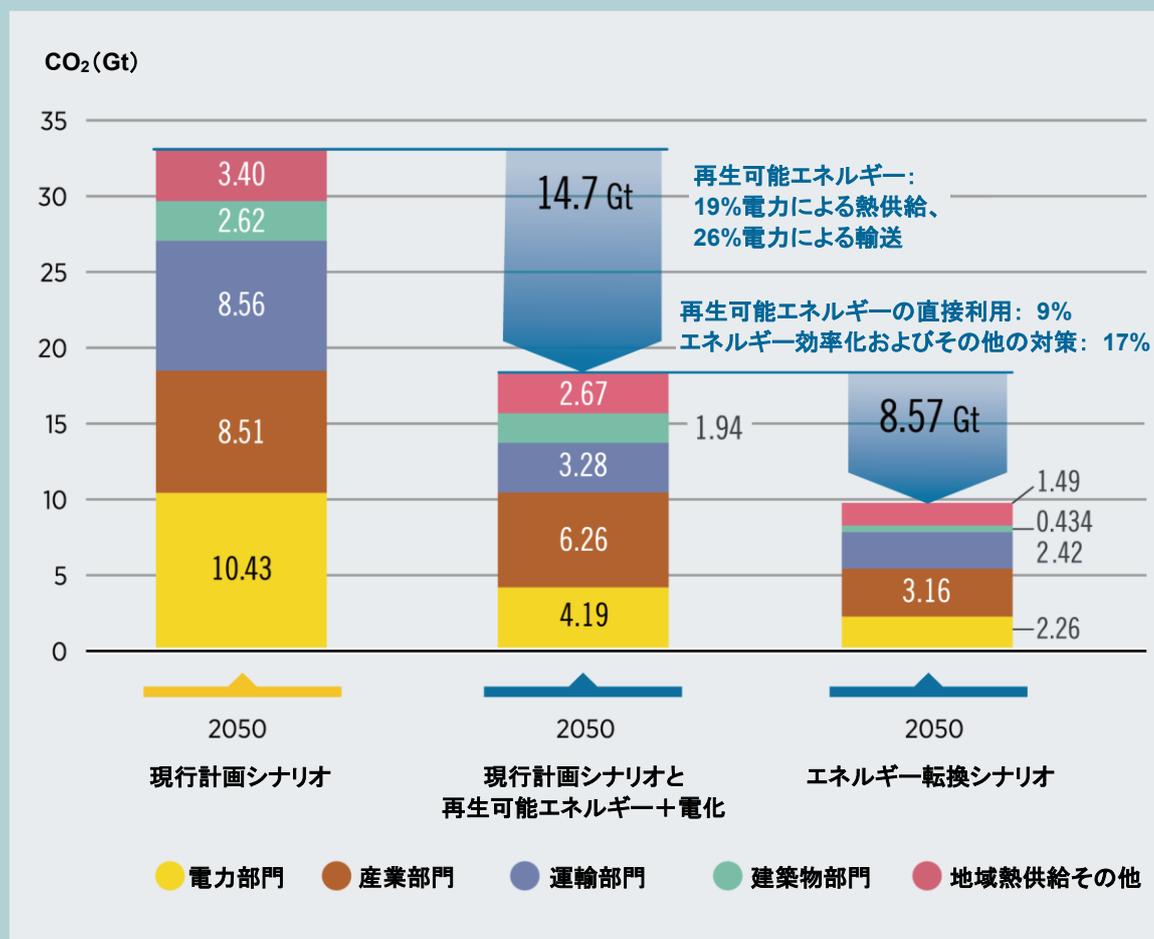
再生可能エネルギーによる電化戦略は、このような新たに浮上する運用上の課題を解決するために、電力系統の発電サイドの枠を超えて、利用可能なあらゆる柔軟性供給源を活用することを視野に入れている。これには、スマートデジタル機器の使用、IT 技術、能動的なデマンドサイドマネジメント、エネルギー貯蔵、系統連系、電力の変換・貯蔵（power-to-X）技術などがある。したがって、再生可能エネルギーを用いたスマート電化は、電化が再生可能エネルギーの新たな利用と市場を促進し、それが最終消費における電力への切り替えを加速して、さらなる柔軟性を創出し、ひいては再生可能エネルギーのさらなる拡大と技術革新を促進するという好循環をもたらす。また、拡大とイノベーションによってコストが低下し、さらなる投資機会とビジネス機会が生じる。

また、セクターカップリングが気候目標に大きく貢献する可能性がある（BNEF, 2020）。イノベーションの全体像に関する IRENA の調査では、セクターカップリングが VRE の系統連系に向けた新たな柔軟性の機会を切り開くことを示している（IRENA, 2019j）。

再生可能エネルギーへのシフトにより、電力部門の CO₂ 排出量を現行計画シナリオよりも 64%削減できる可能性があり、最終需要部門の大規模な電化により、建築物部門、運輸部門、産業部門の排出量をそれぞれ 25%、54%、16%削減できる可能性がある。その結果、図 1.10 に示したとおり、再生可能エネルギーによる電化の全体的影響として、エネルギー部門の総排出量が現行計画シナリオと比べて 60%以上減ると見込まれる。さらに、再生可能エネルギーの直接利用（熱供給における太陽熱利用、輸送におけるバイオ燃料利用など）と効率化策を加えることによって、90%を超える排出量削減を達成する可能性があり、パリ協定で定めた「2 °C より十分低い」気候目標を満たすことができる。

図 1.10 再生可能エネルギーによる電化：2050年のエネルギー関連のCO₂排出量の60%を確保する

再生可能エネルギーによる電化と他の削減策を比較した場合のエネルギー転換シナリオにおける2050年のCO₂排出削減量への貢献度



IRENA の分析に基づく。



ボックス 1.5 EV のスマート充電



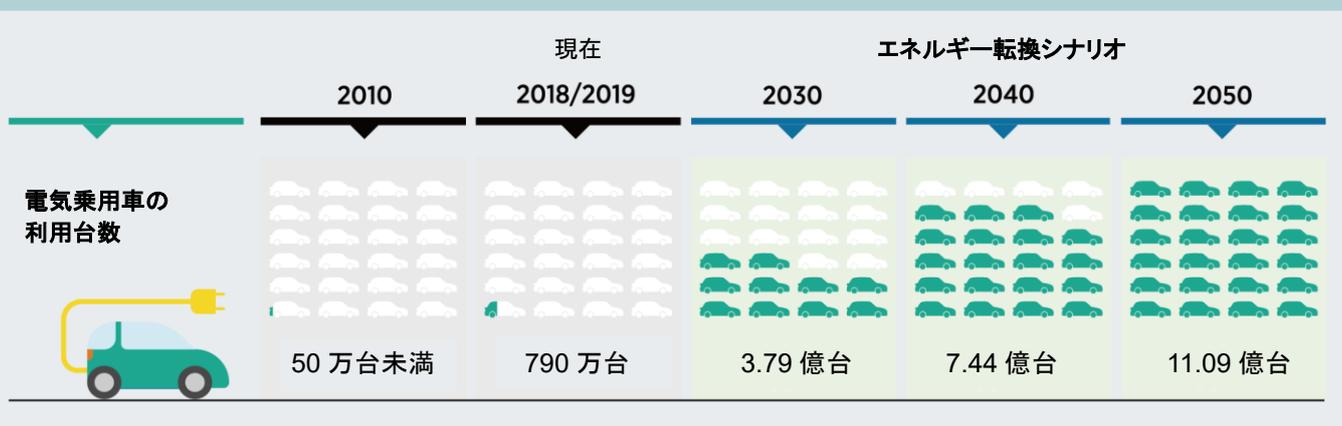
EV の登場は、世界が持続可能なエネルギー、特に再生可能エネルギー発電に移行するためのゲームチェンジャーになると期待される。運輸部門を変革するだけでなく、EV は、電源構成全体における再生可能エネルギーの導入率を大幅に高める実行可能な機会をもたらす。そうなれば、運輸部門の脱炭素化とともに、大気汚染や騒音の低減、燃料輸入への依存軽減、新方式の都市交通の採用という、(特に都市にとって)非常に興味深い見通しがもたらされる。

再生可能エネルギー発電の着実な低コスト化により、電力は運輸部門の燃料として魅力的な低コストのエネルギー源となる。また、EV の導入を拡大することによって、電力系統にも発展の機会がもたらされる。電力系統が切望している柔軟性を高め、再生可能エネルギーの大量導入を支えることが期待できるからである。

EU など一部の地域は、運輸部門の電化を強力に推進している。一部の EU 諸国は、2030 年～2040 年までに内燃機関の販売を段階的に廃止するという意欲的な目標を掲げている。さらに、2019 年 4 月、欧州議会および理事会は、2020 年より後の域内における新車の乗用車および小型商用車の CO₂ 排出性能基準を定める規則 (EU) 2019/631 を採択した。2021 年より、EU で販売される新車全体の平均 CO₂ 排出量の目標は 95 g/km となる。EV は、現在この上限を満たすことができる唯一の選択肢であるが、EV の充電は再生可能エネルギーでなければならない。したがって、EV の導入を拡大するとともに、電源構成における再生可能エネルギーの普及をいっそう加速する必要がある。

図 1.11 低コストの輸送用電力

エネルギー転換シナリオにおける 2010 年～2050 年の EV の総数(台)



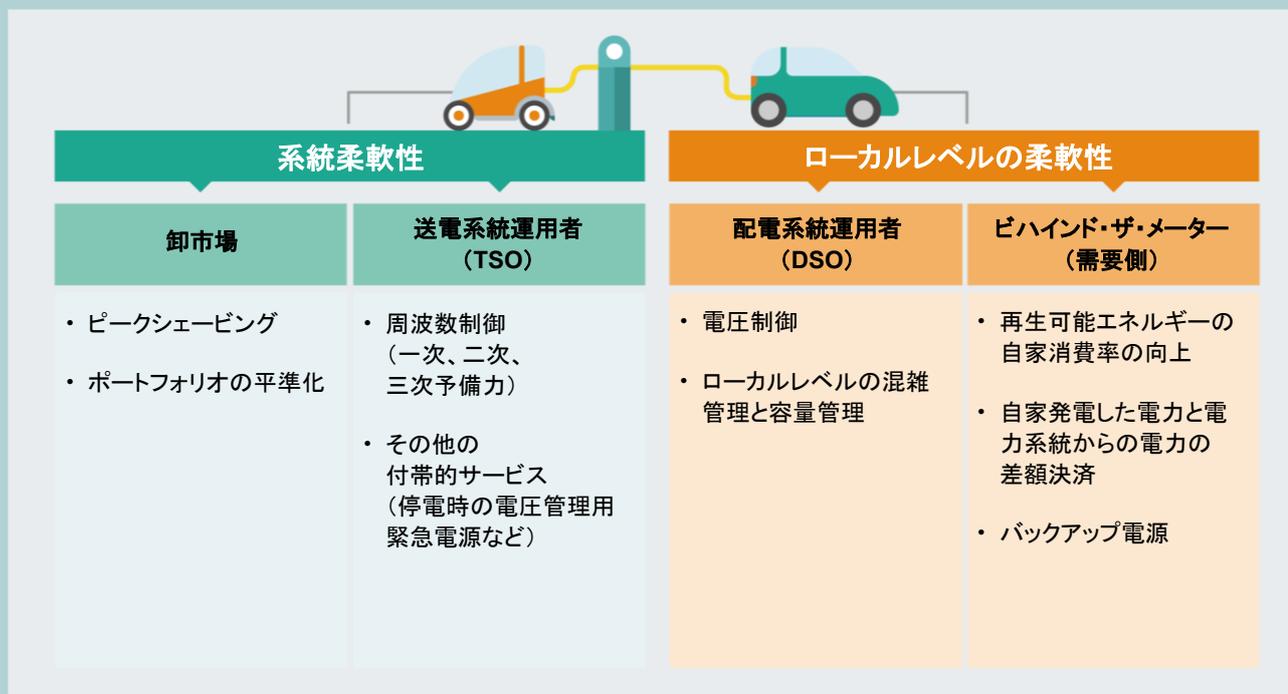
注：2019 年のデータは Spiegel (2020) に基づく。

現在、EVも含めた自動車は一般的に、停車している時間が製品寿命の約95%を占める。この駐車時間と蓄電池貯蔵の容量を組み合わせることで、EVは電力システムにとって魅力的な柔軟性ソリューションとなりうる。個々のEVは、マイクログリッドに連系する貯蔵ユニットとなって電力システムにさまざまなサービスを提供できるようになる可能性がある。一方、統制されていない充電はピーク需要に重大な影響を及ぼすおそれがある。朝や夕方にEVの充電が同時に、統制されることなく行われれば、配電システムへの負荷を増加させ、ピーク負荷を増大させる可能性がある。総電力需要の増加はわずかでも、負荷が増大すれば、現地の電力システムを増強するために大規模な投資が必要になる可能性がある。したがって、ダイナミックプライシングとデジタル技術によって充電サイクルを調整するスマート充電の方法が不可欠である。それにより、EVを導入するために必要な配電システムへの投資が、国や系統の状況によって40～90%の間で削減されると考えられる。



図 1.12 スマート充電：EVによるシステムレベルの柔軟性とローカルレベルの柔軟性

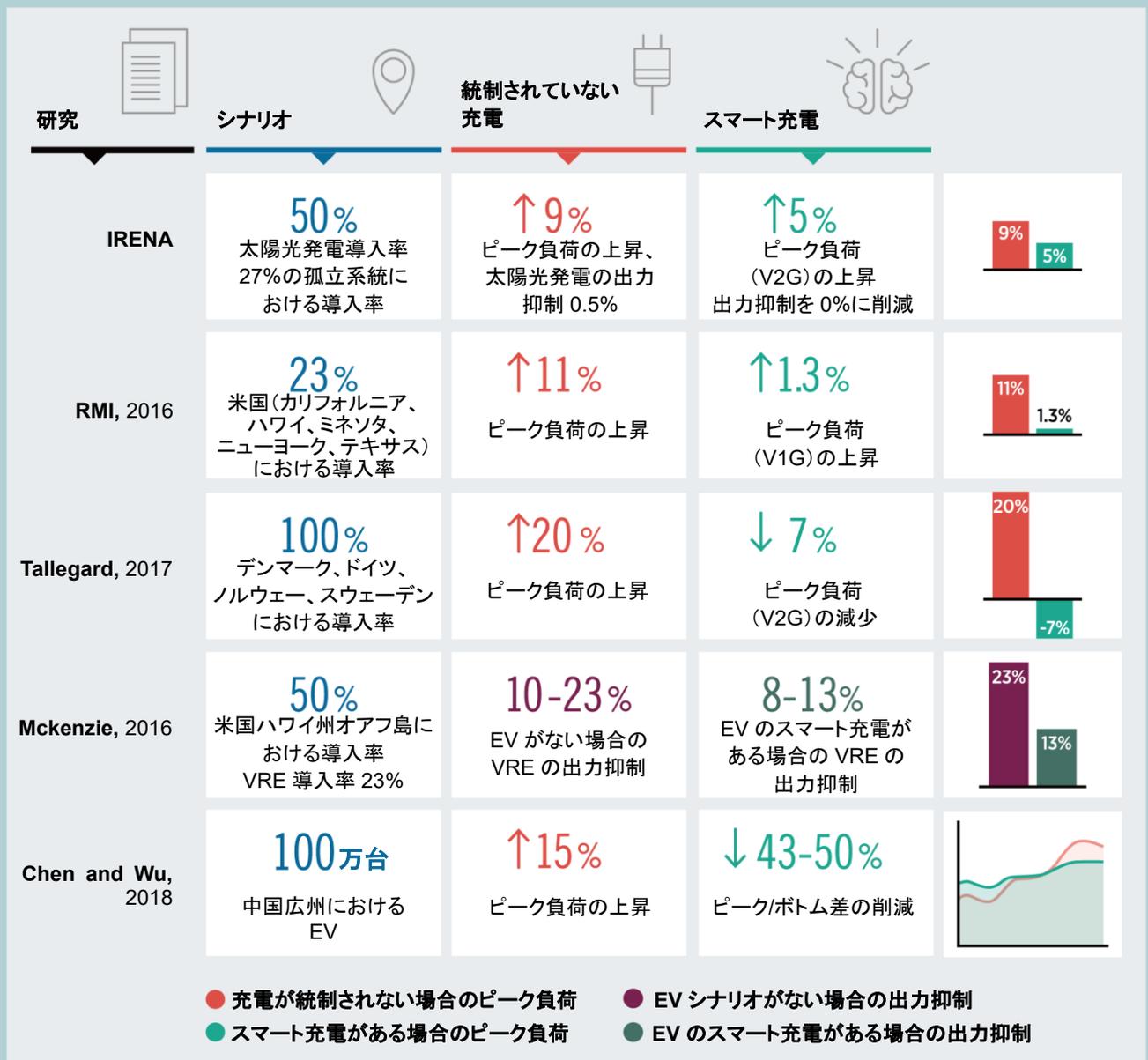
EVが提供するさまざまな柔軟性サービス



出所：IRENA (2019j)

ボックス 1.5 EV のスマート充電 (続き)

図 1.13 EV のスマート充電を実現する技術、ビジネスモデル、規制の枠組み
EV のスマート充電が電力系統に及ぼす影響



出所: IRENA (2019j)

スマート充電は、系統レベルとローカルレベルの両者に柔軟性を提供すると考えられる。系統レベルでは、スマート充電は卸市場の需給調整を促進する可能性がある。スマート充電のタイプによっては、EV の充電パターンを制御してピーク需要を低減し、ボトム時に負荷を配分し、充電量を調整することで電力系統のリアルタイムの需給調整を支援することができる。また、EV は、電力系統に電気を戻すことによって送電系統運用者 (TSO) にアンシラリーサービスを提供することも可能である。ローカルレベルでは、スマート充電は配電系統運用者 (DSO) が混雑を管理するために役立ち、需要家が自らのエネルギー消費を管理して、再生可能エネルギーの自家消費率を高めるためにも役立つ。

EV のスマート充電における新たなイノベーションは、技術だけでなく、ビジネスモデルと規制枠組みにも及ぶ。これらは、再生可能エネルギーを導入しつつ系統混雑を回避するために重要な役割を果たす。スマート充電インフラを促進するインセンティブは実施されているが、実際の導入は市場インセンティブによって決まる。EV の可能性は膨大である。EU では、利用されている車載蓄電池の電力貯蔵容量が 2025 年までに全発電機の最大設備容量の 3 分の 1 以上に達する可能性がある。

EV のスマート充電に関する IRENA のイノベーション展望は、VRE 電源 (太陽光発電、風力発電) と EV の相補関係の可能性を探求し、21 世紀半ばまでにどのようにその可能性をスマート充電によって実現するかを検討している (IRENA, 2019j)。





ボックス 1.6 バイオエネルギー

バイオエネルギーは、現在利用されている再生可能エネルギーの大部分を占めており、世界の再生可能エネルギー供給量の 70%、一次エネルギー総供給量の 10%を占めている。バイオエネルギー利用に占める比率が最も大きいのは産業部門である。バイオエネルギーの約 4 分の 1 が運輸部門で利用され、その大部分はサトウキビやトウモロコシといった穀物由来の液体燃料である。残りは、木材やわらなどの原材料を燃焼させることによって、調理、熱供給、電力に用いられる。

バイオマスによる調理は主に、途上国において近代的エネルギー部門の外で行われている。効率性の低い伝統的な調理用ストーブに固形燃料や灯油を使うことにより屋内に煙が発生し、主に女性と子供の健康を害し、毎年 400 万人近くの早期死亡をもたらしている。かまどで使用される薪の多くは、地元の森林から持続可能ではない方法で採取されており、森林破壊と森林劣化の大きな促進要因となっている。したがって、有害な調理方法をやめ、改良された調理用ストーブと木材、バイオガス、エタノールといった持続可能な方法で製造された燃料を使用する、クリーンで効率性の高い近代的なエネルギー利用システムを採用する必要がある (IRENA, 2017a)。

バイオマスによる熱供給は、産業向けの高温プロセス熱と、住宅、集合住宅、オフィスビル向け暖房熱の両者を含む。農産物加工産業は、農作物残渣から熱を得る。一方、木材、パルプ、製紙産業は、森林の木材残渣から熱を得る。建築物部門は、いずれも木質チップやペレットなどの原料を非常に効率的に利用する、自治体規模の地域熱供給システムまたは建築物規模の焼却炉によって熱を得る。また、既存の森林をより適切に管理することによって、たとえば 20 世紀の間に樹木が倍増したスウェーデンに見られるように、木材生産量を大幅に拡大する可能性がある (IRENA, 2019k)。

バイオマス発電は、ほとんどの場合熱電併給(コージェネレーション(コジェネ), CHP)システムによって行われる。これらは、農業や林業に由来する幅広い原料を用いて 100%近い効率で運転するよう設計することができる (IRENA, 2018b)。また、バイオマス発電は比較的柔軟性が高いため、変動性のある風力発電や太陽光発電の導入率が高い電力系統の経時的な出力調整に役立てることができる。

パルプ、製紙、木材・材木、食品加工、バイオ燃料などの生物由来産業において生成されるバイオマス残渣は、有効活用を模索すべき重要なニッチ分野である。これらの部門では通常、エネルギー生産に利用できるバイオマス資源が大量に生成される。この分野の先進的な事業者は、既にかかなりの程度バイオマス資源を活用しており、その大部分は単独用途またはコージェネレーションシステムによって発電や熱製造に用いられる。それ以外の利用しにくいバイオマス資源は、多くの場合まったく利用されない。そのような場合、この追加的なバイオマス利用を促すインセンティブを提供する特別な政策が必須である。

バイオマス由来の輸送燃料は、世界経済の脱炭素化に不可欠であると考えられる。輸送部門の電化は大きく進展すると考えられるが、それはすべての場所、すべての部門で同時に起こるわけではない。したがって、今後数十年にわたってバイオ燃料への大きなニーズが続くと考えられる。EV は小型車が主流になり、ますます再生可能エネルギーを電源とするようになっていくと考えられるが、電力

系統と充電インフラが十分発達している場合に限り、市場に参入することができる。また、車両が入れ替わるには 20 年かかる。長距離大型トラック、海洋船舶、航空機は、高いエネルギー密度を必要とするため、完全に電化されることはないと予想される。したがって、当面の気候対策としてはあらゆるタイプのバイオ燃料を、より幅広く導入する必要がある (IRENA, 2020b)。先進的バイオ燃料の導入を拡大するには技術的課題や制度的課題が残るが、従来型のバイオ燃料 (サトウキビ由来のエタノールなど) については、アフリカにおいて生産能力を大幅に増強できる可能性がある (IRENA, 2019l)。

バイオエネルギーは、環境的、社会的、経済的に持続可能な方法で調達することが望ましい。 熱帯雨林を侵食することなく、また、増え続ける食糧需要を満たした余剰分において、既存の農地や草地からコスト効率の高いバイオエネルギーを生産する大きな可能性がある。二酸化炭素を (直接または間接的に) 放出する土地利用変化を伴わない有望な方法としては、食用作物の収量性向上または食品廃棄の削減により利用可能になった土地、休耕地、あるいは食用作物の栽培が禁止されている汚染地でエネルギー作物を栽培することなどがある。これには、家畜糞などの農業廃棄物や都市廃棄物からのバイオガスも含まれており、それによりメタン排出量を削減することができる。食用作物残渣や林業残渣も、土壌の肥沃化や生物多様性の保全に十分な残渣を残したうえで、これまで以上に活用することが可能と思われる (IEA, 2017; IRENA, 2016b)。

バイオエネルギーは、食糧供給の強化と劣化した土地地の再生に相乗効果をもたらす。 アグロフォレストリー方式は、農業者が植林を行うことにより、窒素を固定する木質作物が樹下栽培される食用作物に自然の肥料を提供するという素晴らしい可能性を持っている (IRENA, 2019k)。劣化した土地に短期輪作木質作物を栽培することにより、食用作物の栽培や他の土地利用方法を制約することなくエネルギー安全保障を強化する、土地の生産性を大幅に向上させる、追加的な金銭的インセンティブを提供することで結果的に土地再生努力が成功する可能性を高める、女性や子供が長距離を歩いて薪拾いをする負担を軽減する、雇用と所得を創出して貧困を削減するなど、いくつもの社会経済的・環境的便益をもたらされる (IRENA, 2017b)。

先進的バイオ燃料は、安定した規制と技術発展を必要とする。 低炭素運輸部門への道筋でバイオ燃料の莫大な需要を満たすには、推定で年間 200 億ドルを超える規模の投資が必要とされる。必要な水準まで投資を増大させるうえで最も重大な障害のひとつが、規制の不確実性である。その他の障害には、コストに対する資金調達やその調達の可能性、他の燃料より高いバイオ燃料の生産コストなどがある (IRENA, 2019m)。



最終エネルギー消費のほぼ半分が電力によるものだとしても、燃料やその他のエネルギーの直接利用がいまだにエネルギー需要の半分以上を占めると見られる。運輸部門と産業部門では、電力が占める比率は 2050 年までに約 40%に拡大すると見込まれるが、エネルギーの大部分は依然として燃料によると考えられる。

近代的バイオエネルギーは、大幅な拡大が実現すれば、エネルギー転換において極めて重要な役割を果たしうる。液体バイオ燃料やバイオマスペレットといった近代的バイオエネルギーの利用量は近年増えているが、拡大のペースはエネルギー転換の要件を支えるには不十分である。より強力かつ集中的な努力が、特にバイオエネルギーが主要なソリューションとなりうる部門(船舶、航空、各種産業用途)において必要とされる。エネルギー転換シナリオでは、近代的バイオエネルギーの一次需要は、2016 年の約 30 EJ から 2050 年までに 125 EJ に拡大すると見ている。液体バイオ燃料の消費量は、2016 年の 1,290 億ℓから 6,520 億ℓに拡大すると考えられる。

バイオエネルギーの生産には、農業残渣、林業残渣、都市ごみなど、持続可能かつ安価な原料が必要である。効率性の低い伝統的な調理用ストーブは屋内に煙を発生させ、主に女性と子供の健康を害する。ストーブに用いる薪の大部分は、地元の森林から持続可能でない方法で採取される。これらを止め、クリーンで効率性の高い調理用ストーブを採用する必要がある。これらのストーブは持続可能な方法で生産された木材やエタノールを燃料としなければならない。アグロフォレストリー方式は、農業者が植林を行うことにより、窒素を固定する木質作物がそれらの側で栽培される食用作物に自然の肥料を提供するという優れた可能性を持っている。



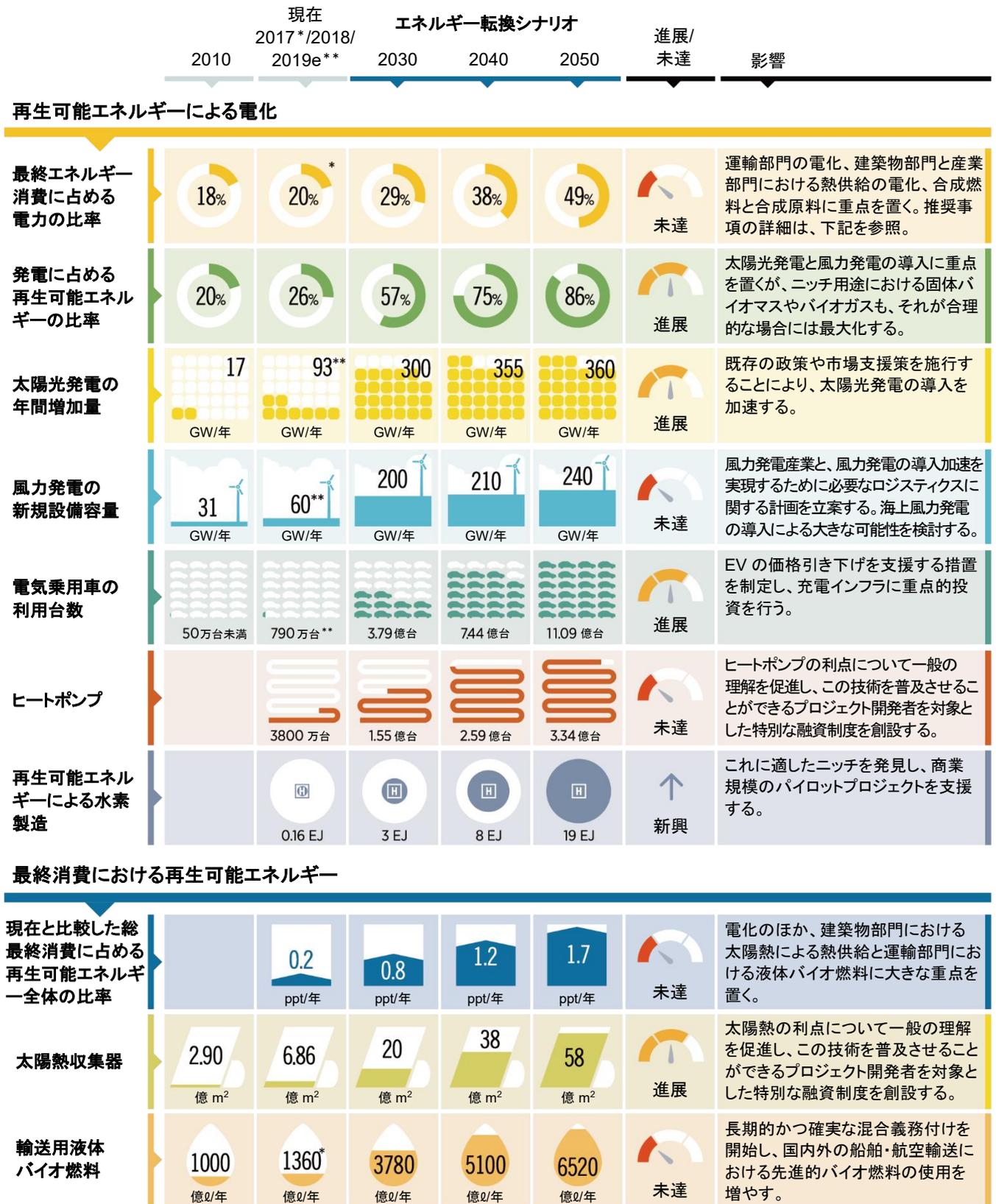
再生可能エネルギーとエネルギー効率化は、熱供給と輸送用途の電化とともに、持続可能なエネルギーの未来を実現する重要な要素である。2050年までに、再生可能エネルギー（再生可能エネルギー源により発電された電力も含む）は運輸部門と建築物部門の中心的な燃料となり、これらの部門の最終総エネルギー消費に占める比率はそれぞれ57%、81%に達する。産業部門の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は4分の1となる。すべての部門において、再生可能エネルギー消費のうち最も大きい部分を電力が占め、バイオマスの直接利用、地熱、太陽熱がこれに続く。

水素は、持続可能な未来に必要なクリーンエネルギーミックスの重要な一部として浮上している。水素と再生可能エネルギーの間には重要な相乗効果が存在し、水素は再生可能エネルギー電力の市場を拡大するとともに、再生可能エネルギーソリューションの普及を後押しすることができる。水電解装置はデマンドサイドの柔軟性を高め、太陽光発電と風力発電による電力の季節間貯蔵を可能にする。再生可能エネルギーによる水素製造の低コスト化に加え、温室効果ガス排出削減の緊急性から、政治においてもビジネスにおいてもクリーン水素がかつてない勢いを得ている。

エネルギー転換は、エネルギーシステムの全部門における広範かつ深化した変革を必要とする。エネルギー転換を成功裏に実現し、その多くの便益を得るためには、エネルギーシステムに対する全体的な視点と長期的な計画立案を併せ持つ総合的なエネルギー計画が必要となる。政府機関は、エネルギー生産者、エネルギー需要家、金融機関、民間投資家など、すべての主要ステークホルダーが関与するエネルギー計画を策定する上で、重要な役割を果たす。たとえば運輸部門では、エネルギー技術、デジタル技術、IT技術のインフラを部門全体で統合的に計画することが望ましく、必要なコストや課税制度は全体的なエネルギー転換の目標と便益に十分に整合したものであることが望ましい。図 1.14 は、エネルギー転換の進捗状況を追跡するために使用できる、エネルギーシステムの主要指数の一部を示している。



図 1.14 システム全体にわたるエネルギー転換：すべてのエネルギー利用部門における変革
 2050 年へのロードマップ：世界のエネルギー転換を実現するため、エネルギーシステムの主要指数の進捗状況の追跡



注：本報告書の結果は、2019年4月時点の目標および状況を考慮に入れたものである。本報告書では、エネルギー転換シナリオにおける2030年の風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期の状況を考慮に入れたIRENAの報告書(IRENA, 2019d; 2019e)をやや上回る。現在のLCOEの値はG20の加重平均である。

注：IRENAの分析および現在のデータは、IRENA(2019d, 発刊予定 a)、GWEC(2020)、Spiegel(2020)、Global Carbon Atlas(2019)、IEA(2019a, 2019b)に基づく。

	エネルギー転換シナリオ					進展/ 未達	影響
	2010	現在 2017*/2018/ 2019e**	2030	2040	2050		

エネルギー効率化

エネルギー消費 原単位改善率	2000-2010	2010-2017	2017-2030	2017-2040	2017-2050	未達	効率的基準と効率の高い家電製品を促進し、プロジェクト開発者がエネルギー効率化技術の導入を加速できるように条件を整備する。
	1.2%/年	2.3%/年	3.3%/年	3.3%/年	3.2%/年		
1人あたり 最終総エネルギー 消費量	51 GJ/年	55 GJ/年	43 GJ/年	41 GJ/年	38 GJ/年	未達	

発電と消費

陸上風力発電の LCOE	80	55	50	45	40	順調	太陽光発電と風力発電の容量追加の競争入札を促進し、これらの電源に対応できるように市場の規制を改革する。
	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh		
太陽光発電の LCOE	347	96	58	48	38	進展	
	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh	ドル/MWh		
家庭部門の スマートメーター		25%	50%	77%	82%	進展	既存建築物へのスマートメーター設置を加速し、新規建築物への設置を義務付ける。
		の世帯	の世帯	の世帯	の世帯		

化石燃料全体の需要

石油需要	8700	9700	6000	4100	2200	未達	運輸部門における液体バイオ燃料の利用と電化を拡大する。産業部門の石油化学製品のためのバイオ製油所や合成原料を使用するパイロットプロジェクトを支援する。
	万バレル/日	万バレル/日	万バレル/日	万バレル/日	万バレル/日		
天然ガス需要	3.31	3.95	4.00	3.40	2.25	未達	強力なエネルギー効率化対策に加えて、建築物部門や産業部門における再生可能水素(再生可能エネルギーにより製造された水素)、固形バイオマス、電化を推進する。
	兆 m³/年						
石炭需要	4963	5458	3190	2000	713	未達	石炭火力発電所の新設を中止し、既存の石炭火力発電所の閉鎖を加速する。二酸化炭素を排出しない新たな製鉄法が必要。
	Mt/年	Mt/年	Mt/年	Mt/年	Mt/年		
現在と比較した 化石燃料の 総削減率			-20%	-41%	-64%	未達	化石燃料への補助金を廃止する。化石燃料産業で失業した労働者を再訓練するプログラムを支援する。

エネルギー関連の CO₂ 排出量

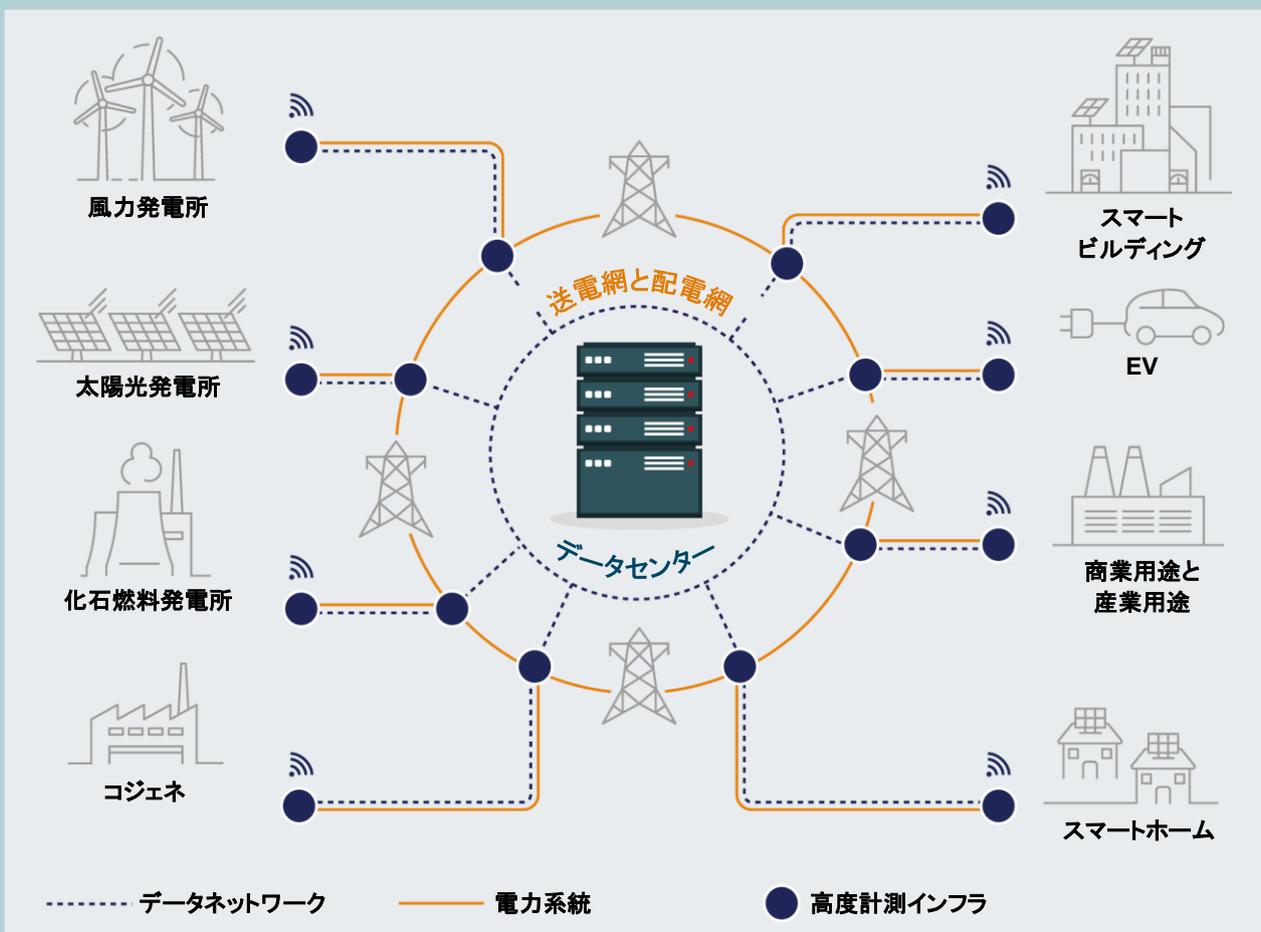
現在と比較した CO ₂ の総削減率			-27%	-48%	-71%	未達	市場の歪みを是正し、CO ₂ の外部費用に価格をつける。化石燃料インフラの座礁資産化を回避するため、新たな生産・流通設備への不要な投資を避ける。
1人あたり排出量	4.3t	4.4t	2.9t	2.0t	1.1t	未達	
	1人あたりCO ₂						

ボックス 1.7 デジタル化され、相互接続された世界に向けた前進

デジタル化は、電力部門の変革を促進する重要な要因であり、大量のデータ管理と複雑性を増す電力システムの最適化を可能にする。現代社会はますますデジタル化され、これまで以上に相互接続されている。電力部門でデジタル化の重要性が高まっている理由のひとつは、分散化（配電レベルでの発電機の導入拡大など）と電化（EV、ヒートポンプ、電気ボイラーなどの登場）の拡大である。IRENA による最近の分析では、このような供給側と需要側の新たな小規模分散型設備によって、電力システムの複雑性が増大しており、エネルギー転換を成功させるためには、監視、管理、制御が不可欠であることが示されている。

図 1.15 電力システムのエネルギー転換を促進する要因としての「モノのインターネット」(IoT)

IoT とその背景： 需要と供給の両面から見たスマートグリッドとスマートデバイスの接続



出所：IRENA (2019a)

モノのインターネット(IoT)は、エネルギー転換を支えるデジタル技術のひとつである。端的に言えば、IoTは物理的物体を「スマート」デバイスに変容させ、環境からの情報をリアルタイムで収集し、通信し、監視し、解釈できるようにする。

IRENAは、再生可能エネルギー導入率が急速に拡大する電力部門において、IoTが果たす役割を検討した。IoTアプリケーションは、システムに接続されたデバイスの可視性と応答性を高めることによって「スマートグリッド」を可能にする。たとえば、システム運用者にとって、IoT技術はシステム接続された小規模設備の可視性、柔軟性、応答性を高めるものとなりえる。そのようなイノベーションには、データ収集を可能にするセンサーから自動制御(需要家の在宅時の住宅室温を天候に応じて調節することによりエネルギー効率を最大化するスマートサーモスタットなど)まで多岐にわたる。

IoT技術は、エネルギー供給者、需要家、電力システムインフラを結び付けることにより、双方向のデータフローや、複雑性を増す電力システムの運用(IoT導入による便益が最も大きい分野)を促進するとともに、デマンドサイドマネジメントによって顧客の設備が創出した価値の収益性を高めることで新たなビジネスモデルを確立する。

IoT技術、特にデバイスが生成するデータとそれによる自動制御は、電力システムのさらなるクリーン化、分散化、「スマート」化をもたらす歴史的な変革を支えている。バリューチェーン全体にわたって、より多くの、より質の高いデータ

にアクセスできるようになれば、より優れた意思決定支援ツール(人工知能など)が可能になり、遠隔制御や決定の自動実行(アルゴリズム取引や自動運転車のように、何百万ものデバイスを即時処理によって制御するなど)が可能になる。

IoTの台頭により、機械学習アルゴリズムに投入する必要がある分解能の高い情報が提供されるため、ビッグデータに基づく人工知能の利用が可能になる。**ブロックチェーンは、複雑な電力システムにおいて役割を果たすもうひとつのデジタル技術であり、データをよりオープンに、かつセキュリティを保ちながら管理しつつ、スマート契約によって取引を自動化することにより、取引コストを削減する。**

2025年までに、全世界で750億台のデバイスがインターネットに接続され、豊かな情報を消費者、製造業者、電気事業者に提供する。IoTには多様な便益があるが、これらの便益にもかかわらず、IoT技術はいまなお深刻な課題に直面しており、幅広く普及するにはこれらを克服する必要がある。最大の課題は、技術の信頼性、データプライバシー、サイバーセキュリティである。これらの課題は、電力事業者、IT企業、政策立案者、規制機関、最終消費者の間の効果的な協力によって克服できると考えられる。IoTデバイスの普及を一因とする生成データの爆発的増加は、新たな技術を促進し、今後数年、数十年の間に新たな産業をもたらし、再生可能エネルギーが支える未来への道を切り開くと期待される(IRENA, 2019o)。



ボックス 1.8 シナリオの比較



IRENA のエネルギー転換シナリオだけでなく、今後数十年にわたるエネルギーシステム転換の道筋を探る他のいくつかのシナリオが、近年発表されている。比較のために挙げると、DNV-GL の“Energy Transition Outlook 2019” (DNV GL, 2019) に示された最近の「予測」シナリオ 1 件、McKinsey の“New Global Energy Perspectives 2019” (McKinsey, 2019) に示された「これまで通り」(BAU) のシナリオ、パリ協定目標との整合性を主張する脱炭素化シナリオ 7 件、IEA の 2019 年“SDS”シナリオ (IEA, 2019a)、Shell の 2018 年“Sky”シナリオ (Shell, 2018)、Greenpeace の 2015 年“Advanced”シナリオ (Greenpeace, 2015)、Equinor の 2019 年“Renewal”シナリオ (Equinor, 2019)、シドニー工科大学持続可能な未来研究所の報告書“Achieving the Paris Climate Agreement Goals” に示されたシナリオ (UTS-ISF, 2019)、気候変動に関する政府間パネルによる「1.5°C 未満」および「1.5°C 以上」シナリオ (IPCC, 2018) がある。

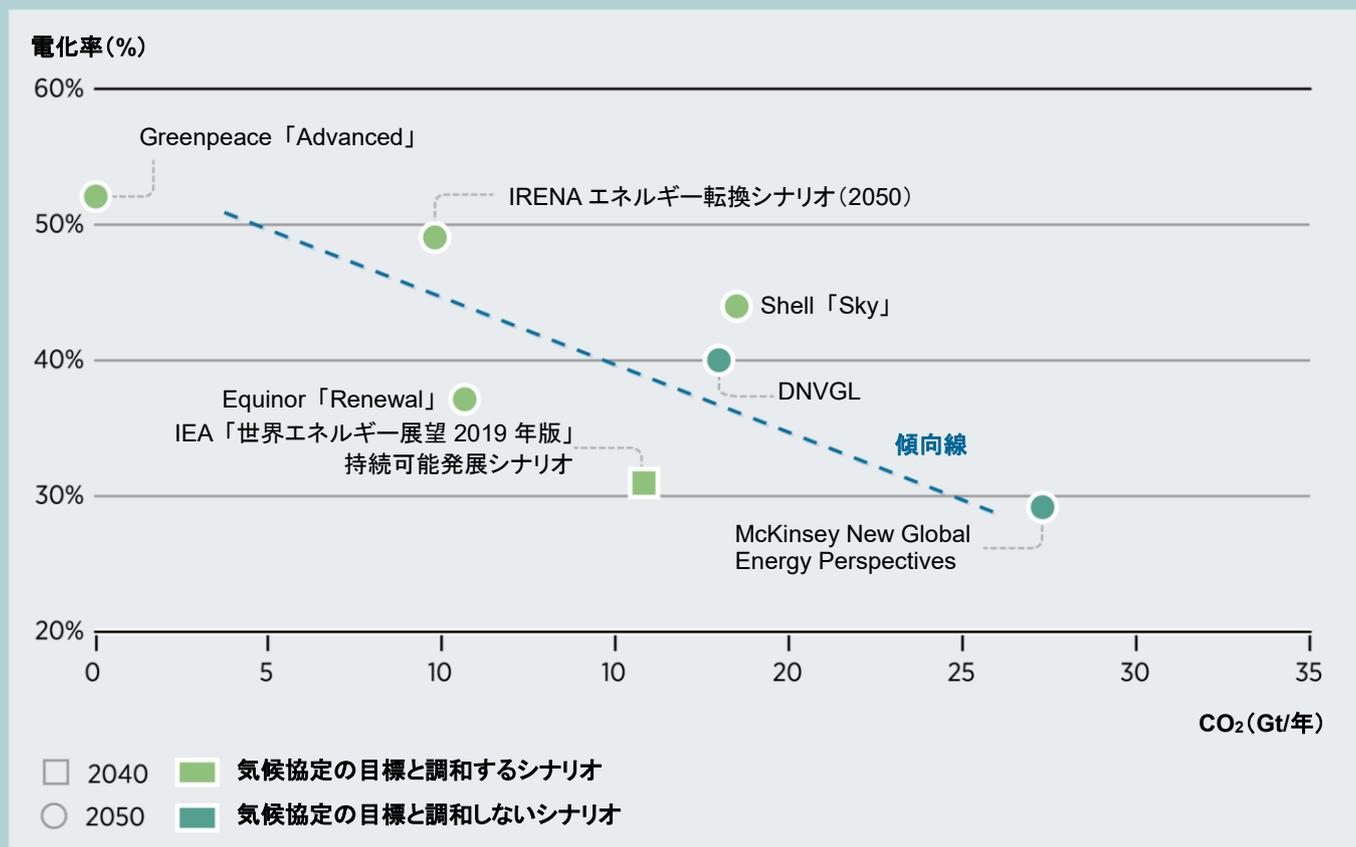
シナリオ作成者がパリ協定の目標を満たすと主張するシナリオであっても、未来のビジョンはすべてのシナリオの間で異なっている。これは驚くべきことではない。なぜなら、エネルギー転換の複雑性や不確実性、再生可能エネルギーの開発に関する異なる方法論や想定、さらには電化戦略と排出量削減戦略のさまざまな組み合わせ、全体的なカーボンバジェットが反映されているからである。

図 1.16 は、それぞれのシナリオにおいて実現される電化率と長期的な脱炭素化の深度に関する多様な結果を示している。

「これまで通り」のシナリオ (McKinsey’s New Global Energy Perspectives 2019) では、最終総エネルギー消費における電力の比率が現在の水準から 2050 年までに約 29% に拡大すると推測している。同じ BAU シナリオにおける世界のエネルギー関連の CO₂ 排出量は 2050 年に約 27 Gt/年となり、パリ協定の目標を満たすには程遠い。

DNV GL による最近の予測では、それよりはるかに急速な世界のエネルギー部門の転換を予想しており、電化率が 2050 年までに 45% に達するとともに、世界のエネルギー関連の CO₂ 排出量が 2050 年までに 18 Gt/年になるとしている。シナリオ作成者によれば、電化率が大きいにもかかわらず、これは 2°C への道筋と調和しないという。パリ協定との整合性を主張するシナリオの間でも、2050 年の電化率は、IEA の 2019 年持続可能発展シナリオにおける 31% から Greenpeace の“Advanced”シナリオにおける 52% まで大きなばらつきがある。2050 年の電化率を 49% とした IRENA のエネルギー転換シナリオは、さまざまな予測の中でも高いほうに位置し、エネルギー転換における電化の重要性を示している。

図 1.16 未来に対するさまざまなビジョン：他の主なエネルギー研究で提示されたシナリオ
 さまざまなエネルギーシナリオにおける、2050年の世界のエネルギー関連のCO₂排出量と電化率



出所： DNV GL, McKinsey, Equinor, 2019; IEA, 2019a; Shell, 2018; Greenpeace, 2015

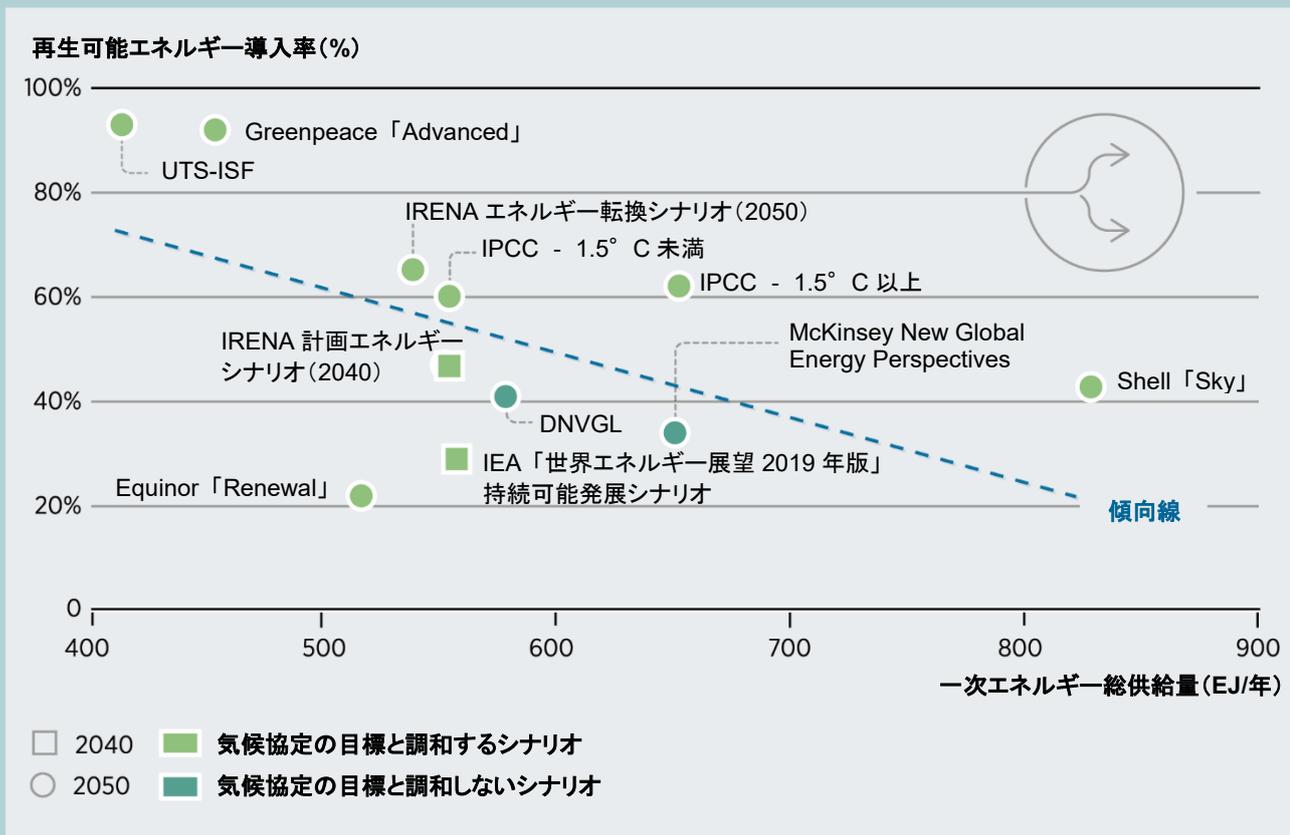


ボックス 1.8 シナリオの比較(続き)

図 1.17 は、各シナリオにおいて想定されるエネルギー需要、エネルギー効率化、再生可能エネルギーの導入率の関係を示している。検討事項は主に 2 つある。第一に、再生可能エネルギーの導入率が高いシナリオは、一次エネルギー総供給量が最も少ないシナリオでもある。第二に、2 °C 目標を達成することと 1.5 °C 目標を達成することの間には大きな違いがある。いずれの気候目標を達成するためにもエネルギー部門の二酸化炭素排出量を大幅に削減しなければならないが、1.5 °C 目標を達成するには大幅な構造改革とライフスタイルの変革も必要になると考えられる。

図 1.17 再生可能エネルギー電力の役割に関する新たなコンセンサス

さまざまな気候シナリオにおける 2040 年と 2050 年の
総一次エネルギー総供給量に占める再生可能エネルギーの比率



1 IEA による 2050 年のデータは入手できないため、2040 年のデータを記載した。

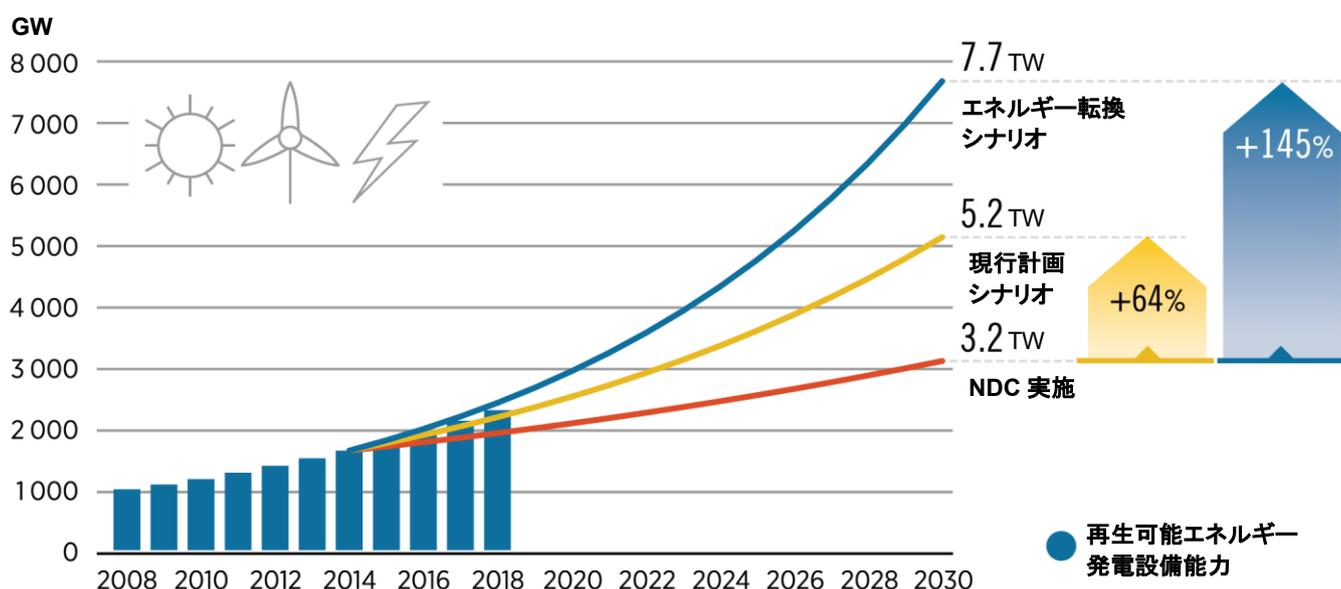
出所: DNV GL, McKinsey, Equinor, UTS-ISF, 2019; IEA, 2019a; Shell, 2018; Greenpeace, 2015

2030 に向けた展望と NDC の策定

「国が決定する貢献(NDC)」は、気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)に加盟する197カ国が2015年に調印したパリ協定の根幹である。NDCは、気候変動緩和策や、ほとんどの場合は気候変動適応策も盛り込まれており、各国が協定の遵守を維持するために実施する。2020年は、エネルギー関連のCO₂排出量を削減する世界的努力における重要な節目となっている。各国が自国のNDCの見直しと改訂を行う際、同時に意欲を引き上げて再生可能エネルギーを拡大することも考えられる。NDCの新たなラウンドは、電力およびそれ以外の部門における再生可能エネルギー目標を強化するチャンスとなる。

現在のNDCの誓約は、気候目標を達成するには到底十分とは言えない。たとえば電力部門を見ると、現行のNDCによる電力の目標では、パリ協定に沿った2030年までに導入可能な再生可能エネルギーの59%が見落とされている。気候と調和したエネルギー転換を実現するため、再生可能エネルギーの設備容量の導入をさらに拡大して7.7TW(現行の世界の設備容量の3.3倍)とすることで、コスト効率よく達成することができ、大きな社会経済的便益をもたらすと予想される(図1.18)。

図 1.18 国が決定する貢献: パリ協定の気候目標を達成するには現時点で不十分
さまざまなシナリオにおける再生可能エネルギーの設備容量



出所: (IRENA, 2019b)



NDC の目標は、各国の既存の戦略や計画にさえ及ばない。再生可能エネルギーに関する無条件の約束を現行の NDC に盛り込んでいるのは、わずか 85 カ国である。一方、NDC ではなく、国内の(全国規模または地域規模の)再生可能エネルギー目標を掲げているのは、135 カ国である。次のラウンドの NDC を現実の目標に近づけることで、世界の再生可能エネルギーの設備容量を 2030 年までに 5.2 TW(現在の世界の設備容量の 2.2 倍)に拡大できると考えられる。

世界の再生可能エネルギーの設備容量は 2015 年から年平均 8.6%のペースで拡大していることから、NDC は実際の成長率を反映しているとは言えない。現行の NDC を実施した場合の 2015 年～2030 年における年間成長率はわずか 4%であるが、2010 年～2014 年の再生可能エネルギー発電の平均年間成長率は既に 5.9%に達していた。現在の導入傾向が続けば、現行の NDC が 2030 年に向けて想定する 3.2 TW という目標は、2022 年までには実現してしまうことになる。

エネルギー転換シナリオでは、最終総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は、2017 年の約 17%から 2030 年までには 28%へと大幅に拡大する。これは、現行計画シナリオと比べてはるかに高い再生可能エネルギーの比率であり、現行計画シナリオでは、最終総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は 2030 年までに 19%に拡大するのみである(図 1.19)。

部門レベルでは、最終エネルギー消費における再生可能エネルギーの比率が最も高いのは建築物部門であり、再生可能エネルギー全体で 2030 年までに 40%に拡大できると考えられる。それに対し、現在の比率は 35%(バイオ燃料の伝統的利用を含めた場合)、あるいは 13%(バイオ燃料の伝統的利用を含めない場合)である(図 1.19)。エネルギー効率化が鍵であり、主に建築物の設備増強、改修、改築、家電製品や新築建築物の排出量に関する基準の厳格化などがある。

2 番目に比率が大きいのは産業部門であり、再生可能エネルギーの比率は、2017 年の 13%から 2030 年までに 29%に達すると見込まれる。産業部門では大幅な効率向上が期待できる。世界の産業部門のエネルギー消費は、産業プロセスの改善によって 4 分の 1 程度削減できると考えられる。効率向上策あるいはエネルギー消費削減策には、エネルギー効率化や燃料の炭素原単位に関する最低基準の設定または義務付け、デマンドサイドマネジメント・ソリューションの導入、マテリアルリサイクルの開発、廃棄物管理の強化などがある。

運輸部門は、比率が最も低いですが、成長率は最も高く、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は 2017 年にわずか 3%だったが、2030 年までに 16%に達すると見込まれる。エネルギー効率化は、運輸部門にとって極めて重要である。一方では、燃料効率化は、EV、プラグインハイブリッド EV、ガソリンハイブリッド EV といった技術を導入することによって達成できる。なぜなら、これらはいずれも、石油使用量と温室効果ガス排出量を削減する効果が期待できるからである。一方、モーダルシフトもエネルギー効率化の大きな効果が期待できる。このようなシフトには、カーシェアリング、ネットワーク接続の拡大、自動運転といった革新的なモビリティサービスなども含まれる。

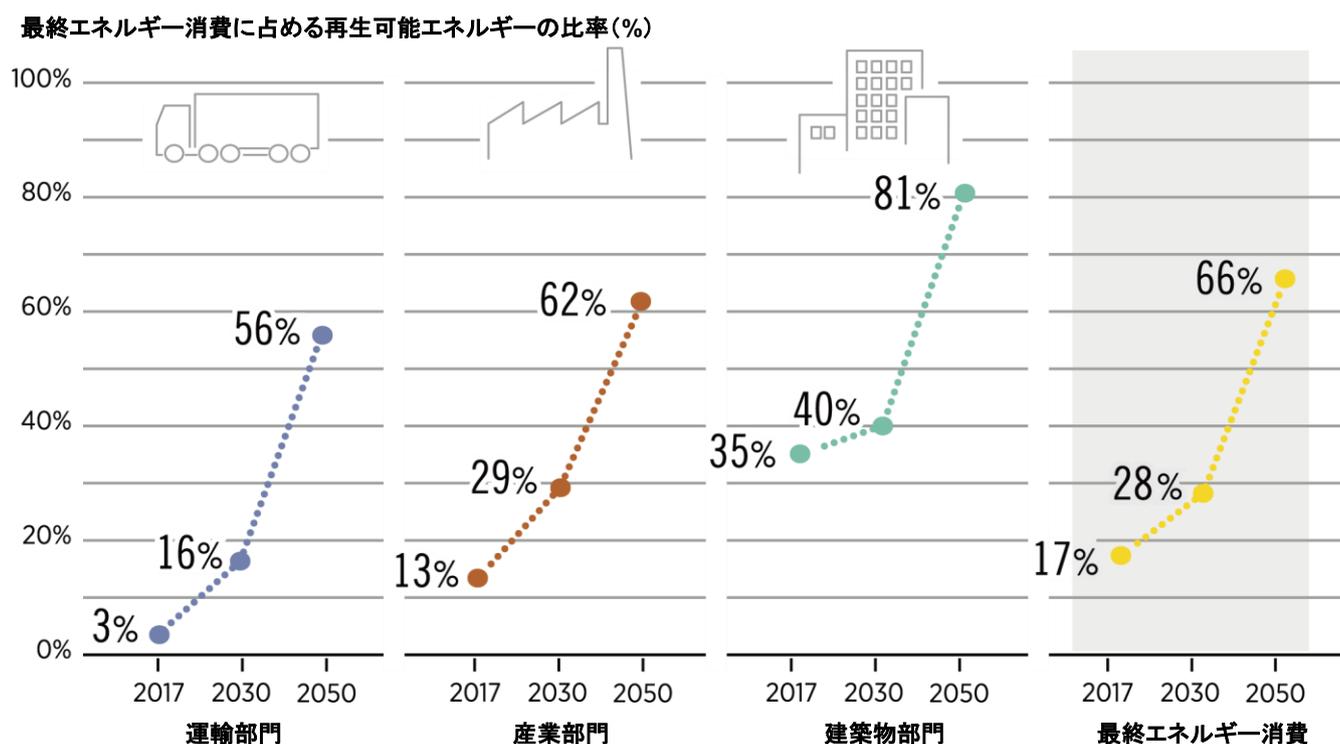


再生可能エネルギー電力の拡大は、世界のエネルギーシステムを脱炭素化するために不可欠である。再生可能エネルギーによる電化は、ますます重要なソリューションと見なされるようになってきている。再生可能エネルギー電力による貢献は、世界のエネルギー転換における最大の変革要因になると考えられる。エネルギー転換シナリオでは、電源構成に占める再生可能エネルギーの比率を2017年の25%から2030年までに57%に拡大する道筋を描いている。

また、エネルギーキャリアとしての電力の役割も大きくなる。エネルギー転換シナリオでは、最終エネルギー消費に占める比率が現在の20%から2030年までにほぼ30%に拡大し、総消費電力量は2017年の25,600 TWhから2030年には35,900 TWhへと10倍に増加する。エネルギー転換シナリオでは、2030年までに世界の電力量の3分の1が太陽光発電と風力発電によるものになる。

図 1.19 すべての部門で再生可能エネルギーの比率を増やすことが必要

エネルギー転換シナリオにおける最終総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの最終用途別比率



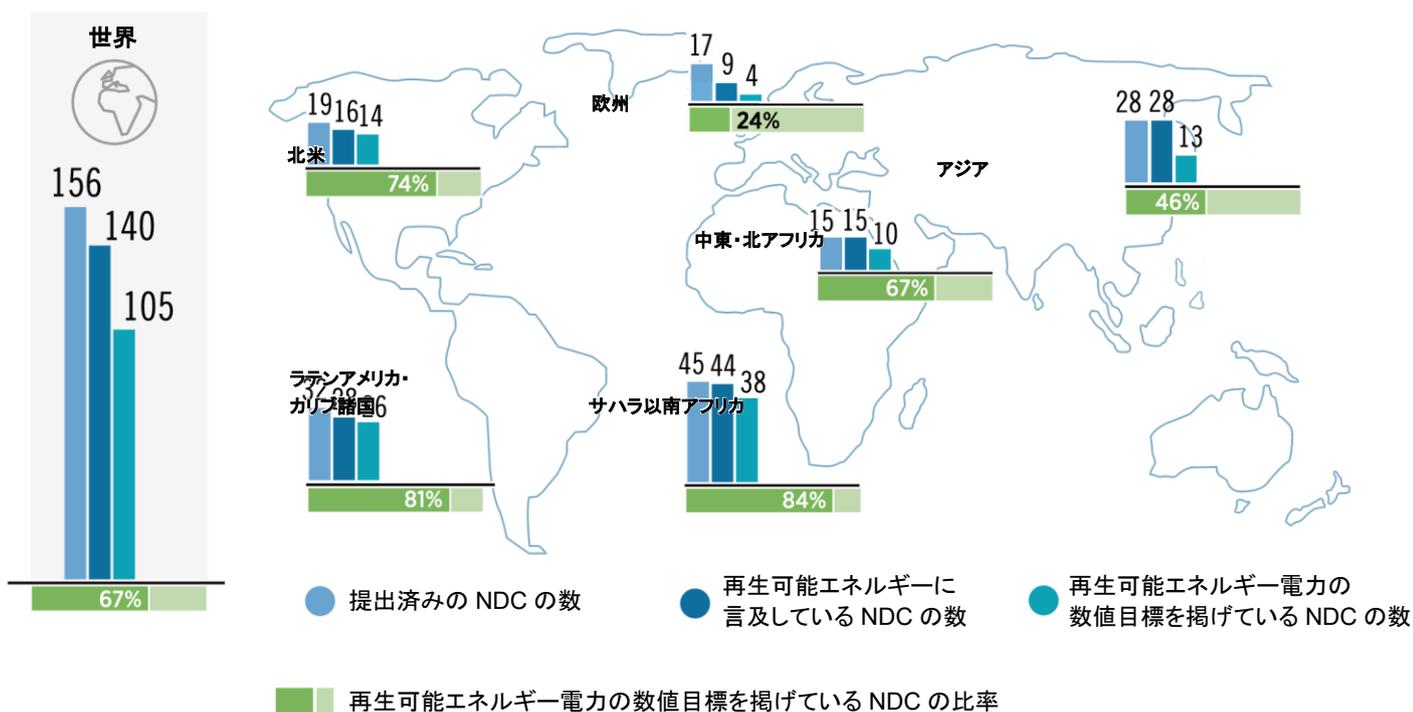
注：2017年のエネルギー転換シナリオ(IRENA)の値はIEA(2019b)に基づく。

多くの国が、再生可能エネルギー電力を拡大する必要性を認識している。これまでのところ、135 国が全国規模および地域規模のエネルギー計画で再生可能エネルギー目標を掲げており、140 の NDC が電力部門における再生可能エネルギーに言及している。しかし、再生可能エネルギー電力について数値目標を掲げている NDC は 105 件のみである(図 1.20)。気候変動が安全な範囲に留まる未来を実現するために必要な変化を促すため、2020 年に NDC はより意欲的になり、気候目標の達成に必要なレベルに到達するとともに、熱供給や輸送における直接利用といった最終消費にも範囲を広げなければならない。

再生可能エネルギーは、複数の持続可能な開発目標の達成を支えるためのすぐに利用できる気候変動緩和手段や気候変動適応手段を提供する。2020 年の NDC 見直しは、これらの目標を前面に掲げて電力部門の内外で再生可能エネルギー目標を直ちに強化するチャンスをもたらす。

図 1.20 再生可能エネルギーに関する目標を掲げた NDC：地域別件数

再生可能エネルギー目標を掲げた NDC の件数



出所： IRENA, 2019b) 免責事項：本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、いかなる地方、国、領土、都市、または地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

投資の方向転換が必要

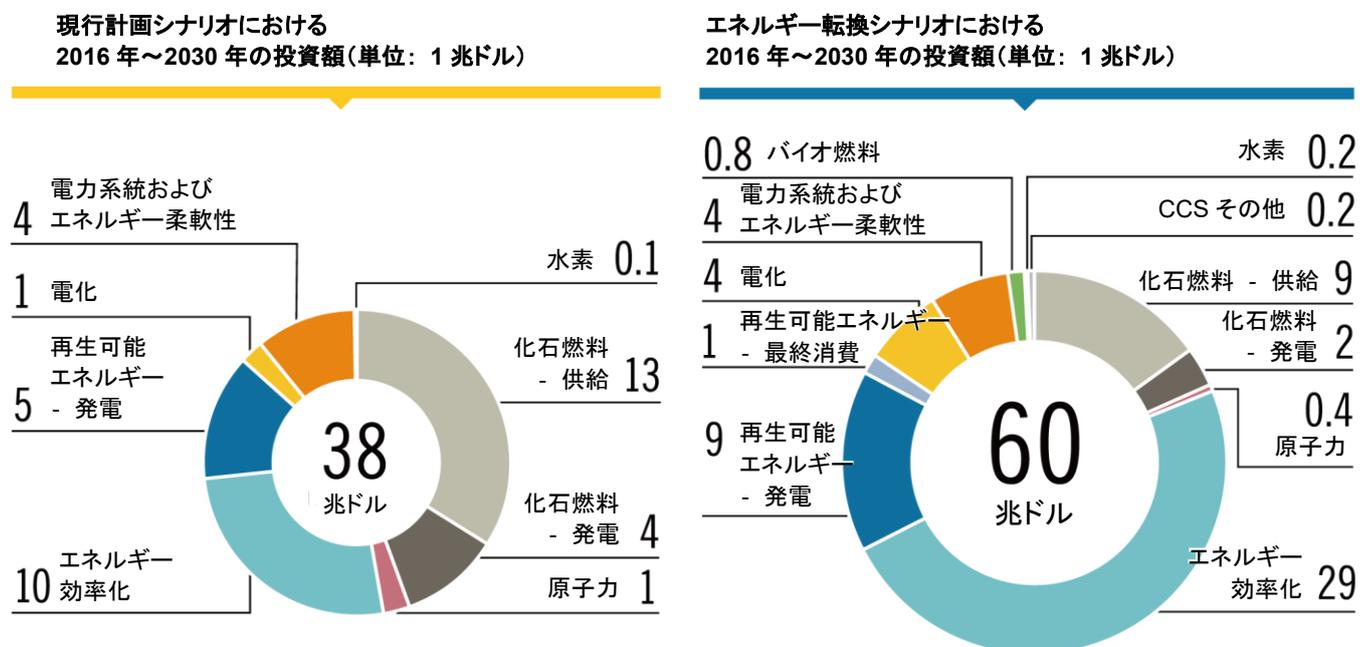
1.3 現行の各国政府の計画は、今後30年間に、エネルギー部門への少なくとも95兆ドルの投資を求めている。しかし、これらの計画や関連する投資は、気候変動に耐性のあるシステムに常に向けられるわけではない。投資の方向転換が必要である。気候にとって安全な未来を実現するために、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、および関連エネルギーインフラを重視するエネルギーシステムに投資を呼び込む必要がある。

IRENAのエネルギー転換シナリオは、2030年までに累積10兆ドル近い投資が化石燃料および関連インフラから低炭素技術へと方向転換されることが望ましいということを示している。インフラや効率化も含めたエネルギーシステムへの累積投資額は、2030年までに60兆ドルに達すると見込まれる(図1.21)。

2030年までに再生可能エネルギーを拡大するため、9兆6,000億ドル近い累積投資額が必要になると考えられる。これを年間ベースにすると、2030年まで毎年、再生可能エネルギーを増強するために、2018年の2,890億ドルと比べて2倍以上にあたる6,760億ドルを投資する必要がある(FS-UNEP and BNEF, 2019)。

図 1.21 2016年～2030年のエネルギー投資

2030年までのエネルギー転換部門への累積投資額



IRENAの分析に基づく。



より長期的な 2050 年までの期間で見ると、エネルギー投資ミックスを多様化し、さらに 15 兆ドルを投資することで、世界のエネルギーシステムは、コスト効率の高い再生可能エネルギー技術をより効率的なエネルギー利用が支える、環境への影響がはるかに小さいシステムにすることができる。低炭素のエネルギー転換を実現するために必要な投資は毎年 3 兆 2,000 億ドルで、世界の GDP の約 2%に相当する。これは、現行の計画で想定される額を約 5,000 億ドル上回る。その場合、世界の累積エネルギー投資額は 2050 年までに 16%増加する一方、その全体構成は化石燃料から決定的に移行する。

再生可能エネルギーおよび関連インフラは、総投資額の差の半分近くを占め、残りはエネルギー効率化と輸送・熱供給利用が占める。再生可能エネルギーの設備容量を増強するための投資は、2050 年までに現在の想定額の 2 倍に当たる 22 兆 5,000 億ドルに達する必要がある(図 1.22)。

エネルギー効率化への投資は、現在の水準の 4 倍を超える毎年 1 兆 1,000 億ドルが必要である。太陽光発電と風力発電の拡大を受けて、系統運用者は、電力系統全体の運用に柔軟性を持たせるために新たな設備を必要とする。ソリューションは、市場に基づくものもあれば、最新技術への投資を必要とするものもある。電力系統への投資には、急峻な出力変化が可能な火力発電によるバックアップ、揚水発電、送配電網の設備増強、デジタル制御装置、大幅に拡充した貯蔵容量、そして、ヒートポンプ、電気ボイラー、ビハインド・ザ・メーター(需要側)の蓄電池を利用したデマンドサイドマネジメントなど、さまざまな分野がある。

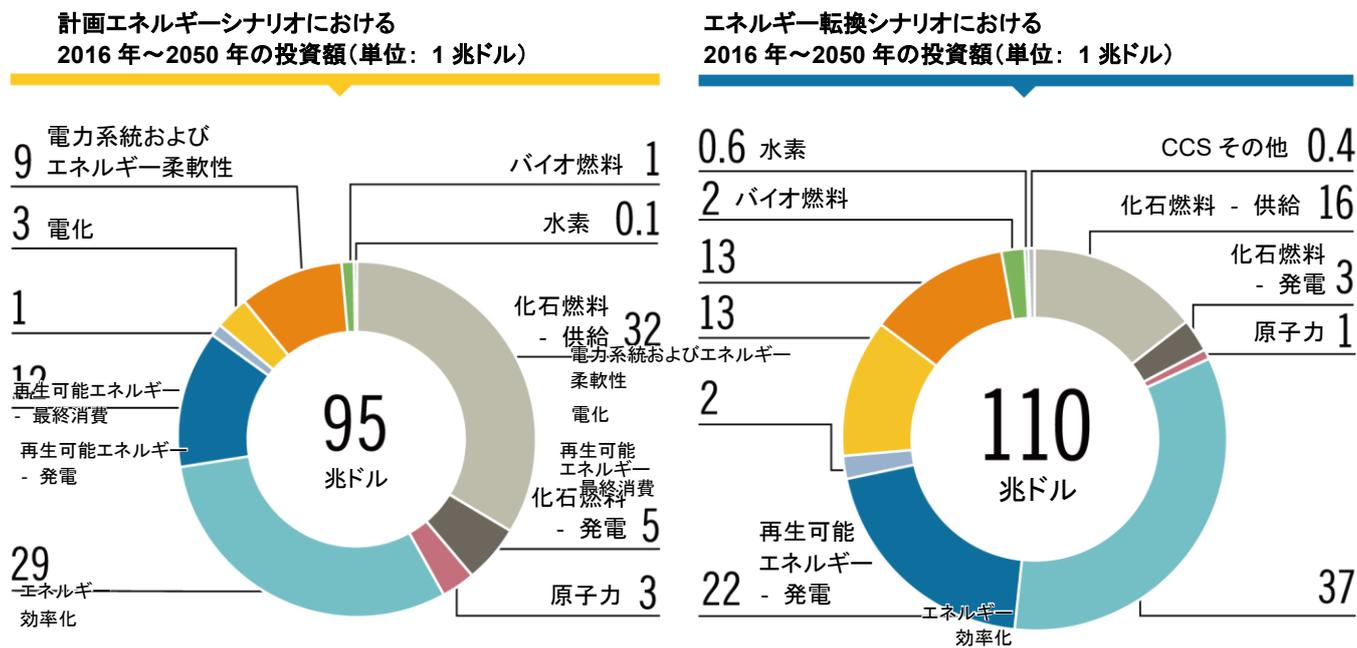
気候変動による影響は、大きな経済的コストをもたらす。増加する(そして過酷化する)火災、洪水、干ばつ、異常気象は、これまで以上に大きな経済的損害をもたらし、それは最終的に個人(納税者)や政府が負担しなければならない。さらに、汚染による健康への代償は、多くの都市、特に途上国の都市にとってますます大きな問題となりつつある。IRENA のエネルギー転換シナリオで提示したエネルギー転換の道筋では、気候や大気汚染に関連する追加的な年間外部コストが 2050 年までに 650 ~1,570 億ドルまで回避される見込みである。そうでなければ、これらは銀行や政府によって金融システムに内部化されなければならないコストである。

また、エネルギー転換を促進するための対策が遅れた場合、座礁資産の額が 2 倍近くになる。2050 年までの期間に発生する追加的な座礁資産の額は、7 兆 7,000 億ドルにのぼり、企業、電気事業者、あるいは政府のバランスシート上で償却されなければならない。座礁資産を減らす政策の一環として、各国は既に加速する石炭火力発電所閉鎖の対価を支払っている。たとえば、ドイツが石炭火力発電所を段階的に廃止するために 440 億ドルのコストがかかる(Wackett, 2019)。一方、オランダと米国のいくつかの州は証券化債を用いてコストを吸収している。



図 1.22 2016年～2050年のエネルギー投資

2050年までのエネルギー転換部門への累積投資額



IRENA の分析に基づく。

クリーンエネルギープロジェクトの資金調達分野で、いくつかのイノベーションが起こりつつある。

- 中央銀行、金融機関、保険会社は、気候リスクに注目し、財務計画の評価に組み込み始めている。国際決済銀行は近年、オープンエンド型債券ファンドを発足させた(Hinge, 2019)。これは各国中央銀行向けの「グリーンボンドファンド」である。
- 国際通貨基金は近年、各国の経済分析の一環として環境リスクを組み込むことを発表し、一部の国々は経済に「カーボンショック」を被るリスクが高いとした(Healy, Marchand, 2019)。
- ブラックロックの CEO は、投資戦略の変更を発表し、気候変動によって世界は「金融の根本的な再編の瀬戸際にある」と述べている(Fink, 2020)。
- また、一部のグループは、二酸化炭素排出量削減の取り組みが十分でない国に対して貿易上の措置を課すことを論じ始めている。たとえば、排出量削減に取り組む動きがあまりにも遅い国からの輸入に炭素関税を課すなどである。

これらの新たな、そして革新的な投資水域でのかじ取りを助け、気候にとって望ましい技術への資金のシフトを加速するため、IRENA はパートナーとともに、特に途上国においてクリーンエネルギーへの転換に資金を呼び込むことを目的とする気候投資プラットフォーム(CIP)¹に取り組んでいる。CIP は、クリーンエネルギー投資の拡大を妨げる主なリスクや障壁に対処することによって、低炭素エネルギーへの転換を加速し、持続可能な成長を促進する。

¹ 詳しくは、www.climateinvestmentplatform.com を参照。



02

世界における 社会経済的影響

再生可能エネルギーは、必要とされるエネルギー転換の中核となる。エネルギー転換へのロードマップによってより持続可能なシステムが提示され、社会経済的発展を実現するための基盤となる。エネルギー転換に関するこれまでの言説は、技術志向に大きく傾いており、社会経済的側面からは切り離されていた。しかし、エネルギー転換とは、社会経済的側面の上に構築され、また、長期的な持続可能性はそれに左右される。真の、そして完全な転換とは、エネルギーシステムの転換、社会経済システムの転換、そしてこの二つの密接な連関を伴う。したがって、より広い視野が必要であり、エネルギーと経済を全体的なシステムの一部として考えなくてはならない。

社会経済的影響の分析 (IRENA, 2016c, 2019a, 2020a) では、エネルギー転換の影響をますます包括的な全体像として捉えるようになってきた。IRENA は単一で一貫性のある定量的枠組みの中でエネルギーシステムと世界経済を関連付けたマクロ経済的アプローチ (E3ME モデルを使用) と、GDP、雇用、福祉といった不確定要素の分析を行った (図 2.1)。分析結果は、世界、地域、国レベルで公正かつ包括的なエネルギー転換を確実なものにするために実施されるエネルギーシステム計画、経済政策立案、その他の政策の立案に役立つことができる。今後発表される予定の IRENA による分析では、エネルギー転換の道筋がもたらす構造や分配における影響に注目している。これは現在の世界情勢の中、ますます関連する度合いが大きくなっていくだろう。

社会経済的側面からの分析結果は、エネルギー転換に伴って活性化する促進要因により説明される。すなわち、投資の変化、貿易の流れやパターンの変化、財政政策などによる影響といった間接的な影響や誘発された影響のことである。

第 2.1 節では、エネルギー転換が雇用や技能に影響を与える主な促進要因を特定する。第 2.2 節では、GDP に焦点を当てる。第 2.3 節では、福祉指数と関連する影響を示す。

図 2.1 エネルギー部門と経済の密接な連関

エネルギー転換の社会経済的影響の概要



2.1 雇用と技能



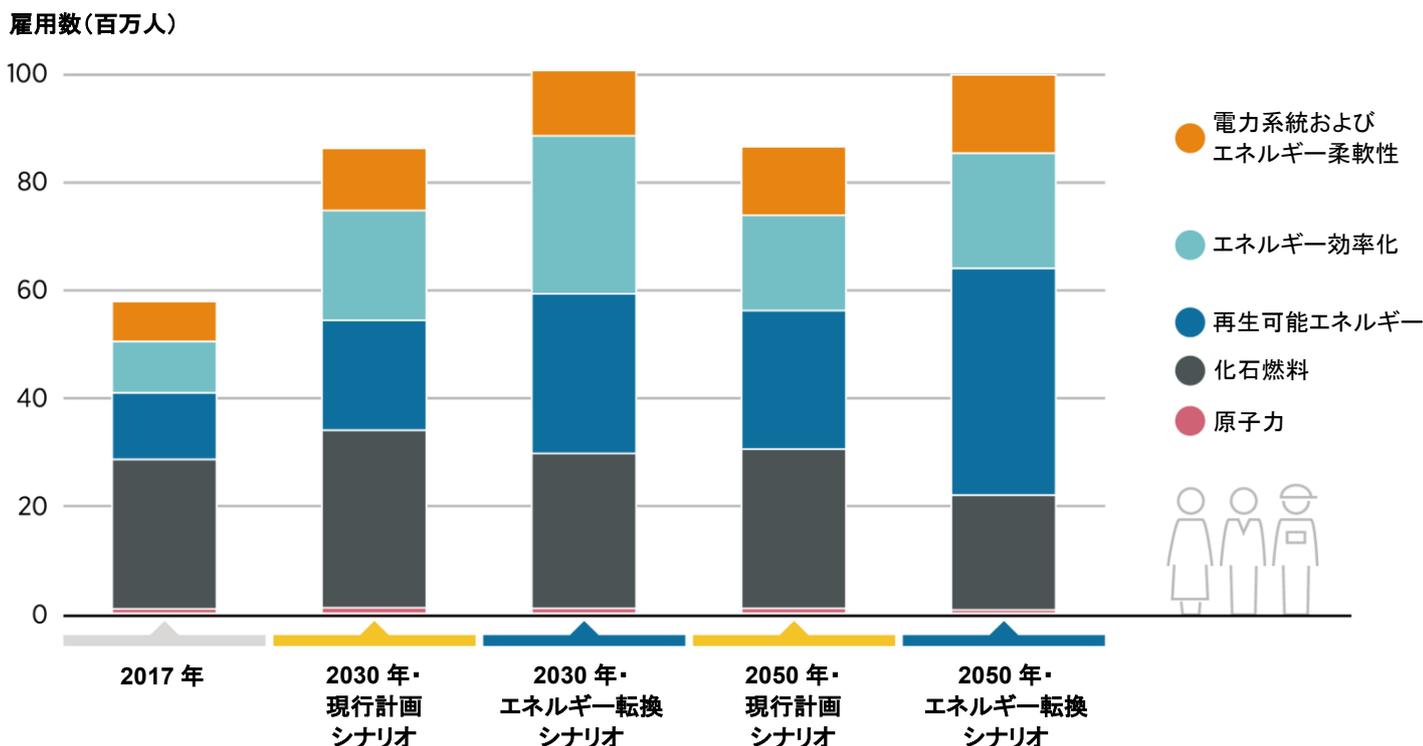
本節では、最初にエネルギー部門全体、次にその構成要素(エネルギー転換関連技術、従来型技術)に関するインサイトの概略を説明する。その一環として利益と損失の促進要因を分析し、4つの仮説を用いて説明する。最後に、経済全体への影響を分析する。このインサイトは、すべて現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオの結果の差異を比較したものである。

エネルギー部門全体の雇用

エネルギー転換シナリオでは、エネルギー部門全体——エネルギー転換に関連する技術(再生可能エネルギー、エネルギー効率化、電力系統およびエネルギー柔軟性¹⁾、化石燃料、原子力からなる——における雇用は、2050年までに1億人に達する可能性がある。図2.2は、2つのシナリオにおける2030年までと2050年までのエネルギー部門全体の推定雇用数を示し、エネルギー部門の各セグメントの状況を比較している。

図 2.2 エネルギー部門における雇用の増加：2050年に1億人に到達

現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオにおける2017年、2030年、2050年の世界のエネルギー部門の雇用数



IRENA の分析に基づく。

¹ 電力系統およびエネルギー柔軟性は、再生可能エネルギーのシェアが高い電力系統の運用に必要な柔軟性を提供するすべての要素を指す。これには、蓄電、需要管理、送配電系統などが含まれる。

雇用数 1 億人という数字は、現行計画シナリオで 15%、現在の雇用数で 72%上回る。しかし、全体の数字を見るだけでは、雇用の内訳に大きな変化があるのを見落としてしまう。化石燃料と原子力分野では雇用が減少するが、エネルギー転換部門、およびその関連技術部門における雇用創出が、それを上回る。

エネルギー転換関連技術

エネルギー部門全体の雇用数の推移は、再生可能エネルギー技術の導入だけでなく、他の要因にも左右される。エネルギー効率化と系統柔軟性は、現行計画シナリオよりもエネルギー転換シナリオにおいて、より多くの雇用を創出する。一方、エネルギー転換が進展するにつれ、どちらのシナリオでも、化石燃料の採掘と発電所の操業における雇用数は減少し、この部門の労働者に厳しい状況をもたらす。本節では、再生可能エネルギーに関連する推定雇用数の詳細な内訳を示し、エネルギー効率化、電力系統およびエネルギー柔軟性に関連する雇用について検討する。

再生可能エネルギー部門における雇用 エネルギー転換シナリオにおいて、再生可能エネルギーに関連する雇用の増加が顕著となる。図 2.3 は、現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオ双方における世界の再生可能エネルギー関連雇用と技術別の内訳について、2017 年から² 2030 年、2050 年までの推移を示している。エネルギー転換シナリオでは、再生可能エネルギー関連の雇用数は 2030 年までに 3,000 万人近くに達し、2050 年までに 4,200 万人に達する。2050 年の推定値は、現行計画シナリオを 64%上回る。

これは、エネルギー転換シナリオで想定される再生可能エネルギー設備の導入、運用・保守に要する労働力である。しかし、多種多様な技能や経歴を持つ大量の労働力は、ひとりでの醸成されるものではない。移行が成功するか否かは、適切な教育と能力を開発する政策にかかっている。

上記の予測とその背景にある詳細な分析 (IRENA, 2020a) は、技能の需要と供給をうまく一致させるための要である。これらの雇用がバリューチェーン領域、経済部門、職業分類の間でどのように分布しているかという推定は、政府が産業開発や能力拡大に関する政策を立案する際の指針となり得る。エネルギー部門政策の立案者は、再生可能エネルギー業界や教育機関と密接に協議し、連携していくことが望ましい。

5 つの再生可能エネルギー技術³については、図 2.4 で情報を例示しており、2050 年に必要とされる

² IRENA は、2011 年より再生可能エネルギー関連職をモニタリングし、最新の結果を報告する年次報告書を発行している (IRENA, 2019p)。モニタリングの結果は、2017 年のマクロ経済モデルを修正するために用いられている。修正モデルにより、モニタリング手順のギャップ (データが取得できない技術や国) を埋め、当初の再生可能エネルギーに関連する雇用の全体像や、エネルギー転換のロードマップの実施状況に応じた推移の予測などが可能になる。

³ 含まれる技術には、太陽光発電、太陽熱温水器、陸上風力発電、洋上風力発電、地熱発電があり、合計の雇用数は約 2,500 万人、2050 年に予測される再生可能エネルギー関連の全雇用数 4,200 万人のうち約 59%を占める。これらは、技能要件が最もよく知られている技術である。この分析は、地域レベルの能力の活用に関する IRENA の研究 (IRENA, 発刊予定 c, 2018c, 2017e, 2017f) に基づいて行われた。これ以外の技術については、それらの技術への能力活用に関する分析結果が利用可能になれば、その技能の構成を明らかにすることができる。

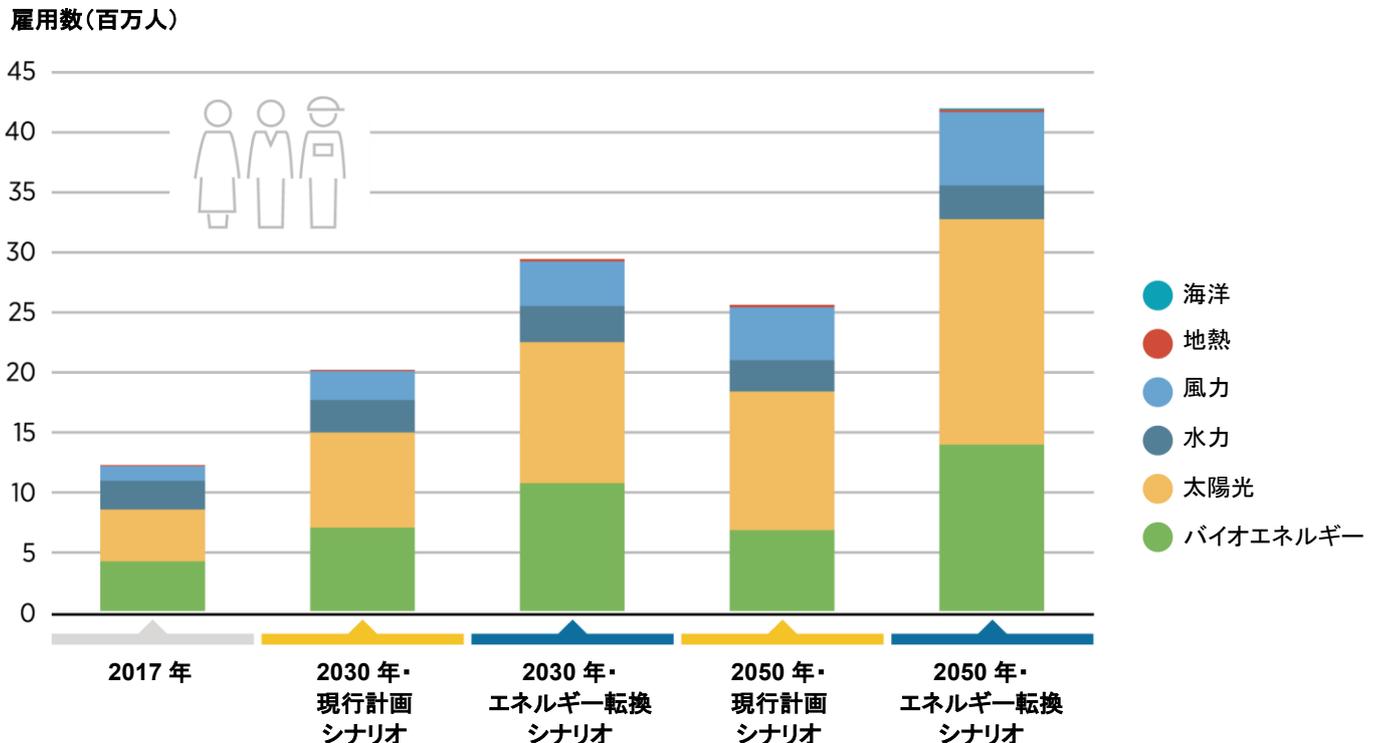
雇用をバリューチェーン領域別と大まかな職業グループ別に分類している。バリューチェーン領域別では建設・設置分野が 47%と最も多く、職業グループ別では一般作業員・技能者が 77%と最も多い。地理的な精度を高め、地域ごとの結果に注目すると(第 4 章)、移行を支えるために必要な雇用のバリューチェーン別及び技能別の内訳について、さらに考察を行うことができる。そういったデータは、教育・訓練の強化、その地域の強みについての評価、うまく現地化できそうな職務や職能の特定に予算を増加させるようなエネルギー転換政策の策定には不可欠である。

エネルギー効率化における雇用： 2050 年のエネルギー効率化における雇用は、2,130 万人に達すると見込まれる。これは、現行計画シナリオを 370 万人(21%)上回る。現在の状況と比べると、エネルギー転換シナリオでは雇用数が 2 倍以上に増加する。

電力系統およびエネルギー柔軟性における雇用： エネルギー転換シナリオでは、2050 年に 1,450 万人が電力系統およびエネルギー柔軟性に関連する職に従事すると見込まれる。これは、現行計画シナリオを 14%上回る。エネルギー効率化における雇用と同様に、雇用数は現在の状況と比べて 2 倍以上に増加する。

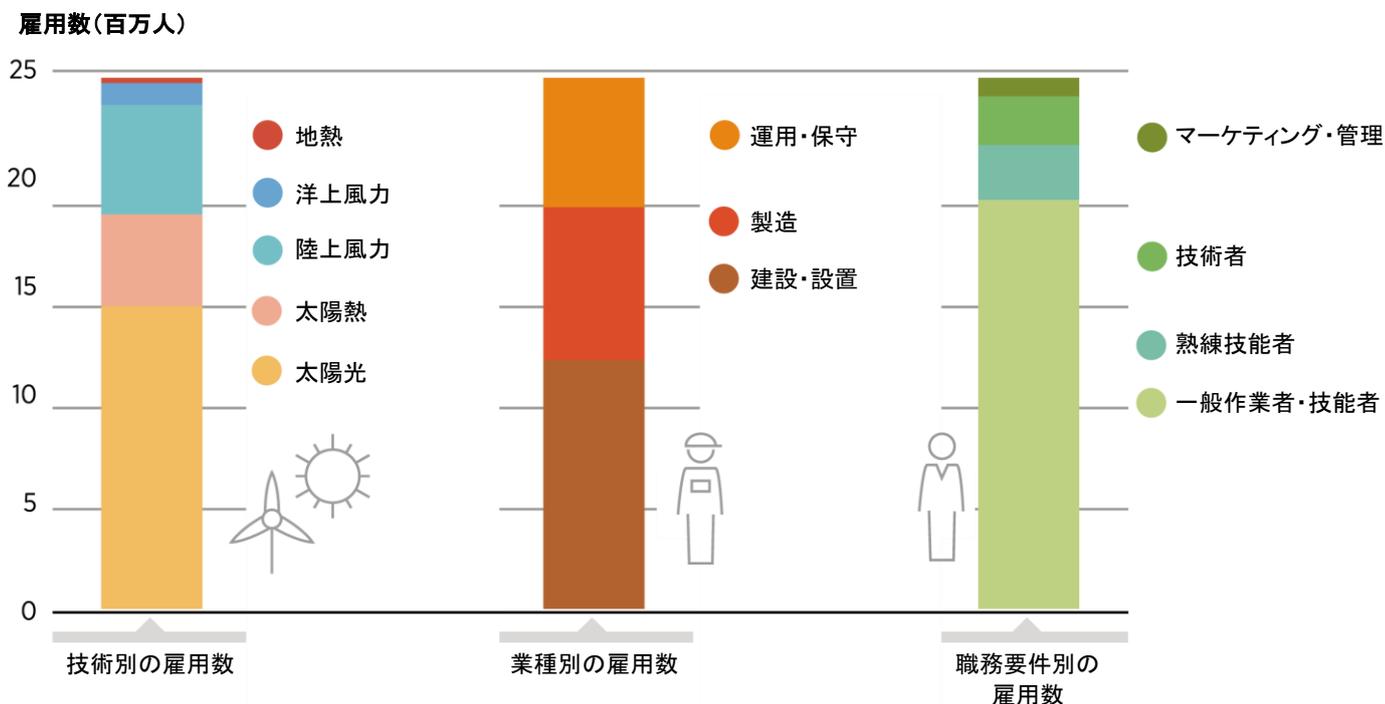
図 2.3 再生可能エネルギー関連の雇用：太陽エネルギー技術が大多数

現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオにおける 2017 年、2030 年、2050 年における世界の再生可能エネルギー関連の雇用



IRENA の分析に基づく。

図 2.4 詳細な分析：雇用の大多数は、建設・設置および一般作業者・技能者の各分野で創出される
2050 年の一部の再生可能エネルギー技術に関する、バリューチェーン領域別、職業分類別の雇用の内訳



IRENA の分析に基づく

従来型技術における雇用

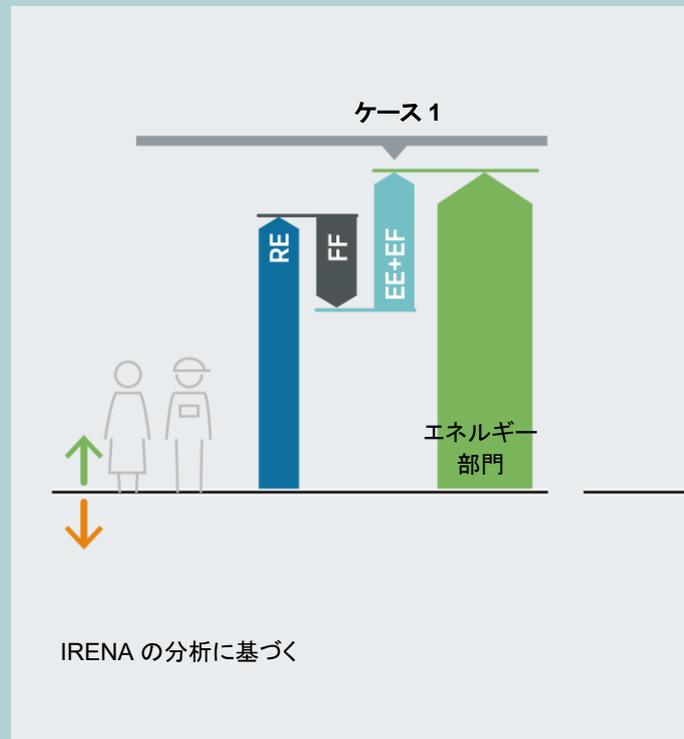
それに対し、化石燃料部門は雇用が減少する。エネルギー転換シナリオで想定される 2050 年の雇用数は 2,200 万人で、現行計画シナリオで想定される 3,000 万人を 800 万人、すなわち 27% 下回る。現在の雇用水準と比べると、化石燃料部門の雇用数は 600 万人以上減少する。

同様に、原子力部門における 2050 年の雇用数は、現在より 15 万人近く減少し (23% 減)、現行計画シナリオを 30 万人下回る (42% 減少)。

経済全体の結果を見る前に強調しておくべき点は、地域ごとの化石燃料への依存度、エネルギー転換計画の意欲、エネルギー転換関連設備の売上に関連する地域の貿易収支といった要因は地域間で差があり、各地域でエネルギー部門の雇用傾向が異なるということである。ボックス 2.1 における 4 つの仮説は、エネルギー部門の各分野における雇用の増減パターンと、それにより引き起こされた結果を示している。地域別の詳細は、第 4 章および地域別ファクトシートに記載した。

ボックス 2.1 エネルギー部門における雇用増減の促進要因

現行計画シナリオは、エネルギー部門全体の雇用増加を牽引するが、一部の分野、具体的には化石燃料の関連分野では雇用が減少する。その影響は、特定の地域で作用する要因によってさまざまである。図 2.5 は、雇用におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異を示す 4 つのケースを表しており、根底にある要因と移行に伴う課題を明らかにしている。

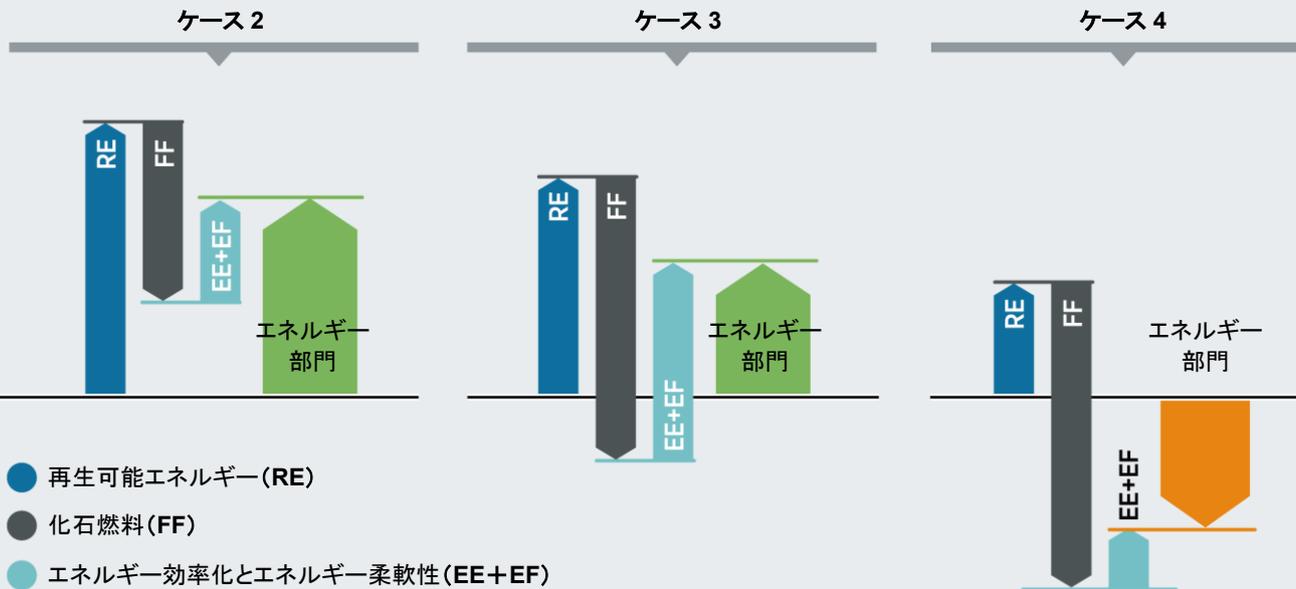


ケース 1 エネルギー部門における雇用増加数が、再生可能エネルギー関連のみの雇用増加数を上回る。つまり、エネルギー転換を支える他の 2 つの技術の柱(エネルギー効率化とエネルギー柔軟性)における雇用増加数が、化石燃料関連の雇用減少数より大きいということである。これは、エネルギー部門にとって最も好ましい状況であり、化石燃料分野で職を失った人々にエネルギー部門で新たな職を見つける機会をもたらす。化石燃料への依存を削減し、再生可能エネルギー、エネルギー効率化と柔軟性に関連する大量の国内雇用の創出に向けた意欲的な政策を実施することで、円滑な移行を達成することが可能となる。



図 2.5 エネルギー部門における雇用の増減：4つのケース

エネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの雇用の比較



ケース 2 エネルギー部門における雇用増加数は、全体的にプラスであるものの、再生可能エネルギー関連より少なく、その一方で化石燃料関連の雇用減少数が再生可能エネルギー関連の雇用増加数より少ない。化石燃料への地域経済の依存度が高い、エネルギー転換への意欲が低い、あるいはエネルギー転換に関連する国内雇用数が少ないために、ケース 1 ほど好ましい結果にはならない。エネルギー部門全体の差し引きはプラスであるものの、相対的な減少が大きく、職を失った人々がエネルギー部門で新たな職を見つけることがより困難になる。

ケース 3 再生可能エネルギー関連の雇用増加数は化石燃料関連より少ないが、エネルギー効率化と柔軟性関連の雇用により、エネルギー部門全体ではプラスになる。エネルギー部門全体の雇用数が増加することで、化石燃料関連の職を失った人に雇用機会が何とか提供されるものの、雇用減少数が相対的に大きいため、労働再配分の課題はケース 1 とケース 2 より厳しいものとなる。要求される技能が多岐にわたるため、課題も大きい。

ケース 4 化石燃料関連の雇用減少数が、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、柔軟性関連の雇用増加数より大きく、エネルギー部門全体の雇用数が減少する。これは、最も好ましくない、課題の多いケースであり、1) 労働市場が化石燃料に大きく依存している、2) エネルギー転換への意欲が低い、3) エネルギー転換関連技術の輸入依存度が高い地域や国において生じうる。この場合、エネルギー部門は化石燃料関連の職を失った人達全員に雇用機会を提供することができず、公正な移行を実現するためのソリューションをエネルギー部門の外に見出さなければならなくなる。

経済全体における雇用

低炭素技術への切り替えは、エネルギー部門における職種や技能のパターンを間違いなく変化させる。しかし、エネルギー転換シナリオは、エネルギー部門だけでなく経済全体にも影響を及ぼす。この分野横断的な影響には、3つの要因によって経済の中で発生する複数の因果関係により、雇用の増加や減少をもたらす(ボックス2.2、図2.6)。

図2.6は、エネルギー転換シナリオにおける世界の雇用数が現行計画シナリオを0.15%上回る(650万人の追加雇用)ことを示している。このように、様々な促進要因が経済全体の雇用への影響にどのように寄与しているかは一様ではない。投資促進要因は通常、設備の設置開始時に影響力を発揮する。したがって初期に寄与する。しかし、時間の経過を考慮すると、間接効果と誘発効果による消費者支出の変化が、経済全体の雇用に最も大きな影響を及ぼす。

ボックス 2.2 経済全体の雇用と GDP の促進要因

雇用と GDP の増減をもたらす促進要因には、投資と貿易における変化、そして誘発効果と間接効果がある。



投資における変化

この促進要因は、経済における投資全体がもたらす正味の影響に関わり、エネルギー転換関連の投資(再生可能エネルギー、エネルギー効率化、エネルギー柔軟性、送配電網など)の増加や従来型エネルギーへの投資減少による影響などがある。



貿易における変化

この促進要因は、エネルギー貿易と非エネルギー貿易の両者を含む。輸入の増加または輸出の減少は GDP に負の影響を及ぼし、輸入の減少または輸出の増加は GDP に正の影響を及ぼす。



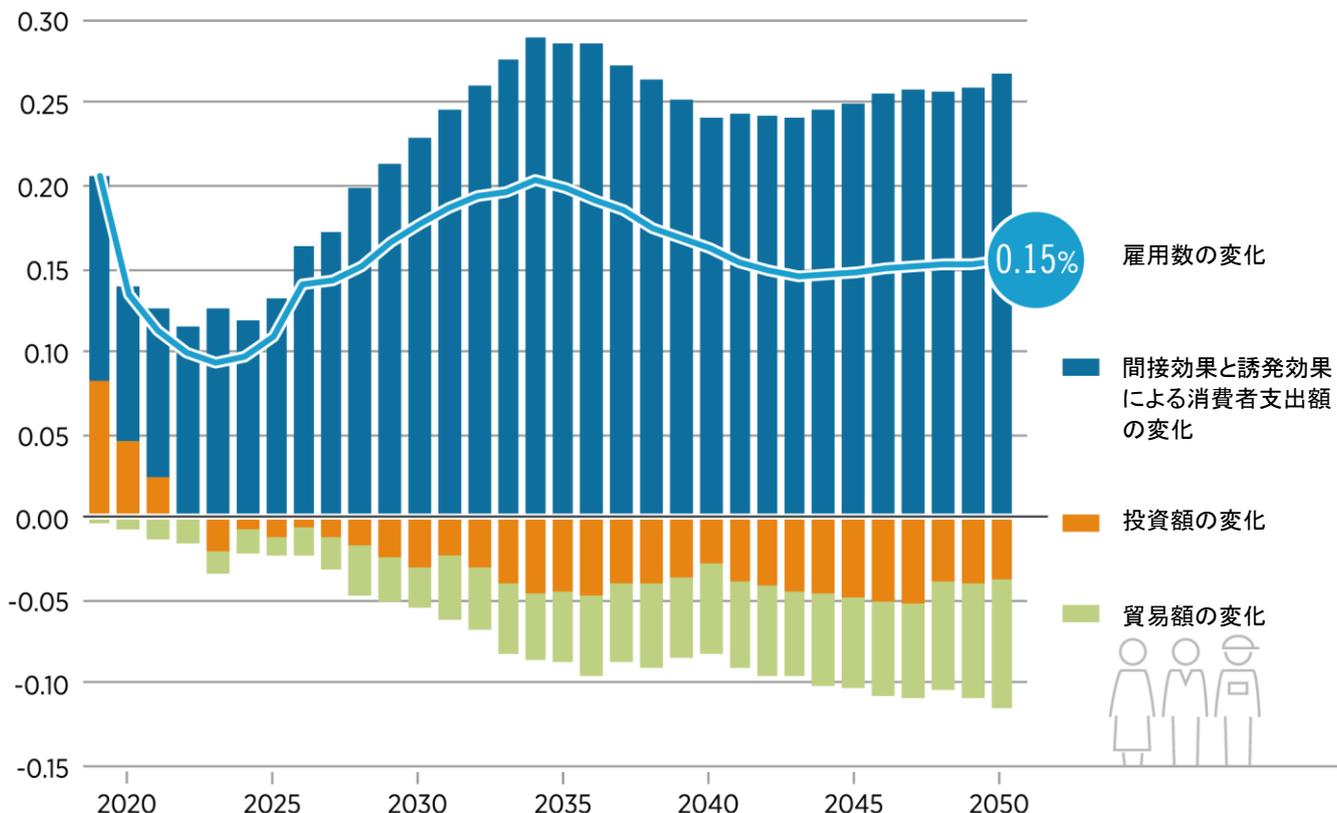
誘発効果と間接効果

この促進要因には、消費者物価効果と財政政策がもたらす消費者支出の変化が含まれる。この促進要因には、サプライチェーンの生産者への支払いに起因するサプライチェーンへの影響がもたらした経済活動の変化や、雇用水準または既存従業員の賃金の変動に伴うその他の効果なども含まれる。

図 2.6 経済全体における雇用：650 万人増加

エネルギー転換シナリオと現行計画シナリオにおける世界経済全体の雇用の差

現行計画シナリオとの雇用数の差(%)



IRENA の分析に基づく

エネルギー転換シナリオが雇用に及ぼす影響は、エネルギー部門の中でもさまざまに異なり、経済全体にも密接に関わってくる。図 2.7 ではこのことが説明されており、現行計画シナリオと比べてエネルギー転換シナリオで増加する世界の雇用が、再生可能エネルギー関連、エネルギー部門全体、経済全体という 3 つの異なるレベルで提示されている。

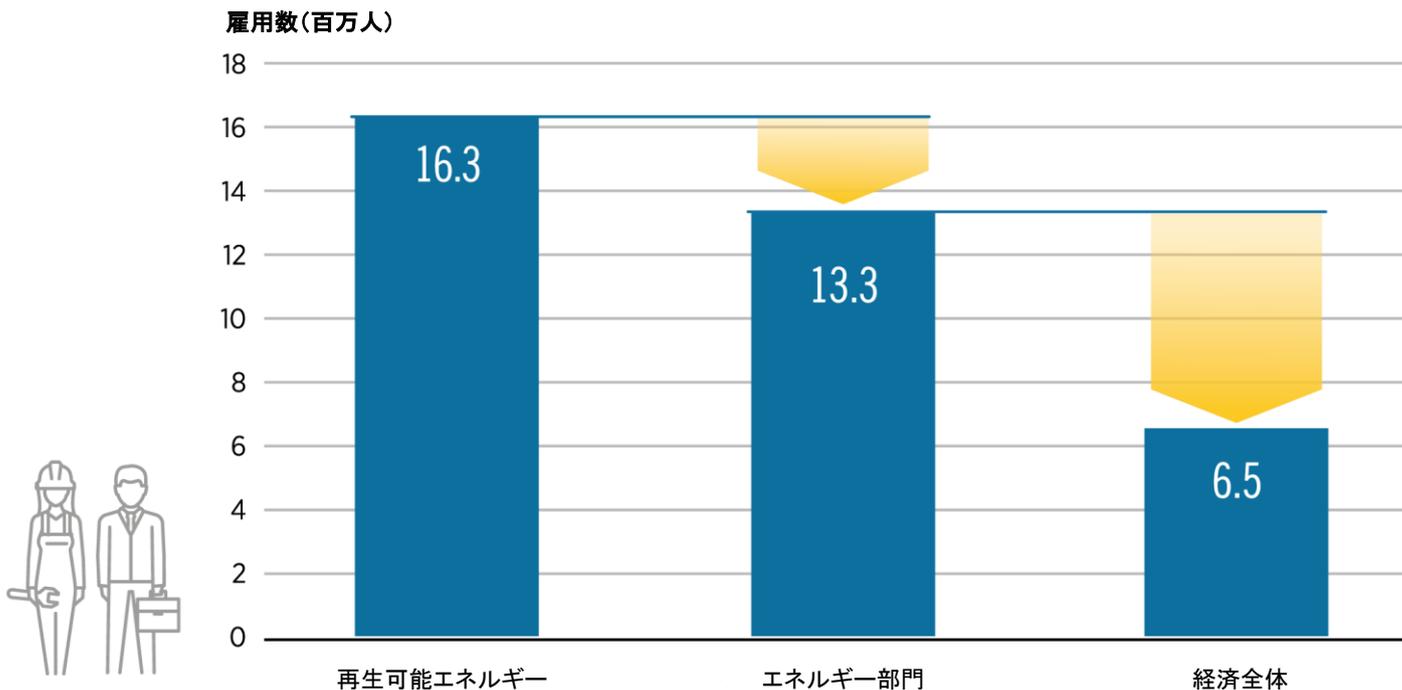
エネルギー部門全体の雇用増加数は 1,330 万人で、再生可能エネルギー単独の雇用増加数 1,630 万人よりも少ない。エネルギー転換シナリオでは、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、電力系統およびエネルギー柔軟性はいずれも雇用数が増加するが、それ以外の分野はエネルギー転換によって特に大きな打撃を受ける。この場合、化石燃料分野がエネルギー部門における敗者であることがはっきりとわかる(雇用数は現行計画シナリオより 820 万人減少)。

化石燃料とその関連技術は徐々に消えていくと見込まれているため、これは、エネルギー転換の結果として無理もないことである。とはいえ、この段階的な減少による社会経済的影響は、適切に対処しなければエネルギー転換を妨げる障壁となるおそれがある。すでにエネルギー部門でこのような不均衡が顕著になっており、公正かつ包括的な移行政策を求める声の高まりがそれを証明している。

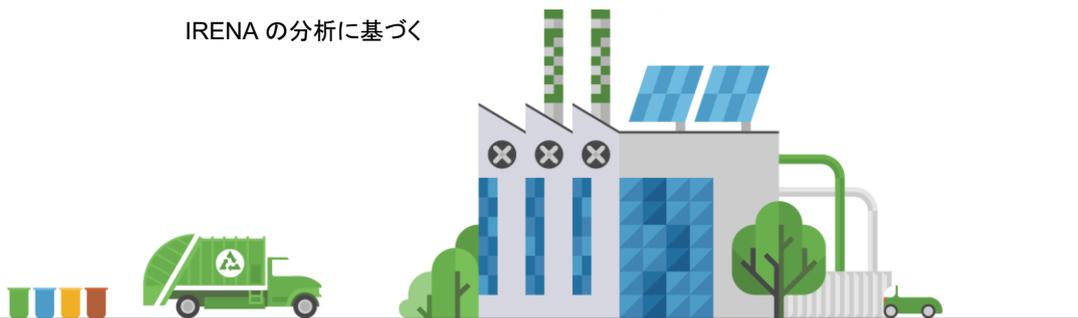
エネルギー部門における雇用増加数(1,330 万人)は、経済全体における雇用増加数(660 万人)を超える。これも予想できることである。なぜなら、エネルギー転換に伴う対策は、エネルギー部門に直接影響を及ぼすが、経済の他の部分への影響はそれほどではないからである。このような結果をもたらす動態要因はいくつかあり、全体的な投資が経済の各部門間でどのように配分されるか、各部門の雇用集約度、エネルギー転換の促進要因が各部門にどのような影響を及ぼすかなどがある。もうひとつの重大な要因は、エネルギー転換関連技術を支える既存の経済構造における能力と乗数の大きさである。

これらの結果が示すことは、エネルギー部門だけに留まらない、包括的で公正なエネルギー転換に向けた政策的枠組みが必要である、ということである。なぜなら、雇用の喪失は化石燃料以外の分野にも影響を及ぼすからである。

図 2.7 再生可能エネルギー、エネルギー部門、経済全体
 2050 年の世界における雇用の部門別の差
 (現行計画シナリオと比べたエネルギー転換シナリオにおける増分)



IRENA の分析に基づく

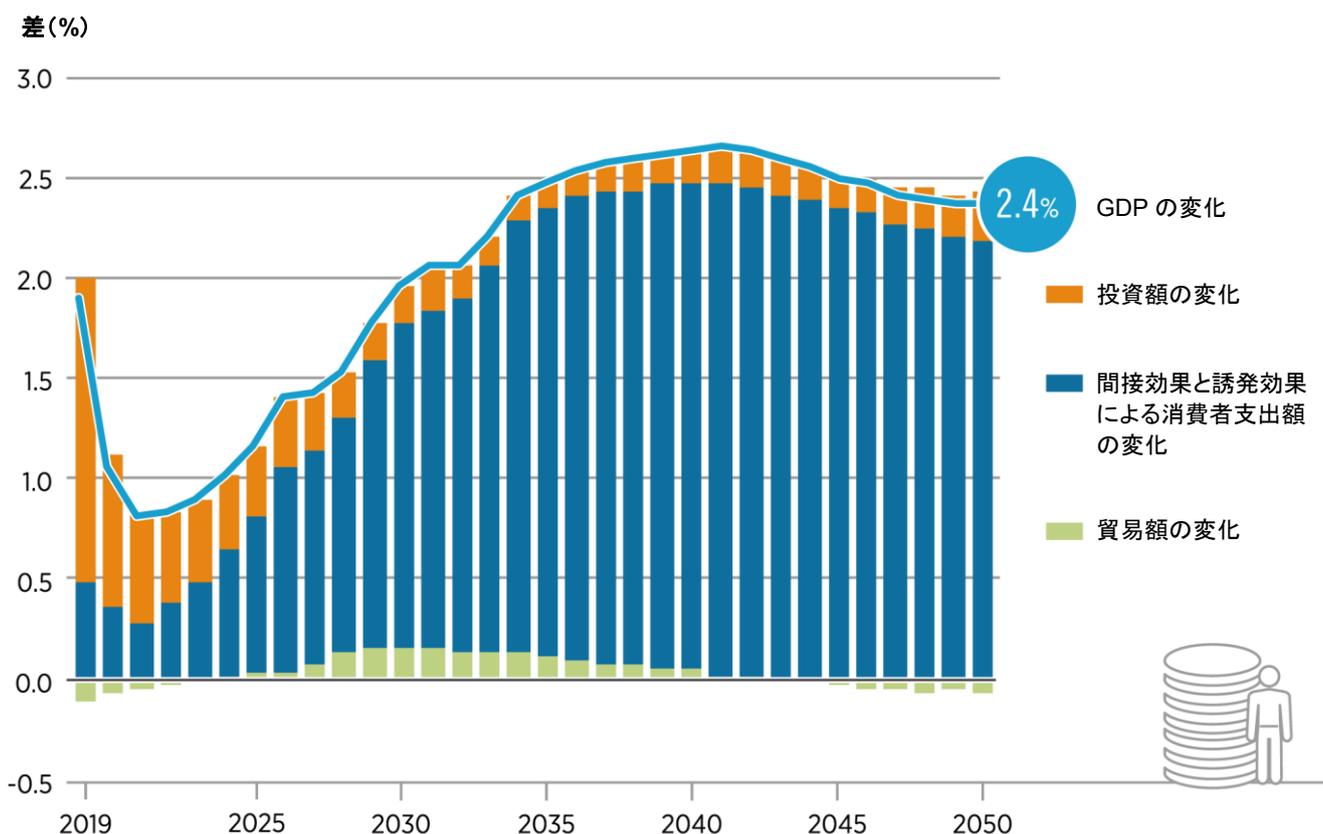


2.2 国内総生産(GDP)

GDP は、所得と成長率を表す最も一般的な指数である。IRENA が以前行った推定 (IRENA, 2019a) によると、エネルギー転換シナリオでは、現行計画シナリオと比べ、世界の GDP は 2050 年までに 2.4% 拡大する。2019 年から 2050 年までの累積的な増加は、98 兆ドルに達する⁴。この増加には、世界経済のいくつかの促進要因が影響を及ぼしており、図 2.8 ではそのことが示されている。投資促進要因は、エネルギー転換の初めの数年間、GDP 増加に最も大きな影響を及ぼす。その後は、影響を与え続けはするものの、その度合いは比較的小さくなる。世界貿易の本質的な要件が通常の状態では収支が取れていることを考慮すると、貿易促進要因は現行計画シナリオと比較した場合、世界の GDP 増加への影響はわずかである。世界の GDP 増加への影響が最も大きいのは、本分析で検討した財政政策の変更に反応した消費者支出の変動である⁵。

図 2.8 エネルギー転換シナリオは世界の GDP を後押し

エネルギー転換シナリオと現行計画シナリオにおける世界の GDP の差



IRENA の分析に基づく

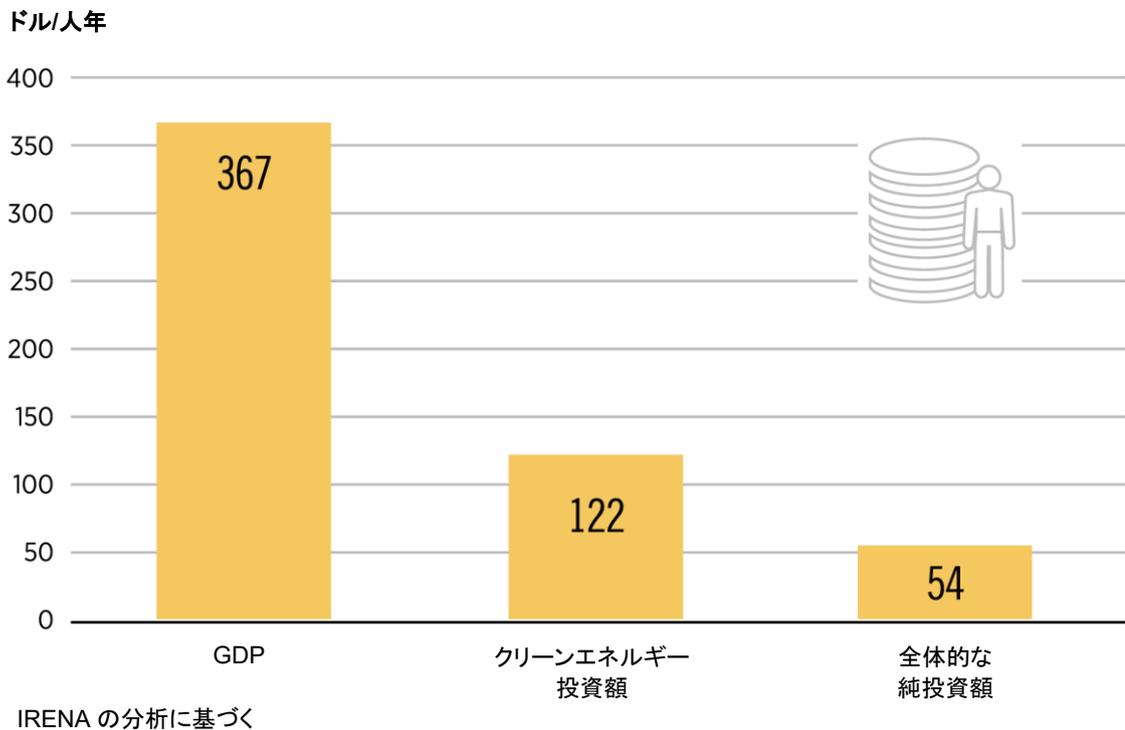
⁴ 本章で用いるドルの額はすべて、2015 年のドル価値を基準にしている。

⁵ 炭素税は、統合評価モデルと地球温暖化の上限 2°C に沿ったものである (IPCC, 2014)。分析で想定した税収還流政策は、エネルギー転換に連動した税制 (炭素税、石油ロイヤルティ) の進展と法人税のバランスを取ることに由来する政府収入の中立を前提としている。税収還流政策の影響については、雇用に関する節で論じた。

2つのシナリオにおける GDP 増加の差額は、1人あたりの年額にすると⁶、367ドル/人年である。図 2.9 は、この1人あたりの年額と、全体的な正味の投資所要額⁷(54ドル/人年)、クリーンエネルギー投資所要額(122ドル/人年)を比較している。この図では、気候関連の投資は経済に悪影響を及ぼすという従来の通念とは逆に、主にクリーンエネルギー部門において追加投資を適切な政策とともに行えば、大きな経済効果をもたらすことが示されている。

図 2.9 世界の1人あたり GDP の増加は投資コストを上回る

エネルギー転換シナリオで、2019年～2050年の平均人口を用いて算出した1人あたりの GDP の年額



⁶ 2019年～2050年の平均世界人口を使用した。

⁷ エネルギー部門全体に必要な追加投資は、クリーンエネルギー部門に必要な追加投資を下回る。これは、エネルギー転換シナリオにおけるエネルギー部門の転換では、現行計画シナリオと比べて従来型技術への投資が減少し、クリーンエネルギー部門への投資が増加するためである。

2.3 福祉

上記で論じたように、雇用と GDP の成長率は、社会経済的分析の標準的な手段である。これらの指数がエネルギー転換による生活の質の向上を完全に捉えていないのではないかという懸念に対処するため、本節では、福祉向上における多面性を測定する統合指数を提示する (IRENA, 2016c)。

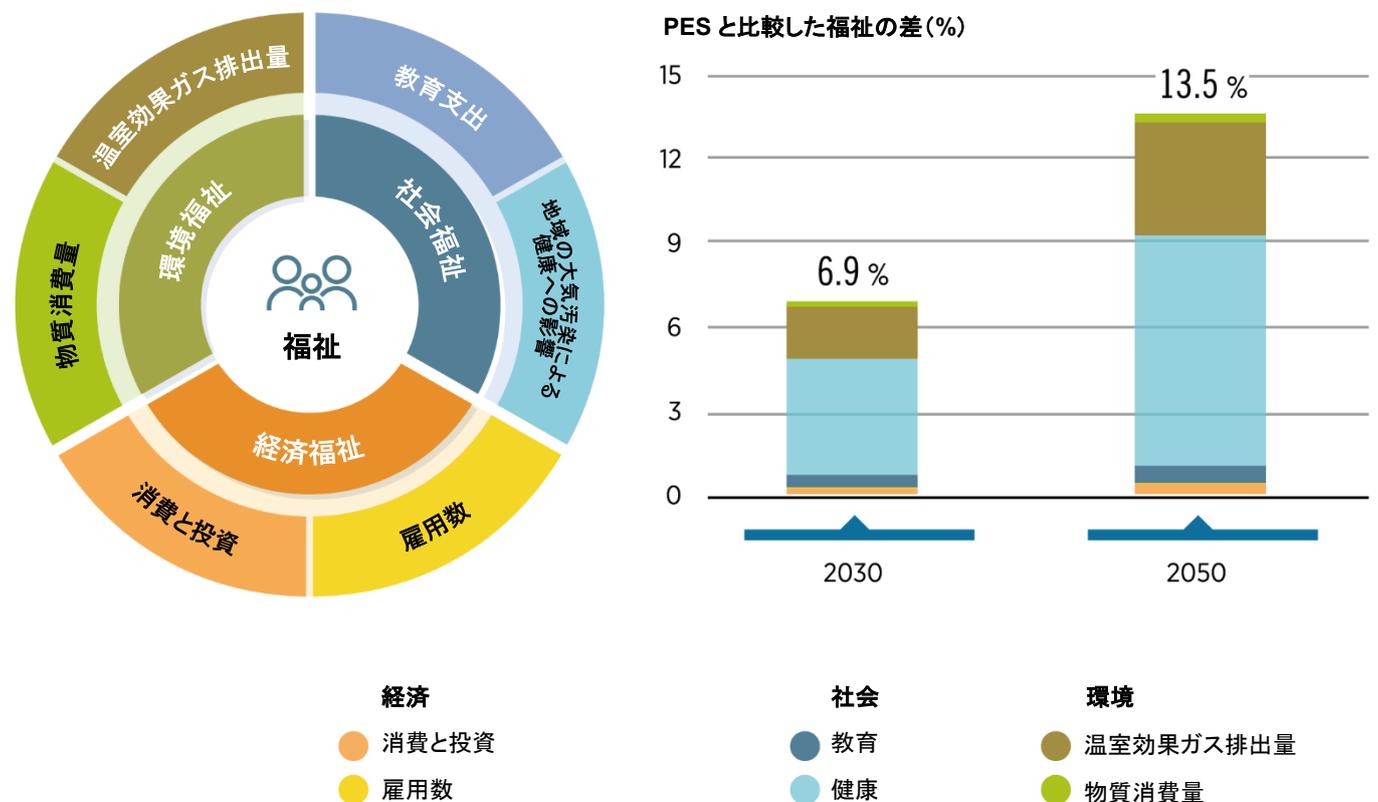


この指数には、サブ指数から集約した経済、社会、環境の各側面が含まれる。各側面の指数は、2つのサブ指数から得られたものである。経済的指数は、家計消費と家計投資、雇用から得られる。社会的指数は、教育支出と大気汚染による健康への影響からなる。環境的指数は、温室効果ガス排出量と物質の消費量からなる。詳細は、表 2.1 に示す。

この方法で測定した世界の福祉は、現行計画シナリオよりもエネルギー転換シナリオにおいて急速かつ大幅に向上し、2050 年までに 13.5% 上回る (図 2.10)。その大部分を社会的側面と環境的側面が占めており、大気汚染の削減と温室効果ガス排出量の減少による健康の大幅な向上を反映している。

図 2.10 福祉向上：健康面の便益と排出削減が影響

エネルギー転換シナリオにおける 2030 年と 2050 年の世界の福祉指数



IRENA の分析に基づく

ボックス 2.3 福祉指数の構成

この分析で用いた福祉指数の構成要素として、マクロ経済的モデルの結果を用い、福祉の3つの側面（経済、社会、環境）を示す6つのサブ指数を作成した。それぞれのサブ指数は単位が異なるため、現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオ間の差異のパーセンテージによって6つのサブ指数を表し、等分の比重を与え、全体的な指数に集約した。



側面	サブ指数	詳細	単位	指数全体における比重
経済	消費＋投資	各年および各国別の世帯消費と経済全体の投資額（すなわち資本形成）の合計	2015年のドル価値	1/6
	雇用	検討した43の経済部門すべてにおける経済全体の各年および各国別の雇用数	雇用数	1/6
社会	教育支出	各年および各国別の公的・私的 教育支出	2015年のドル価値	1/6
	健康への影響	各年および各国別に、発電部門と最終消費部門における燃料別のエネルギー消費量(TJ)に、IRENAの分析で明らかにした燃料別の健康面での外部性(ドル/TJ)を乗じたもの	2015年のドル価値	1/6
環境	温室効果ガス排出量	温室効果ガスの累積排出量(すべての国において、指数として世界の排出量を使用)。累積量を使用した理由は、付随する外部性(気候変動)との関連性があるからである。	CO ₂ 換算t	1/6
	物質消費量	化石燃料を除く物質の累積消費量。累積量を使用した理由は、ほとんどの場合、付随する外部性(限りある資源の枯渇)との関連性があるからである。	Gt	1/6

IRENA, 2016c より編集。

2.4 結論

エネルギー転換シナリオにおいて定量化されたエネルギー転換の社会経済的影響は、世界規模では有望なメッセージを伝えるものである。雇用とGDPの成長率はプラスとなり、福祉は大幅に向上する(主要データは表2.1を参照)。しかし、国や地域ごとに検討すると、社会経済的影響は、社会経済的構造の多様性や、それらの構造とエネルギー転換の複雑な相互作用によって、世界規模の影響とは多かれ少なかれ異なるものとなる。また、このような複雑な課題は、ローカルレベルのソリューションも必要とする。同様に、エネルギー転換がもたらす機会は、それぞれの地域に固有のものである。これについては、第4章で詳しく説明する。

表 2.1 2050 年へのロードマップ：世界のエネルギー転換における主な社会経済的指数の追跡

	2019	2030	2050
世界			
地域全体の人口(千人)	7 656 137	8 379 776	9 358 932
GDP(ドル、2015 年)			
GDP(百万)：PES	83 643 985	117 717 477	214 272 530
GDP(百万)：TES	85 247 810	120 011 802	219 366 861
GDPの差(百万)：TES-PES	1 603 826	2 294 325	5 094 331
GDPの差(%)：TES-PES	1.92%	1.95%	2.38%
1人あたりGDP(千)：PES	10.93	14.05	22.89
1人あたりGDP(千)：TES	11.13	14.32	23.44
雇用者数			
経済全体の雇用者数(千人)			
雇用者数：PES	3 714 168	4 051 588	4 238 092
雇用者数：TES	3 721 777	4 058 720	4 244 626
雇用者数の差：TES-PES	7 608.94	7 132	6 534
雇用者数の差(%)：TES-PES	0.20%	0.18%	0.15%



表 2.1 2050 年へのロードマップ：世界のエネルギー転換における主な社会経済的指数の追跡
(続き)

	2017	2030 (PES)	2030 (TES)	2050 (PES)	2050 (TES)
世界					
エネルギー部門の雇用者数(千人)					
原子力	560	770	696	739	430
化石燃料	28 085	33 255	29 133	29 878	21 680
再生可能エネルギー	12 288	20 306	29 543	25 578	41 902
エネルギー効率化	9 507	20 283	29 189	17 561	21 265
電力系統および エネルギー柔軟性	7 439	11 507	12 078	12 721	14 494
合計	57 879	86 121	100 640	86 478	99 771
経済全体における エネルギー関連の雇用(%)		2.13%	2.48%	2.04%	2.35%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)					
バイオエネルギー	4 371	7 154	10 890	6 998	14 090
太陽光	4 286	7 916	11 717	11 501	18 698
水力	2 389	2 747	3 013	2 569	2 759
風力	1 160	2 374	3 744	4 355	6 057
地熱	80	113	156	150	238
海洋	1	2	25	4	60
合計	12 288	20 306	29 543	25 578	41 902
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		23.58%	29.36%	29.58%	42.00%

2050 年における雇用者数の差(千人)	
経済全体の雇用者数の差	6 534
従来型エネルギー関連の雇用者数の差(A)	-8 507
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差(B)	21 801
エネルギー部門全体の雇用者数の差(A+B)	13 294



技術職(千人)		業種別(千人)		職務要件別(千人)	
太陽光	14 132	建設・設置	11 639	一般作業者・技能者	19 044
太陽熱	4 249	製造	7 061	熟練技能者	2 541
陸上風力	5 048	運用・保守	5 976	技術者	2 246
洋上風力	1 009	バイオ燃料供給	-	マーケティング・管理	846
地熱	238				
合計	24 676	合計	24 676	合計	24 676



福祉水準の向上

(%):

TES-PES

指数/年

	2030年	2050年
経済	0.34	0.49
社会	4.53	8.70
環境	2.03	4.29
合計	6.9	13.5

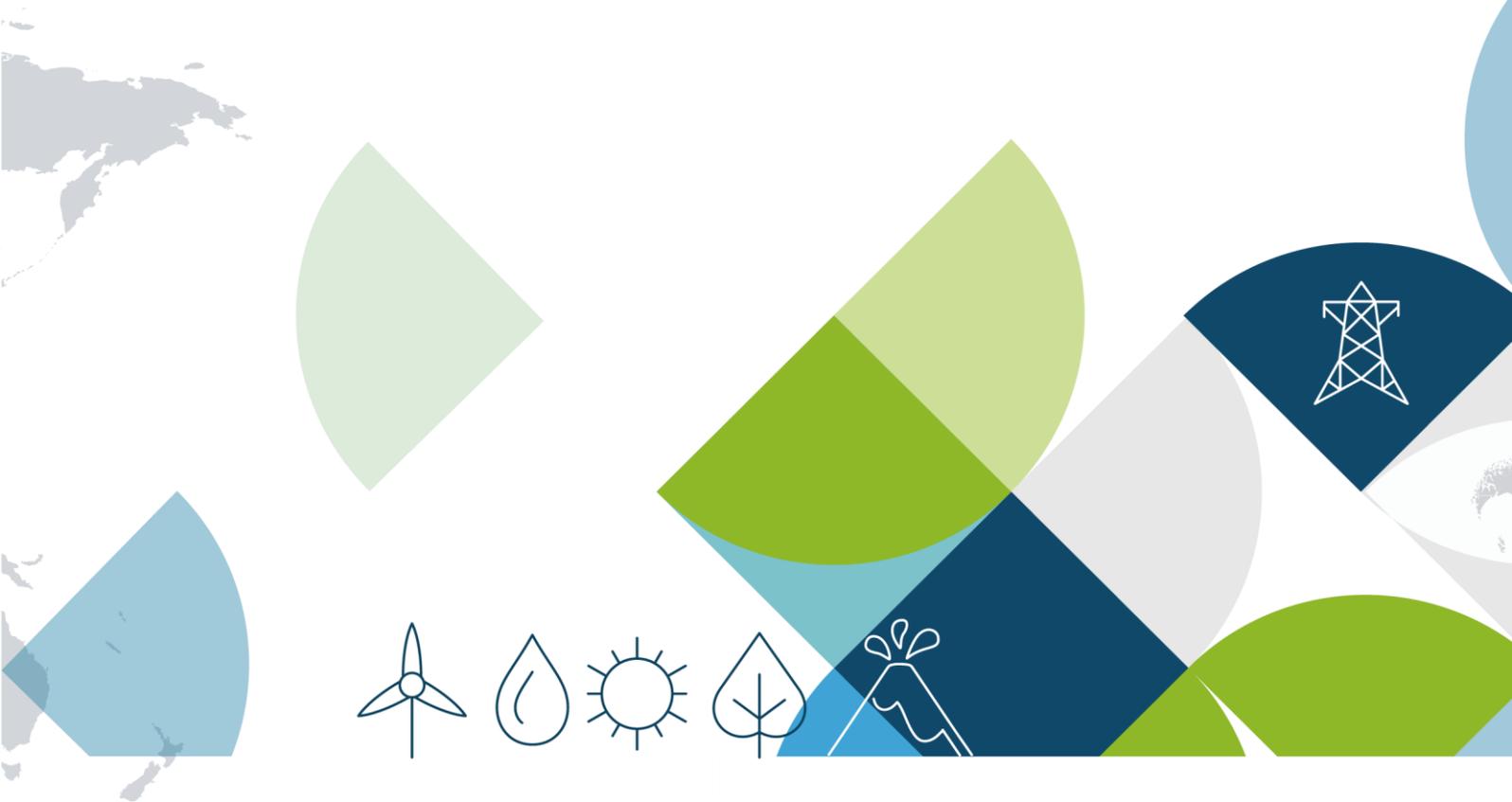


地域のエネルギー転換： 技術・経済的状況



本章では、世界 10 地域にエネルギー転換がもたらす影響について地域ごとの見通しを提示する。世界の気候目標はひとつかもしれないが、さまざまなエネルギー転換の道筋を検討し、地域ごとの状況に合わせたソリューションの調整を行う必要がある。

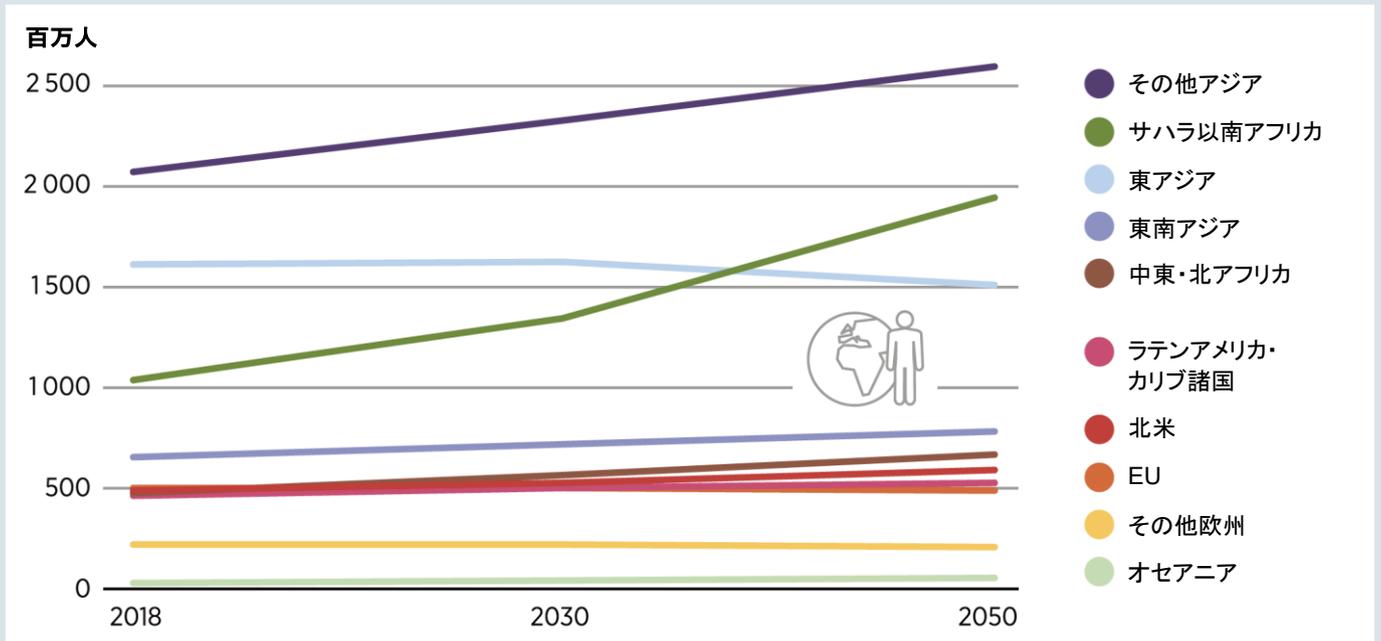
これらの地域は地理的分類に基づいて決定されたもので、社会経済的、政治的、文化的な側面は考慮されていない。地域の区分はやや恣意的な傾向があり、個々のケースにおけるエネルギー転換の影響を反映した各国間の重要な差異を分かりにくくしてしまうおそれがある。それでも、IRENA によるエネルギー転換に関する分析結果を地域レベルで精査することによって、貴重な知見を得ることができる。以下で説明する通り、地域間の重要な差異が存在する。



3.1 状況と特徴

人口

図 3.1 世界人口の増加：現在の 75 億人から 2050 年までに 97 億人超へ
2018 年～2050 年の人口動向予測



E3ME に基づく IRENA の分析による。
注：オセアニアはパプアニューギニアを含む。

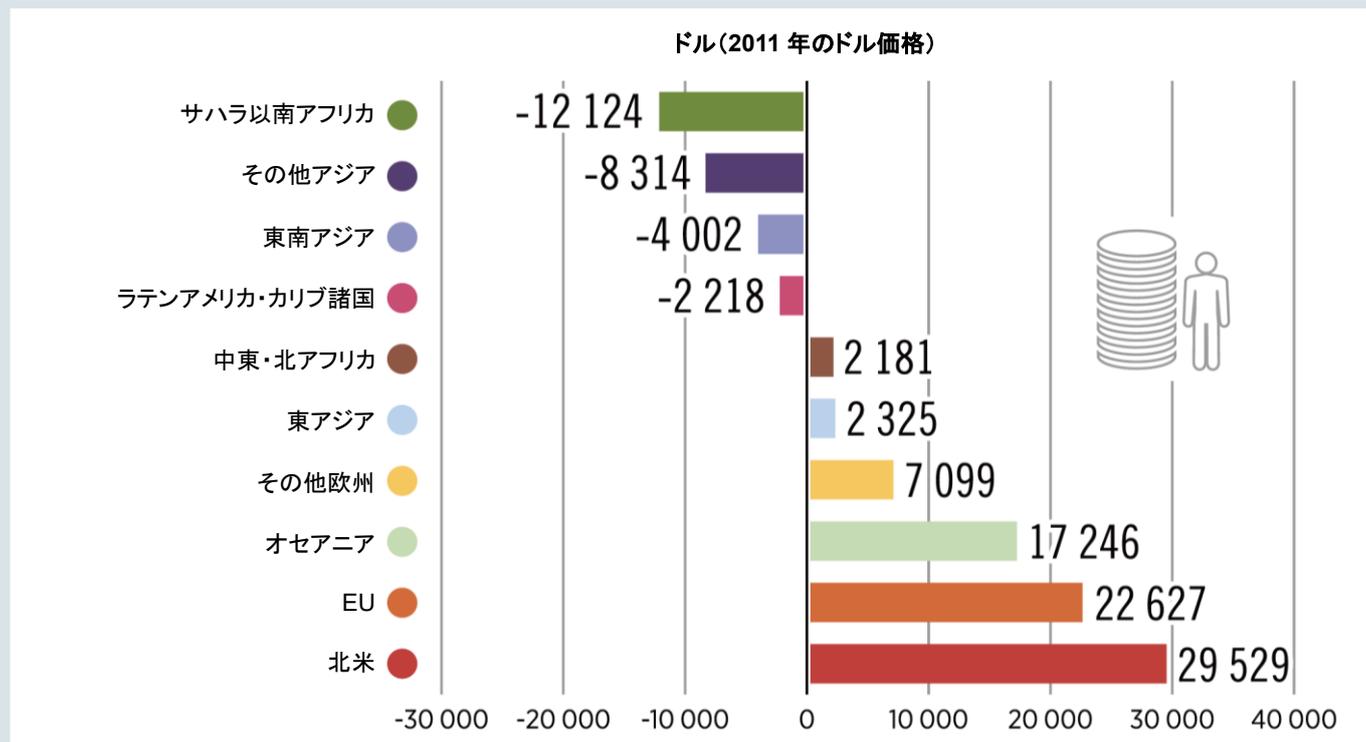
人口増加の大部分は、**その他アジア**と**サハラ以南アフリカ**で生じると予測される。東南アジア、中東・北アフリカ、ラテンアメリカ・カリブ諸国、北米、オセアニアではわずかな増加が見込まれる一方、東アジア、EU、その他の欧州では減少が見込まれる。



GDP

図 3.2 地域間の富の偏在

2018 年における 1 人あたり購買力平価 GDP、世界平均からの偏差



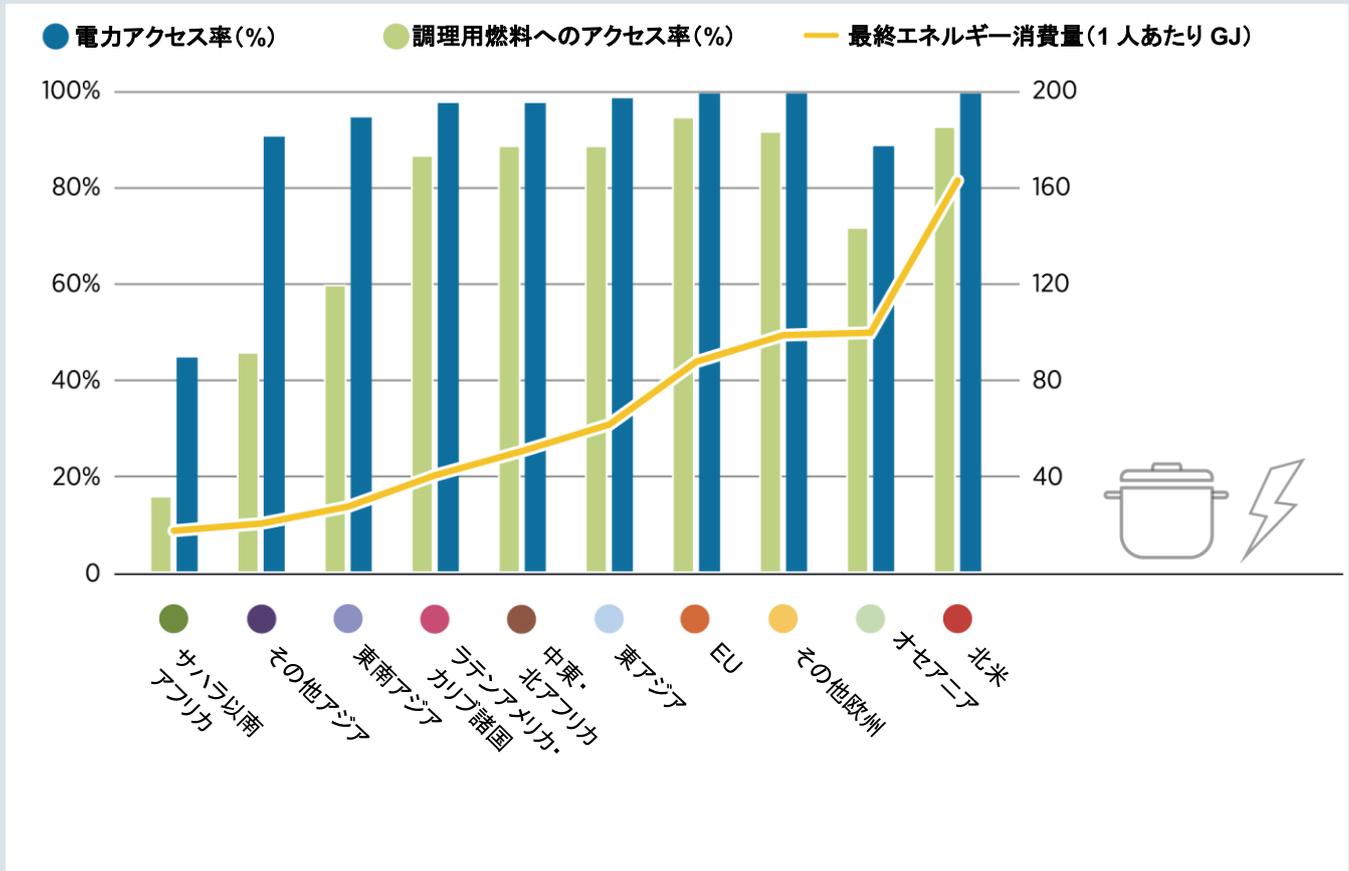
注: 2018 年データ(World Bank Group, 2019a)に基づく分析による。

富の配分は不均等である。北米、EU、オセアニアの 1 人あたり GDP は世界平均を大きく上回る一方、東南アジア、その他アジア、サハラ以南アフリカは世界平均を最も大きく下回る。人口増加の 78%が最貧困地域で生じるという人口動態予測を踏まえると、この落差はいっそう浮き彫りになる。



エネルギー消費量と電力およびクリーンな調理用燃料へのアクセス

図 3.3 1 人あたりエネルギー消費量： 富とアクセス率の増加に伴いエネルギー消費量も増加
1 人あたりエネルギー消費量と電力およびクリーンな調理用燃料へのアクセス率



注：電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019b)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019c)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ(IEA, 2019b)による。

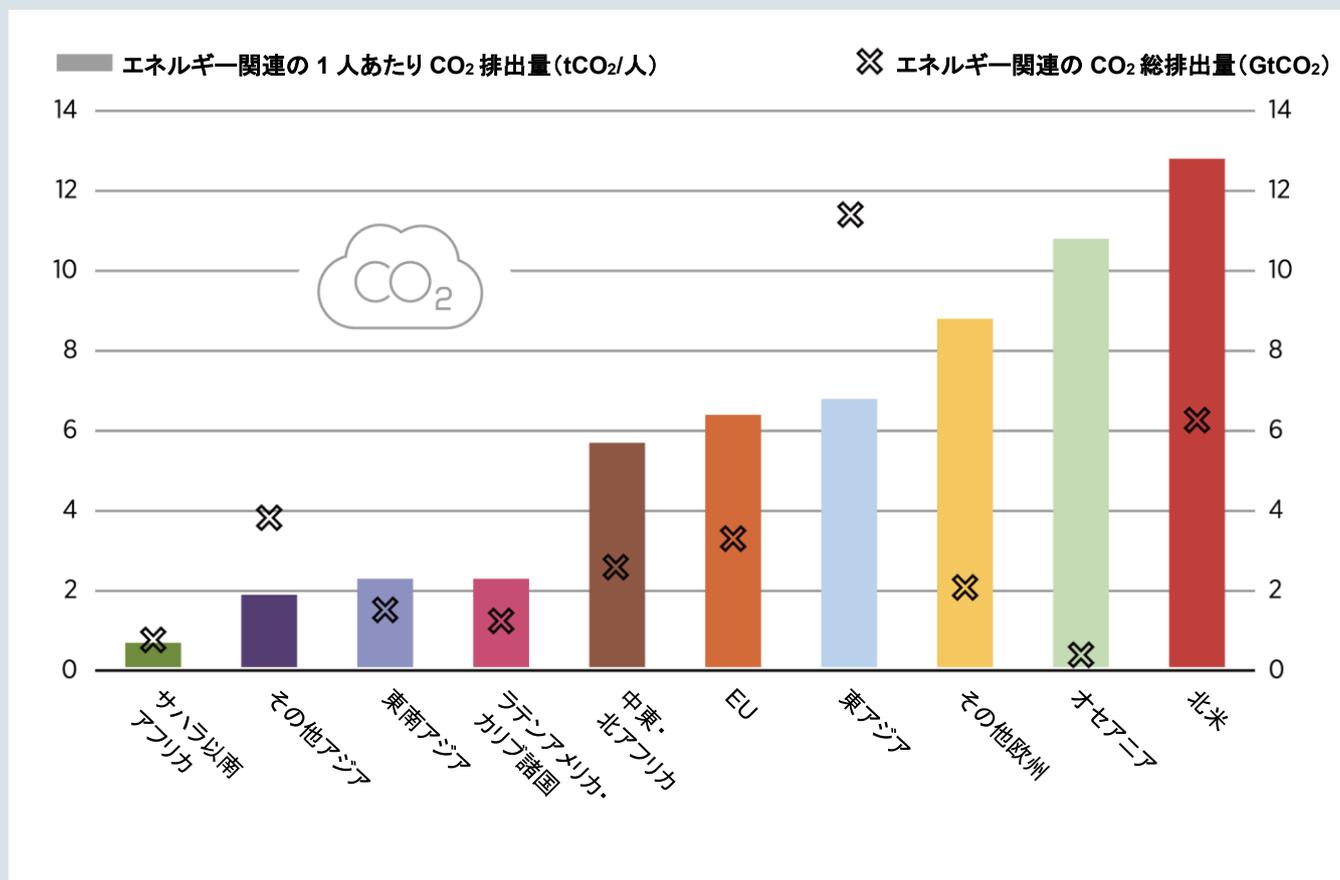
1 人あたりエネルギー消費量は、裕福な地域ほど多く、貧困率の高い 3 地域では最も少ない。電力およびクリーンな調理用燃料へのアクセスでも同様の傾向が見られるが、ほとんどの地域は電力アクセス率が 90%を超えている。顕著な例外はサハラ以南アフリカで、電力アクセス率はわずか 45%に留まり、世界平均の 89%を大きく下回る。



エネルギー部門における CO₂ 排出量

図 3.4 エネルギー関連の CO₂ 排出量: 各地域の現行水準

2018 年におけるエネルギー関連の 1 人あたり CO₂ 排出量と総排出量



注: 2018 年データ (Global Carbon Atlas, 2019) に基づく分析による。

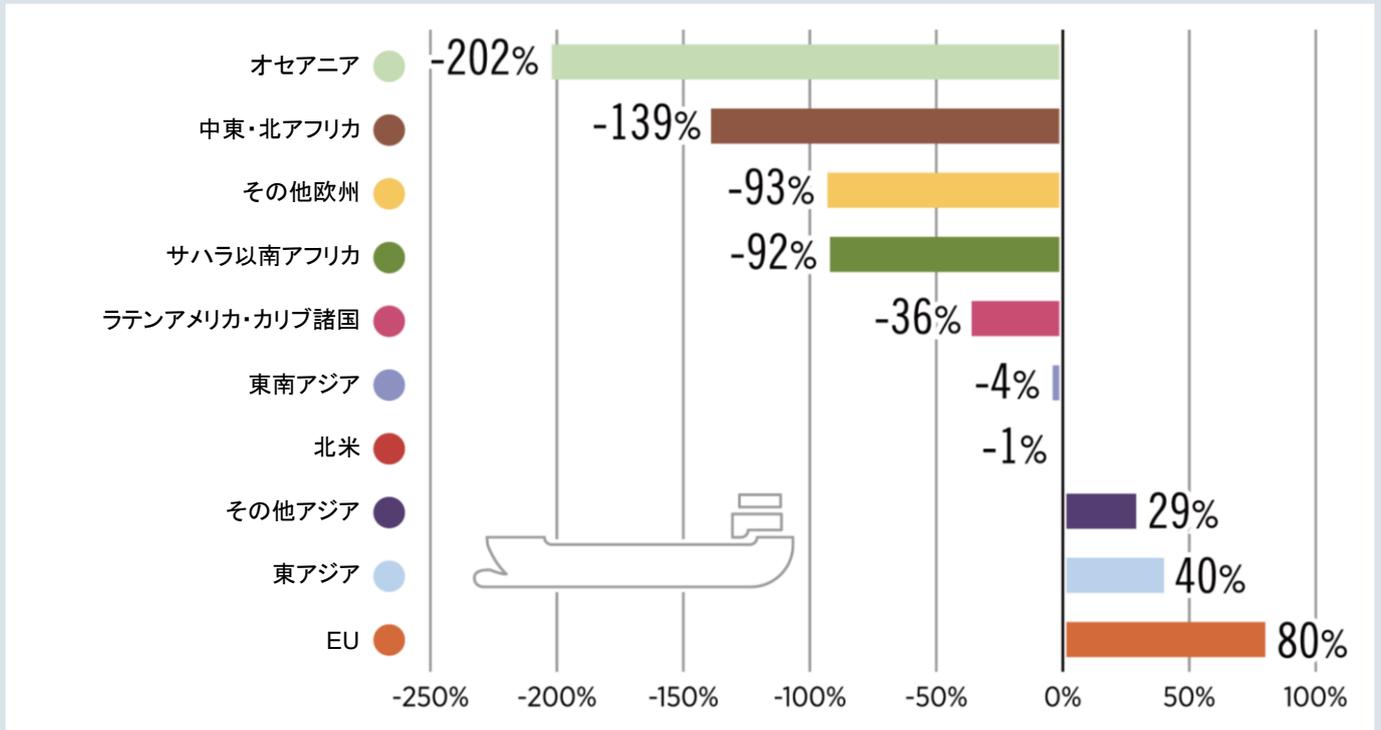
エネルギーへのアクセス率が低いと、1 人あたり CO₂ 排出量も少ない。総排出量は、総人口に大きく左右される。1 人あたり排出量はかなり低いものの、人口が多いために総排出量が非常に多くなっている地域もある。



化石燃料への依存

図 3.5 化石燃料の輸出と輸入：地域別の収支

2017 年の一次エネルギー（化石燃料）総供給量に対する化石燃料の純輸入量の比率で
 定量化したエネルギー安全保障度



注：2017 年データ(IEA, 2019b)に基づく分析による。

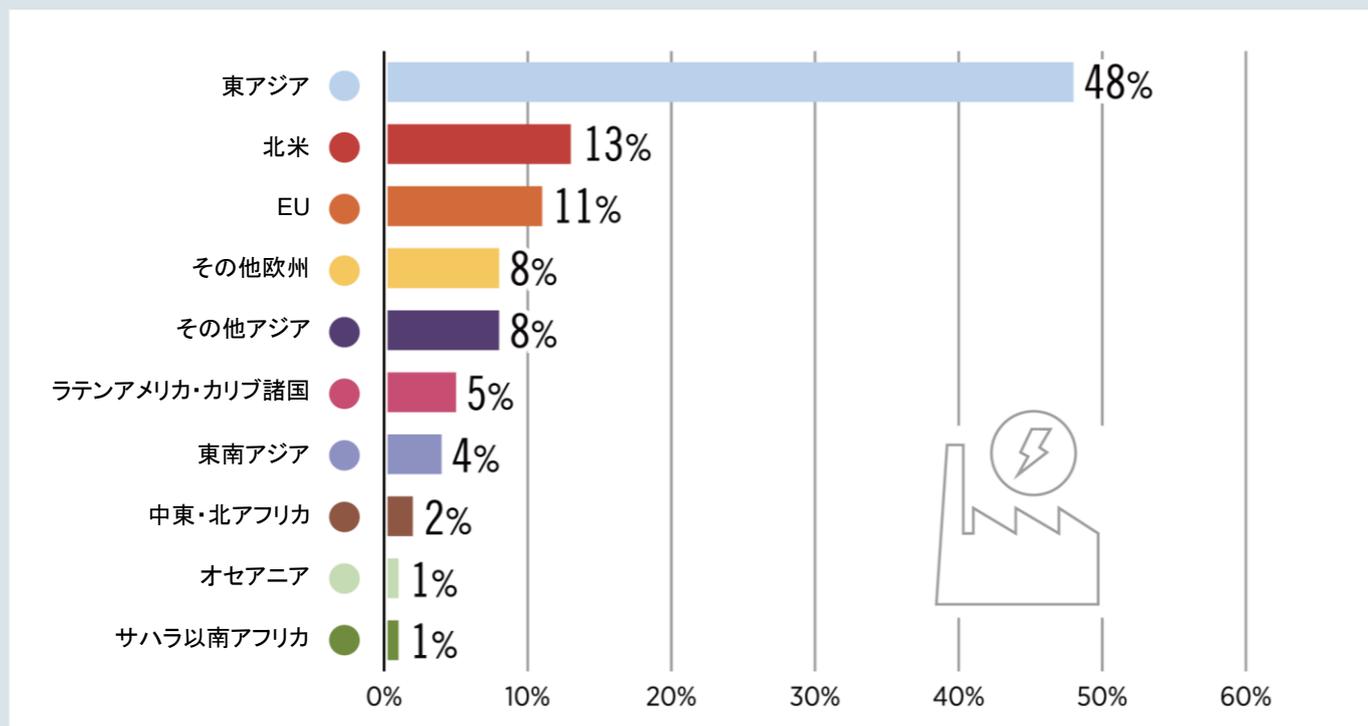
現在、ほとんどの地域(上図の数値がマイナスの地域)は化石燃料の純輸入地域で、東南アジアと北米はほぼ収支ゼロである。世界が低炭素社会を目指す中で、純輸出地域は世界の化石燃料需要の減少に備えなければ損害を被ることになる。逆に言えば、その他アジア、東アジア、EU は、化石燃料の外部依存度を削減することによって大きな便益を得られる可能性がある。



エネルギー集約型産業

図 3.6 エネルギー集約型産業: 東アジアに高い需要が集中

2017 年の世界のエネルギー集約型産業によるエネルギー消費の地域別比率



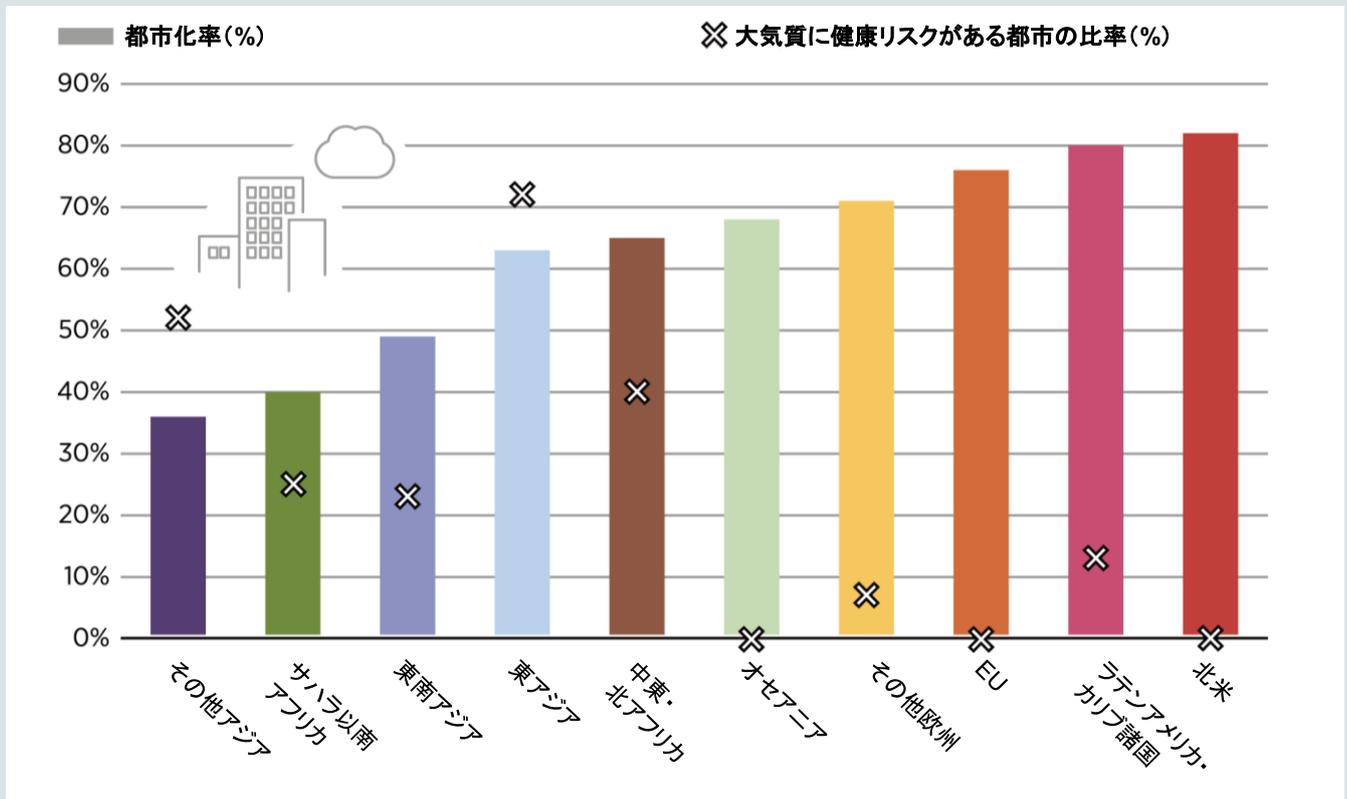
注: 鉄鋼、化学・石油化学、非金属鉱業、非鉄金属、食品、タバコ、製紙産業に関する 2017 年データに基づく分析による。

世界のエネルギー集約型産業（鉄鋼、化学・石油化学、非鉄金属、非金属鉱業など）のエネルギー需要の約 50% が東アジアに集中している。これらの産業は、世界の温室効果ガス排出量の大きな比率を占めており、脱炭素化を目指すうえで最も課題のある産業であると考えられる。



都市化と都市の大気質

図 3.7 都市の大気質：急成長する都市の大きな懸念事項
都市化と都市大気質



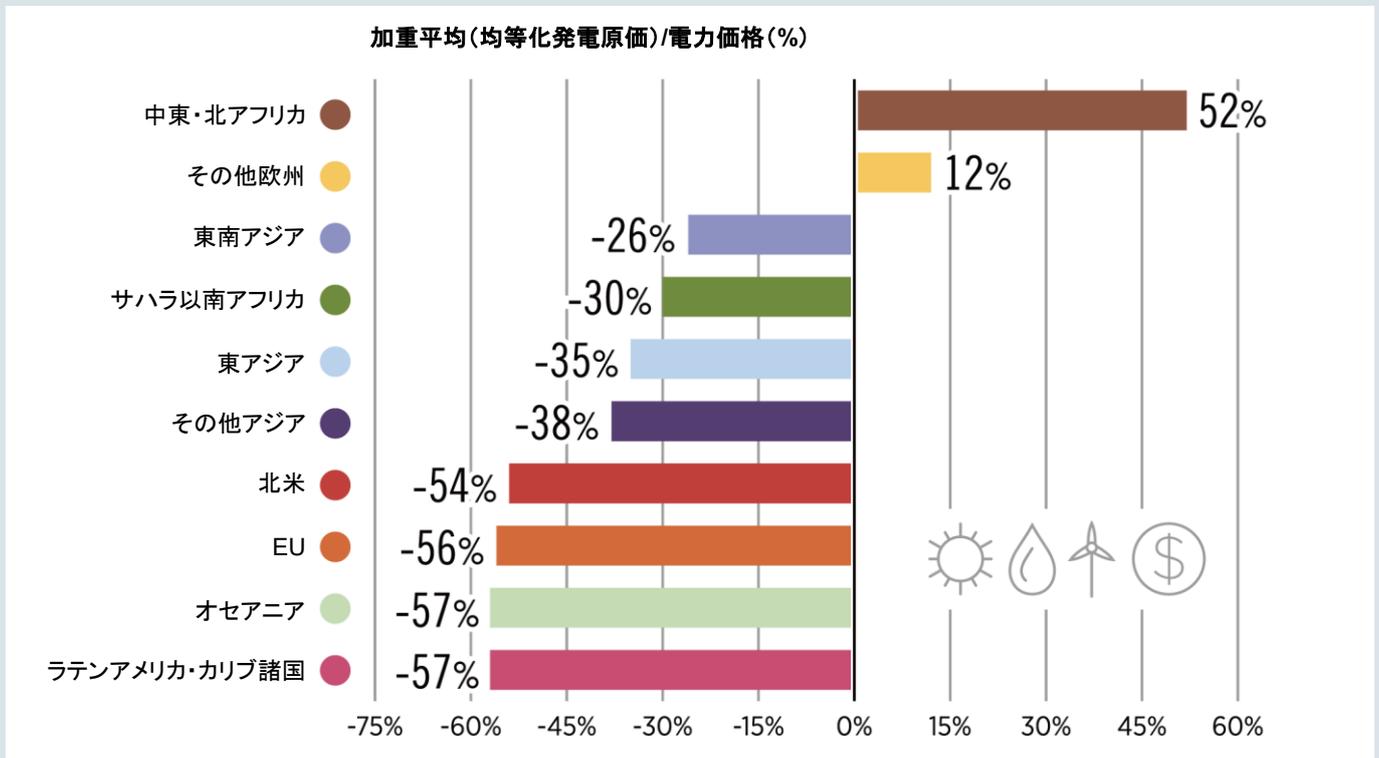
注：都市化率は2018年データ(World Bank Group, 2019d)、大気質(PM 2.5濃度に基づく)は2016年および2017年データ(WHO, 2019)による。

その他アジア、サハラ以南アフリカ、東南アジアを除くすべての地域において、人口の60%以上が都市部に居住している。そのため、都市の大気質が大きな懸念事項となっている。人口増加と都市化が進む中、再生可能エネルギーへの移行によって都市の深刻な大気汚染に歯止めをかけ、人々の健康状態と生活の質を改善することができると考えられる。



コスト競争力

図 3.8 再生可能エネルギー電力: ほとんどの地域で平均電力価格より安価
再生可能エネルギーの発電コストと電力価格の比較



注: 電力コストは 2018 年データ (IRENA, 2019i)、電力価格は 2019 年データ (GlobalPetrolPrices, 2019) による。

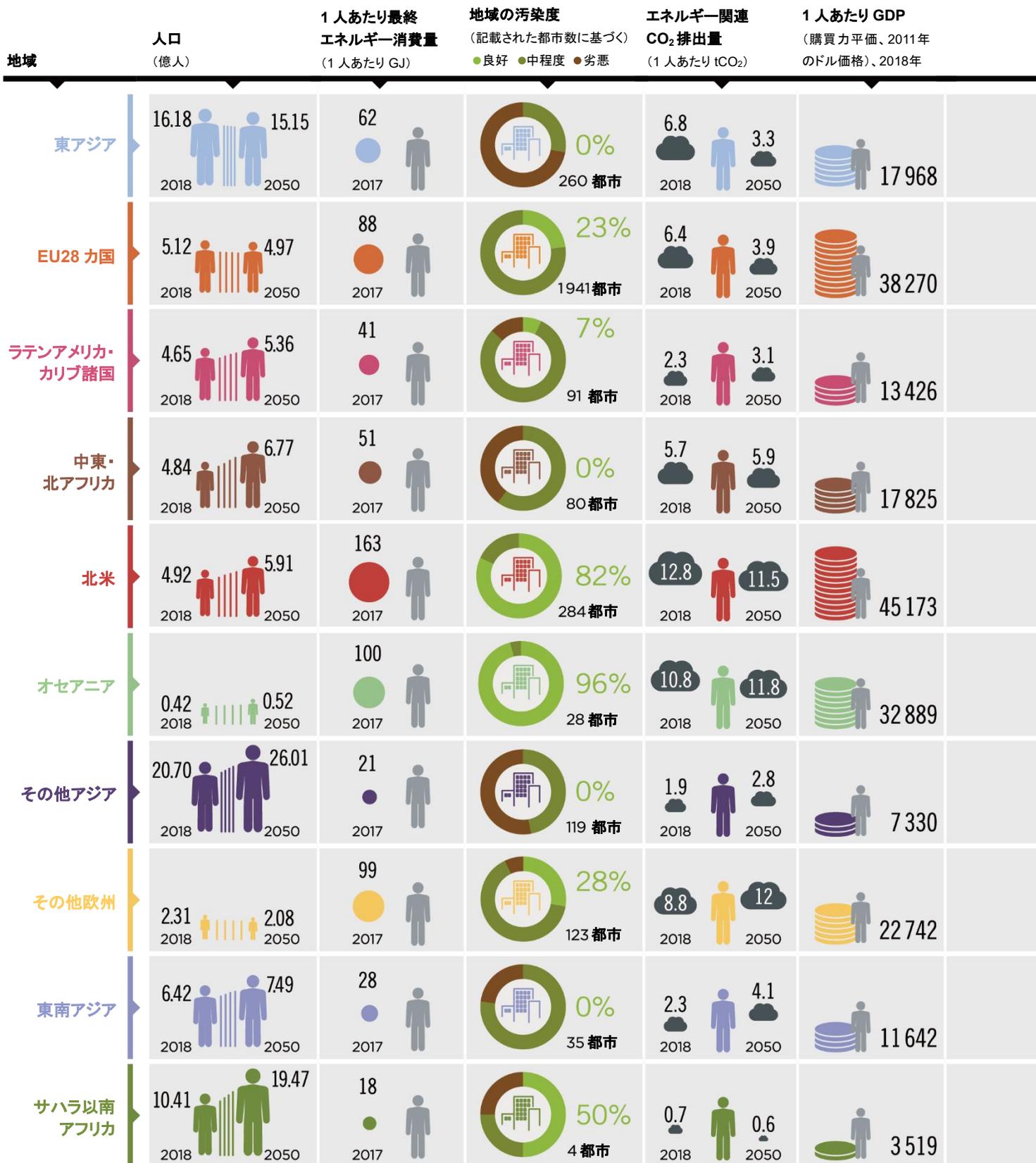
再生可能エネルギーの発電コストが平均して電力価格より高いのは、10 地域のうち 2 地域のみである。中東・北アフリカ、その他欧州以外の地域では、再生可能エネルギー電力コストが現行の電力価格を少なくとも 20% 下回る。この調査結果は、再生可能エネルギーが電力価格を引き下げるポテンシャルを持つことを示している。

3.2 優先順位と促進要因

図 3.9 は、各地域におけるエネルギー転換の状況を示す主要な指数を示している。これらの指数は、エネルギー安全保障から排出量削減、大気質の改善、エネルギーアクセスの普遍化、経済発展にわたって、エネルギー転換を受け入れる促進要因を各地域がどれだけ持っているかを明らかにする。本節では、地域が属する 3 つのクラスターの特徴と、エネルギー転換を加速させるために必要な対策、技術、変革の一部について詳細を論じる。

図 3.9 現行計画シナリオ：地域ごとに異なる見通し

現行計画シナリオにおける各地域のエネルギー転換の状況と主要な指数



注：現行計画シナリオは以下に述べる IRENA の調査・分析に基づく。人口は E3ME に基づく IRENA の分析による（オセアニアはパプアニューギニアを含む）。1人あたり CO₂ 排出量については、IRENA の分析に基づく人口推計を使用。最終エネルギー消費量は 2017 年データ(IEA, 2019b)、地域の汚染度(PM 2.5 濃度に基づく)は 2016 年/2017 年データ(WHO, 2019)、CO₂ 排出量は 2018 年データ(Global Carbon Atlas, 2019)、GDP 購買力平価は World Bank Group, 2019a、電力アクセスは 2017 年データ(World Bank Group, 2019b)、クリーンな調理用燃料

エネルギーアクセス率

(クリーンな調理用燃料と再生可能エネルギーの競争力
電力へのアクセスがある (LCOE-価格)/価格
人口の比率(%))

再生可能エネルギーの競争力
(LCOE-価格)/価格
● 競争力低 ● 競争力高

化石燃料への依存度

資源の利用可能性

(技術的ポテンシャルを踏まえた PES における
2050 年までの技術別発電電力量)

エネルギーアクセス率	再生可能エネルギーの競争力	化石燃料への依存度	資源の利用可能性
89% 99%	●●●●●●●●	高い	4.6% 13.5% 10.3% 9.4% 68.4%
95% 100%	●●●●●●●●	非常に高い	3.0% 1.7% 2.8% 11.4% 19.8%
87% 98%	●●●●●●●●	低い	0.7% 1.3% 0.7% 4.8% 44.4%
89% 98%	●●●●●●●●	非常に低い	0.1% 1.4% 0.4% 3.9% 37.5%
93% 100%	●●●●●●●●	中程度	2.4% 4.5% 0.5% 1.8% 55.5%
72% 89%	●●●●●●●●	非常に低い	0.2% 6.7% 0.1% 2.9% 24.3%
46% 91%	●●●●●●●●	高い	2.3% 2.3% 2.3% 8.1% 26.0%
92% 100%	●●●●●●●●	低い	0.1% 0.5% 0.0% 2.0% 19.5%
60% 95%	●●●●●●●●	中程度	4.3% 32.8% 0.2% 11.8% 44.7%
16% 45%	●●●●●●●●	低い	0.1% 2.0% 0.1% 2.4% 11.8%

へのアクセスは 2016 年データ(World Bank Group, 2019c)、LCOE は 2018 年データ(IRENA, 2019i)、電力価格は 2019 年データ(GlobalPetrolPrices, 2019)、化石燃料への依存度(一次エネルギー供給量に占める化石燃料の純輸入の比率)は 2017 年データ(IEA, 2019b)に基づく。資源の利用可能性については、太陽光は Korfiati et al., 2016、地熱は Deng et al., 2015(現実的なポテンシャルが考慮されたもの。詳細は Deng et al., 2015 を参照)、風力は Bosh, Staffel, hawkes, 2018, 2017、バイオマスは IRENA, 2014、水力は Hydropower & Dams-World Atlas, 2014 に基づく。

エネルギーシステム転換の促進要因の類似性に基づいて、各国を大きく3つの群に分類した。

A 群：北米、EU28 カ国、その他欧州、オセアニア

A 群はおおむね所得水準の高い国からなり、2050 年までの人口推移はほぼ一定または減少すると予想される。1 人あたりのエネルギー消費量は、大部分で世界平均をはるかに上回る。現行計画シナリオでは、この地域の今後 30 年間のエネルギー関連 CO₂ 排出量は、EU28 カ国を除き増加すると考えられる。オセアニアでは、2050 年までに排出量が倍増すると予想される。北米では、2050 年までエネルギー需要全体が 10%増加すると予想されるものの、排出量は横ばいになると予想される。これに反し、EU28 カ国ではエネルギー関連 CO₂ 排出量は 2050 年までに現行水準から3分の1減少する。しかし、エネルギー転換シナリオによると、これらの CO₂ 排出量が多い地域は、排出量を少なくとも現行水準から 80%削減するソリューションを展開しなければならない。これらの地域におけるエネルギーシステム転換の主な促進要因は、以下のとおりである。

- **エネルギー安全保障の強化**：化石燃料から離れ、エネルギー供給源を競争力のある再生可能エネルギー源へと多様化する必要がある。
- **経済の競争力とイノベーションにおけるリーダーシップ**：再生可能エネルギー技術の導入は、投資家に高い投資対効果をもたらし、グリーン経済を育成することができるとともに、これらの国々をクリーン技術の主導国として強化することができる。
- **CO₂ 排出量の削減**：これらの国々の多くは、過去に大量の CO₂ を排出したことに責任があり、今後は排出量削減の先頭に立つべきである。再生可能エネルギーとエネルギー効率化が、この目標を達成するための重要な手段となる。

B 群：中東・北アフリカ、東アジア

B 群はおおむね所得水準が中程度の国からなり、過去数十年で着実な成長を遂げてきた。これらの地域の 1 人あたり最終エネルギー消費量は世界平均をやや上回り、2050 年までにやや増加すると予想される。現在これらの地域は全体として、世界全体の CO₂ 排出量に対して占める比率が大きく、その大部分が東アジアによるものである。実現政策や対策の結果、東アジアにおけるエネルギー関連 CO₂ 排出量は、今後 30 年間で半分以下になると予想されており、中国による取り組みがこれを主導する。中東・北アフリカ地域では、エネルギー関連 CO₂ 排出量は今後 30 年間も引き続き増加すると予想される。急速な人口増加と、化石燃料への補助金によってエネルギー価格が低下するためである。

2020 年代初めに起こった石油需要と価格の暴落は、化石燃料の主要輸出国に深刻な経済的影響をもたらすおそれがある。これらの地域におけるエネルギーシステム転換の主な促進要因は、以下のとおりである。

- **CO₂ 排出量の削減と大気質の改善**：化石燃料源中心のエネルギーミックスから再生可能エネルギー源中心のエネルギーミックスへと効果的に転換することができれば、環境汚染の緩和、都市の大気質の大幅な改善、全体的な環境状況の向上につながり、人々の健康被害が軽減される。
- **経済の多様化**：水素や蓄電池といった新たな実現技術を含むクリーンエネルギー技術を支援、活用することにより、経済発展を促すことができる。現在の原油価格のボラティリティの背景には、より持続可能で公正なエネルギー社会を実現するためのエネルギーシステムの急速な変化がある。エネルギー転換に伴う長期的な計画期間や現在の気運の高まりを考えると、化石燃料価格の短期的なボラティリティによってこの変化が中断されることはないと思われる。
- **消費者の意識と関与の向上**：社会的取り組みや活動(デマンドサイドの対策を含む)を促進することでエネルギー効率が改善され、地域におけるエネルギー転換のペースを上げることができると考えられる。

C 群：サハラ以南アフリカ、東南アジア、その他アジア、ラテンアメリカ・カリブ諸国

C 群はおおむね所得水準が中～低程度の途上国からなり、過去数十年の成長はさまざまである。これらの地域の 1 人あたり最終エネルギー消費量は、おおむね世界平均を下回っているが、今後 30 年間で 1 人あたりの近代的エネルギー消費量（伝統的なバイオ燃料の利用は除く）は、これらの地域のほとんどで増加すると予想される。これらの地域は、過去 10 年間に電力アクセスの提供において目覚ましい進歩を遂げたが、電力の完全普及という点では一部の国に今なお隔たりがある。クリーンな調理用燃料へのアクセスは、一部の国にとって大きな懸念事項となっている。現行計画シナリオでは、エネルギー関連 CO₂ 排出量の動向は地域間で異なる。東南アジアとその他アジアでは排出量が 2 倍近くに増加し、サハラ以南アフリカとラテンアメリカ・カリブ諸国ではやや増加すると予想される。主にこれらの地域の都市部において大気汚染は引き続き深刻な問題であり、化石燃料への依存拡大により悪化の一途をたどると見込まれる。

これらの地域におけるエネルギーシステム転換の主な促進要因は、以下のとおりである。

- **電力アクセスの普遍化とインフラ増強：** 主な優先事項は、現在の人口と今後増加する人口のエネルギーサービスへの要求に応えることである。再生可能エネルギー導入の規模の拡大は、ビジネス機会を提供すると同時に、エネルギーアクセスとエネルギーシステムのレジリエンスを向上させる戦略オプションとなる。
- **CO₂ 排出量の削減と大気質の改善：** 化石燃料と伝統的なバイオ燃料の利用から離れて近代的再生可能エネルギー源へと移行することにより、地域の大気質を改善し、CO₂ 排出量を削減できると考えられる。
- **経済発展と再生可能エネルギーのコスト競争力：** 地域における膨大かつ多様で分散して存在し、競争力のある再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活用することで、エネルギーシステムコストを削減すると同時に、経済に付加価値をもたらし、雇用を創出できると考えられる。

3.3 IRENA が提唱する 2050 年に向けたエネルギー転換の道筋

図 3.10 は、各地域がいかにして現在の状態から、エネルギー転換シナリオが示す 2030 年と 2050 年の目標とされる状態へと移行することができるかを表す主な指数を提示している。これらの指数は、最終消費部門のより大規模な電化や再生可能エネルギー導入率の拡大など、各部門、各技術にわたって大幅な加速が必要であることを示している。

地域ごとの所見を見ると、いくつかの傾向が確認できる。エネルギー需要の拡大については、欧州、中東・北アフリカ地域、北米ではエネルギー使用量の増加は見られないが、他の地域ではある程度の増加が見られる。



図 3.10 世界のエネルギー脱炭素化：地域ごとに異なるエネルギー転換への道筋
エネルギー転換シナリオにおける CO₂ 排出量、電化率などの地域別指数



注：TES は IRENA の分析に基づく。2017 年のデータは Global Carbon Atlas (2019) および IEA (2019b) に基づく。

● 一次エネルギー供給量に占める
再生可能エネルギー
導入率(%)



● 電源構成に占める
再生可能エネルギー
導入率(%)



2017

2030

2050

2017

2030

2050



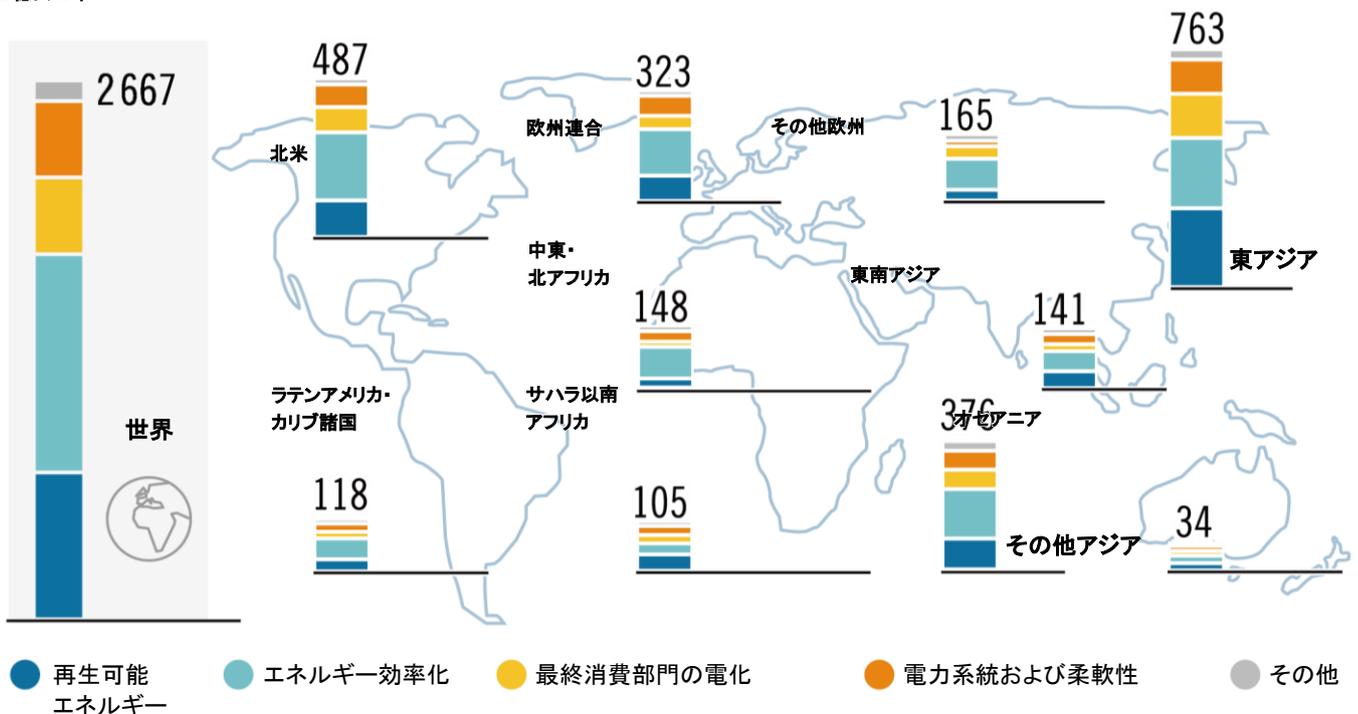
2030 年の一次エネルギー供給量に占める再生可能エネルギーの比率が最も高いのは、ラテンアメリカ・カリブ諸国の 53%で、次いでサハラ以南アフリカの 43%である。EU は 39%となる。これに対し、中東・北アフリカ地域は比率が最も低く、9%となる。しかし、2050 年までの地域ごとの進展はそれぞれ異なり、一次エネルギー供給量に占める再生可能エネルギーの比率が最も高いのは 80%を上回るサハラ以南アフリカとオセアニアで、次いで東南アジア、ラテンアメリカ・カリブ諸国、EU が 70%を上回る。2030 年と同様、2050 年においても中東・北アフリカ地域の比率は最も低い 26%にとどまる。

同様に、電化の拡大傾向も地域によって異なる。2050 年の最終エネルギー消費量に占める消費電力量の比率は、東アジアが 58%と最も高く、中国がそれを主導する。その他アジア、北米、EU では 50%程度である。比率が低いのは、中東・北アフリカ地域、東南アジア、ラテンアメリカ・カリブ諸国、その他欧州で、40%前後である。

エネルギー転換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額は、地域によって大きく異なり、現在の再生可能エネルギー導入率とも必ずしも相関するわけではない。一般的に、地域の投資額を決定する主な要因は人口であり、次いで所得水準である。2050 年までの期間におけるクリーンエネルギーへの年間平均投資額が最も高いのは東アジアで、次いで北米、その他アジア、EU と考えられる(図 3.11、表 3.1)。

図 3.11 エネルギー転換シナリオ：地域ごとに異なる投資ニーズ
2050 年までのエネルギー転換への地域別年間投資額

10 億ドル/年



出所：IRENA(2019q)

免責事項：本報告書で使用している名称や内容の提示方法は、いかなる地方、国、領土、都市または地域とその機関の法的地位、また境界線や国境の画定に関連した IRENA 側の見解を表明するものではない。

表 3.1 エネルギー転換シナリオにおける 2050 年までの地域別年間投資額(億ドル/年)

	再生可能 エネルギー	エネルギー 効率化	熱供給部門と 運輸部門の電化	電力系統お よび柔軟性	その他 ^a	合計
東アジア ●	2 680	2 290	1 390	1 050	220	7 630
EU ●	820	1 470	330	560	50	3 230
ラテンアメリカ ●	310	590	100	150	30	1 180
中東・北アフリカ ●	180	960	50	230	60	1 480
北米 ●	1 190	2 210	740	650	80	4 870
オセアニア ●	130	130	30	40	10	340
その他アジア ●	930	1 570	540	520	200	3 760
その他欧州 ●	250	940	300	60	100	1 650
東南アジア ●	450	560	110	220	70	1 410
サハラ以南アフリカ ●	430	250	160	180	30	1 050
世界	7 350	10 990	3 740	3 720	860	26 670

出所: IRENA(2019q)

a. 電解装置による水素製造、バイオ燃料供給、二酸化炭素の回収・貯留および原材料化

3.4 主要な取り組み

本報告書は、世界のエネルギー転換が急務であること、またエネルギー転換の重要な支柱となるのは再生可能エネルギー、エネルギー効率化、電化であることを明確にしている。これらの支柱を実現する技術は、現在利用可能なうえに大規模かつ迅速に展開することができ、コスト競争力もある。2015 年にパリ協定が調印され、それ以降エネルギー関連 CO₂ 排出量は約 5%増加している。

今後数年がきわめて重要である。全体の目標レベルを飛躍的に引き上げる必要がある。必要な緩和策に対する見解はさまざまであっても、国や地域は排出量削減に向けて世界を軌道に乗せる世界的なエネルギー転換を推進しなければならない。エネルギー転換につながる変化を促進するために、次のような重要な取り組みを今こそ行う必要がある。

- 変動性再生可能エネルギーの導入拡大に対応するために、電力部門のエネルギー転換を図る。
- エネルギー転換を拡大する主要な実現要因として、デジタル化を促進する。
- エネルギー転換の次の段階に不可欠な要素として、運輸部門と熱供給部門の電化を加速する。
- 再生可能エネルギー電力によって製造される水素を導入し、CO₂ 排出量の削減に課題がある部門の化石燃料への依存度を軽減する。
- 持続可能なバイオエネルギーの需要増加に対応する鍵となるバイオマス・サプライチェーンを構築する。

世界のエネルギーシステムを脱炭素化するためには、電力、産業、建築物、運輸の各部門において迅速かつ決定的な政策的取り組みが必要である。部門レベルの主要な取り組みの概要を図 3.12 に示す。

図 3.12 世界のエネルギー脱炭素化：すべての部門で迅速な取り組みが必要

2050 年に向けてエネルギー転換を実現するための部門レベルの主要な取り組み

電力部門 	運輸部門 
<p>低炭素技術によって十分な電力を発電するため、再生可能エネルギーの設備容量拡大を加速する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー源を特定して、マッピングし、融資可能な中長期的プロジェクトのポートフォリオを策定する。 石炭発電所の新規建設を取りやめ、石炭発電設備の老朽廃止/段階的廃止を計画・実施する。 	<p>輸送量と混雑を軽減する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 先進的デジタル通信技術を採用して、都市部の輸送計画とサービスを向上させる(経路変更による交通混雑軽減など)。 モビリティサービスを推進する(自動運転、カーシェアリングなど)。 乗用車から公共交通への移行を促進する(電気鉄道、トラム、バス)。 市街地向け低排出トラックを導入する。
<p>変動性再生可能エネルギー(太陽、風力)の導入拡大に対応できるよう、系統計画を改定する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 柔軟性の高い電力システムを開発する(柔軟な電力供給、貯蔵、デマンドレスポンス、power-to-X、電気自動車、デジタル技術や ICT 技術など)。 グリッドコードの整備 マイクログリッドを導入してレジリエンスを高め、再生可能エネルギー源による電力アクセスを拡大する。 スーパーグリッドを導入した地域間連系 従量料金(ドル/kWh)、固定料金(たとえばメーターあたり月単価)、場合によりデマンド料金制(ドル/kW)のバランスを適切に調整することによって、原価を反映した料金体系を展開する。 	<p>電動モビリティへの移行を促進する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 車両排出量の最低基準を設定する。 市街地交通網において電気自動車(EV)を優先する。 電動モビリティ向け充電設備の開発にインセンティブを提供する。 統合的な計画立案と政策設計により、電力部門と運輸部門の連携を強化する(V2G サービス)。
<p>分散型エネルギー源の導入を支援する。</p> <ol style="list-style-type: none"> エネルギー需要家がプロシューマー(生産消費者)となるのを推進するためのインセンティブを提供する。 発電と売電の権利、料金規制、電力システムへの接続政策など、規制政策と料金政策を支援する。 アグリゲーターが分散型エネルギー源を積極的に利用できるようにする。 	<p>道路貨物輸送、航空、船舶分野でバイオ燃料を優先する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 先進型バイオ燃料に関する具体的な義務付けを導入するとともに、直接的な金銭的インセンティブと財務リスク低減策を実施する。 第一世代、第二世代バイオ燃料の持続可能な生産を拡大するために、支援政策を採用する。 化石燃料への補助金を廃止し、炭素税やエネルギー税を導入して、再生可能エネルギーを燃料とする船舶・航空機の競争力を高める。

出所：IRENA (2019a)

産業部門



各産業のエネルギー消費量を削減する。

- 1) 循環型経済を促進する(マテリアルリサイクル、廃棄物管理、物質効率性の向上、リユースやリサイクルといった構造改革)。
- 2) エネルギー効率に関する基準を確立し、実使用時の効率性を高める。

再生可能エネルギーの企業調達を可能にする。

- 1) 企業の再生可能エネルギー利用のための、信頼できる透明性の高い認証・追跡システムを支援する。
- 2) あらゆる規模の企業と再生可能エネルギー開発者が電力購入契約(PPA)の締結などによって、直接取引することを可能にするエネルギー市場構造を検討する。
- 3) 電気事業者や他の電力サプライヤーと協力して、企業のグリーン調達オプションを提供する。
- 4) 企業に自家発電への直接投資の権利を与える。

産業プロセス加熱における低炭素技術の導入を加速する。

- 1) 現存する障壁を取り除き、低炭素な加熱方法へのインセンティブを提供する(太陽熱、近代的バイオエネルギー、ヒートポンプなど)。
- 2) 新興のバイオマス技術や水素技術を支援する。化石燃料ベースの原料やプロセス加熱を再生可能エネルギーベースのものに置き換える(鉄鋼分野、アンモニア生産など)。

建築物部門



建築物のエネルギー消費量を削減する。

- 1) エネルギー効率に関する建築法規や基準を確立または強化する(電化製品や設備を含む)。
- 2) 設備増強・改修プログラムを採用する(資金調達制度も含む)。
- 3) 設備増強にインセンティブを提供し、自治体の建築法規を修正整備する。
- 4) エネルギー効率化と再生可能エネルギー推進策を組み合わせる(公共建造物建築物の改修の際にこれらの技術を組み合わせるための公共政策など)。

分散型エネルギー源の導入を支援、促進する。

- 1) プロシューマーがエネルギーシステムの転換を積極的に推し進めることを妨げる障壁を取り除く。
- 2) コミュニティによる所有モデルや革新的な資金調達制度を促進する。
- 3) スマートメータの普及を促進する。
- 4) スマートホームやデジタル化推進策を活用することによって、デマンドサイドマネジメントを可能にし、系統サービスを強化する。

建築物部門における再生可能エネルギー導入を拡大する。

- 1) 低炭素な加熱技術を促進する(ヒートポンプ、太陽熱、近代的バイオエネルギーを利用した加熱・冷却など)。
- 2) これらの再生可能エネルギー技術を地域熱供給に応用する。
- 3) 調理用燃料としての伝統的なバイオマス利用を段階的に廃止し、クリーンで効率的な調理設備に置き換える(バイオガス、近代的な固形バイオマス、電力を利用したもの)。

地域ごとの 社会経済的影響

04



世界レベル(第2章)、地域レベル(第4章)、国レベル(IRENA, 2020a および今後発表予定の国別研究)のエネルギー転換計画や政策立案には、社会経済的影響の分析から得られる洞察が不可欠である。

本章では、第3章で分析した世界の10の地域における社会経済的影響を示す。第1節では、分析の前提となる社会経済的背景を簡潔に説明する。第2節では、エネルギー転換が各地域にもたらす社会経済的影響の分析結果を示す。第3節では政策的影響を取り上げるが、第6章においても、より広範な見地から社会の脱炭素化への転換を論じる中で、公正な移行に向けた政策的枠組みの概要を検討する。

4.1 背景

各地域における社会経済的影響は、世界全体における影響と比較した場合も、地域同士で比較を行った場合も、どちらにおいてもかなり大きな差異が見られる。これは、1) エネルギー転換の開始時点の社会経済状況および構造、2) 各地域についてエネルギー転換シナリオで想定されるエネルギー転換ロードマップと利用可能な資源、3) 経済構造の変化とエネルギー転換への政策的支援に地域的差異が見られるためである。

エネルギー転換は、各地域の社会経済状況と様々な形で相互に影響し合い、地域の社会経済的影響を生み出す。このプロセスは、開発段階、経済成長状況、経済構造にそれぞれ差があり、人々の能力やニーズが異なる国や地域で生じる。したがって、エネルギー転換シナリオを分析し、地域ごとの影響を詳細に理解することが不可欠である。

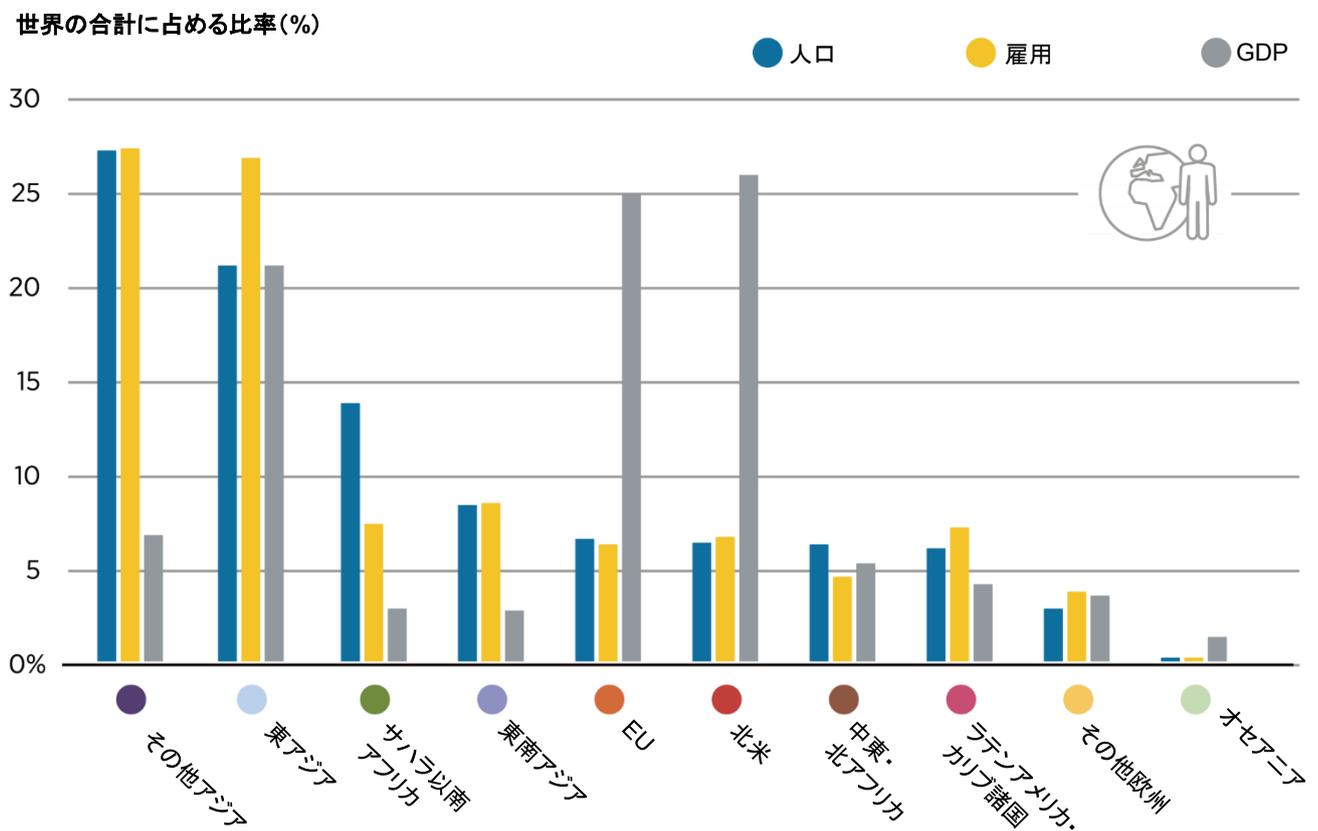
そのため二つのシナリオでは、人口増加などの主要な社会経済的発展の経路は、すべての時期と地域において同レベルにしている。



GDP、雇用、福祉への効果は、E3ME のシミュレーションモデル¹ を用いてマクロ計量経済学的に導出される。

分析においては、主な社会経済的変数としてエネルギー転換の開始時点における人口、雇用、GDP の地域分布と、各変数の経時的推移を用いた。図 4.1 は、人口、経済全体の雇用、GDP の地域分布を、人口が多い順から並べたものである。これによると世界の GDP の半分以上が EU と北米によるものであり、サハラ以南アフリカ、東南アジア、オセアニアはいずれも、世界の GDP に占める比率が小さい。世界の雇用に占める比率が最も大きいのはアジアで、人口においても最も高い比率を占めている。

図 4.1 人口と雇用の比率が際立って高い地域がある一方、GDP の比率が際立って高い地域もある
2019 年における世界の人口、経済全体の雇用、GDP に占める地域別の比率



出所: E3ME に基づく IRENA の分析。

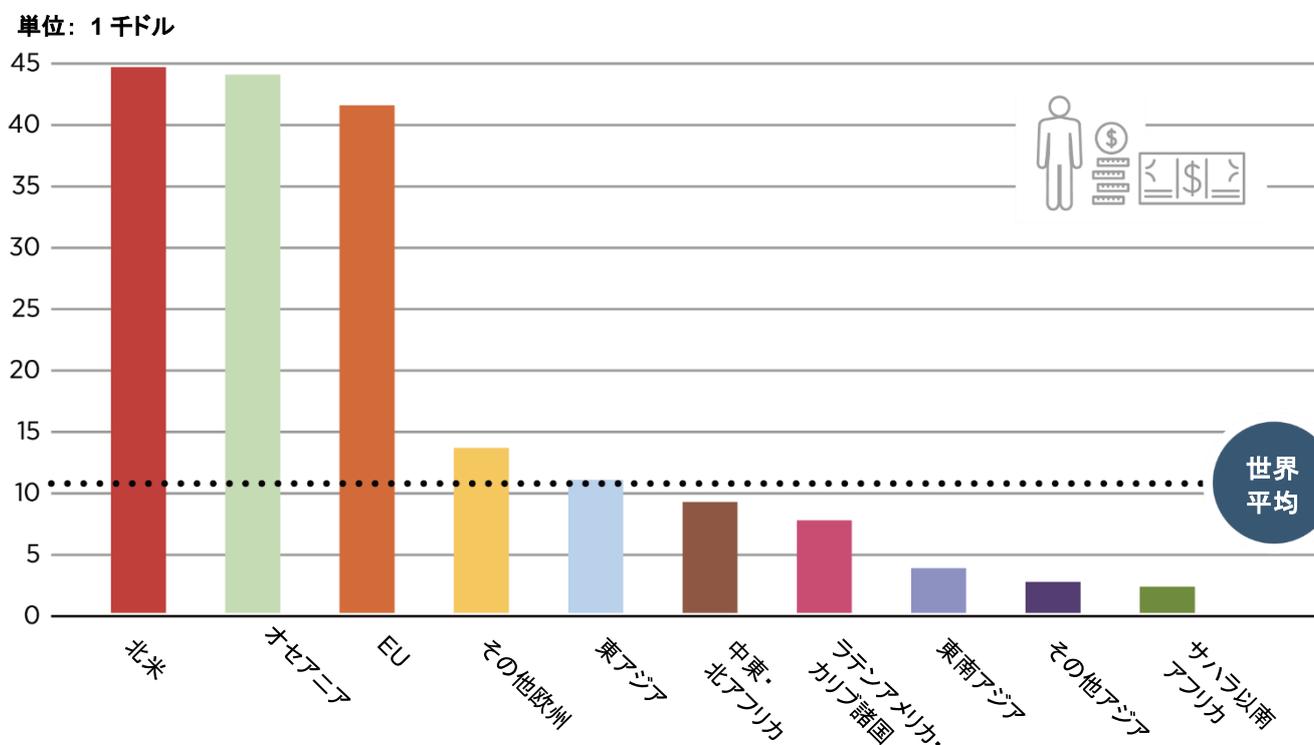
¹ E3ME は、ケンブリッジ・エコノメトリックスが開発したマクロ経済モデルである。IRENA の社会経済的影響分析には、エネルギー転換ロードマップによる体系的な影響を評価するために、E3ME モデルが用いられる。

絶対数だけを見ると、1人あたりベースの重要な差異を見逃すおそれがある。図4.2は、1人あたりのGDPを比較したものである。点線は世界平均の11,000ドルを表す²。北米、オセアニア(世界のGDPに対するシェアは小さいにもかかわらず)、EUは、平均を大きく上回っている。その他欧州、東アジア、中東・北アフリカは平均に近いが、他の地域は平均を下回っている。図4.3は、移行期間(2019~2050年)の各地域と世界全体の社会経済的な変化を、人口、経済全体の雇用、GDPの年平均成長率(CAGR)³によって示している⁴。

クリーンエネルギー技術の展開のための追加投資が、エネルギー転換シナリオにおける地域開発に必要な資金となる。

図4.2 北米、オセアニア、EU：1人あたりGDPは世界平均を大きく上回る

2019年における1人あたりGDP

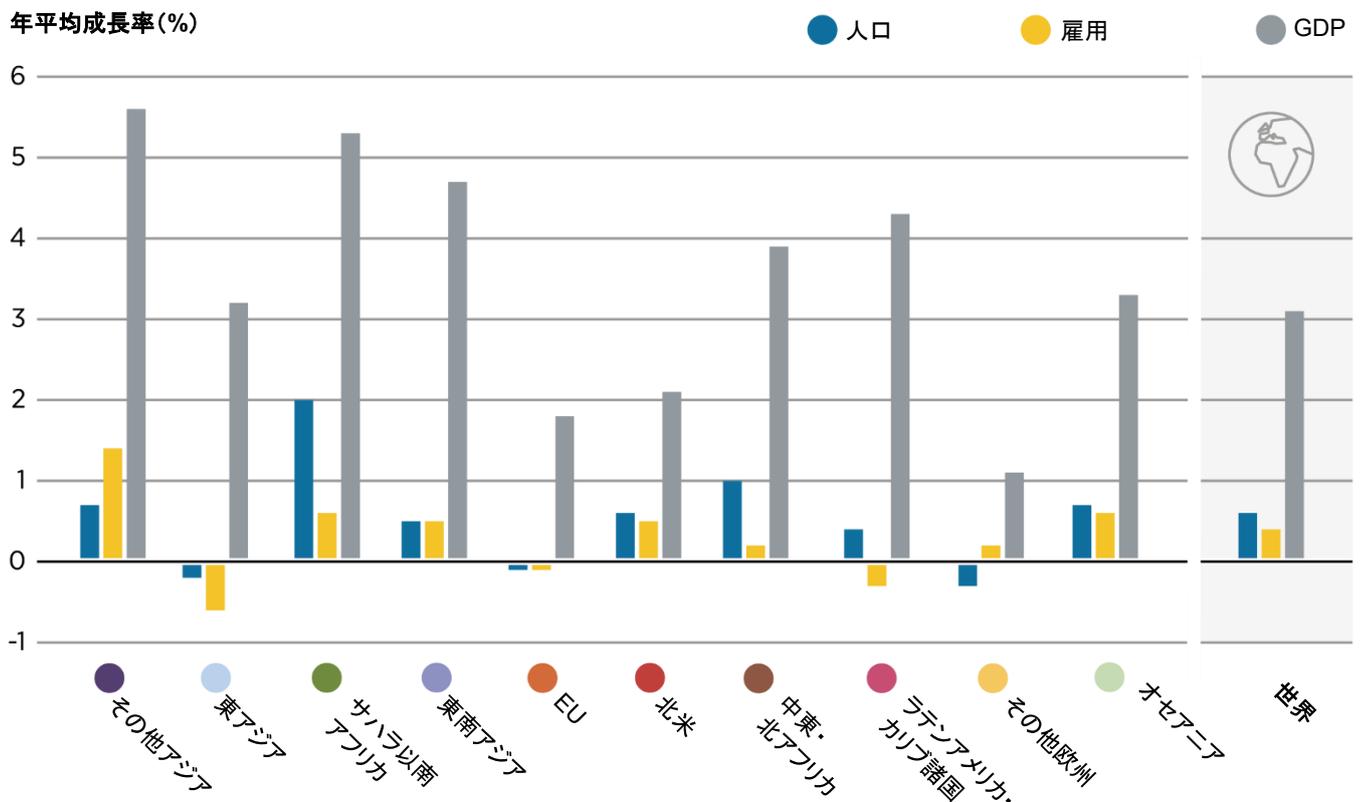


出所：E3MEに基づくIRENAの分析

² 本章で用いるドルの額はすべて、2015年のドル価値を基準にしている。
³ 年平均成長率は、所定の期間(この場合は2019年~2050年)における成長の指標である。当該期間に初期値から最終値へと至るために必要な一定の年間成長率と考えることもできる。
⁴ これは、IPCCのSSP1とSSP2に基づくものである。SSP(共通社会経済経路)とは、将来の気候への影響、気候脆弱性、気候変動適応、気候変動緩和に関する統合分析を推進するため、気候変動研究コミュニティにより策定された新たなシナリオ枠組みの一環である。SSP2は中庸的な社会経済状況を表しており、SSP1は持続可能な開発を中心に据えた社会経済的ナラティブ分析に基づいている。

図 4.3 人口、雇用、GDP の成長率は地域によって差がある

世界 10 地域のエネルギー転換シナリオにおける 2019~2050 年の人口、経済全体の雇用、GDP の年平均成長率



出所: E3ME に基づく IRENA の分析

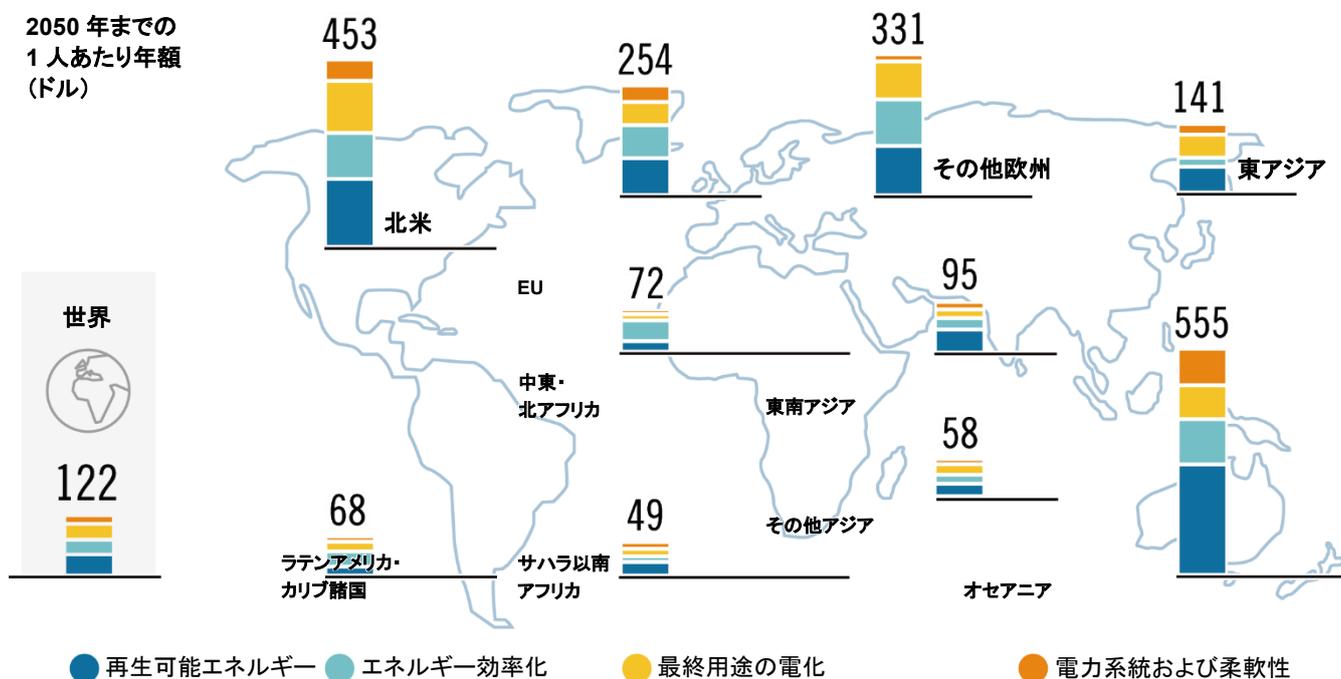
図 4.4 は、シナリオで想定されるエネルギー転換に必要なクリーンエネルギーへの 1 人あたり追加投資額⁵を示す。世界平均は 1 人あたり年間 122 ドルであるが、投資額は地域によって大きく異なり、サハラ以南アフリカでは 1 人あたり年間 50 ドルであるのに対し、北米とオセアニアでは 455~555 ドルにのぼる。

地域ごとの 1 人あたり GDP (図 4.2) とクリーンエネルギーへの 1 人あたり追加投資額 (図 4.4) は、同じような傾向を示している。投資がどのような経路をたどるかということは、地域が投資を活用して利益を得ていくことについてどれだけ準備ができていくかということと同様に、地域の社会経済的影響に影響を及ぼす。これらは、地域の社会経済的影響の分布パターンに大きな影響を及ぼしうる (IRENA, 刊行予定)。

⁵ 追加投資とは、エネルギー転換シナリオで必要とされる再生可能エネルギー、エネルギー効率化、エネルギーの柔軟な対応性への投資から、現行計画シナリオで必要とされる投資を引いたものである。全体的な累積追加投資額は、第 3 章および IRENA (2019a) に示されている。絶対値では、全体的な累積追加投資額は 15 兆ドルで、クリーンエネルギーへの累積追加投資額は 36 兆ドルである。世界全体では、移行期間中の全体的な累積追加投資額の 1 人あたり平均は年間 54 ドルである (2019 年~2050 年の平均人口に基づく)。全体的な追加投資額の金額が低いのは、主に、クリーンエネルギーへの投資が行われる一方で化石燃料への投資が減少することによる。

図 4.4 1人あたりのクリーンエネルギーへの投資額は地域によって大きな差が出る

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年までの地域別 1人あたりのクリーンエネルギーへの年間投資額



出所: IRENA による分析

注: 1人あたり投資額は、2019~2050年における各地域の平均人口に基づいて計算した。

免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

4.2 エネルギー転換の社会経済的指標: 雇用

エネルギー転換により、経済のさまざまな部門やサプライチェーンが影響を受け、技術変化が生じ、投資の流れが変化する。いずれも、雇用、ひいては人々の生活に大きな影響が及ぶこととなる。最も顕著な変化はエネルギー部門に生じ、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、エネルギー柔軟性の分野の雇用が増える一方、化石燃料分野の雇用が減少する。ここでは、天然資源(従来型と再生可能エネルギーの両者)の地域分布が、製造能力やサービスの地域分布と同等に重要な役割を果たす⁶。

エネルギー転換に伴う変化が経済全体に波及するにつれ、雇用の増加や減少をもたらす。本節では各地域の雇用の増減について論じる。初めにエネルギー部門全体、それを構成する各分野、そして経済全体を取り上げる。雇用と関係するこれらの変化を理解することで、意思決定者は、公正な移行を実現し、誰一人取り残さない政策を追求することができる。

⁶ 本報告書で分析対象となった世界 10 地域の再生可能エネルギーとエネルギー部門全体の雇用に関する詳細な情報については、地域別ファクトシートを参照のこと。

IRENA の計量経済モデル分析結果の要約を以下に示す。雇用数は、別段の明記がない限り、エネルギー転換シナリオにおける 2050 年のものである。絶対的または相対的な雇用数の増減は、現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオの差異を表す。

エネルギー部門全体の雇用

エネルギー部門の雇用は、エネルギー転換に関連する 3 つの技術（再生可能エネルギー、エネルギー効率化、電力系統およびエネルギー柔軟性）と従来型エネルギー部門（化石燃料および原子力産業）における雇用からなる（IRENA, 2020a）⁷。エネルギー転換シナリオにおける 2050 年のエネルギー部門の雇用者 1 億人について、地域別および技術別分布を図 4.5 に示す。アジアが最も高い 60% を占めており、その中でも東アジアだけで約 35% を占めている。現行計画シナリオと比べ、エネルギー転換シナリオではすべての地域で雇用が増加する。しかし、その差が最も大きいのは東南アジアで（81%）、次いでオセアニア（57%）、サハラ以南アフリカ（36%）、北米（28%）となっている。

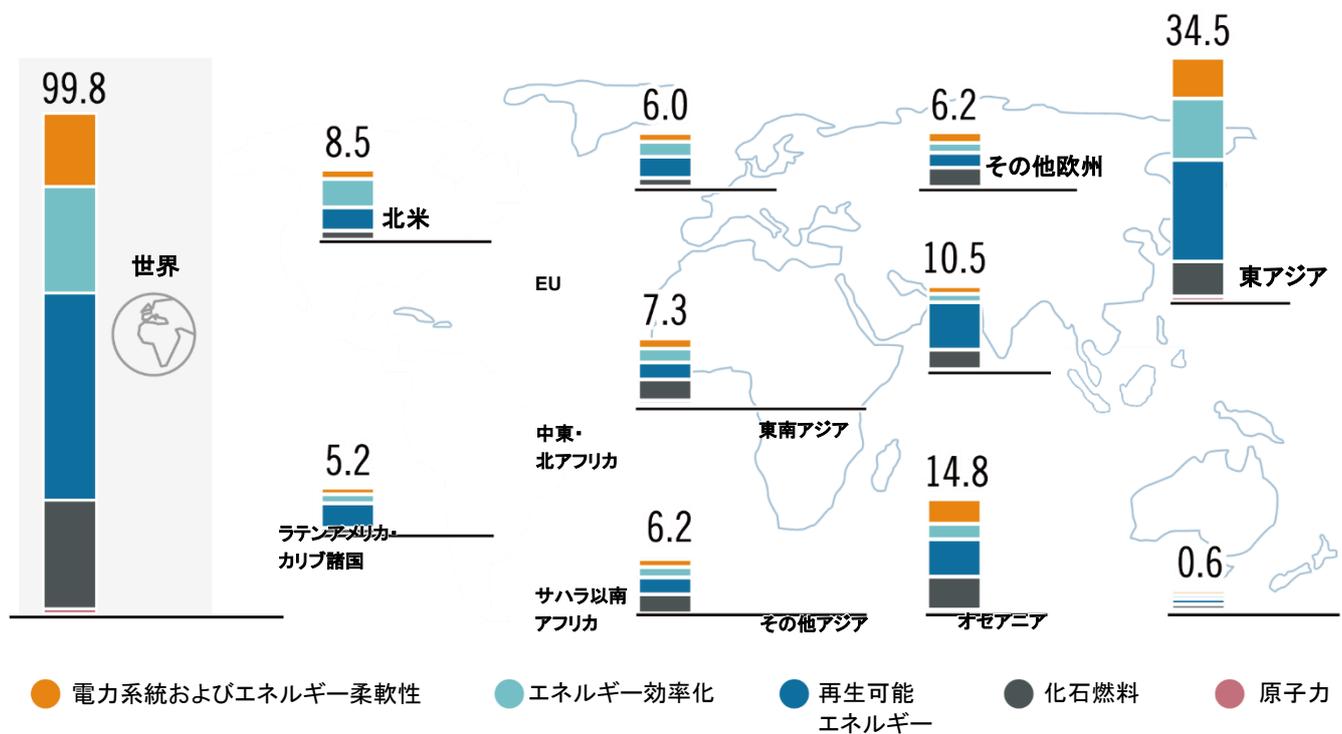
第 2 章で説明した通り、現行計画シナリオと比べてエネルギー転換シナリオでは 2050 年のエネルギー関連の雇用が約 8,700 万から 1 億人増加する。これは、エネルギー転換関連技術における雇用の増加が、化石燃料および原子力部門における雇用の減少を上回るためである。図 4.6 は、エネルギー部門の雇用創出効果を地域別に示したものである。地域間の差異は、現行のエネルギー産業構造、エネルギー部門のロードマップ、エネルギー転換関連機器の貿易収支が地域によって異なることで説明できる。



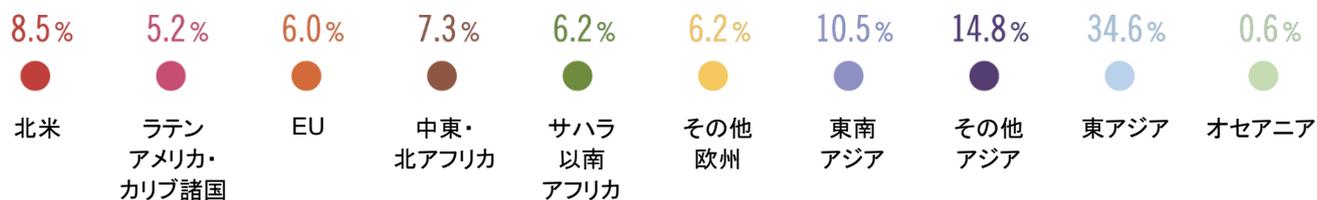
⁷ 世界全体で、再生可能エネルギー分野の雇用は 2,600 万人から 4,200 万人に、エネルギー効率化分野の雇用は 1,800 万人から 2,100 万人に、エネルギー柔軟性分野の雇用は 1,300 万人から 1,500 万人に増加する。化石燃料分野の雇用は 3,000 万人から 2,200 万人に、原子力分野の雇用は 70 万人から 40 万人に減少する。

図 4.5 エネルギー部門の雇用 1 億人：地域的分布

エネルギー転換シナリオにおける2050年の地域別エネルギー部門の雇用数(単位：百万人)



総雇用数に対する地域雇用数の比率(%)

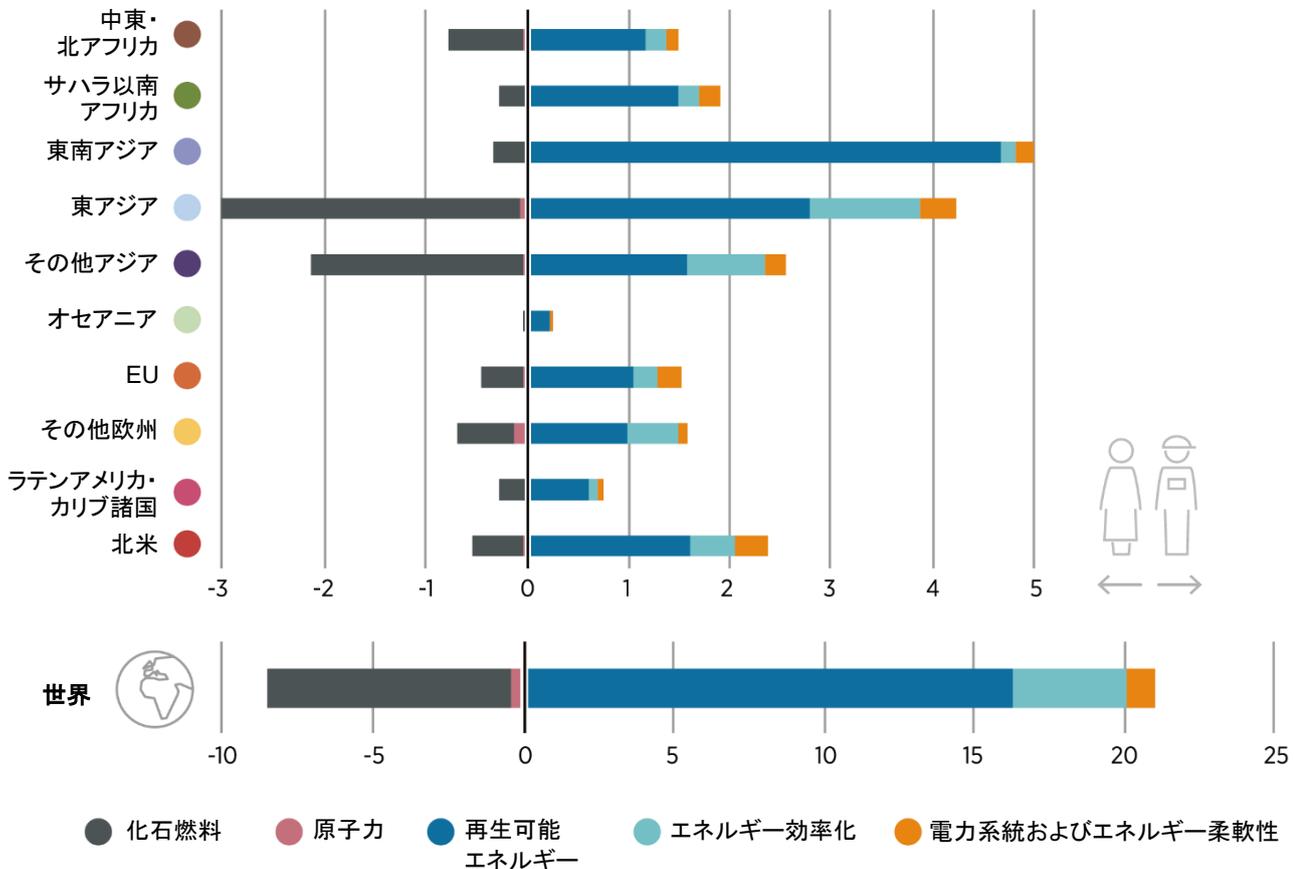


出所: IRENA による分析

免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

図 4.6 すべての地域でエネルギー部門の雇用増加数が雇用減少数を上回る

エネルギー転換シナリオと現行計画シナリオにおける 2050 年の地域別および部門別雇用数の比較(単位: 百万人)



出所: IRENA による分析

エネルギー転換関連の雇用

エネルギー転換シナリオにおいては、エネルギー転換関連技術(再生可能エネルギー、エネルギー効率化、電力系統およびエネルギー柔軟性分野)の雇用は世界全体で増加が見込まれる。2050 年は、すべての地域でエネルギー転換関連技術における雇用数が従来型技術における雇用数を上回り、北米、EU、ラテンアメリカ・カリブ諸国、東アジアでは、エネルギー関連の雇用全体の約 85%にも達する。一方、サハラ以南アフリカとその他欧州ではエネルギー関連の雇用全体の約 60%を占める。

エネルギー転換関連技術の中でも再生可能エネルギー関連の雇用は、東南アジアとラテンアメリカ・カリブ諸国で最も多く(それぞれ、エネルギー転換関連雇用全体の 64%と 62%の比率を占める)、中東・北アフリカとその他欧州における比率の約 2 倍にのぼる。それに対し、エネルギー効率化分野の雇用が最も多いのは北米(45%)で、エネルギー柔軟性と系統増強の分野ではその他アジアで最も多い(22%)。

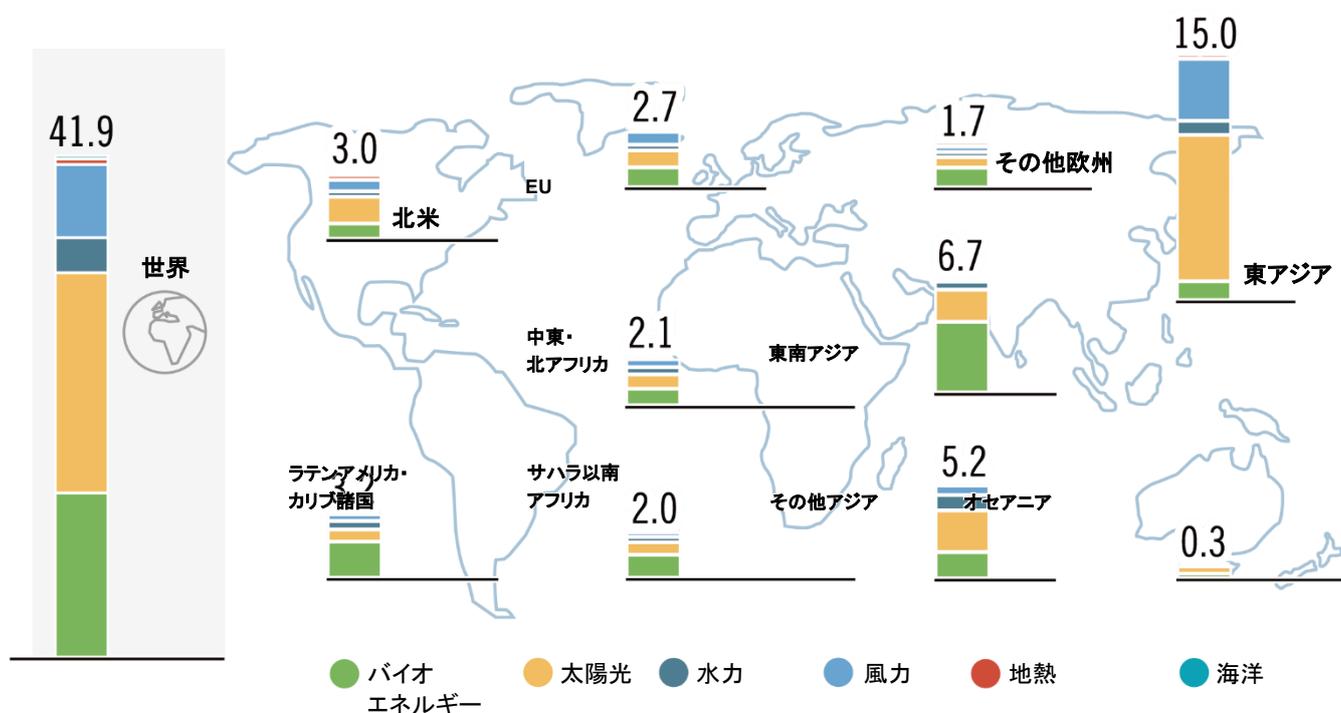
このようなカテゴリーのエネルギー転換関連技術に関して、再生可能エネルギーに重点を置いた詳細な分析結果を以下に記す。

再生可能エネルギー関連の雇用

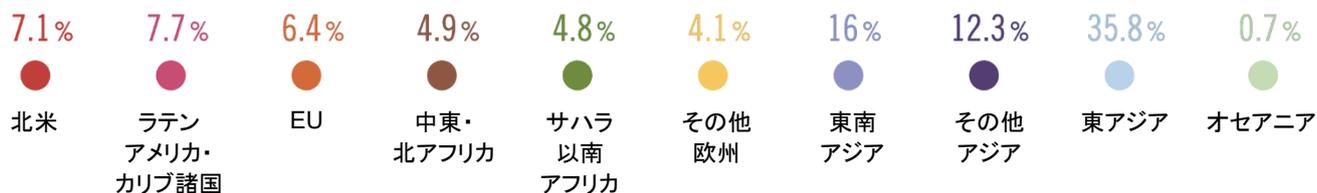
エネルギー転換シナリオでは 2050 年に、再生可能エネルギーシステムの製造、設置、運用・保守に約 4,200 万人が従事する。その大部分は太陽光発電分野における雇用であり、次いでバイオエネルギー、風力発電分野における雇用が多くを占める(図 4.7 を参照)。これらの雇用が最も多く創出されるのはアジア地域で、その内訳は東アジア(36%)、東南アジア(16%)と続く。次に多い地域が北南米(15%)で、北米とラテンアメリカ・カリブ諸国が同程度である。欧州は 10%の比率を占める(EU が 6%、その他欧州が 4%)。サハラ以南アフリカと中東・北アフリカの比率はそれぞれ 5%である。

図 4.7 再生可能エネルギー関連の雇用は推定 4,200 万人：地域分布

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年の再生可能エネルギー関連の雇用の地域分布
(単位：百万人)



世界全体の総雇用数に対する地域ごとの雇用数の比率(%)



出所: IRENA による分析

免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関する IRENA の見解を表明するものではない。

各地域の雇用における発電技術別の比率を見ると、太陽光発電分野の雇用は北米とアジアで再生可能エネルギー関連の雇用全体の半分を占め、次いで欧州で 30%を占める。それに対し、ラテンアメリカ・カリブ諸国、東南アジア、サハラ以南アフリカ、その他欧州ではバイオエネルギー発電分野の雇用が占める比率が最も多く、再生可能エネルギー関連の雇用の 60%以上を占める。風力発電分野の雇用は東アジアと EU で最も多く、再生可能エネルギー関連の雇用全体の約 25%を占め、北米と中東・北アフリカでは約 15%を占める。水力発電分野の雇用は、その他アジアで再生可能エネルギー関連の雇用全体の 15%を占め、ラテンアメリカ・カリブ諸国と中東・北アフリカで 10%を占める。

東アジアでは、再生可能エネルギー関連の雇用は主に太陽光発電と風力発電分野の雇用からなる。この結果は主に、電力部門の意欲的な目標に向けた設備投資によるもので、関連する製造、貿易、サービス分野で多くの雇用機会が生じる。また、東アジアでは太陽光および風力発電技術の輸出が引き続き高水準であるが、太陽光発電関連の製造工程は大部分が自動化されているため、雇用への影響は縮小する。

東南アジアは、東アジアとは異なる初期条件から出発し、異なるエネルギー転換の道筋をたどる。近年、いくつかの太陽光発電設備メーカーが同地域に進出しているが、バイオエネルギー発電も今後の発展をけん引すると見られる。バイオエネルギー発電は主に現地で生産される原材料を必要とするため、東南アジアの労働集約的な農業部門における雇用を創出する。

その他アジアは、上記 2 つの経路が混合したパターンをたどるが、東アジアに見られるような風力発電の大きな寄与はない。ラテンアメリカ・カリブ諸国では、成熟したバイオエネルギー部門が地域の雇用に大きく寄与する。その理由は、バイオマスやその処理技術は大部分が現地操業によるもので、バイオ燃料の流通も同様のためである。

北米と欧州は、世界の再生可能エネルギー関連の雇用において同程度の比率を占めているが、その特徴には違いが見られる。北米は太陽光発電産業（製造、販売、設置）における雇用が多く、欧州は風力発電産業における雇用の比率が大きい。

エネルギー効率化

2050 年のエネルギー部門全体の雇用に占めるエネルギー効率化分野の雇用の比率は、北米が最も高い 45%を占めており、次いで EU が 29%、東南アジアが最も低い 7%、他の地域は 10%から 25%の比率を占める。

雇用増加における現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオの差異についても、各地域にはそれぞれ異なる結果が見られる。その他欧州では、高水準の投資を反映してエネルギー効率化分野の雇用が 2 倍以上に増えることが予想される。その他アジアも 75%という大幅な増加が見られるが、他の地域の増加率は 10%から 30%の間に留まる。

電力系統およびエネルギー柔軟性

電力系統およびエネルギー柔軟性については、雇用の比率が最も高いのはその他アジア(22%)とその他欧州(17%)で、最も低いのは東南アジア(6%)である。現行計画シナリオと比べた増加率は、北米で65%を超える一方、その他欧州、東アジア、その他アジアでは約6%と小幅である。

従来型エネルギー

現行計画シナリオと比べてエネルギー転換シナリオでは、エネルギー転換関連技術とは対照的に2050年に予測される従来型エネルギー部門の雇用がすべての地域において減少する。北米、東アジア、EUで約40%という最も大幅な減少が予想される。次いで、その他アジアで30%以上の減少が見られ、ラテンアメリカ・カリブ諸国と中東・北アフリカでは約25%の雇用が減少する。

雇用減少の大部分は、化石燃料産業で生じる。これは、輸出国だけでなく、この種のエネルギーに関する大規模なインフラ、配電網、資産、ノウハウを構築してきた輸入国にもかかわる懸念事項である。このような情勢にもかかわらず、一部の地域では従来型エネルギー関連の雇用は高い比率を維持する。今なおサハラ以南アフリカ、中東・北アフリカ、その他欧州では従来型エネルギー関連の雇用が最大40%を占めるが、それに対してEU、北南米、東アジアでは10%から15%の比率に留まる。

石炭鉱業は労働集約型産業のため、東アジア、その他欧州などの地域、そして南アフリカなどのサハラ以南アフリカ諸国で多くの雇用が失われる。その他の化石燃料資源が豊富な地域、特に中東・北アフリカと北米でも、石油・ガス産業における雇用が減少する。

原子力部門では、すべての地域で雇用の減少が予想され、その幅はラテンアメリカ・カリブ諸国の20%からその他アジアの約65%まで広がる。これは主に、原子力発電所の経過年数によるものである。特に原子力発電関連の雇用では、高度な教育を受けた専門家が求められることが多く、化石燃料部門とは異なる種類の補償措置が必要になる可能性が高い。しかし、原子力産業の労働者は他のエネルギー部門と比べて平均年齢が高いため、雇用減少が年金制度によって緩和されやすい。

エネルギー転換政策の立案においては、労働力の年齢構成や地域内の分布と同様に、雇用が減少する職種の資格制度の仕組みが重要と考えられる。最適な政策を立案するためには、詳細な分析が必要である。

**エネルギーは経済にとって
不可欠な要素であり、
他のすべての経済部門と
相互に作用し、相対的な賃金水準に
影響を及ぼし、他の部門で
支出される所得を創出する。**



経済全体の雇用

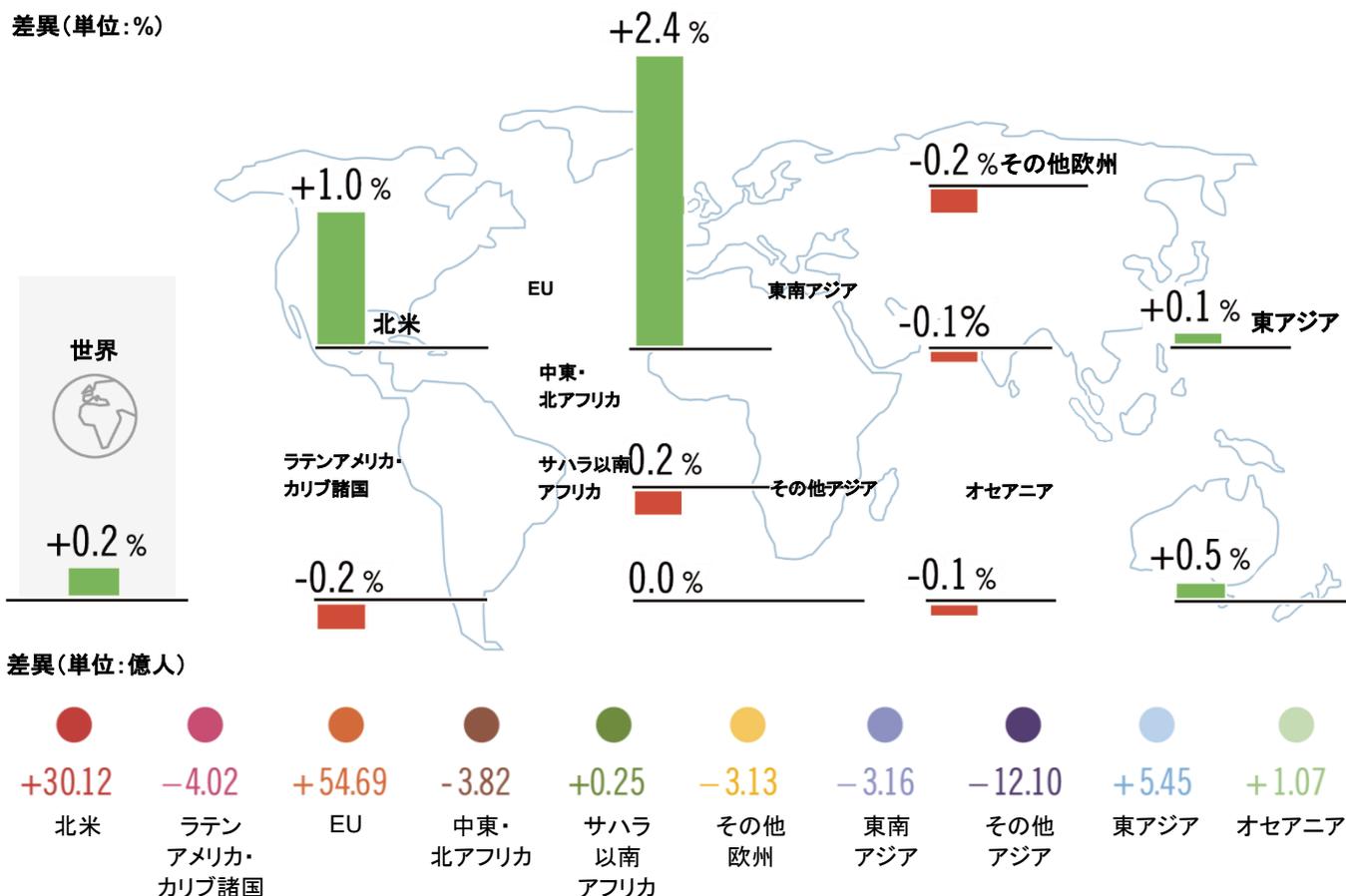
エネルギーは経済にとって不可欠な要素であり、他のすべての経済部門と相互に作用し、相対的な賃金に影響を及ぼし、他の部門で支出される所得を創出する。このように、エネルギー転換が雇用にもたらす影響は、エネルギー部門の枠を超えて広がる。

図 4.8 は、経済全体の地域ごとの雇用におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異を示している。雇用の増加が世界平均を大きく上回る地域がある一方、雇用が減少する地域もある。

最も大きく良好な効果を示すのは EU で、2050 年の雇用は 2.4% 増え、北米がそれに続く(1%)。オセアニアと東アジアも雇用が増加するが、その幅はわずかである。全体的な変化がないサハラ以南アフリカを除き、他のすべての地域で雇用が減少する。ただし、この減少は絶対的なものではなく、

図 4.8 EU は経済全体の雇用数増加が最大

現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオの 2050 年の地域ごとの雇用数の差異
(単位: %および億人)



出所: IRENA による分析

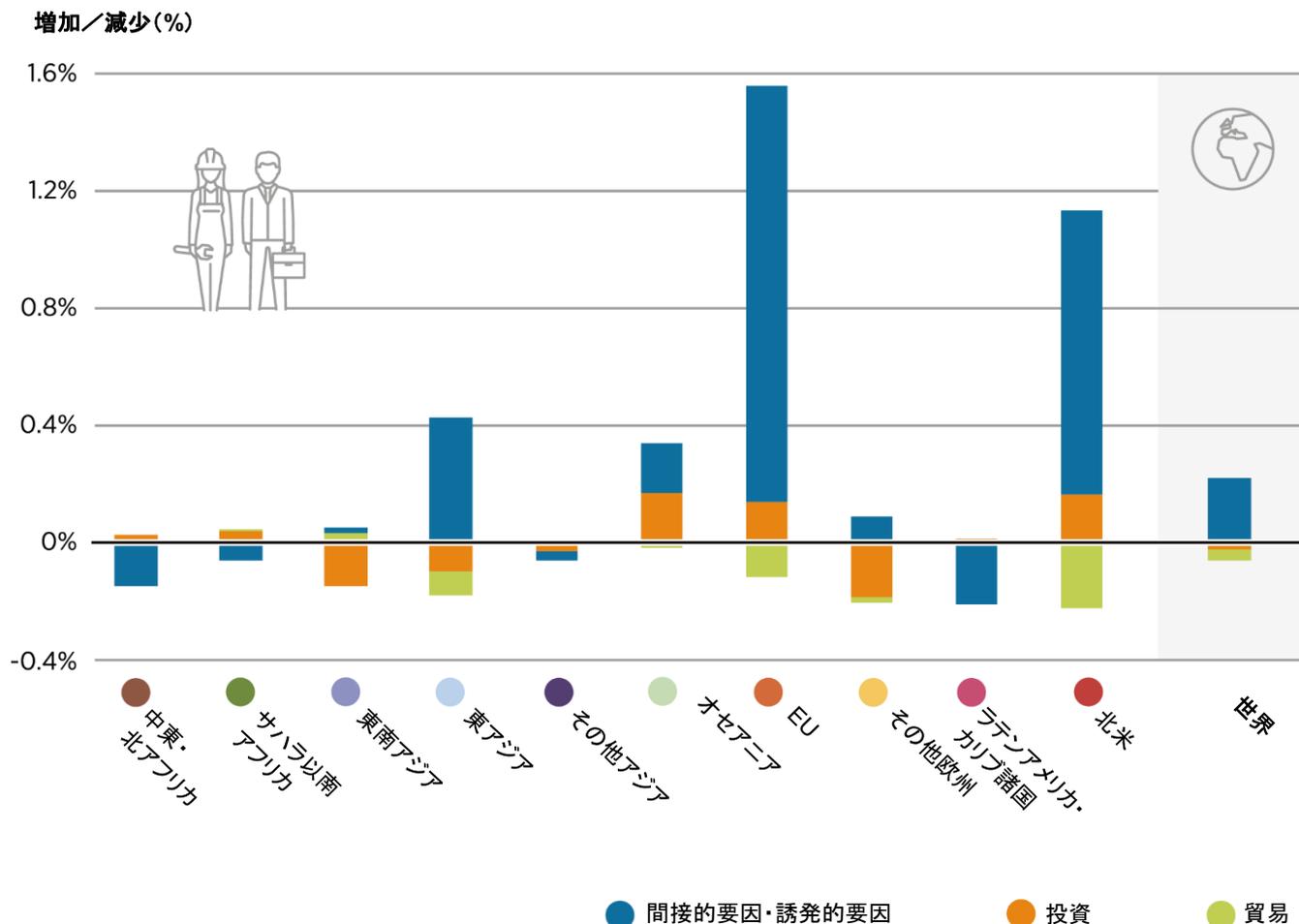
免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

現行計画シナリオで考えられる結果と比較した相対的なものであることに留意する必要がある。

前述したように、エネルギー転換期間中に経済全体における地域ごとの雇用の増減は、エネルギー転換ロードマップと、地域の社会経済的および構造的な初期条件に依存する。国際貿易に十分に参加し、多様化した経済を有する国々は、投資に重点を置いた戦略によって雇用を増やすことができると考えられる。そのような地域は、機械、エレクトロニクス、サービス、公共部門において最も効果的に投資を活用し、活動を広げることができる。また、資格要件を満たした労働者がすでにおり、行政上の障壁は低い。これに該当するのは、北米、欧州、オセアニアであり、東アジアも徐々にそうなりつつある。

図 4.9 間接効果と誘発効果：欧州と北米で最大の効果があらわれる

2019年～2050年の経済全体の地域雇用におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異に3つの促進要因が果たす役割



出所: IRENA による分析

これまでに説明した影響全体を促進する要因に関する洞察を得るために、エネルギー転換期全体を通じた雇用への影響を動的に評価し、各促進要因の効果を地域ごとに定量化した。図 4.9 は、現行計画シナリオと比べてエネルギー転換シナリオにおいて、転換期間中にそれぞれの促進要因が経済全体に及ぼす平均的な影響を示している。それぞれの促進要因が各地域に及ぼす影響は、驚くほど異なる。

雇用数の増減は、当然ながらひとつの側面に過ぎない。それに勝るとも劣らず重要な問題は、エネルギー転換の定着に伴って職種や技能の様式が変化することである。一時的にせよ技能の需要と供給に大きなミスマッチが生じる可能性があり、労働市場や教育・訓練機関に深刻な影響が及ぶこととなる。

すべての地域において、エネルギー転換関連の雇用増加は従来型エネルギー分野の雇用減少を上回る(地域別ファクトシートを参照)。しかし、エネルギー転換によって地域や国に労働市場の不均衡が生じるため、関連政策を策定する際にその点を考慮する必要がある。BAU シナリオと比べて、エネルギー転換シナリオにおける経済全体の結果が雇用減少を示唆している国や地域では、この問題はより大きくなる(図 4.8 を参照)。

労働市場の不均衡は、時間、空間、教育、部門という4つのカテゴリーに分類することができる。雇用の増加と減少は、同じ時間尺度で発生するわけではない。新規雇用は、雇用が失われたのと同じ場所で創出されるわけではないうえに、要求される知識や技能も異なる可能性がある。そして最終的に、クリーンエネルギーソリューションは従来型エネルギー産業よりも多様な投入がサプライチェーンで必要となるため、その恩恵を受ける経済部門と損失を被る部門がある。このような不均衡を回避または最小化することが、エネルギー転換にかかわる政策立案における重大な任務である。

雇用数の増減は重要な側面のひとつに過ぎない。職種や技能の様式の変化も重要な側面である。



4.3 エネルギー転換の社会経済的指数：GDP

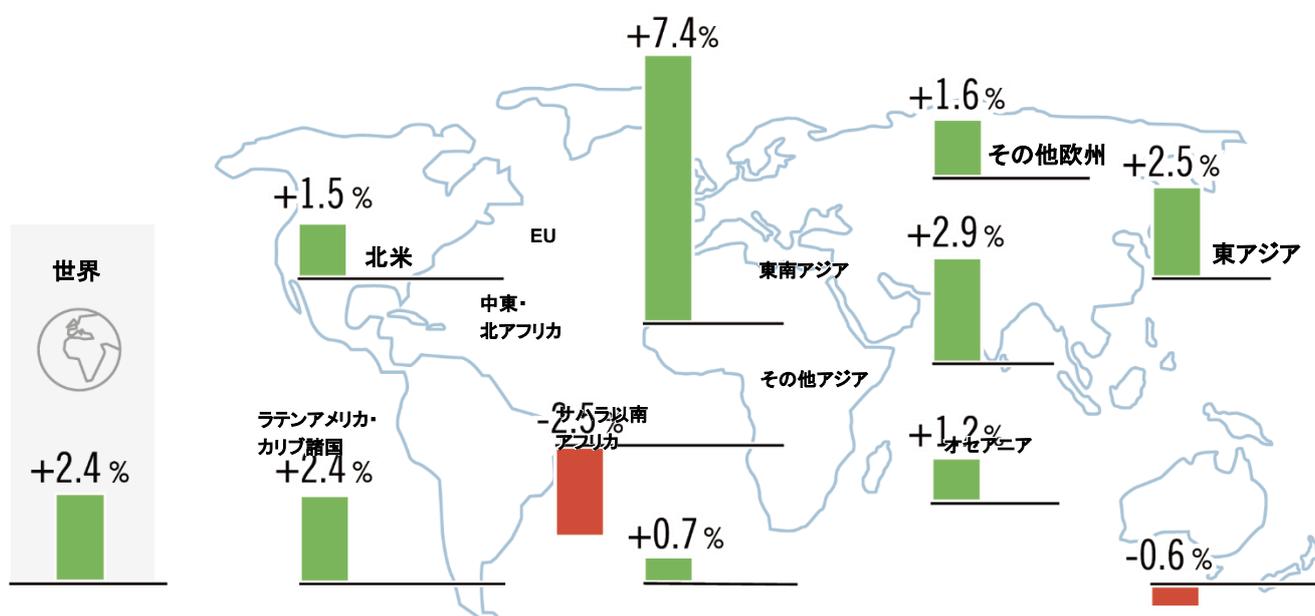
GDP は、経済政策の指針として最もよく使われる指数であり、生活の豊かさを表す尺度となっている。したがって、エネルギー転換が GDP に与える影響を理解し、同時に福祉水準の向上という目標に沿って経済改革を進めることがきわめて重要である(第 2 章 4 節を参照)。現行計画シナリオと比べてエネルギー転換シナリオでは、第 2 章で示したように世界全体の GDP が増加する。その地域別の影響を図 4.10 と 4.11 に示した。地域別の GDP は、地域の投資、国際貿易、地域における誘発効果と間接効果によって促進されることとなる(第 2 章および IRENA, 2019a を参照)。



図 4.10 は、2050 年の地域別 GDP におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異を示している。6 地域(中東・北アフリカ、オセアニア、サハラ以南アフリカ、その他アジア、北米、その他欧州)での増加が世界平均を下回り、そのうち 2 地域(中東・北アフリカ、オセアニア)では現行計画シナリオより GDP が減少する。3 地域(東南アジア、東アジア、ラテンアメリカ・カリブ諸国)における GDP の差異は、2050 年の世界平均に近い。エネルギー転換シナリオにおける GDP の増加が世界平均を上回るのは、EU のみである。

図 4.10 中東・北アフリカとオセアニアを除く全地域で GDP が増加

2050 年の地域別 GDP におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異 (%)



出所: IRENA による分析

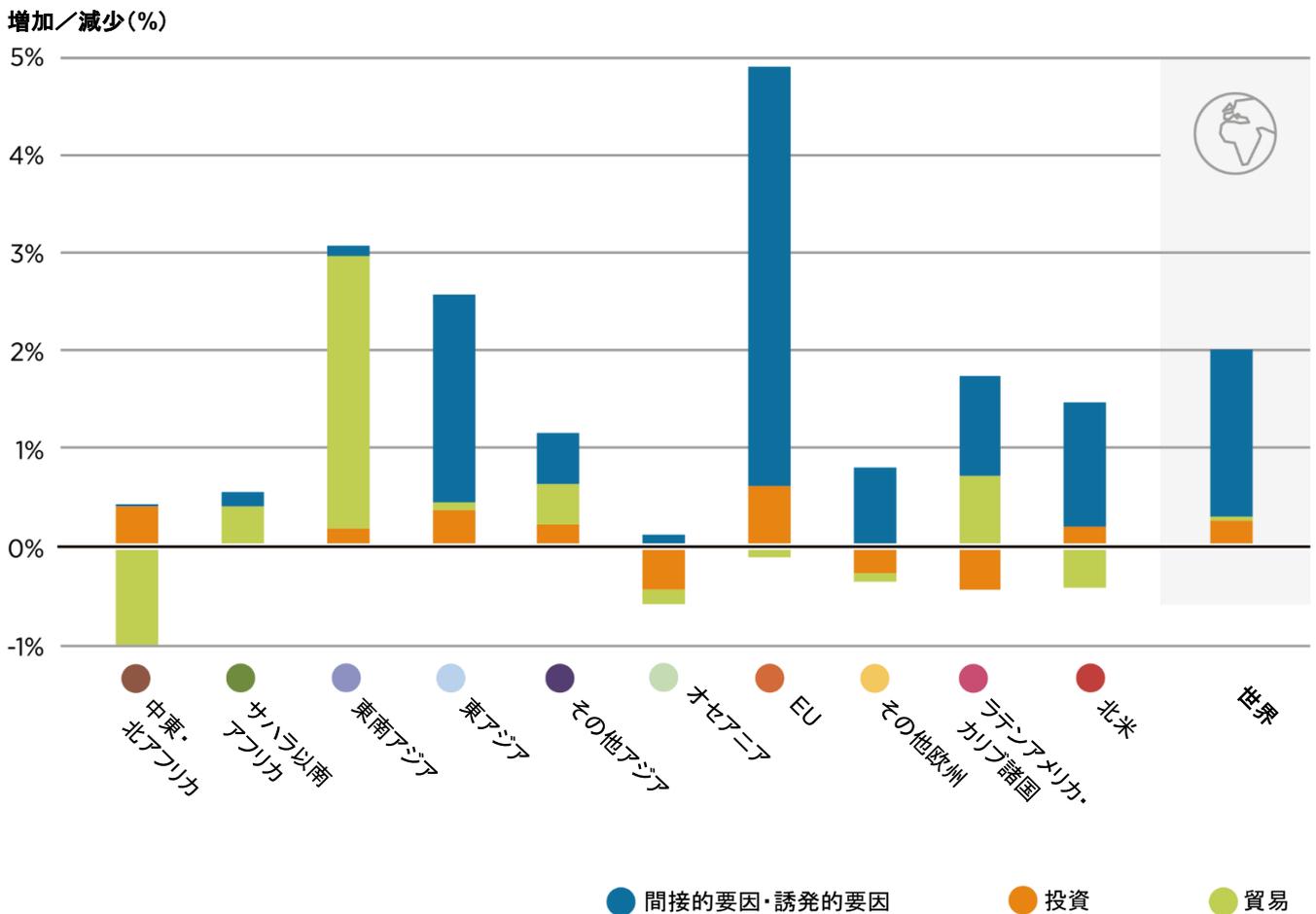
免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

地域別 GDP の変動にこれほど大きな差が出る理由は、エネルギー転換ロードマップに関連する資金の地域差、地域のマクロ経済的構造の違い、地域間の連携にある。

IRENA による分析は、第 2 章で説明した 3 つの主な促進要因が地域別 GDP に及ぼす影響を明らかにしている。図 4.11 は、2019 年～2050 年の GDP の増減が現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオとの間でいかに異なるかを示している。

図 4.11 GDP 増加の最大の要因：間接効果と誘発効果、貿易

2019 年～2050 年の地域別 GDP におけるエネルギー転換シナリオと現行計画シナリオの差異に 3 組の促進要因が果たす役割



出所: IRENA による分析

貿易： 地域経済の未来を築くうえで貿易がきわめて重要な役割を果たす地域もある。東南アジアとサハラ以南アフリカにおける GDP の大幅な増加は、純輸出の順調な伸びによる。一方、中東・北アフリカでは、化石燃料輸出の減少による貿易へのマイナス効果が大きい。ラテンアメリカとカリブ諸国、その他アジアでは、貿易へのプラスの効果がかなり顕著である。それに対し、北米では化石燃料貿易の減少が重荷となり、その他物品やサービスの貿易がさらなる負担をもたらす。

投資： 投資水準は、エネルギー転換による地域の社会経済的成果を左右するもうひとつの重要な要因である。世界レベルでは、エネルギー転換関連のエネルギー投資は 1 人あたり年間平均 122 ドルである。地域間の投資額は大きく異なり、サハラ以南アフリカでは 1 人あたり年間約 50 ドルであるが、オセアニアでは 1 人あたり年間 555 ドルとなっている。投資額が大きい地域では結果としてマクロ経済的影響が大きくなるが、それだけでなく、それぞれの経済が持つ強みが、投資効果の高さを決定するうえで大きな役割を果たしている。

間接効果と誘発効果： 堅牢なサプライチェーンがある場合、特に適切な財政政策による支えがあれば、間接効果と誘発効果は経済にプラスの貢献をすることができる。これは特に、EU、東アジア、北米といった主要経済地域に当てはまる。追加雇用は追加所得をもたらす、それが消費者の支出と経済活動を増加させることによって乗数効果を発揮する。財政政策は、ある地域や国のローカルな社会経済的状况に対する明確な理解に根差したものであれば、最も効果を発揮する。また、政策が成功するかどうかは、複合的な行政インフラの存在にかかっている。

ある地域においてエネルギー転換が雇用の増加をもたらす場合、誘発効果は経済にプラスの貢献をする。雇用の増加は所得の増加に繋がり、個人消費が伸びることによって乗数効果が発揮される。これは、欧州、東アジア、北米に当てはまる。これらの結果により、経済(およびその基盤にあるサプライチェーン)の構造的な状況がエネルギー転換に伴う課題と機会を十分受け止めることができるならば、GDP と雇用の大幅な増加が期待できるということが明らかになった。

経済の構造的な状況が
エネルギー転換に伴う課題と機会を
十分受け止めることができるならば、
GDP と雇用の大幅な増加が期待できる。



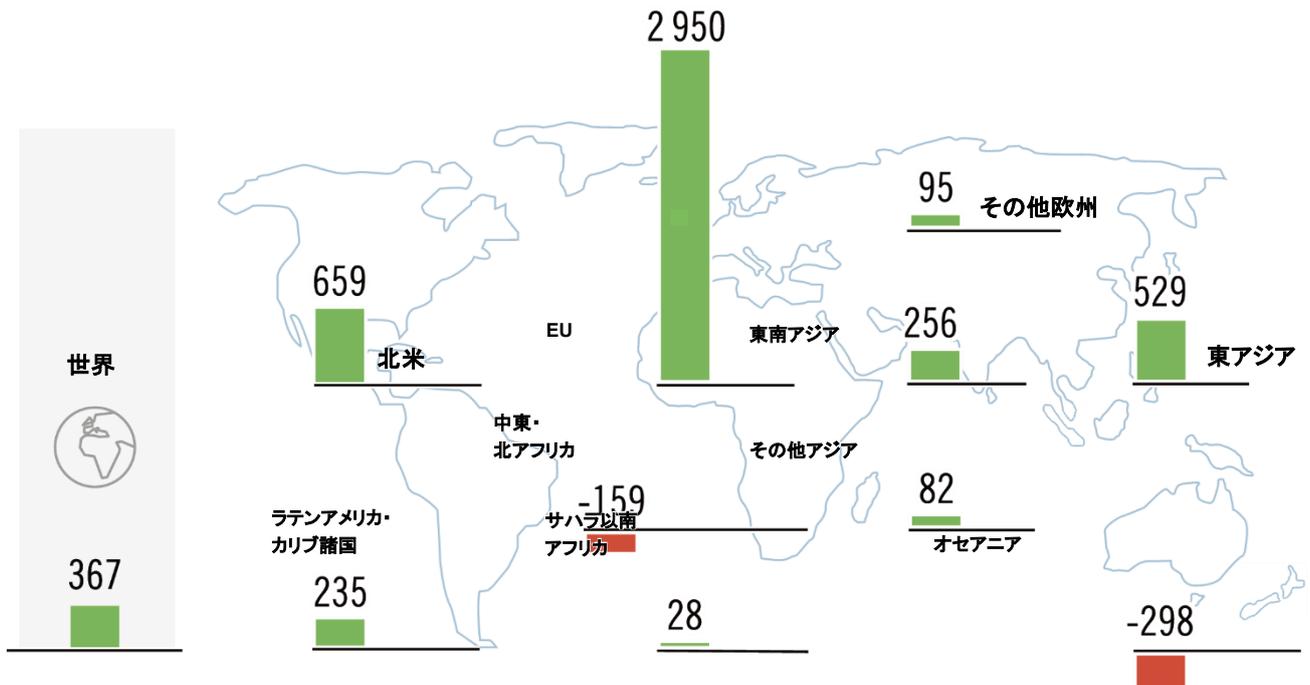
図 4.10 は 2050 年の地域別 GDP を表し、図 4.12 は 2019 年から 2050 年の累積結果、すなわち現行計画シナリオとエネルギー転換シナリオを比較した GDP の差異の合計を表す。世界全体ではこのような GDP の累積差は 98 兆ドルとなり(第 2 章を参照)、1 人あたりでは年間 367 ドルとなる(2019 年~2050 年の各年の平均人口に基づく)。

EU では、1 人あたり GDP が年間 2,950 ドルも増加すると予想されるが、ほとんどの地域は約 100 ドルから 660 ドルの間である。サハラ以南アフリカでは約 30 ドルというわずかな増加が見られると予測され、中東・北アフリカとオセアニアは現行計画シナリオと比べて減少する。経済的影響の差異は、これらの地域における福祉水準の格差の一因となっている(図 4.12)。



図 4.12 1 人あたり GDP 増加額の地域格差

現行計画シナリオと比較したエネルギー転換シナリオにおける地域別の GDP 累積増加額
(ドル、1 人あたり年額)



出所: IRENA による分析

免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

福祉

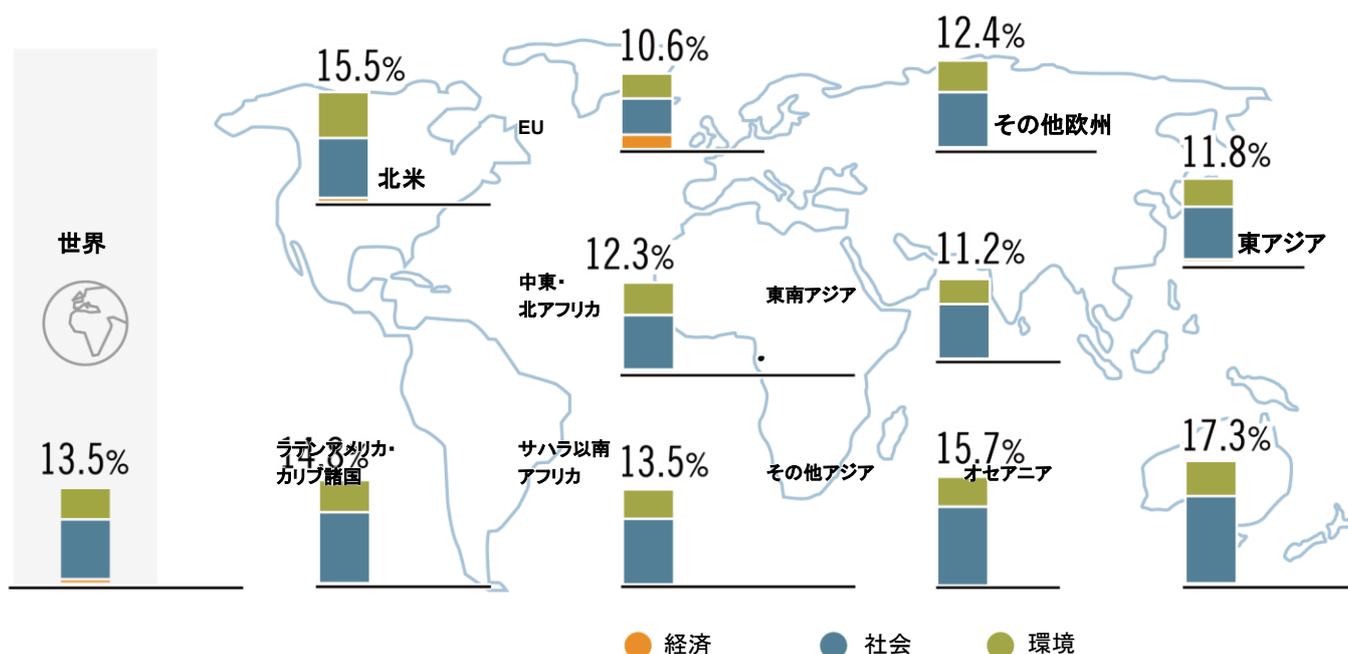
雇用とGDPは公的な議論に関わる指数であるが、どのような変革もしくは移行であっても、その最終的な目標は人々の暮らしをより良くすることでなければならない。したがって、福祉はエネルギー転換における最も重要な社会経済的指数のひとつである。エネルギー転換が世界の福祉に大きなプラスの影響をもたらすことは、第2章で示したとおりである(プラスの影響は13.5%である)⁸。



図4.13は、2050年の地域別の福祉指数の向上率を示している。現行計画シナリオと比べエネルギー転換シナリオでは、福祉指数がはるかに大幅に向上する。他の地域より良好な結果を示すオセアニアでは福祉指数の向上率が17%を上回るのに対し、欧州では10%であり、他の地域はその中間に位置する。

図 4.13 社会経済的向上によって促進される地域レベルの福祉水準の向上

現行計画シナリオと比較したエネルギー転換シナリオにおける
2050年の福祉指標の向上率(%)



出所: IRENA による分析

免責事項: 本報告書で使用している表記や記述は、いかなる地方、国、領土、都市、地域、もしくはその機関の法的地位、または境界線や国境の画定に関連する IRENA の見解を表明するものではない。

⁸ 10 地域の福祉指標の内訳とその経時的推移(2030年と2050年)の詳細は、地域別ファクトシートを参照のこと。

第2章で説明した福祉のさまざまな側面のうち、社会的側面と環境的側面がすべての地域で最も大きく向上する。社会的側面の中でも、現地の大気汚染に起因する疾患の減少が最も顕著な改善結果を示す。つまり、現時点で大気汚染や室内空気汚染が深刻な地域ほど、エネルギー転換の進展に伴う福祉水準の向上が大きいということである。ラテンアメリカ・カリブ諸国や東アジアといった地域では、もうひとつの社会的側面である教育費もエネルギー転換の進展とともに非常に大きく改善される。

注目すべきは、EU や北米といった特定の地域における経済的側面の比重であり、上の図に示した結果では経済面と雇用面の向上が比較的大きい。

環境的側面の下位指標は温室効果ガス排出量と資源消費量であるが、そのうち温室効果ガス排出量の低減が最も大きな影響を及ぼす。温室効果ガス排出量削減による便益は、すべての地域で見られる。

4.4 政策に関する結論

これまでの分析から、世界のすべての地域がエネルギー転換による便益を期待できることがわかる。しかし、大まかに良好な全体像を描くだけでは不十分である。我々のモデル分析が示唆するとおり、それぞれの地域がエネルギー転換関連部門で等しく便益を得られるわけではない。すべての地域が従来型エネルギー分野に差し迫る損失に対処する必要があるが、特にその負担が大きい地域もある。また、エネルギー転換を促進するさまざまな要因、すなわち投資、貿易、間接効果と誘発効果により、経済全体がどれだけ大きい便益を得ることができるかには、大きな地域差があることも覚悟しなければならない。

地域ごとに予想される成果も、GDP、雇用、人々の福祉への影響を検討するか否かで大きく異なる。福祉は、すべての地域で大きく向上する分野である。よりクリーンなエネルギーの採用による大気汚染の低減は、経済力にかかわらずすべての人々に恩恵をもたらすためである。雇用の分野について本章では、エネルギー部門全体およびその主要な構成要素であるエネルギー転換関連分野と従来型エネルギー分野で予想される状況の変化、経済全体との関係について論じた。いずれの分野においても地域ごとの結果は異なり、大きな差が出る場合もある。

したがって、最も重要な教訓は、このような地域的差異が生じる理由を徹底して分析する必要があるということである。地域の平均値のみに注目すると各国間の大きな差異を見逃してしまうこともあるため、最終的には国ごとにさらにきめ細かい詳細な分析が必要になる。便益を最大化し、調整の負担を最小化するとともに、経済成長と雇用の活性化、エネルギー安全保障の向上、エネルギーアクセスの促進、気候変動の緩和といった多くの目標を達成する方法を模索する国家にとって、社会経済的影響を理解することは不可欠である。

本章で述べたように、地域における社会経済的影響の差異は、地域の構造条件、産業能力、貿易構造、そして現地サプライチェーンの深度と多様性の違いまでさかのぼることができる。いずれも、エネルギー転換によってもたらされる機会を経済がどこまで活用できるかを決定する要因となる。一部の国が他の国より大きな課題に直面することも理解しなければならない。

国家がエネルギー転換による便益をどこまで得られるかは、既存の構造によって助長されたり妨げられたりするとはいえ、決定されているわけではない。ノウハウを蓄積し、スキルを学び、サプライチェーンの能力を構築し、制度の能力を強化することで、状況を変えることができる。重要なのは、意欲的な政策と将来を見据えた計画立案である。そのため、エネルギー転換計画の立案にあたっては、既存の社会経済的構造を評価するだけでなく、エネルギー転換が労働市場にもたらす重大な変化も認識する必要がある。このような変化によって多くの地域で不均衡が生じ、いまなお多くの国で深刻な問題となっている構造的失業という、より大きな現実を背景に進展する可能性がある。

公正な移行を成功させるためには、エネルギー部門固有の政策、経済の技術力や構造能力を高めるための広範な政策との調整を行ったうえで、エネルギー転換関連部門への統合的な投資を行わなければならない。言い換えれば、経済政策、産業政策、労働政策、教育政策、社会政策の中心にエネルギー政策を組み込む必要がある。課題を克服してエネルギー転換による便益を最大化するために、政策が対処すべき社会経済的指標が明確に認識されることが望ましい。

横断的かつ一貫性のある政策立案を行うことで、気候とエネルギーに関する意欲的な目標を達成でき、さらにプログラム、プロジェクト、イニシアティブを組み合わせることにより大きな成功を収めることができる。この点に関しては、各地域の経済の構造状況とそれに関連する一次産品、貿易、技術などの依存関係を理解することがきわめて重要である(第6章を参照)。

IRENA による分析は、経済の多様化に対応した政策が喫緊に必要であることを明確に示している。そのような政策は、バリューチェーンのセグメントに沿って現地の能力を活用し、労働市場の硬直性に対処するものだからである。状況は国によって異なるものの、幅広い政策や介入を盛り込んだ包括的な計画を策定する必要がある(第6章を参照)。そのような計画においてエネルギー部門は、成長と発展の決定的な実現要因として根本的な役割を果たす。



カーボンゼロ到達に 向けて



世界の気温上昇を止めるためには、今世紀後半までに二酸化炭素排出量を最終的にゼロカーボンまたはネットゼロに到達する必要がある。したがって、先にエネルギー転換シナリオで示した対策に加えて、さらなる緩和策が必要になる。本章では、このような緩和策強化の必要性を検討し、シナリオを強化することでさらに何が実現できるかを、脱炭素深化見通し(DDP)によって示す。

5.1 カーボンゼロ到達に向けて：技術的な選択肢とコスト

CO₂ 排出量は温室効果ガス排出量の 4 分の 3 を占めており¹、エネルギー関連の CO₂ 排出量(化石燃料燃焼)と産業プロセス排出量が CO₂ 排出量の 80%以上を、残りを土地利用・土地利用変化および林業(LULUCF)が占めている。したがって、排出量を削減するためには、エネルギー部門、産業部門、土地利用部門にまたがる努力が必要である。産業や運輸などの一部の部門では、特に大きな努力が必要で、「脱炭素化が困難な」あるいは「低減が困難な」部門と呼ばれることがある。



本報告書の分析では、CO₂ 排出をエネルギー関連、産業プロセス、LULUCF²という 3 つのカテゴリに分類している。これまでの章では、エネルギー関連の CO₂ のみに焦点を合わせてきた。本章では焦点を広げ、産業部門にとって重大な排出源である産業プロセスについても検討する。

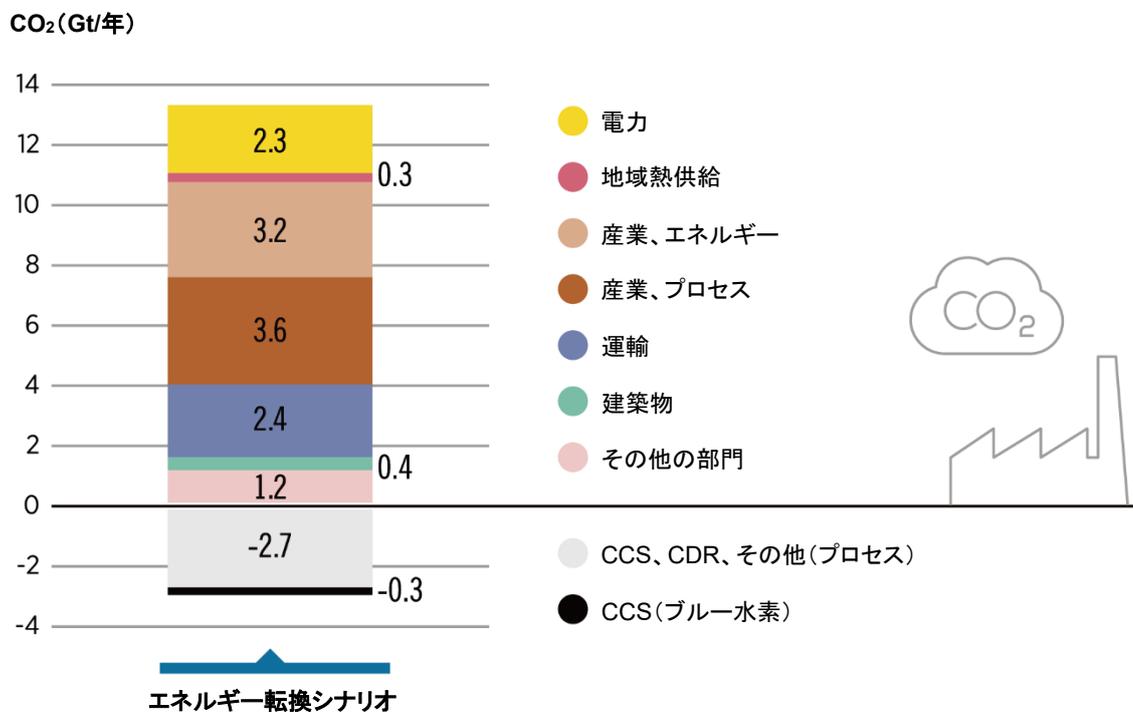
¹ あとの 3 分の 2 はメタンが占め、残りは亜酸化窒素とフッ素化ガスが占める。

² LULUCF からの排出量は、全体的なカーボンバジェットにおいて考慮されており、2018 年～2100 年の間に LULUCF 関連の排出量がネットゼロに到達する想定も含まれている。しかし、LULUCF からの排出量の削減策を詳細に検討することは本報告書の範囲外であり、本章はエネルギー消費部門に限定しているため、詳細な分析は行わない。LULUCF による CO₂ 排出量は 2018 年の 5.5 Gt から遅くとも今世紀半ばまでにゼロに削減され、その後の 21 世紀後半には、LULUCF は CO₂ の正味の吸収源になることを前提としている。結果的に、2018～2100 年における LULUCF からの累積 CO₂ 排出量はゼロになると考えられる。

エネルギー転換シナリオでは、2050年に9.5 Gtのエネルギー関連CO₂排出量が依然としてある。2016年の世界のプロセス排出量は約2.9 Gtであったが、現行計画シナリオでは2050年までに3.6 Gtに増加する。エネルギー転換シナリオでは、75%以上減少して0.9 Gtになる。2.7 Gtの削減分のうち2 Gtは二酸化炭素回収・貯留(CCS)技術によるが、二酸化炭素除去(CDR)技術で相殺するといったカーボンマネジメントによる削減、物質効率化や循環型経済による削減もある。その結果、エネルギー転換シナリオでは2050年に残存する純CO₂排出量は10.4 Gtとなる。図5.1は、2050年における残存CO₂排出量とその排出源を示しており、残存排出量の大部分を運輸部門と産業部門が占めることがわかる。

図 5.1 産業部門と運輸部門：2050年に残存する排出量の大部分を占める

エネルギー転換シナリオにおける2050年のエネルギー関連のCO₂排出量と産業プロセスにおけるCO₂排出量



二酸化炭素排出量をゼロに削減するには 2 つの大まかな方法がある：すべてのエネルギープロセスと産業プロセスを完全に脱炭素化し、CO₂ が一切排出されないようにする方法（ゼロカーボン）と、CDR によって残存排出量を相殺して排出量ネットゼロを実現する方法（ネットゼロ）である。CDR の例としては、森林再生、造林、直接空気回収、風化促進、バイオエネルギーCCS などがある。

これら 2 つの方法（ゼロカーボンとネットゼロ）の最適な組み合わせについては、特に、どのようなタイプの技術やソリューションが残存排出量を削減しうるかが不確実であるため、さらなる模索が必要である。本章で説明する脱炭素深化見通しは、新たなシナリオを構成するものではなく、ゼロカーボンまたはネットゼロを達成するために、エネルギー転換シナリオにおける残存排出量をさらに削減するための 2 種類の方法を説明するものである。

これらの方法を実施できるタイムスケールも、非常に不確実である。2050 年までにエネルギー転換シナリオを実現するだけでもすでに大きな挑戦であることを考えると、脱炭素深化見通しで描かれる追加対策を完全に実施するには、さらに長い時間が必要になる可能性がある。以下で行う分析では、ネットゼロまたはゼロカーボンを 2050 年以降の 10 年間で実現するという政策目標を前提とする。十分に堅牢な政策措置、投資、イノベーションを通じた改善によってこのタイムスケールを短くすることができるかもしれないが、それは非常に不確実である。

図 5.2 脱炭素深化見通し： ネットゼロ、さらに最終的にゼロカーボンの達成（図は次ページに続く）
エネルギー転換シナリオで残存するエネルギーおよび産業プロセス関連の CO₂ 排出量

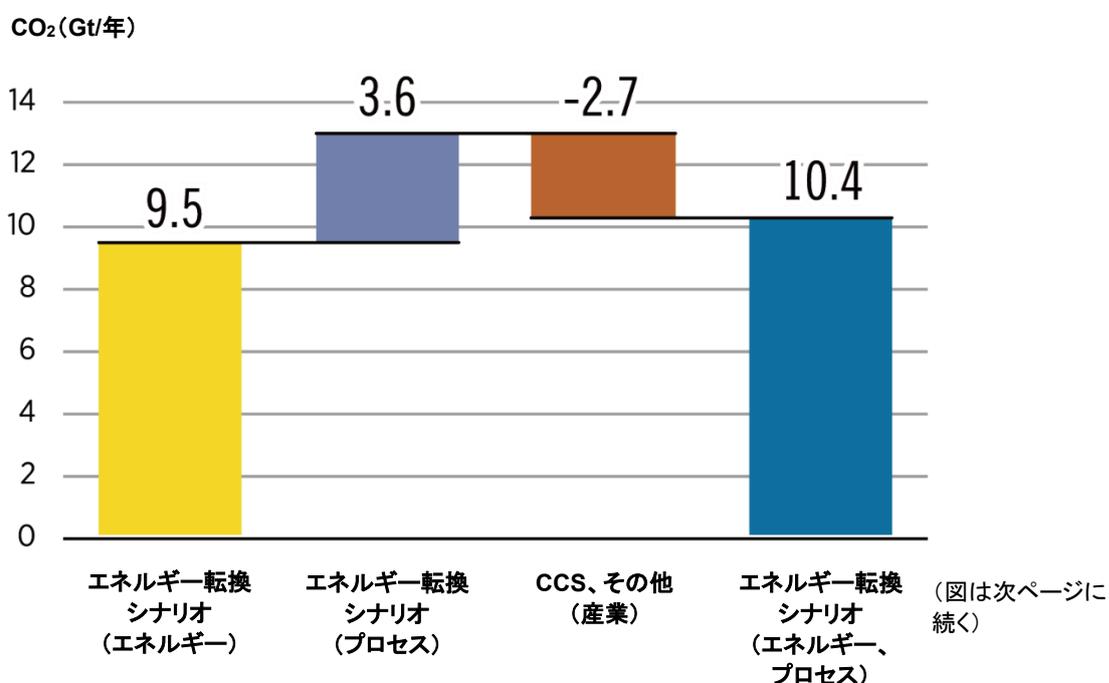
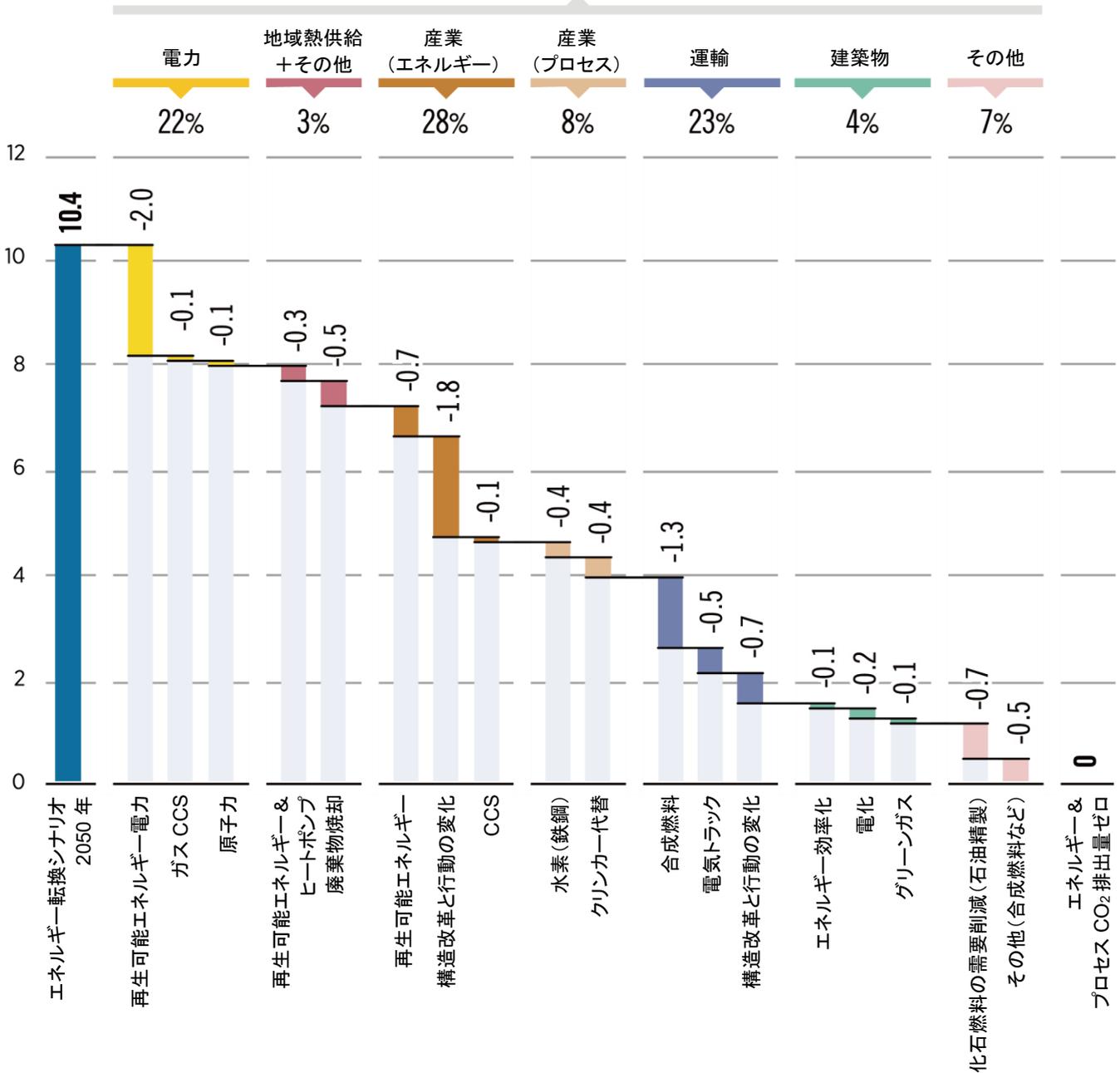


図 5.2 (続き)

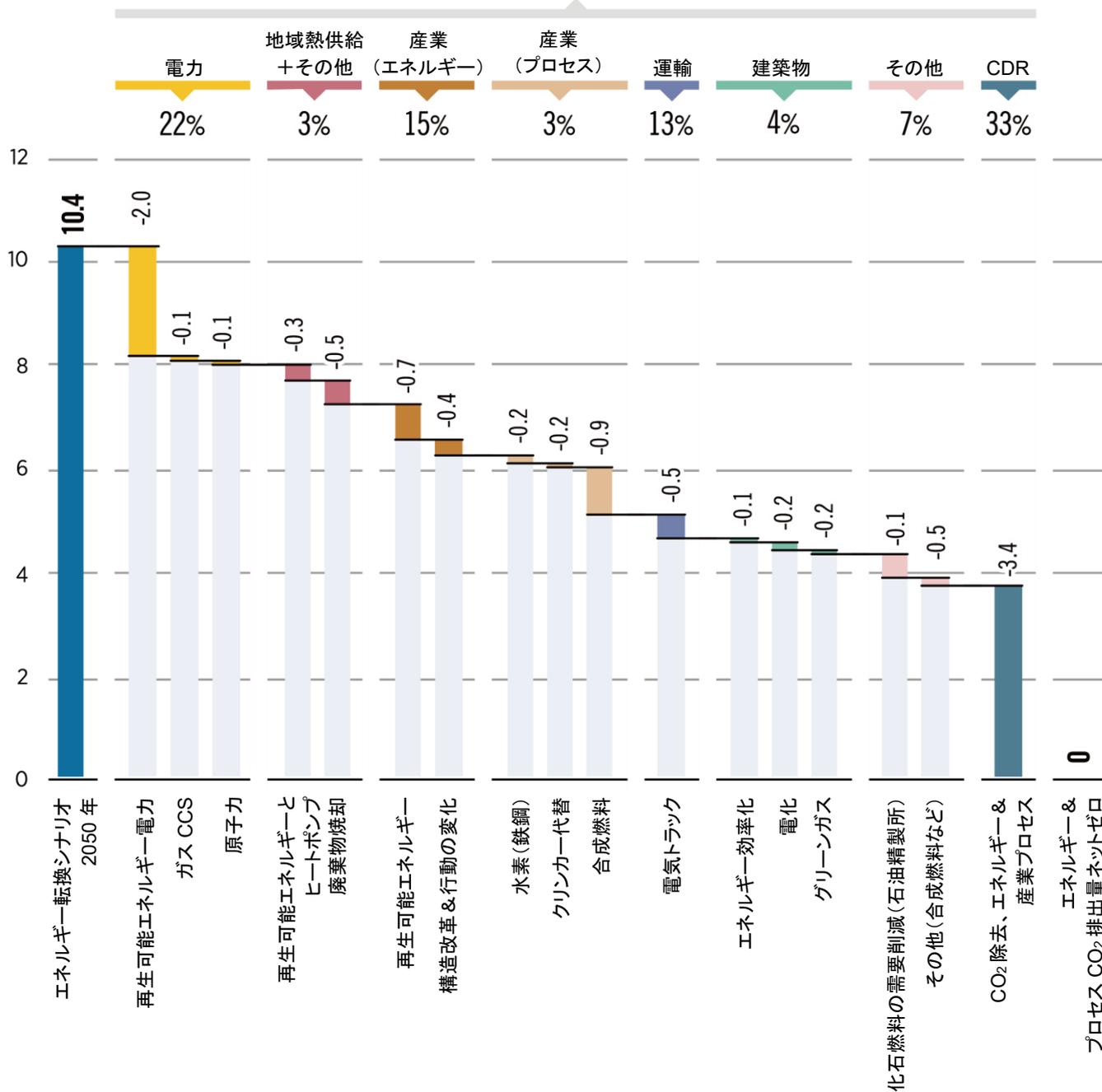
脱炭素深化見通しのゼロカーボン(左ページ)とネットゼロ(右ページ)におけるエネルギー部門と産業プロセス部門の排出量削減

2060年までにエネルギーおよびプロセス部門をゼロカーボンにするために考えられる道筋(Gt CO₂)
削減量の部門別内訳(エネルギー転換シナリオからゼロカーボンへ)



注: エネルギー転換シナリオでは、天然ガス由来の水素製造(ブルー水素)における CO₂ 回収・有効利用・貯留量を 2050年に 250 Mt/年と想定している。

遅くとも 2060 年までにエネルギーおよびプロセス部門をネットゼロにするための脱炭素深化見通し(Gt CO₂)
削減の部門別内訳(エネルギー転換シナリオからネットゼロへ)



エネルギー転換シナリオにおける残存排出量を削減するには、多くの取り組みが必要になる。電力部門は CCS と既存の天然ガス火力発電所の組み合わせも、限定的ながら役割を果たすが、ゼロカーボン電源、主に蓄電設備または水素の利用を伴う再生可能エネルギーを完全導入することで、排出量がゼロになる。建築物部門と地域熱供給部門も、完全に脱炭素化された電力、太陽熱やバイオエネルギー等の再エネを用いた最終消費技術、またはグリーン水素を使用することにより電化を進めることで、完全に脱炭素化される。このような取り組みを行ったうえでなおエネルギー関連排出量が残存する部門は、産業部門、運輸部門のほか、石油精製部門、林業、漁業などの小規模な部門である。これらの部門によるエネルギー関連排出量は、エネルギー転換シナリオでも 6.7 Gt 残存する。

「脱炭素深化見通し(ネットゼロ)」では、これらの残存するエネルギー関連排出量が 3.4 Gt まで削減される。したがって、これらの排出量を相殺してネットゼロに到達するためには、同量の二酸化炭素吸収源が必要と想定されているが、二酸化炭素吸収源のタイプは定義されていない。徹底した政策措置と有効なイノベーションによって、二酸化炭素吸収源を必要とすることなく、これらの部門からの排出量をゼロに削減することができる可能性もある。「脱炭素深化見通し(ゼロカーボン)」では、完全なゼロカーボンに到達するため、さらなる技術展開とともに構造改革と行動の変化を前提としている。

また、エネルギー転換シナリオでは、回収も相殺もされない 0.8 Gt の産業プロセス排出量が残存する。脱炭素深化見通しでは、これらの残存排出量は本章で説明する方法によって削減され、産業プロセス排出量のさらなる回収や相殺は必要ないと想定している。

ベースラインエネルギーシナリオ、エネルギー転換シナリオ、2 つの脱炭素深化見通しにおいて、エネルギー関連排出量とプロセス排出量の両方を削減するために用いられる方法の概要を図 5.3 にまとめる。ベースラインエネルギーシナリオから現行計画シナリオにシフトすることにより、年間 CO₂ 排出量が 9.9 Gt 削減される。削減量のほぼ半分が再生可能エネルギーによるもので、4 分の 1 がエネルギー効率化、残りが最終消費の電化、特に EV によるものである。これは、過去数年で各国政府が計画を変更し、再生可能エネルギー電力と EV を積極的に推進するようになったことを反映している。

エネルギー転換シナリオでは、年間 CO₂ 排出量が全体で 26.3 Gt 削減され、そのうちほぼ半分が再生可能エネルギーによる。次いで削減量のうち 24% がエネルギー効率化によるもので、その大部分は技術効率化策であるが、循環型経済のような構造の変化のほか、エネルギー集約度や炭素集約度の高い製品の消費削減策も含まれている。残りの削減量のうち 11% が EV による削減で、残りはグリーン水素、ブルー水素、CCS、その他に分かれる。

脱炭素深化見通し(ゼロカーボン)では、残存する 10.4 Gt の年間 CO₂ 排出量がゼロに削減される。この方法は、再生可能エネルギー、エネルギー効率化、残存排出量をゼロに削減するその他の方法の重要性がおおむね同程度で、それぞれ約 3 分の 1 を占めることを示している。

その他の方法の中でも、グリーン水素(合成燃料、原料としての使用を含む)が最も重要な役割を果たす。脱炭素深化見通し(ネットゼロ)では、再生可能エネルギーとエネルギー効率化がやはり重要な役割を果たすが、削減に大きく寄与するのは CDR である。CDR は、他の方法においても必要な削減量を軽減する。

全体として、エネルギーおよび産業プロセス関連の年間 CO₂ 排出量削減(ベースラインエネルギーシナリオの排出量 46.5 Gt から脱炭素深化見通し(ゼロカーボン)の排出量ゼロへの削減)をもたらす技術グループの内訳を見ると、再生可能エネルギーが43%、エネルギー効率化と構造改革が26%、EV が 12%、グリーン水素が 9%を占め、残りはブルー水素、CCS(9%)、行動の変化、原子力からなる(図 5.3)。

図 5.3 再生可能エネルギーと効率化：排出量削減の大部分を実現

2020 年～2050 年(PES、TES)、2020 年～2060 年(DDP)におけるシナリオ別の技術グループごとの緩和ポテンシャル

エネルギーおよび産業プロセス関連 CO₂ 排出量の削減(Gt CO₂)

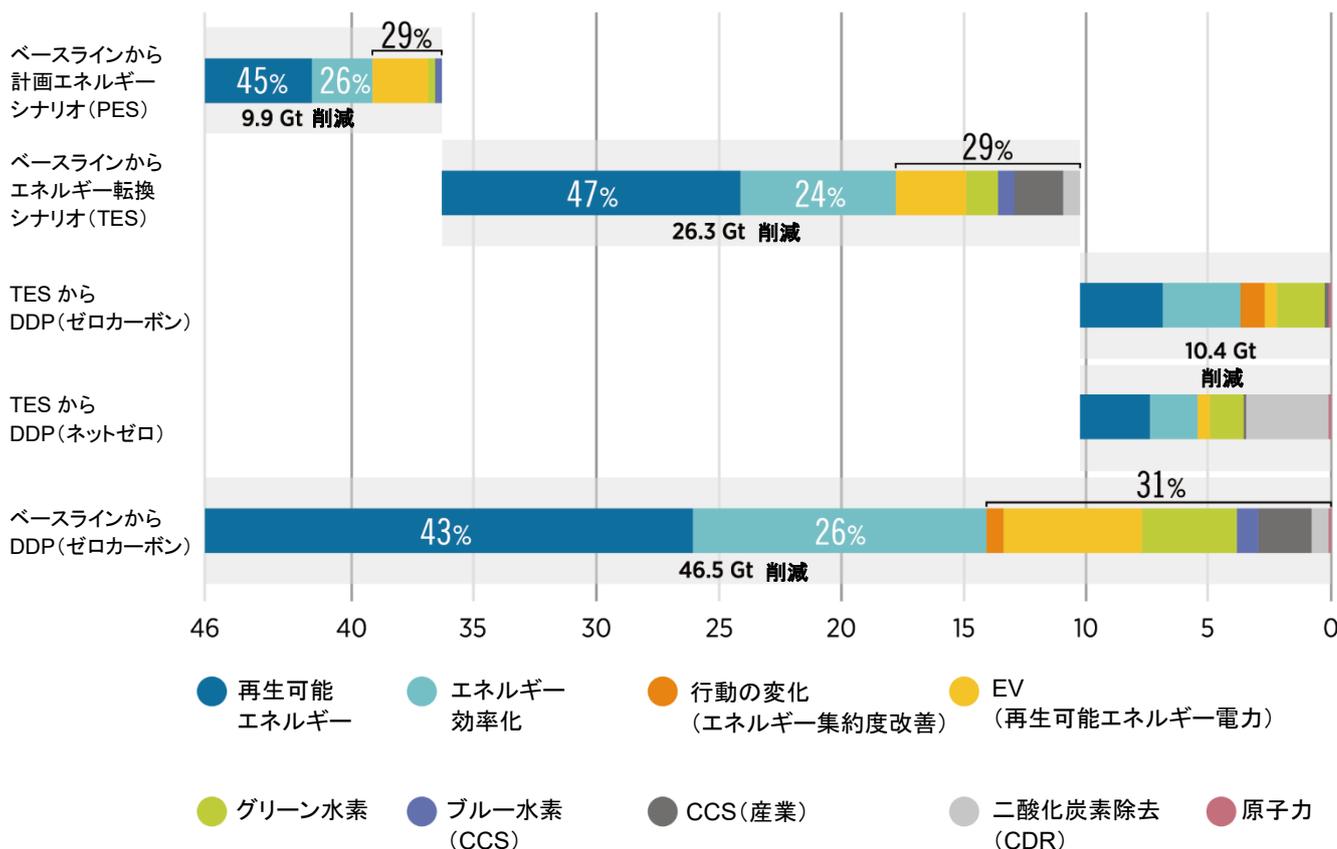


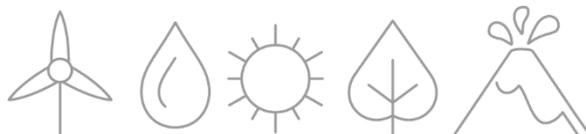
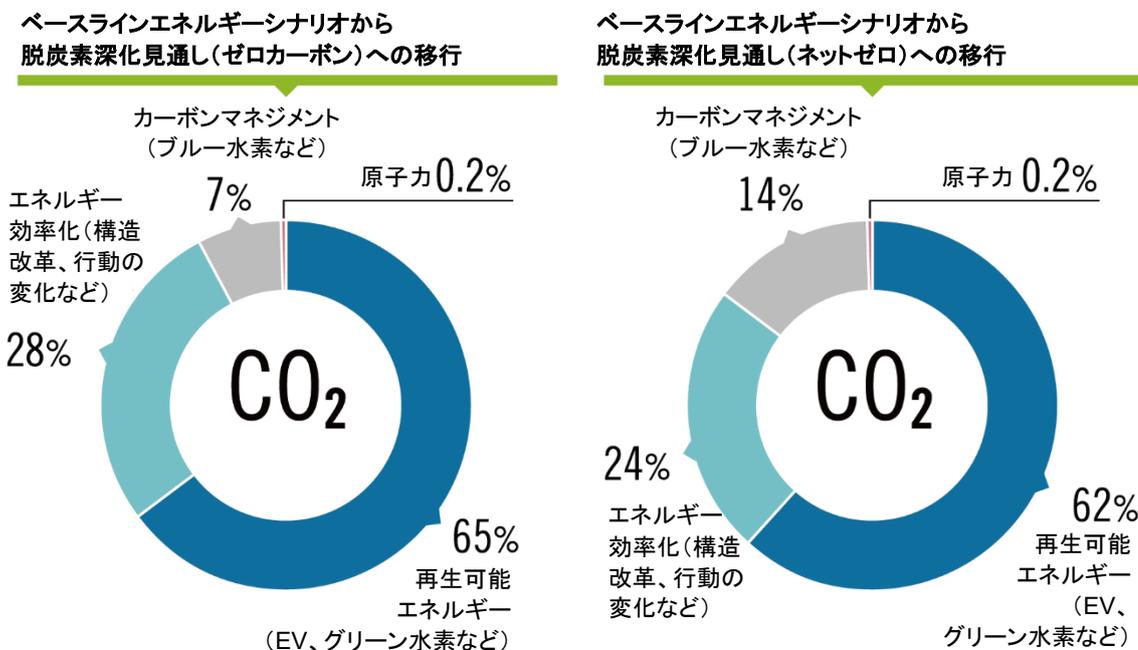
図 5.4 は、より大局的に、ベースラインエネルギーシナリオからいかにして排出量をゼロに削減するかを検討している。図は、以下の 4 つのカテゴリーの相対的寄与度を示している。

- 1) **再生可能エネルギー**: 再生可能エネルギーの直接利用(例えばバイオ燃料、太陽熱)、再生可能エネルギー由来の電力、直接的電化(例えば EV、ヒートポンプ)、間接的電化(例えばグリーン水素、合成燃料)など
- 2) **エネルギー効率化**: 構造の変化(例えば循環型経済、モーダルシフト)、行動の変化(例えば飛行機利用の削減)など
- 3) **カーボンマネジメント・ソリューション**: CDR(例えば、森林再生、直接空気回収)、バイオエネルギーと二酸化炭素回収・貯留技術の組み合わせ(BECCS)、CCS、二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)(ブルー水素を含む)など
- 4) **原子力エネルギー**

脱炭素深化見通しのゼロカーボンにおいても、またネットゼロにおいても、CO₂ 排出削減量の約 3 分の 2 は再生可能エネルギーによるもの、約 4 分の 1 はエネルギー効率化によるもので、残りはカーボンマネジメントとわずかながら原子力エネルギーが占める。

図 5.4 再生可能エネルギーによる CO₂ 削減: ゼロカーボンへの削減量の 3 分の 2

2020 年~2060 年におけるベースラインエネルギーシナリオから脱炭素深化見通し(DDP)のゼロカーボン(左)とネットゼロ(右)へのエネルギーおよび産業プロセス関連 CO₂ 排出削減量に占める比率(%)



排出量削減のコストはそれぞれ異なるが、全体的なコストは、外部性の削減による節約を下回る。エネルギー転換シナリオでは、エネルギー転換のために費やされる1ドルに対する便益は3ドルから8ドルになる(図5.5)。累積額で見ると、エネルギー転換シナリオは2050年までの期間に19兆ドルの追加コストを要するが、環境面での外部性と健康面での外部性の削減により50兆ドルから142兆ドルの便益が得られる。

脱炭素深化見通しでは、排出量ネットゼロを実現するために16兆ドルの追加コスト、あるいは完全なゼロカーボン(カーボンオフセットなし)を実現するために26兆ドルの追加コストが必要になる。したがって、ゼロに到達するための追加コストの総額は35兆ドルから45兆ドルとなる。しかし、このようにコストが高くなっても、ゼロカーボンに到達したことによる外部性削減がもたらす62兆ドルから169兆ドルの節約額を大きく下回る。

図5.5 1ドル支出につき、環境面と健康面において3~8ドルの便益がある

2020年~2050年(エネルギー転換シナリオ)、2020年~2060年(脱炭素深化見通し)におけるエネルギー転換シナリオ、脱炭素深化見通しのゼロカーボン、ネットゼロの累積コストと節約額(単位:兆ドル、2015年ドルベース)

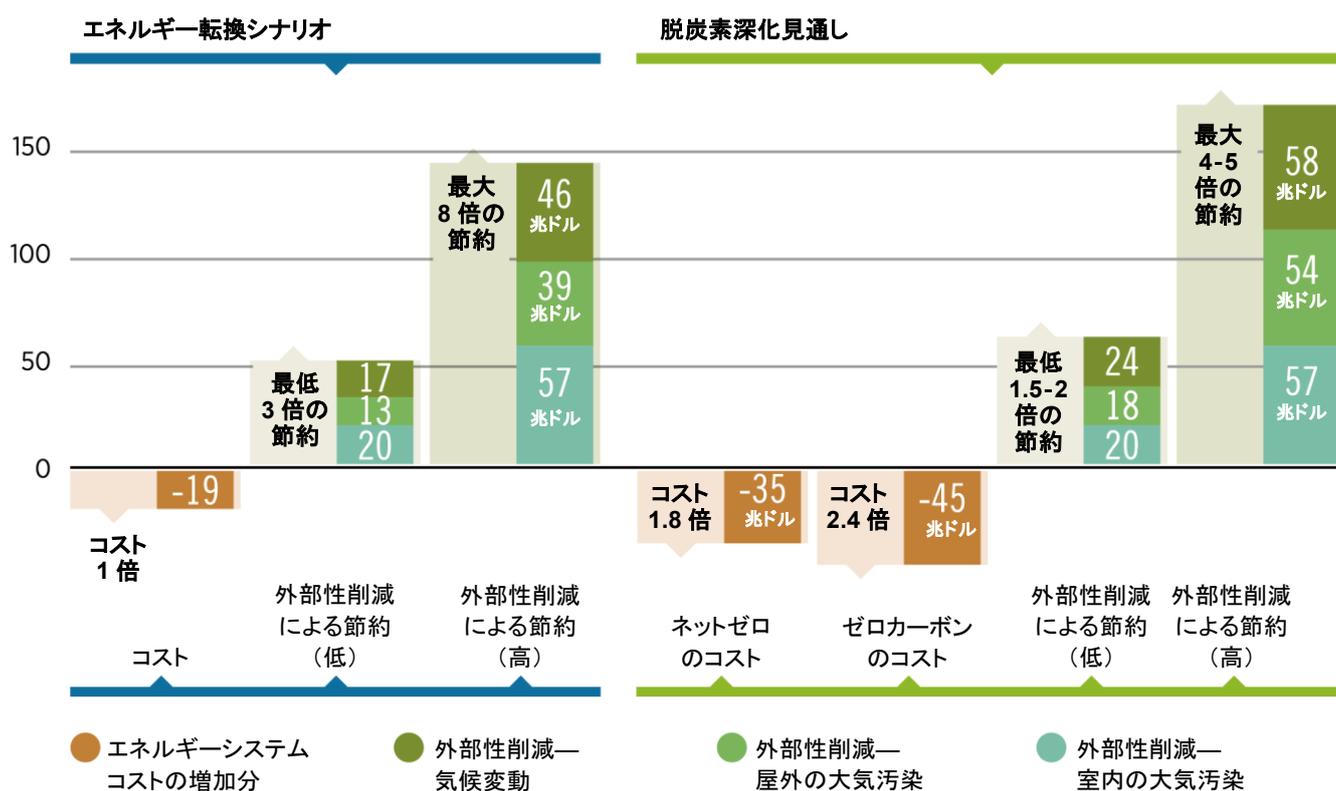


図 5.6 低廉な CO₂ 排出緩和策：効率化、再生可能エネルギー、構造改革

2050 年における各有望技術の緩和コストと内訳

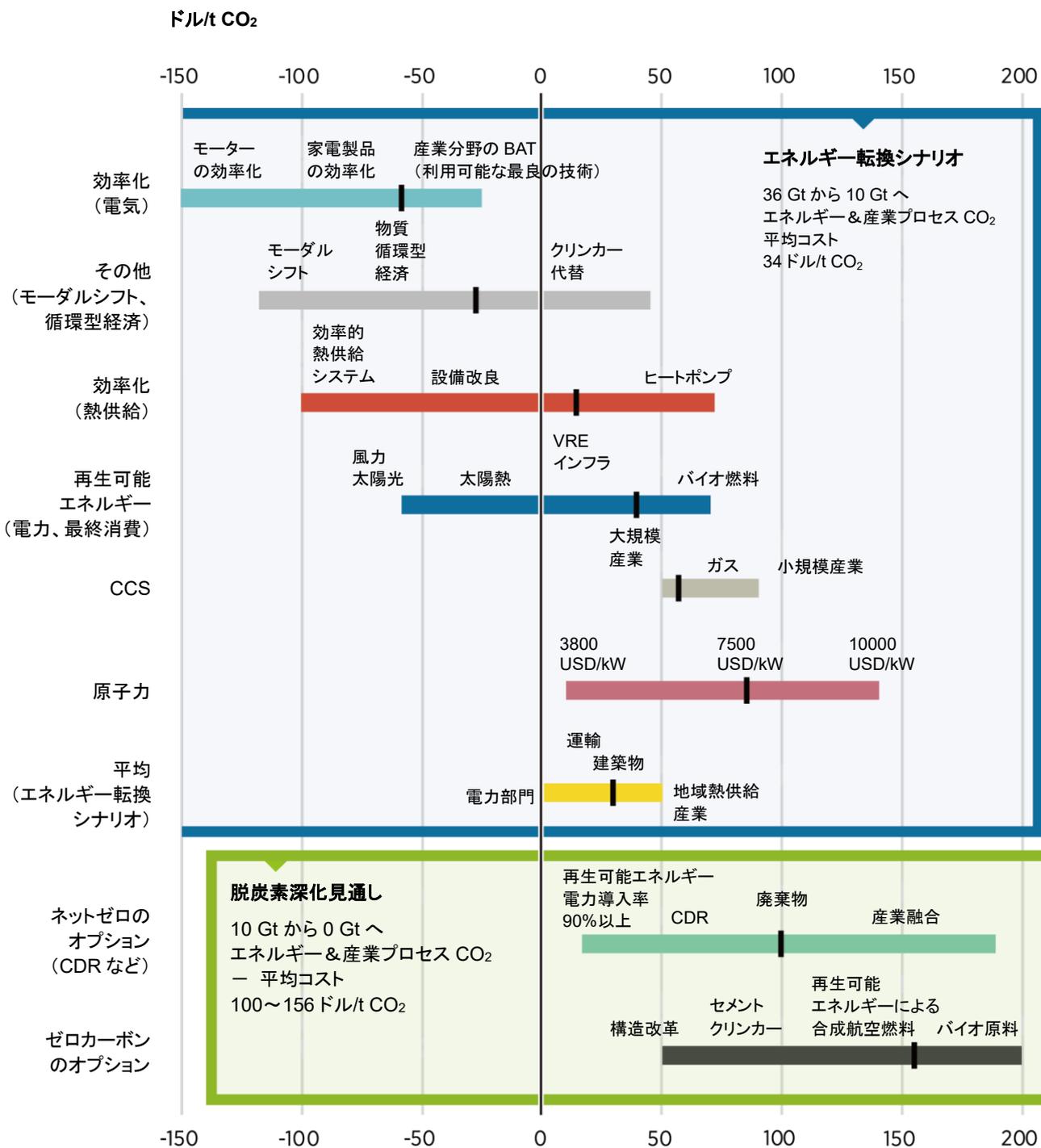


図 5.6 で示す通り、緩和コストは追加的なゼロカーボン技術によって回避または削減することができる CO₂ 換算トンあたりのコストを算出するものであるため、**全体的なコストを見るだけでは、本報告書で提示した技術の多くが化石燃料の代替技術よりはるかに低廉であることはわからない**。電力のエネルギー効率化に向けた手段については、緩和コストは -150~-20 ドル/t の範囲である。熱供給効率化の手段については、-100~+70 ドル/t である。ほとんどの再生可能エネルギーの緩和コストは -50+50 ドル/t である。これらの数字は、CCS のコストである +50~+80 ドル/t や、原子力の平均コストである +80 ドル/t を下回る。

もうひとつの方法は、対象期間に 1 t の CO₂ 削減にかかるコストを見ることである。エネルギー転換シナリオの場合、2050 年までに年間排出量を 10 Gt まで削減するが、そのコストは 34 ドル/t となる。脱炭素深化見通しの場合、残存排出量をゼロまで削減し、コストはそれよりも高くなる。ネットゼロの場合、コストは 100 ドル/t であるが、ゼロカーボンの場合は 156 ドル/t となる。

図 5.7 各シナリオにおける緩和コスト：23~156 ドル/t

エネルギー転換シナリオにおける 2050 年までの期間、脱炭素深化見通しにおける 2060 年までの期間における累積緩和コスト、累積 CO₂ 削減量、平均緩和コスト

	 累積コスト (兆ドル)	 DDP の追加コスト (兆ドル)	 累積 CO ₂ 削減量 (Gt)	緩和の平均コスト (ドル/t CO ₂)
エネルギー転換シナリオ	19		559	34
脱炭素深化見通し (ネットゼロ)	19 + 16 (計 35)	16	165	100
脱炭素深化見通し (ゼロカーボン)	19 + 16 + 10 (計 45)	26	165	156

5.2 産業部門・運輸部門など課題のある部門も含めた残存排出量の削減

概要

上記の分析で示したとおり、ネットゼロまたはゼロカーボンに到達するためには、いくつかの部門でさらなる取り組みを行う必要がある。以下の節では、実現に向けた選択肢のほか、残る課題をいくつか論じる。

電力部門は、ゼロカーボン電源の完全導入に向けて動く必要がある。それは、ほとんどの電力系統が再生可能エネルギーの大量導入(90%以上、一部は100%を実現)に向けて移行することを意味する。第5.3節では、一部の国がその課題にどのように取り組んでいるかを紹介する。

水素やその派生物といった新たなクリーンエネルギーキャリアは、重要な役割を果たすようになる。第5.4節は、水素の役割がいかに拡大しうるかを論じる。ボックス5.1で論じたように、**CCUSも一定の役割を果たす。**

しかし、一部の部門にとって現在の選択肢は限られており、排出量を削減する最適の道筋は不確実である。このような部門は時に「**脱炭素化が困難な**」または「**低減な困難な**」部門と呼ばれ、以下の本節、第5.5節、第5.6節、第5.7節で論じる。

課題のある部門の排出量削減

本報告書は、運輸部門と産業部門の一部の分野を、排出量削減にあたって課題のある部門として分類している。一部の部門では、高熱や高エネルギー密度を必要とするエネルギーサービスのニーズがあり、それを電力で供給することは難しい。石油化学などの部門も、最終製品を生産するために原料を必要とする。また、セメントクリンカーや鉄鋼の製造といった一部のプロセスはCO₂を排出する。エネルギー転換シナリオではすでに、再生可能エネルギー、バイオエネルギー、水素、合成燃料による直接電化など、排出量を削減するソリューションがこれらの部門においても大幅に拡大することを想定しているが、排出量を削減するためには、さらなる革新的ソリューションが必要となる。このようなソリューションの多くは、高価であるか、技術開発の初期段階にあり、まだ大規模展開できる状態ではない。図5.8は、エネルギー転換シナリオにおける残存CO₂排出量の詳細を示している。産業部門における最大の残存排出源は、セメント産業、化学産業、鉄鋼生産業で、アルミニウム産業がそれに続く。運輸部門における最大の残存排出源は、貨物輸送(道路、鉄道、船舶、次いで航空)と道路旅客輸送である。

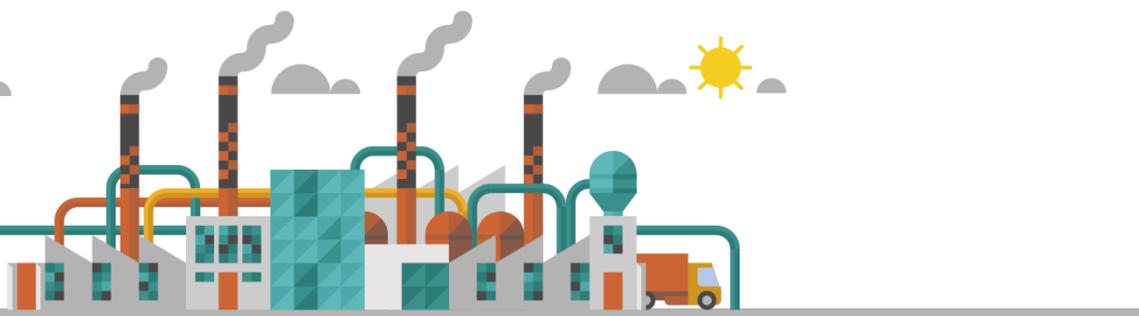
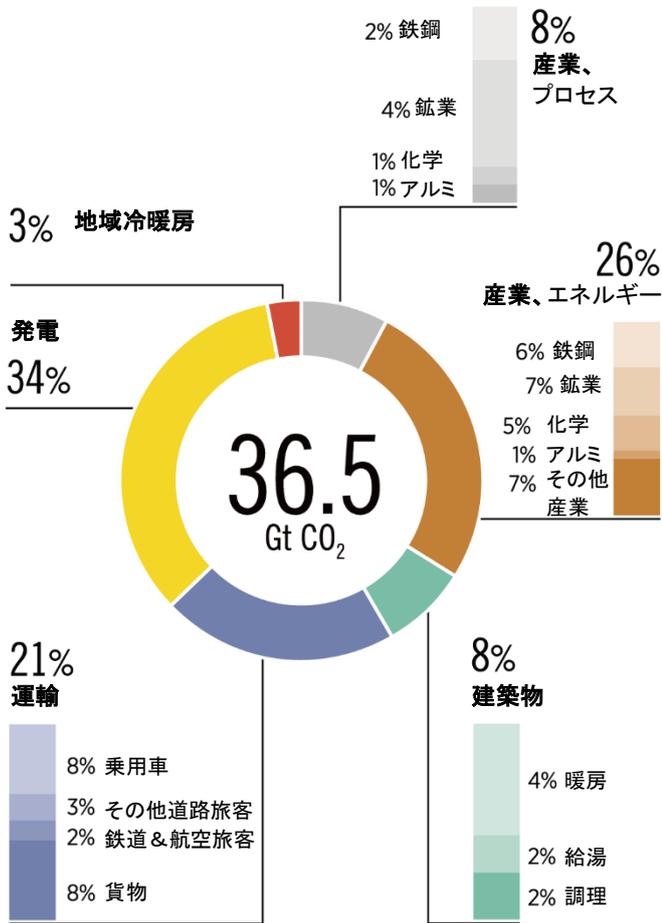
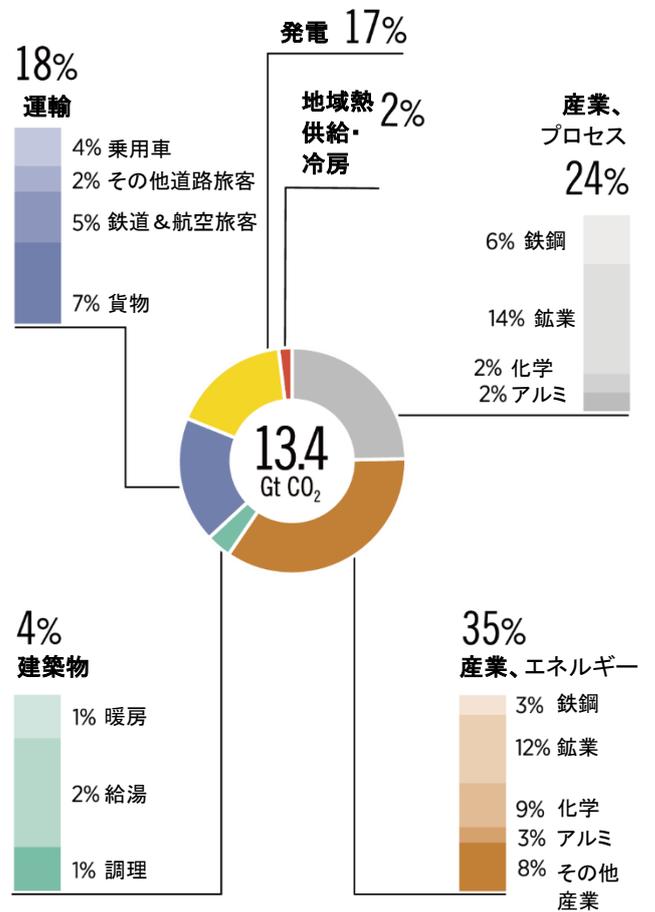


図 5.8 産業部門の CO₂ 排出量：エネルギー転換シナリオにおける残存排出量の 3 分の 2 を占める

2016 年のエネルギー関連および産業プロセス CO₂ 排出量の内訳



エネルギー転換シナリオにおける 2050 年のエネルギー関連および産業プロセス CO₂ 排出量の内訳



先に説明したとおり、エネルギー転換シナリオでは 9.8 Gt のエネルギー関連 CO₂ 排出量が残存し、その排出量の大部分は電力以外のエネルギー源に由来する。それに加え、産業プロセスからの CO₂ 排出量が 2050 年に 3.6 Gt あり、その大部分がセメント産業と鉄鋼産業に由来する。エネルギー転換シナリオでは、CCS と CDR によってこの 3.6 Gt のうち約 2.0 Gt/年が削減され、さらに 0.7 Gt/年が物質効率化と循環型経済によって削減されると想定している。その結果、2050 年になお 0.9 Gt/年のプロセス排出量が残存し、大気に放出される。エネルギー転換シナリオにおいて残存するエネルギー関連と産業プロセスを合わせた排出量のうち、70%が産業部門と運輸部門に由来するものである。本節で論じる部門には、次のような分野が含まれる。

- ・ 特定の輸送分野、具体的には道路貨物輸送、航空、船舶
- ・ エネルギー集約型産業、具体的には鉄鋼、アルミニウム、化学・石油化学、セメント
- ・ ガスシステム - 現行の天然ガス運送、輸送、配送システム

表 5.1 部門別の主要な脱炭素化ソリューション

	部門	主なソリューション
	道路貨物輸送	直接電化、グリーン水素、バイオ燃料
	航空	バイオ燃料、グリーン水素から製造した合成燃料、電化
	船舶	グリーン水素から製造した合成燃料、バイオ燃料、電化
	鉄鋼	グリーン水素、CCS、バイオマス、循環型経済
	化学および石油化学	バイオマス、グリーン水素、循環型経済
	アルミニウム	電化、循環型経済
	セメント・石灰	CCS、循環型経済、再生可能エネルギー、廃棄物
	ガスシステムのグリーン化	グリーン水素、グリーン水素から製造した合成メタン、クリーンバイオガス

また、エネルギー効率化の取り組みと、循環型経済の原則のさらなる活用によって排出量を削減する機会がある。循環型経済は、リサイクル、リユース、物質代替、より効率的な物質設計、持続可能なバイオマス資源の利用などを含む。循環型経済の最も一般的な事例は、リサイクルである。もうひとつの選択肢は、消費者が使用した後、物品の部品を再利用する、または物品の消耗した部品を修理または再製造したうえで新たな最終製品に変えること(リユース)である。

循環型経済のフローにより、一次資源を採取する必要性や廃棄物を処分する必要性、そしてエネルギー需要が削減される。例えば、物質のリサイクルは、天然資源から一次物質を生産するよりエネルギー効率が高い場合が多い。多くの部門や製品において、エネルギーや資源の使用を 50%以上削減することが可能である(Gielen and Saygin, 2018)。また、品質特性を失うことなく同じ物質を数回リサイクルすることも可能である。

循環型経済が特定の産業部門の排出量削減にどれくらい寄与するかという事例は、広く知られている。物質の利用効率性を高め、より循環型の経済においてリサイクルとリユースを大幅に強化することにより、一次生産と排出量を世界全体で 40%、先進国でさらに多く削減できる可能性がある。特にプラスチック分野および金属分野は顕著である。循環型鉄鋼経済にシフトすることで天然ガス、石炭、コークスの使用を削減することができ、循環型プラスチック経済では石油化学製品の使用を削減することができる。

ボックス 5.1 二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)

CCUS の技術的ポテンシャルは一部の国で非常に高いものの、その発展は緩やかである。CCUS の開発は、緩和コストの高さ、投資がスムーズに行われないうこと、技術的な停滞、NIMBY(ノット・イン・マイ・バックヤード。技術の必要性を認めても、自らの居住地域には建ててほしくないという主張)の声、そして長期的な政策コミットメントに関する不確実性によって妨げられてきた。エネルギー転換シナリオでは、CCUS は限定的な役割を果たすのみである。しかし、セメントクリンカー製造やゴミ焼却施設といった一部の産業プロセスについては、CCUS 以外に利用できる主要な緩和策がないのが現状である。このほか、鉄鋼生産や一部の化学プロセスなどでは、CCUS は他の緩和策と比べて最もコスト競争力を持つ可能性がある。したがって、CCUS は、特定の用途についてはさらに開発が進むことが必然である。

バイオエネルギーとCCUSの併用も、ネガティブエミッション技術として有望である。英国・ノースヨークシャー州にあるドラックス発電所は、バイオマス燃焼で排出されるCO₂の回収を開始しているが、その規模は小さい。ドラックス発電所のパイロットプロジェクトにおけるCO₂回収量は1t/日で、今後は技術の大規模導入に向けて準備を整え、最終的には発電所のCO₂排出量を10Mt/年削減すると期待されている。ただし、同発電所で実施中のパイロットプロジェクトでは、現在CO₂貯留は行っていない(FT, 2019)。



課題のある部門における前進

本章後半の節では個別の部門について論じるが、多くの部門に共通して適用可能な一般的原則や傾向は数多くある。端的に言うと、脱炭素深化見通しで想定される進展を実現するには、様々な局面において、緊急かつ持続的な多国間行動が必要である。具体的には、産業と政府や自治体との密接な協力と国際機関の支援によって、以下を実現する必要がある。

技術的道筋に関する決定の根拠となる確固としたエビデンススペースを構築する。

- ほとんどの分野で、徐々に有望なソリューションが出現しつつあるが、依然として技術的不確実性は大きく、最適の道筋はまだ自明ではない。
- 2030年代と2040年代には大規模かつ急速な導入拡大が必要になるため、今すぐ、2020年代のうちに、さらなる明確さが必要である。
- 実行可能かつ最適な施策に関するエビデンスを収集し、2020年代に下すべき重要な決定の根拠とするために、さまざまな国において、実証プロジェクトやパイロットプロジェクトを大幅に増やす。これらのプロジェクトから学んだことは、広く共有することが望ましい。

エネルギー効率化、エネルギー集約度削減、循環型経済に関する行動をただちに取る。

- エネルギー効率の向上や資源の有効活用は「ノーリグレット（後悔しない）戦略」であり、すべての部門に適用される。エネルギー効率化に注目する際は、それと併せてエネルギー集約度の削減機会についても体系的に分析しなければならない。
- 個別の部門ごとにライフサイクルや循環型経済に関する分析にいつその注意を払い、リサイクル、物質効率化、物質代替などの戦略を模索する必要がある。
- エネルギー消費効率の最低基準、統合資源計画といったエネルギー効率化を促進する政策や、エネルギー集約度削減を実現する政策を、より積極的に適用することが望ましい。技術強制型規制など、より指示的な政策ツールも、場合によっては必要となる。

イノベーションによって、さまざまなソリューションのコスト低減を図る。

- 考える脱炭素化ソリューションのコストはそれぞれ差異がある。しかし、平均すると、コストはエネルギー転換シナリオにおける対策のコストを上回る。
- イノベーションチェーン（研究、開発、実証）全般にわたるイノベーション支援の強化が必要である。例えば、技術開発がビジネスモデルにおけるイノベーションやプロセス運用方法の変化とともに生じ、政策設計や市場設計への革新的な方法によって実現する場合には、全体的な方法を採用する必要がある。
- コスト削減はイノベーションと大量導入の両方によって促進される。短期的に、導入はわずかであると考えられるが、ニッチ市場や特定市場における早期採用を奨励することにより、規模構築とコスト削減を支援することができる。
- 脱炭素化の有望な道筋として、サプライチェーンや製造工程のイノベーションを伴うものがある。例えば、鉄鉱石加工を再生可能エネルギー電力が利用できる地域に移転し、直接還元製鉄（DRI）法を使用すれば、中国の製鉄産業のCO₂排出量を削減することが可能になる。

認証や規制に対する国際的取り組みを模索する。

- グリーン製品やグリーンエネルギーキャリアは、市場の発展を可能にし、持続可能な調達源を確保することなどに向けて、認証制度が必要になる。
- 国境を越えた取引を促進し、規模の経済を構築するには、世界規模の方法論が必要になる。

投資のインセンティブとなる政策を策定する。

- 必要な投資を動員するため、信頼できる長期的な政策シグナルが必要である。
- 公平な競争機会を確保するために、理想としては世界規模の部門別方法論が必要である。過去の試みが難航したため、新たな方法(国境炭素税など)は先進的な国や地域によって詳細に検討する必要がある。

既存のプロセスではなく、必要な結果に目を向ける。

- 目標は、多種多様なプロセスの CO₂ 排出量を削減しつつ、産業ニーズを満たすことである。個々の産業プロセスは独自であるなら、ソリューションも独自である場合もある。
- まだ詳細に検討されていない独創的な方法が存在する。またその他にも、問題を適切な角度から見れば生まれる可能性が高いものもある。例としては、船舶燃料としてのアンモニア、建築材としての木材、バイオ材料とエネルギーを複合生産するバイオリファイナリー、セメントキルンにおけるバイオマス燃料と CCS の併用などがある。
- 業界の専門家と密接に協力して産業的ニーズの詳細を分析し、これまでと異なる低炭素な方法で目標を達成しうるかを創造的に模索する必要がある。

世界的な変化をもたらす「ツボ」を特定する。

- 早期に、しかも絶大な効果をもたらすことがはっきりしている機会はめったにないが、その機会をつかむことができれば、信用を高め、規模を拡大するために役立つことになる。
- 例えば、世界中のすべての船舶について最適かつ低炭素な道筋を定義するのは大仕事だが、中国からシンガポール経由で欧州に至る航路のみについて実施可能な代替的選択肢を検討するのであれば、より対処しやすくなる。
- このほか、次のような例がある。
 - シンガポールは、船舶に使用される化石燃料全体の約 5 分の 1 を積み込んでいる。
 - 中国は、現在の鉄鋼生産量の半分以上を占める。
 - 超大型トラック(最大積載量 15t 超)は、貨物トラックによる CO₂ 排出量全体の 75%以上を占めている。

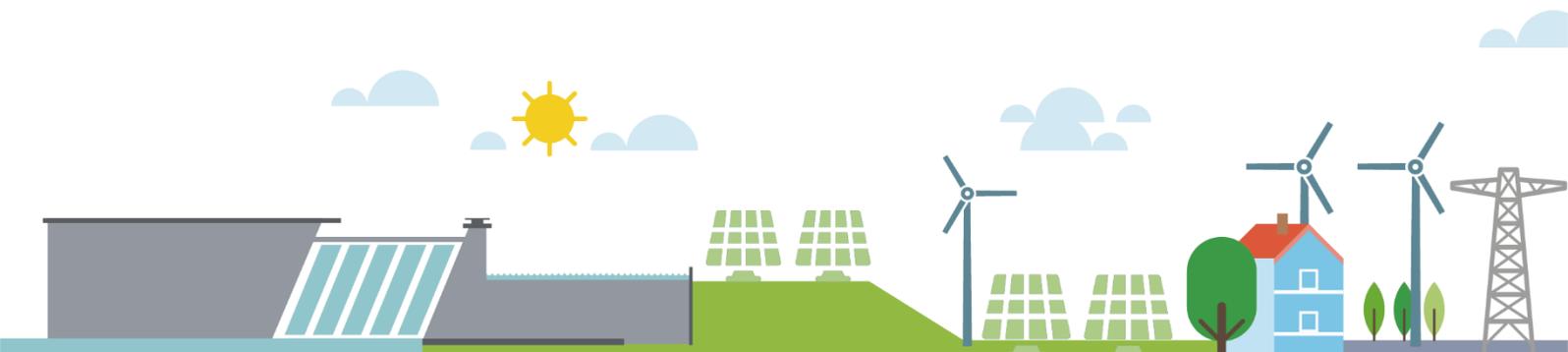


5.3 再生可能エネルギー電力の大量導入

エネルギー転換シナリオでは、パリ協定の目標を達成するためには、電力部門が再生可能エネルギー導入に向けて決定的かつ迅速に方向転換する必要があることが示されている。電力部門でこれらの目標を達成するためには、再エネ電源への投資を世界的に大幅拡大させること、化石燃料を使用した発電の段階的廃止を促進させること、そして強力な政策的支援が必要となる。

エネルギー転換シナリオでは、電力部門は大きな変容を遂げ、発電における再生可能エネルギー導入率は 2050 年までに 86%に達し、2018 年の 26%から大幅に増加する。このシナリオでは、多くの国の再生可能エネルギー導入率が 2050 年までに 95%を超え、100%を達成する国もある（詳しくはボックス 1.3 を参照）。しかし、電力部門の排出量は 2050 年にまだ約 2 Gt あり、これをゼロまで削減する必要がある。

幸いなことに、電力部門が進むべき道は明らかになりつつある。再生可能エネルギーで電力供給の大部分をまかなうことができる。これらの技術は利用可能で、市場でも実証済みであり、コストもそれほど高くなく、政策は十分な裏付けがあり、有効である。電力部門排出量のゼロへの削減は、ゼロカーボン電源を最大限に導入し、そのほとんどすべてを再生可能エネルギーにすることによって達成可能である。すでに多くの国が、変動性再生可能エネルギー（VRE）を大量導入しても電力系統は運用可能であることを実証し始めており（Enerdata, 2019; Hill, 2020）、今後数十年間で徐々にこれが標準になっていくと予想される。したがって、各国が経験と知識を提供することが極めて重要である。



ボックス 5.2 変動性再生可能エネルギー電力の大量導入を支えるイノベーション

ウルグアイやコスタリカなどの多くの国では、すでに電力系統における再生可能エネルギー導入率が非常に高くなっており、100%に迫る勢いである。そして多くの国がその後を追っている。例えばスウェーデンは、21世紀半ばまでに再生可能エネルギー電力の比率を100%にするという政策目標を掲げている。IRENAは、スウェーデン・エネルギー庁と協力し、電力部門のエネルギー転換を促すイノベーションの枠組み（報告書「将来の再生可能エネルギー社会を実現するイノベーションの全体像：変動性再生可能エネルギー導入のためのソリューション」（IRENA, 2019o）に詳述）をスウェーデンの事例に適用した。プロジェクトは、スウェーデンが意欲的な政策目標を2040年までに実現するために、どの革新的ソリューションが役立つかを評価した。実現技術、ビジネスモデル、市場設計、系統運用におけるイノベーションを組み合わせることにより、プロジェクトでは、スウェーデンの電力系統にVREを大量導入するための4つのソリューションが策定された（図5.9）。

イノベーションのそれぞれの組み合わせは、電力部門のバリューチェーンの特定領域についてソリューションを提供するもので、これらのソリューションに対する包括的な視点から、システム全体にわたる主要な柔軟性オプションが策定されている。これには、再生可能エネルギーによる最終消費部門（運輸、建築物、産業）の直接的および間接的電化、水素の長期貯蔵、そして、蓄電池、電解装置、スマートチャージ技術を介したEVといった多様な設備からの革新的システムサービスの提供などがある。また、VRE系統連系のベストプラクティスも収集され、分析において検討された。全体として、これらの経験とすでに整備されている脱炭素化電力系統の基本インフラを併せれば、スウェーデンが2040年までに100%再生可能エネルギーによる電力系統を達成し、VREの比率を現在の11%から42%（うち風力39%、太陽光3%）に引き上げることは実現可能である。



ボックス 5.2(続き)

図 5.9 スウェーデンの電力系統における 4 つの革新的ソリューション

● ソリューション I

実現技術

- 大容量蓄電池
- IoT(モノのインターネット)
- AI(人工知能)とビッグデータ

市場設計

- 電力市場における時間分解能の向上
- 革新的なアンシラリーサービス

系統運用

- 変動性再生可能エネルギー電源の先進的予測手法

- ▶ 従来型および再生可能エネルギー源の両者による革新的なアンシラリーサービスを提供する。
- ▶ 電力系統のセキュリティと系統安定度を確保し、VRE 電源の周波数や電圧のサポートといった新たなアンシラリーサービスを提供する。
- ▶ 太陽光発電や風力発電に関する高精度予測を利用して、そのようなアンシラリーサービスの提供を可能にする。

ソリューション I

従来型エネルギー源と再生可能エネルギー源の両者による革新的なアンシラリーサービス

● ソリューション II

実現技術

- IoT
- AI とビッグデータ
- ブロックチェーン
- スーパーグリッド

市場設計

- 電力市場における時間分解能の向上
- 地域市場

- ▶ 既存の汎欧州的市場設計の柔軟性を高める。
- ▶ スウェーデン、北欧諸国、バルト諸国、より広範な欧州地域における系統運用者間の協力関係を促進する。
- ▶ 複雑化、分散化、デジタル化が進む電力系統を管理する責任を明確かつ効率的に分割する。

ソリューション II

系統運用者間の効果的な協調関係によって柔軟性を提供する汎欧州的市場

● ソリューション III

実現技術

- ビハインド・ザ・メーター（需要側）蓄電池
- EV 用のスマートチャージ
- 再生可能エネルギーによる P2H（power-to-heat）
- IoT
- AI とビッグデータ
- ブロックチェーン

ビジネスモデル

- アグリゲーター

市場設計

- 時間別料金制度
- 革新的なアンシラリーサービス
- 分散型電源の市場統合

系統運用

- DSO（配電系統運用者）の将来的役割
- TSO（送電系統運用者）と DSO（配電系統運用者）の協調
- バーチャル送電線

- ▶ 分散型電源を統合し配電系統運用を最適化する。
- ▶ 日毎に需給バランスを調整する。
- ▶ リードタイムが長期にわたるエネルギー転換プロジェクトが実施されるまで、短期的な風力の不足時や余剰時における配電レベルでの系統混雑を管理する。

ソリューション III

システムに親和性のある分散型電源導入

● ソリューション IV

実現技術

- 再生可能エネルギーによる P2H（power-to-heat）
- 再生可能エネルギーによる P2H2（power-to-hydrogen）
- AI とビッグデータ

市場設計

- 電力市場における時間分解能の向上
- 革新的なアンシラリーサービス
- 地域市場

- ▶ 再生可能エネルギー源による直接熱供給や輸送電化などにより、最終消費部門を脱炭素化する。
- ▶ power-to-X 技術（再生可能エネルギー電力から熱への変換、再生可能エネルギー電力から水素への変換など）を用いた直接的・間接的電化により、系統の柔軟性を高め、系統安定度の管理を支援する。
- ▶ 鉄鋼産業のように排出量を完全に除去することが難しい部門にとって、きわめて複雑だが画期的なソリューションの構成要素となる。

ソリューション IV

再生可能エネルギー源を用いた電化による最終消費部門の脱炭素化

5.4 水素の役割



水素は一次エネルギー源ではないが、化石燃料を原料として CCS を併用せずに(グレー水素)、または CCS を併用して(ブルー水素)製造するか、再生可能エネルギー電力を用いた電気分解によって(グリーン水素)製造することができる。水素はすでに産業コモディティとなっており、現在年間約 120 Mt のグレー水素が製造され、消費されている。そのほとんどを製油産業とアンモニア生産が占める。水素専用のパイプラインは、何十年も前から運用されている。水素生産はすでに大規模化しているものの、まだクリーンとは言えない。現在、水素全体の 96%が化石燃料から作られており、残りが電気分解、主に塩素アルカリ分解法によるものだからである。

本報告書が示すとおり、エネルギー転換シナリオでは、2050 年までにすべての最終エネルギー消費の半分を電化することが可能である。このうちおよそ 85%が電力として直接消費され、15%がグリーン水素（最終エネルギー消費の約 5~6%を占める）を生産するために使用される再生可能エネルギー電力である。最終エネルギー消費の残り半分のうち、3 分の 1 は再生可能エネルギーの直接使用によるものとなる。しかし、このように再生可能エネルギー電力、グリーン水素、直接使用を大幅にスケールアップしてもなお、エネルギー需要の 3 分の 1 については関連する排出量への対策が最終的に必要になる。そこでは、グリーン水素はより大きな役割を果たすことができる。

グリーン水素は現在、化石燃料から製造する従来型の水素(グレー水素)よりも高コストである。しかし、電解装置の低コスト化と再生可能エネルギー電力の低コスト化の複合効果により、グリーン水素のコストは急速に低下しており、近い将来ブルー水素と競争できる水準まできている(図 5.10 を参照)。

再生可能エネルギー電力(グリーン水素の製造に使用)のコスト、電解装置のコストと性能、そして電解装置の負荷率がグリーン水素の製造コストを決定する。今後 10 年間のグリーン水素生産コストは、最も有利な立地で 2~3 ドル/kg 程度が実現可能な額である。また、再生可能エネルギー資源に恵まれた立地のほうが、早く低コスト化を実現できる。

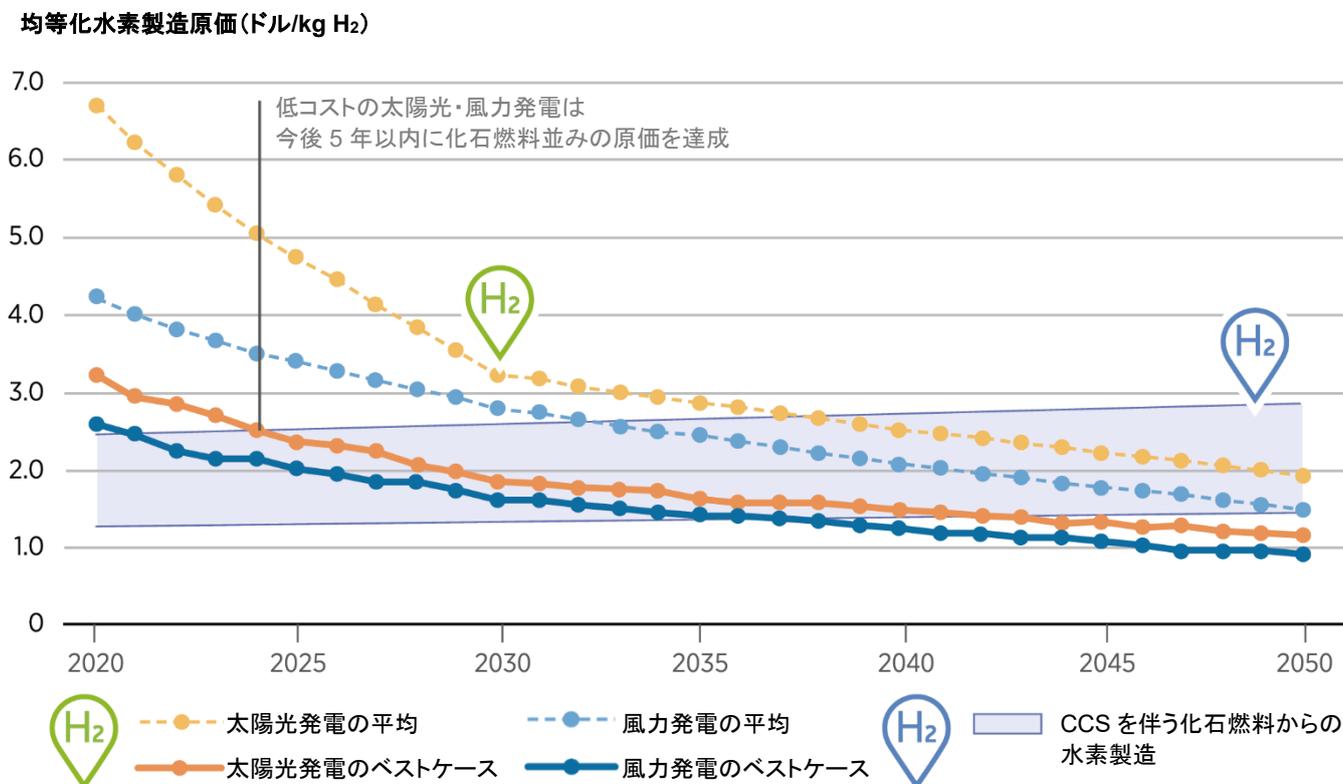
また、グリーン水素の製造は、再生可能エネルギーに基づく電力システムを促す好循環を創出する可能性がある。なぜなら、水素は必要性の高い柔軟性を電力システムにもたらし、負荷制御ができない再生可能エネルギー電源に対する緩衝材として働き、岩塩空洞やその他の地下貯留層に大量の水素を貯蔵することによって、再生可能エネルギー発電の季節間調整を担える可能性がある。

低コストのグリーン水素を実現する見込みがあれば、ある種のエネルギー集約型産業は、今後そのような基準を満たす立地を選ぶようになる可能性がある。例として、オーストラリアは再生可能エネルギーを用いた商業規模のアンモニア生産を検討する 2 つの実現可能性研究(FS)を行うことを発表していることから、同国で再生可能エネルギーとグリーン水素が急成長を遂げる可能性がある(Paul, 2019)。ノルウェーでは、グリーン水素からアンモニアを製造する最初のプラントが 2020 年に開設する予定である(Yara, 2019)。鉄鋼業がその後が続くと見込まれる。

エネルギー転換シナリオでは、水素は 2050 年までに世界のエネルギー需要のうち 29 EJ 近くを供給するポテンシャルを持っている。そのうち 3 分の 2 は再エネ電源に由来で、少なくとも約 7,500 TWh の再生可能エネルギー電力が必要になる。これは、現在の世界の発電電力量の約 30%に相当する。

図 5.10 グリーン水素の製造コスト：ブルー水素の競争力に近づく

2020 年～2050 年における太陽光・風力発電による水素製造コストと CO₂ 回収・貯留を伴う化石燃料による水素製造コストの比較



注：電解装置コスト：770ドル/kW(2020年)、540ドル/kW(2030年)、435ドル/kW(2040年)、370ドル/kW(2050年)。CO₂ 価格：50ドル/t(2030年)、100ドル/t(2040年)、200ドル/t(2050年)。

水素はすでに、産業部門においてかなりの量が使用されている。しかし、今後はこのようなグレー水素の使用をやめ、ブルー水素とグリーン水素を組み合わせたものに代える必要がある。化学産業、石油精製業、鉄鋼生産業において、化石燃料由来の原料に代えて、高熱を供給するためにグリーン水素を使用することにより、排出量を削減できる可能性が大いにある。エネルギー転換シナリオでは、2050年に14 EJ 弱の再生可能水素が産業部門、主に鉄鋼業、化学産業、アンモニア製造において消費される。

運輸部門は2番目に多く再生可能水素を消費する部門であり、その年間消費量は2050年までに4 EJに達する。運輸部門では、水素は、燃料電池自動車(FCEV)において、ほとんどの場合は重量貨物の輸送に使用されるか、船舶または航空機用の合成燃料を製造するために用いられる。建築物部門では、水素と天然ガスと混合するか、水素を用いて合成メタンを生成し、ガス導管網に注入することができるが、使用できるのは約1 EJに限られる。

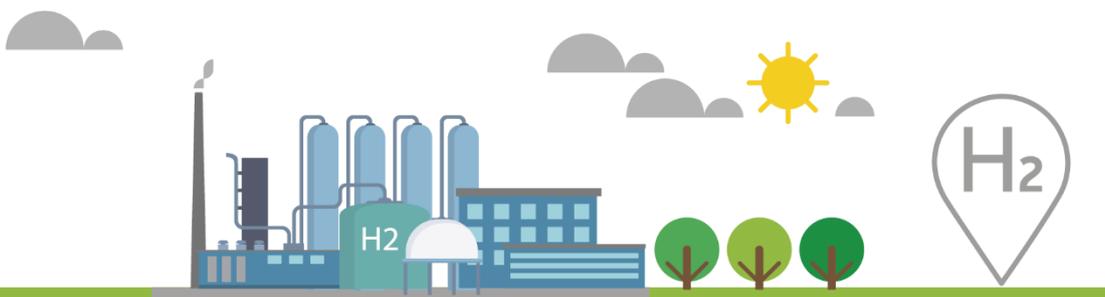


グリーン水素は、さらに加工して炭化水素を生成することができる。これは、合成燃料または e 燃料と呼ばれる。合成アンモニア生産を除き、合成燃料がエネルギー転換シナリオにおいて果たす役割は限定的であるが、エネルギー需要の残り 3 分の 1 も排出量をゼロに削減する必要がある場合、合成燃料の大幅な大量導入が必要となる。IRENA は、先に刊行した報告書の中で、水素を用いて製造した燃料の使用を模索する船舶部門の取り組みを紹介した (IRENA, 2019r)。航空部門も、先進的なバイオ燃料 (バイオジェット) に加えて e 燃料を可能なソリューションとして検討しつつある。

天然ガス業界も、ガスシステムをグリーン化し、既存インフラの寿命を延ばすソリューションとして水素を有望視している (第 5.7 節を参照)。このシナリオでは、ガス導管網は大規模貯蔵設備としての役割を果たし、低コストの再生可能エネルギー電力を貯蔵し、配電することができるという考えもある。オランダ、英国、フランス北部、イタリアでは実証実験が行われている最中である。しかし、やるべきことはまだ多く、経済性や規格に関連する障壁を克服しなくてはならない。

規模を考慮することが重要である。現在稼働している容量の 330 倍に相当する 50 GW の電解装置を設置しても、世界の船舶向けエネルギー需要の 10% を供給するに足る燃料しか生産できない。エネルギー転換シナリオで想定される 19 EJ のグリーン水素を生産するためには、この 50 GW をはるかに上回る容量、約 1,700 GW の電解装置が 2050 年までに必要となる。しかし、これだけ拡大しても、グリーン水素は世界の最終エネルギー需要の約 5~6% を提供するに過ぎない。さらにブルー水素が世界の最終エネルギー需要の 2.5% を提供すると見込まれる。これらを合計すると、水素全体の 7~8% 程度となる。

世界の二酸化炭素排出量ゼロを達成するシナリオでは、水素は、世界のエネルギーシステム転換におけるミッシングリンクとなる可能性がある。本章で紹介した脱炭素深化見通しは、水素と水素由来の燃料がエネルギー転換シナリオ以上により大きな役割を果たしうる方法を示している。特に産業部門、運輸部門、建築物部門において、それが顕著である。長期的に見れば、水素は、100% 再生可能エネルギーに基づく電力システムの主要な要素となる可能性がある (IRENA, 2018c; Butler, 2020)。そのような場合、ますます多くの電解装置が導入されるようになれば、再生可能エネルギーの導入拡大と同様に、グリーン水素のコスト競争力は徐々に高まっていくことになる。水素経済に向かう現在の流れは、勢いが目覚ましく、広範囲に及ぶ。今日、クリーン水素が現在果たしている役割はわずかであるが、成長の可能性は非常に大きい。



5.5 課題のある部門：運輸部門

運輸部門は、世界のエネルギー関連の CO₂ 排出量の約 4 分の 1 を占める。CO₂ 排出量を削減しつつ輸送サービスを提供するために取るべき道は、一部の(ただし、すべてではない)輸送分野については明らかになりつつある。小型車両(乗用車、SUV、小型トラック)では、蓄電池を搭載した EV が、航続可能距離(充電 1 回あたりの走行距離)、コスト、市場シェアにおいて劇的な向上を見せている。ここでの取るべき道は明確である。すなわち、小型乗用車を電化し、再生エネルギーから電力を提供することである。それ以外の分野については、進むべき道はそれほど明確ではないが、持続可能な液体バイオ燃料に未開拓の大きなポテンシャルがある。道路貨物輸送、航空、船舶については、追加ソリューションが必要となる。これらの輸送分野に考えられるソリューションについては、以下の項で論じる。

道路貨物輸送

現在、貨物輸送(トラック、船舶、鉄道)は、運輸部門の総エネルギー需要の 40%以上を占める。その需要は、2016 年の 25 EJ から 20%拡大し、2050 年までに 30 EJ に達すると予測される。現行計画シナリオでは、すべての貨物輸送分野からの排出量が 2050 年までに年間 3.8 Gt に増加する。エネルギー転換シナリオでは、貨物輸送による CO₂ 排出量は現行計画シナリオと比べて 75%近く減少し、2050 年までに CO₂ 換算で年間 1 Gt 弱となる。年間約 0.6 Gt の削減は、トラックと船舶におけるバイオ燃料の使用によるものである。すべての貨物輸送分野にわたる効率化策をとれば、さらに 1.5 Gt の CO₂ 排出量が削減できる可能性がある。残りの削減については、特に貨物鉄道と配送トラックの電気への切り替えによって実現できる可能性がある。



現在開発中のいくつかの技術は、道路貨物輸送の排出量をゼロに削減する有望な選択肢となる。蓄電池を搭載したプラグイン EV とフル電化トラックは、商用小型～中型トラック(通常の走行距離は 100～200 km/日)の大部分を占める可能性がある。バッテリーの技術は向上し続けており、最近の調査(UCS, 2019)によれば、米国だけでもすでに 27 社のメーカーが 70 種類のさまざまなモデルの電気トラックを販売している。多くの企業が、物流会社向けの配送用バンやトレーラートラック向けのリチウムイオンバッテリー技術を開発し、実際に使用している。

配送トラックの主流は EV になりつつあるようであるが、大型トラックに関する見通しはそこまで明確ではない。一部のメーカーは、蓄電池を搭載した大型電気トラックの提供を計画しているが、一方で代替燃料を検討しているメーカーもある。代替燃料もまた、排出量を削減することができる。水素もひとつの選択肢であるが、バッテリーの性能が急速に向上すれば、水素の競争力は低下するだろう。そのほかに検討されているのは、エレクトリック・ハイウェイである。これは架線を用いて長距離を走行する大型トラックに電力供給するというものである。地域の配送センターまで短距離を走行する場合は、大型トラックは蓄電池を使用する場合もある。

そのほかの選択肢としては、内燃機関に使用可能な合成燃料(e 燃料)の製造、クリーンバイオガス(バイオメタン)や従来型および先進的な液体バイオ燃料の使用などが考えられる。バイオ燃料はすでに一部の国でトラック向けに商用化されているが、生産と導入を普及させるには、依然として大きな障壁が残っている(IRENA, 2019m)。

航空



航空機、特にジェット燃料の使用は、最も急速に拡大している温室効果ガス排出源のひとつである。航空機の排出量は CO₂ 換算で年間約 0.9 Gt で、世界の排出量の 2~3% を占める。燃料生産の上流の排出量と CO₂ 以外の温室効果ガスを考慮に入ると、この数字はさらに高くなる。2050 年までに、現行計画シナリオでは排出量が 2.1 Gt/年まで増加するが、乗客活動は 200% 以上増加すると予想されるにもかかわらず、エネルギー転換シナリオでは約 0.7 Gt/年まで減少する。

航空部門でネットゼロを実現するには、主に 4 つの方法がある。新たな電気航空機の開発、ドロップイン燃料（バイオジェットを含む）の生産、既存航空機の燃料変更（合成燃料への変更など）、大気中からの排出量回収である。

航空部門の排出量は、燃料効率の高い新型機、機体改良、空港の建て替え、最適化されたナビゲーションシステムによって、年 1.5% のペースで削減することができる（IRENA, 2017c）。しかし、より長期にわたって大幅な排出量削減を実現するには、航空会社はジェット機用に開発されたバイオ燃料のような、再生可能かつ持続可能な燃料の使用を増やす必要がある。長距離型の電気航空機や太陽電池航空機、合成燃料、さらには燃料としての超低温水素など、持続可能かつクリーンな代替推進技術が開発中であるが、これらは 21 世紀後半になるまで商用化できる見込みが低い。

したがって、ジェット機用バイオ燃料（産業界では「バイオジェット」と呼ばれている）は、航空部門の排出量の大幅削減を実現するために、現在利用可能な唯一の選択肢である。液体バイオ燃料全体の生産量は 2016 年に 1,300 億ℓであったが、エネルギー転換シナリオでは 2050 年に 5 倍増の 6,520 億ℓとなり、航空部門のバイオジェット消費量は 1,000 億ℓを超える（IRENA, 2017d）。効率化と運用の改善に加え、これがエネルギー転換シナリオにおける CO₂ 排出量削減の大きな理由である。

バイオジェット市場は現在非常に限定的であり、価格情報も限られているが、バイオジェットの利用は今後数十年間で急速に拡大すると見込まれる。ただし、バイオジェットが普及するかどうかは、支援的な規制枠組みや本格的なカーボンプライシング制度によって決まる。また、利用の普及には長期的なコスト削減も必要であり、それが従来型のジェット燃料との格差を埋めるためには不可欠である。航空部門の排出量削減は困難ではあるが、運輸部門を完全に脱炭素化するために必要である。

バイオジェット燃料に加え、グリーン水素を使った合成ジェット燃料の製造を模索する研究が行われている。特に、ロッテルダムのイノベーション・キャンパス（Rotterdam's Innovation Campus）が実施するプロジェクトは、カーボンニュートラルな航空部門の未来を実現するため、高度イノベーション技術と組み合わせて（部分的に）CO₂ からジェット燃料を製造しようとしている。プロジェクトでは、大気中から CO₂ を回収し、電解法で水を水素と酸素に分解して得た水素と CO₂ を合成する。それにより生成された合成ガスは、ジェット燃料に変換することができる。しかし、このプロジェクトはまだ実証段階にある。合成ジェット燃料は、主にその高いコストのため、十分な競争力を持つようになるまでにはまだ長い道のりがある。

船舶

平均すると、船舶部門は世界の年間温室効果ガス排出量の約 3%を占める。国際海事機関(IMO)は、適切な緩和政策がなければ船舶部門に関連する温室効果ガス排出量は 2050 年までに 50%~250%増加する可能性があるとして予測している。これを踏まえ、IMO は、船舶関連の CO₂ 排出量を 2050 年までに 2008 年と比べて少なくとも 50%削減する必要があると述べている(IMO, 2018)。

効率性の向上や、化石燃料由来の液化天然ガス(LNG)への切り替えといったソリューションの開発にもかかわらず、貿易量の拡大に伴って、排出量は増え続けている。したがって、排出量を削減するために、船舶部門は最終的に再生可能燃料や代替推進技術に切り替える必要がある。

代替燃料の選択肢にはすべて異なる長所と短所があり、どの選択肢が最善であるか、一致した意見はない。液化バイオ燃料、ブルー水素、その他のアンモニアなどの水素由来燃料のほか、風力発電と太陽光発電の応用が、代替燃料として検討されている。技術的観点から見ると、液体バイオ燃料は成熟しており、既存の船舶エンジンや港湾インフラに修正を加える必要はほとんどなく、たとえ混合燃料であっても、排出量削減効果は大きい。しかし、船舶部門におけるバイオ燃料の可能性を制限する 3 つの大きな障壁がある。それは経済性、利用可能性、持続可能性である。

もうひとつの選択肢は、主な入力エネルギーとして電気を用いて製造する合成燃料(エレクトロ燃料あるいは e 燃料)である。電気を用いて水素を製造し、その水素を CO₂、アルコール、炭化水素または窒素と合成して、アンモニアを生成する。よく検討される合成燃料には、メタノールやアンモニアがある。これらの燃料は、再生可能エネルギー電力を用いて電気分解することにより製造されたグリーン水素から生成された場合、排出量を効果的に削減し、取り除くことさえ可能である。e 燃料を製造するプラントのほとんどはパイロット規模であるが、アイスランドでは商業規模のメタノールプラントが年間 500 万ℓを生産しており、ノルウェーでは別の商業規模のプラントが 2020 年に操業開始の予定である。

廃棄物から作った燃料も役目を果たす可能性がある。燃料は、廃棄物処理プロセスからのガスや、製鉄所の煙道ガスなど非再生可能資源からの煙道ガスを使用して製造することができる。あるいは、廃プラスチックや廃ゴムから作ることができる。このようなタイプの燃料は、再生炭素燃料と見なされる。これらは再生可能とは見なされないが、排出されていたはずのガスをリサイクルするため、二次目的のためにこれらのガスを利用しても排出量の追加にはならないという便益が謳われている。3 つ目の道筋は、廃プラスチック燃料化プラントにおける燃料生産である。現在、この方法を用いて推定年間 7,000 万ℓが生産されている。

最後に、風力発電や太陽光発電は、船舶部門において従来から重要な役割を果たしてきた。今日の商用船舶の規模と重量を考えると、風力と太陽光だけで重量のある大型船を動かすために必要な原動力を提供することはできない。とはいえ、燃料消費を削減することによって全体の効率性を高めることはできる。しかし、これらの技術を船舶部門に導入するには、なおも障壁がある。例えば、風力の場合は利用可能な面積や貨物スペースの制約があり、太陽光技術の場合は環境塩分が問題となる可能性がある。

船舶部門には今後大きな変化が訪れると考えられるが、その方向性はいまだに明確ではない。変化の方向性や規模によって、これはリスクにもなりうるし、チャンスにもなりうる。



5.6 課題のある部門：産業部門

産業部門は、世界のエネルギー関連 CO₂ 排出量の 4 分の 1 以上を占める。それに加えて世界の CO₂ 排出量の 8%が、産業部門内の産業プロセスに由来する。合計すると、産業部門は、世界のエネルギー関連および産業プロセス関連 CO₂ 排出量の約 3 分の 1 を占める。産業部門のエネルギー利用の大部分は少数の産業によるもので、具体的には鉄鋼、非鉄金属(特にアルミニウム)、化学・石油化学、非金属鉱業(特にセメント)である。

現在、産業部門における CO₂ 排出量を大規模に削減するため、経済的に実行可能なソリューションはほとんどない。エネルギー転換シナリオでは、2050 年までに産業部門の排出量のうち 60%が削減されるが、その大部分は比較的容易な手段(エネルギー効率化策や低～中温のプロセス熱)に重点を置いたもので、産業部門は依然として単一で最大の排出源であり続ける。したがって、産業部門については、排出量を 60%削減するだけでなく最終的にはネットゼロに到達する新たなゼロエミッション技術ソリューションの開発と商用化が必要である。

過去数十年間で、産業部門はモントリオール議定書に定めるオゾン層破壊物質や、亜酸化窒素(N₂O)、六フッ化硫黄(SF₆)などの温室効果ガスの排出量削減において大幅な進歩を遂げた(UNEP, 2020)。これは、適切な規制条件の下でなら、産業部門の排出量削減が可能であることを示している。

産業部門で残存する最大の温室効果ガスは CO₂ である。CO₂ 排出は、熱水、蒸気、直接的な熱としてプロセス熱を発生させるため、化石燃料を燃焼することで発生するエネルギー起源の排出と、セメント製造工程における石灰石の焼成などによるプロセス排出に分けられる。また、産業製品のライフサイクルを通して生じる排出もある。これには、溶剤、潤滑剤、その他の化合物を使用する過程で生じる漏洩排出、消費者による使用後のプラスチック廃棄物の焼却による排出などがある。

本節では、一部の主要産業分野からの化石燃料燃焼と産業プロセスに関連する直接的排出量を削減する選択肢を取り上げる。今後、再生可能エネルギー、電化、CCUS、エネルギー効率化など、すべてのタイプの低炭素技術が重要な役割を果たすと考えられる。しかし、産業部門には、原料の選択やプロダクトミックスに関連という、部門独特の排出削減の機会もある。その点は注目するに値する。



セメント・石灰

セメントは、細かく粉砕したセメントクリンカーに石膏などの他の無機物質を少量混合することによって製造される。そのセメントクリンカーは、石灰石を焼成して製造される。焼成した石灰石はセメントの主成分であり、焼成はセメント産業で最もエネルギーを消費する工程である。このことにより、セメント産業におけるCO₂排出量削減が非常に課題の多いものとなっている。



2016年、セメント産業は約4 GtのCO₂を排出し、そのうち約2 Gtはプロセス排出量であった。中国は、圧倒的に世界最大のセメント生産国であり、2016年には世界生産量の57%を占めている。また、石灰石の生産においても2017年に世界最大であった。インドを加えると、世界のセメント生産の3分の2がこれら2カ国だけで行われていることになる。現行計画シナリオでは、2050年までにセメントの需要が25%拡大し、セメント産業の総排出量は4.7 Gt/年に増加する。エネルギー転換シナリオでは、2050年までに排出量は3 Gt/年をわずかに超える程度まで削減されるが、それでもセメント産業は単独で最大のCO₂排出源であり続ける。

セメントクリンカー製造からのCO₂排出量には、主な排出源として、1) キルン投入原料中の炭酸塩鉱物(石灰石)の焼成によって放出されるプロセスCO₂と、2) キルン投入原料を加熱するために使用される燃料の燃焼により放出されるエネルギー関連CO₂の2つがある。セメントクリンカーは、製造に必要な石灰石の量が多いことからプロセスCO₂排出量が多く、また、プロセス温度が1,000°C以上と高いことが特徴である。石灰を生産するために必要な予備焼成工程の化学反応により、クリンカー1tあたり約0.5tのCO₂が排出される。これは、石灰を生産するために約1.2tの石灰石を処理するためである。この工程は、セメント生産によるCO₂排出量全体の約60%を占める。

セメント産業は、クリンカー製造に伴うプロセス排出量が多く、CO₂排出量の削減が難しいため、簡単にはいかない。セメントクリンカーに代えて、補助的なセメント材料や代替的セメント調合物など、類似した特性を持つ他の材料を使用することが考えられる。残念ながら、CO₂削減のポテンシャルが高い化合物の実用化は、特性や原料の要件によって制約を受ける。短期的には、これらの代替セメントの可能性に関するより深い理解を確立するために、高度な技術的・実験的手法が必要である。これらの代替結合材は、産業規模で展開した時にコスト面で競争することができれば、セメントクリンカーに取って代わるシンプルだが有望なソリューションとなる可能性がある。研究とイノベーションはきわめて重要である。なぜなら、最先端の技術を用いて結合材の詳細な調査と特性評価を行うことによるのみ、新たな結合材の応用可能性を十分に実現できるからである。

セメント産業における排出量を削減する方法は、ほかにもある。例えば、プロセス加熱のためにバイオ燃料、廃棄物、その他の代替物を利用する、セメント生産のベストプラクティスを広範囲に採用して効率的なモーターや粉砕機といった効率化策を導入するなどがある。



以上の理由から、セメント産業については、CO₂ 回収・有効利用・貯留(CCUS)技術を論じる必要がある。なぜなら、現在セメントクリンカー産業にとって主要な緩和策は、それ以外にないからである。CCUS は、エネルギー転換シナリオにおいてはニッチな応用技術であり、導入は数例に限られる。それにもかかわらず、いくつかの産業分野、特にセメント部門では、CO₂ 排出量に取り組むためにCCUS を年間 2 Gt 以上に拡大する必要がある。セメント部門が排出量ネットゼロに到達するためには、CCUS のさらなる拡大が必要になると思われる。セメントキルンにCCUS を適用することのメリットは、バイオマス燃焼と併用できるという点である。それにより、排出量を削減できるだけでなく、バイオエネルギーCCS の利用によって排出量がマイナスになることを実現する機会も生み出せる。

石灰は多様な製品に使用され、鉄鋼、パルプ・製紙、製糖、建設産業で最も多く用いられている。ほとんどの先進国では、石灰産業は少数の大企業からなる。一方、ほとんどの途上国では、石灰キルン(窯)は一般的に小規模経営で、その土地特有の技術を使用している。石灰生産で排出される CO₂ は、石灰石と炭酸マグネシウムの脱炭素化、工程中の燃料燃焼、工程中の電力消費による間接的排出に由来する。より効率的なキルンを使用し、セメント産業と同様の技術を用いて既存のキルン管理を向上させることにより、CO₂ 排出量削減を実現することができる。

化学・石油化学



化学・石油化学部門は、化石燃料原料やその他の無機原料に由来する製品を製造する。なかでも有機化学産業はエネルギー消費量が最も多い分野であり、一般的には水蒸気分解法を使用して、ナフサ、エタン、プロパン、またはその他の原油由来の原料からオレフィン類(エチレン、プロピレン、ブタジエン)を製造する。化石燃料は、有機化合物やプラスチックを製造する原料となるだけでなく、エネルギー源でもある。それに対し、無機化合物(塩素、リン酸塩など)の製造もエネルギーを消費するものの、有機化合物の製造より消費量ははるかに少なく、電気を利用することが多い。その場合、排出は部門の境界の外で発生する。

2015 年に、この産業分野は約 2 Gt の CO₂(プロセス排出量を含む)を排出し、現行計画シナリオでは 2050 年までに排出量が 2.8 Gt/年まで増加する。エネルギー転換シナリオでは、本節に挙げた技術やプロセスのいくつかを用いて、排出量は 1 Gt 強まで減少する。

現在、化学・石油化学製品は幅広く複合的な需要があるが、そのほとんどは P2C (power-to-chemicals) やバイオマス由来製品といった代替手段に置き換えることが可能である。産業活動(石油精製、アンモニア製造、バルク化学品製造など)のほとんどは、数十年の経験を有する十分に確立された産業である化石燃料由来の水素に依存している。したがって、高排出用途における化石燃料由来の原料に代えて、再生可能エネルギー由来の水素を利用できる可能性がある。水素から合成燃料や原料を作るには、CO₂(アンモニアの場合は窒素)の供給源が必要となる。いくつかの選択肢があるが、直接空気回収またはバイオエネルギーと CCUS の併用による CO₂ のふたつが、供給源となりうる。

石油化学産業の成長、特に単回使用プラスチック(通常は使用後に焼却される)の消費量の急増により、石油化学部門の排出量削減をますます課題の多いものとしている(Pooler, 2020)。サトウキビやデンプンといった再生可能な資源から作られたバイオプラスチックは、従来のプラスチックに対する持続可能な代替品として有望である。

補足的な選択肢は、リサイクル、リユース、物質代替、より効率的な物質設計などからなる循環型経済である。しかし、循環型経済の発展を促進し、かじ取りをするには、循環型経済を管理するための新たな経済的ツールや資金調達ツール、新たな規制枠組み、さらにはデジタル市場も必要になると考えられる。同様に、顧客の関心を促し、線型経済から循環型経済への移行によって創出される価値を認識するために、社会的再考が不可欠となる。

鉄鋼

鉄鋼生産は、産業部門における最大の排出源のひとつであり、2017年に世界で排出された化石燃料由来のCO₂の実に9%を占めている。鉄鋼生産により消費される総エネルギー量のほとんどが、従来の高炉における鉄鋼生産で化学還元剤として使用する石炭やコークスによるもので、結果的にCO₂を排出する。石炭と石炭副産物は、鉄鋼部門の総エネルギー需要の78%を占めている(高炉のエネルギー容量と副産物としてのコークス炉ガスからなる)。

2016年、鉄鋼部門全体の総CO₂排出量は3 Gtであり(プロセス排出量を含む)、現行計画シナリオでは排出量は横ばいとなる。鉄鋼需要は、同シナリオ期間中に約15%増加するが、製造効率とリサイクルの向上によって排出量は横ばいとなる。エネルギー転換シナリオでは、下記の技術や方法の一部導入が広がると想定し、排出量は2050年までに1.2 Gt/年に減少すると予想される。

鉄鋼産業は、さらなる排出量削減の達成に寄与するいくつかの主要な低排出生産のための道筋を追求している。第一の道筋は、再生可能エネルギー由来の水素であり、鉄鉱石を直接削減することにより、製鉄における排出量削減を実現する要因として注目されている(IRENA, 2019g)。水素を用いた製鉄は技術的に実現可能であり(直接還元製鉄(DRI)法)、さまざまな製鉄事業者がこの方法のさらなる開発に取り組んでいる(Gielen et. al., 2020; HYBRIT, 2016; GrInHy2.0, 2019)。第二の道筋は、石炭とコークスに依存している工程にCO₂回収・貯留(CCS)技術を適用することである(European Commission, 2016)。しかし、プロジェクトコストが予想よりも高いことが判明し、開発が行き詰っている。

また、石炭とコークスに代えてバイオマス製品を利用することも可能である。例えばブラジルでは、木炭製鉄を行う小型高炉が大規模に導入されており、コークス炉でバイオマスが混合処理されている。もうひとつの選択肢は、鉄鋼産業が、低コストの再生可能エネルギー電力を豊富に利用できる地域に電気アーク炉を移転させることである。鉄鋼部門ではすでに、安価な再生可能エネルギー電力が豊富に利用できる場所に新規施設を建設し始めている。例えば、米国のニューコアおよびエヴラズ製鉄所では、エネルギーのほとんどを風力発電と太陽光発電でまかなわれる予定である。





アルミニウム

アルミニウム生産のエネルギー需要は、非鉄金属としては最大である。アルミニウム生産は世界の温室効果ガス排出量の約 0.8% を占め、製造業で最大の電力消費分野であり、2015 年の電力使用量は 800 TWh を超えている。アルミナ生産のために化石燃料が使用されるが、アルミニウム産業で使用されるエネルギーのほとんどは、製錬に使用される電力である。アルミニウムの製錬は非常にエネルギー集約度の高いプロセスであり、製錬による温室効果ガス排出量の 80% 以上は間接的（電力関連）排出量である。残りの排出量は、直接排出量とアルミナ生産に関連する排出量である。

エネルギー転換シナリオでは、アルミニウム生産は、2015 年の年間 167 Mt から 2050 年までに年間 269 Mt に拡大するが、CO₂ 排出量は、2050 年における現行計画シナリオと比べて 70% 以上減少する。削減の大部分は、電力システムの再生可能エネルギー導入率が 86% に達したことによるものであるが、一次アルミニウムの生産量が減少したためにアノードの使用が減少することも、削減に寄与している（再生アルミニウム生産への移行に伴う直接的な CO₂ 排出量の増加を考慮したうえで）。残りは、エネルギー効率化策（新たな製錬技術による効率向上など）や、アルミナプラントにおけるバイオ燃料の使用によるものである。発電における再生可能エネルギー導入率が拡大しているため、再生可能エネルギー電力が利用可能な地域へのプラント移転を継続することが重要なステップとなる。

エネルギー転換シナリオでは、アルミニウム部門で 2050 年までに再生可能エネルギーの導入率が 60% に急拡大し、すべての産業部門の中で再生可能エネルギーの利用量が最も多くなる可能性がある。これは、大量の電力を消費する製造工程と再生可能エネルギー電力の組み合わせによる結果である。それに加え、再生アルミニウム生産量は全生産量の半分に達する。同産業にとって選択肢となるのは、低コストの再生可能エネルギー電力が豊富な地域に製錬工程を移転することである。アルミニウム部門ではすでに、アイスランドのように、安価な再生可能エネルギー電力が豊富に利用できる場所に新規施設を建設し始めている。

製錬に必要な電力を削減する多くの新興技術がすでに存在している。一方、低～中温のアルミナ生産では、化石燃料をバイオ燃料で容易に代替することができる。課題は、このような新たな方法の採用をいかに加速するかであり、エネルギーコストが経営判断において大きな役割を果たすアルミニウム産業においてはなおさらである。また、アルミニウム製錬所は、変動性再生可能エネルギーの導入を促すバーチャルな蓄電池の役割を果たすことができる（Amelang, 2017）。製錬所は再生可能エネルギーの余剰電力を使って操業することができ、それによって電力システムの柔軟性を高めるとともに、VRE 資源が豊富に供給される地域に製錬所を立地させる実行可能性がさらに高まることになる。



5.7 課題のある部門：天然ガスインフラ

天然ガスは他の化石燃料と比べて CO₂ 排出量が少ないため、エネルギー転換に適した燃料であるという主張が一部にあり、その利用は世界的に伸びている。しかし、天然ガスは他の化石燃料より炭素集約度が低いとはいえ、ゼロカーボンのソリューションではない。また、天然ガス利用の炭素集約度は、ガスがパイプライン輸送によって地元で消費されるか、LNG として長距離輸送されるかによって非常に大きく異なる。例えば、発電に使用するために米国から欧州やアジアに輸出される天然ガスのライフサイクル炭素集約度は、液化、輸送、気化、調整というすべての工程を考慮に入れると、燃料の炭素集約度を 30% 近く上昇させる可能性がある (Traywick et. al., 2020)。また、生産と流通の過程で生じるメタン漏洩が大量になる可能性もあり、それがさらに天然ガスに起因する温暖化効果を増大させる (Alvarez et. al., 2018)。



ゼロカーボンまたはネットゼロのエネルギーシステムという政策目標の文脈から見ると、天然ガス産業で現在建設中または計画中のプロジェクトは、これらの目標と整合しない。そのため、ガスインフラの将来的利用が疑問視され、天然ガス供給設備投資に伴うリスク(座礁資産、ガスインフラ廃止の高いコスト)が増大する。したがって、カーボンフリー水素やバイオメタンといったグリーンガス向けにガスインフラを再利用することは、資産の座礁を回避するとともに、温室効果ガスの緩和を加速するための方策となる。

ガスシステムは、改質バイオガス、グリーン水素と CO₂ から作られる合成メタン、そしてガス網へのグリーン水素の直接注入を組み合わせて利用することで、グリーン化することができる。3 つの選択肢はいずれも、ガスインフラ利用の興味深い新たな機会を示している。それは、資産の座礁を最小限に抑えるとともに、再生可能エネルギーの導入を加速する機会をもたらす。

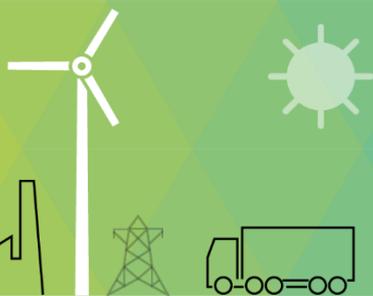
2015 年の世界のバイオガス供給は 1.5 EJ で、世界の総エネルギー供給の 0.5% 弱を占める。しかし、世界の潜在的なバイオガス供給力は 35 EJ を超える可能性があり (IRENA, 発刊予定 d)、天然ガス需要の約 30% を満たすことができると考えられる。エネルギー転換シナリオでは、2050 年までにバイオガス供給は現行水準の 10 倍に当たる 14.4 EJ に増加する。

再生可能エネルギーから水素または合成メタンを製造することは、現時点では高コストであるが、技術的には実現可能である。長期的には、電解装置のコスト低下と再生可能エネルギー電力の継続的な低コスト化により、今後 10 年間で再生可能エネルギー由来の水素の経済性が向上すると見込まれる。既存および改修後のガスパイプラインによる水素輸送が現在検討されており、水素濃度がガスの全体の約 20% を超えるようになれば、パイプラインの改良が必要となる。

水素利用の拡大は、新たなインフラ投資の必要性を削減し、エネルギー転換の加速を後押しする可能性がある。しかし、それは設備基準の調整が必要になることも意味しており、調整には時間がかかる可能性がある。将来「グリーンガス」に切り替えるという口実のもと、現在「ブラウンガス」のために新規パイプラインを建設することを正当化するために、水素への移行の可能性を利用するべきではない。さらに排出量を増やすことがないよう、ガスと水素はできる限り早期にグリーン化することが望ましい。

006

社会の 脱炭素化への転換 を目指して



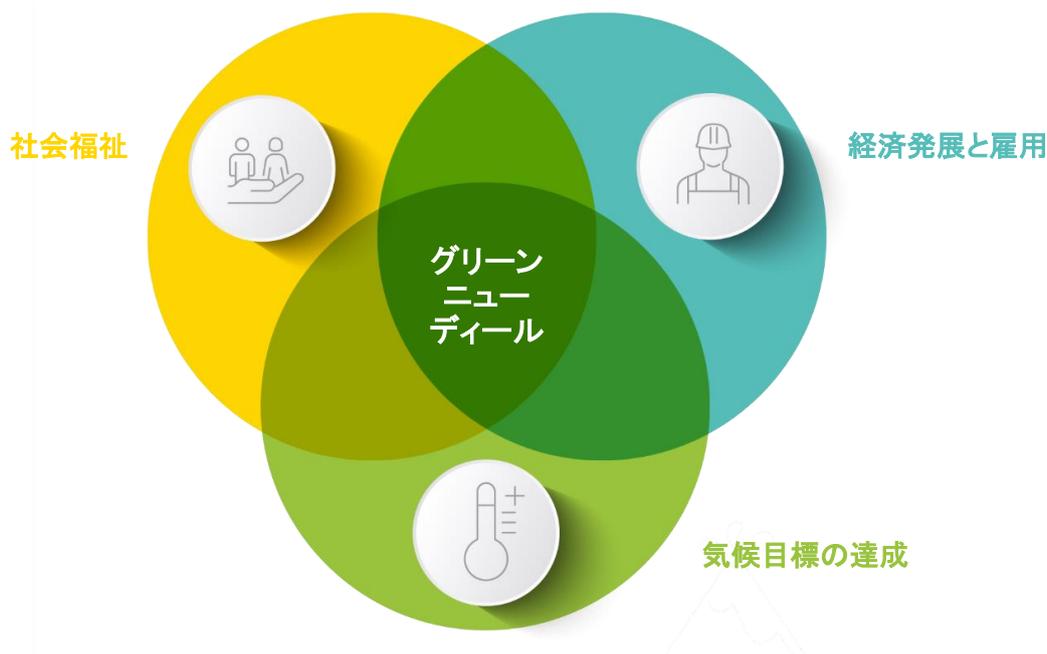
6.1 変革的なエネルギー転換

世界中の国々が、環境汚染をもたらす従来型エネルギー源に依存したエネルギーシステムの転換、ひいては世界経済の転換という課題に取り組む中、「グリーンニューディール」という概念が注目を集めている。この言葉とその根底にある意図は、1930年代に米国大統領フランクリン・デラノ・ルーズベルトが発足させた「ニューディール政策」の下で行われた資源と組織能力の大規模動員から着想を得ている。元のニューディール政策は、財政・金融・銀行改革、公共事業、そして「大恐慌」と呼ばれる破滅的な世界的金融危機に対して講じられた一連の規制措置を伴うものであった。

もうひとつの金融危機、すなわち 2008 年の「世界金融危機(グレートリセッション)」をきっかけに、ルーズベルトの構想がグローバルなグリーンニューディールという形でよみがえった。社会経済動態と環境動態の密接な相互関係についての認知度が高まる中、国連環境計画(UNEP)などの国際機関や研究者による、気候変動の側面を組み込んだ新たな制度を求める声が大きくなった(Simms et al., 2008; UNEP, 2009)。

現在、社会正義、経済的不平等、そして急速に高まる気候変動の脅威といった問題が重なった結果、グローバルなグリーンニューディールに関する新たな議論が巻き起こっている。図 6.1 に示したように、グリーンニューディールは本質的に、気候目標の達成、経済発展と雇用創出の助長、社会的平等と社会全体の福祉の保証という目的をひとつに結び付けることを目的とした包括的な政策枠組みである。これらの目的の中心にあるのがエネルギー転換である。

図 6.1 グローバルなグリーンニューディール：社会・経済・環境目標を達成するソリューションの中心
グリーンニューディールの広範な目的



現在の世界が掲げる目標に経済を適合させるため、複数の方法論が提案されている。各国の状況や、制度的・地理的な違いはあるものの、これらの取り組みには共通する特徴がいくつかある。

- **社会経済と環境の深刻な危機を目前にして、前例のない対策が必要であることを認識し、実在する危機と同規模でのリソースの動員を求めている。**
- **改善策として公的介入の強化が必要であることを是認または示唆している。**この見解は、科学的根拠を基に設定された温室効果ガス排出量削減目標を達成するためには市場主導型の方法論だけでは不十分であり、強力な政策ツールが必要であるという考え方に沿ったものである。
- **平等性、持続可能な資源利用、人間の健康などの他の社会問題に同時に取り組み、それによって相乗効果を生み出し、すべての人にいっそうの繁栄をもたらす機会を強調している。**
- **必要不可欠な経済改革により影響を受ける労働者やコミュニティに対する公正さを、エネルギー転換におけるきわめて重要な優先事項と見なしている。**たとえば、欧州グリーンディールでは、2050年までにカーボンニュートラルを実現するという目標は社会的包摂を目指す方法論と密接に連携すると表明されている(ボックス 6.1 を参照)。

一連の政策に「グリーンニューディール」という言葉が使われているか否かよりも、社会の脱炭素化への転換が必要であることを認識する方が重要である。このような大幅な脱炭素化を実現するには、包括的な方法論によって、相互に関連し合う経済問題、社会問題、環境問題に対処し(Asici and Bunul, 2012)、エネルギー転換を推進する必要がある。世界の多くの地域はいまだに 2008 年に始まった金融危機からの回復途上にあるが、それでもなお、気候変動の問題に取り組むために今こそ巨額の資金を動員しなければならない。



**エネルギー転換は、
気候目標の達成、
経済発展と雇用創出の助長、
社会的平等と社会全体の福祉の
保証という目的の中心にある。**

ボックス 6.1 欧州グリーンディールにおける公正な移行のメカニズム

2019年12月に欧州委員会が提案した「欧州グリーンディール」では、欧州および世界にとって気候変動と環境悪化が存亡に関わる脅威（existential threat）になると認識されている。この計画案は、2050年までに気候中立を達成するという目標を掲げ、EU経済のリソース効率と競争力を高める新たな成長戦略を示している。欧州グリーンディールは、多くの目標のなかでもエネルギー部門の脱炭素化、建物のエネルギー効率化、よりクリーンな輸送形態の拡大、産業部門における持続可能性を向上させるための支援に重点を置いた投資やイノベーションについて論じている。

これらの目標を達成するため、欧州グリーンディール投資計画は、10年間で少なくとも1兆ユーロの資金を動員することを目指している。このイニシアティブは、エネルギー転換に重大な経済的・社会的変革が伴い、これにより欧州の一部の地域が他の地域と異なる影響を受けることを認めている。計画の一環として、「公正な移行メカニズム」は、移行によって最も深刻な影響を受ける地域の労働者や市民を支えるため、2021年～2027年の期間に少なくとも1,000億ユーロの資金動員を目指している。そのために、次のような資金調達源が明示されている。

- 75億ユーロの新規EU基金である「公正な移行基金」。加盟国、欧州地域開発基金、欧州社会基金プラスからのマッチングファンドにより、300億～500億ユーロの資金を調達する見込みである。
- InvestEUプログラムにおいて、EU経済の脱炭素化、多様化、強化を支援するために民間投資を誘致する目的を掲げて設立された「公正な移行制度」は、最大で450億ユーロを動員すると見込まれる。
- 欧州投資銀行が設置し、EU予算からも資金拠出を受けた「公共部門融資制度」も、地域熱供給網やビル改築といった目的のために、250億～300億ユーロを動員する予定である。

出所：European Commission, 2019a および 2020



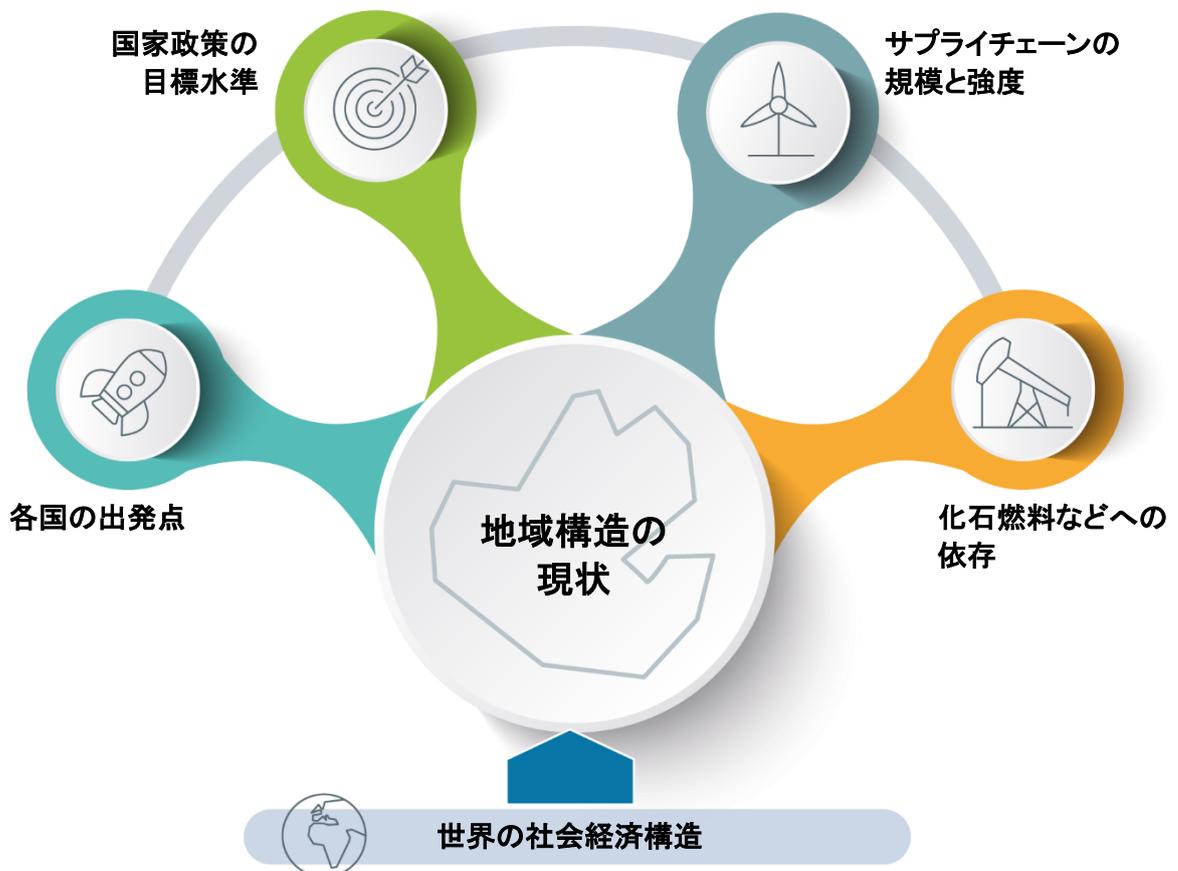
6.2 課題の解決

エネルギー転換を適切に実現すれば、環境汚染をもたらす化石燃料の使用を回避できるだけでなく、活力ある、気候変動に対応できる経済を創出し、すべての人に便益をもたらすことができる。エネルギー転換の道筋が大幅な雇用の増加や福祉水準の向上をもたらすことが IRENA の分析によって示されている。

IRENA の分析によると、エネルギー転換は世界レベルではプラスの成果をもたらすものの、個別の地域や国によって成果が大きく異なる可能性が高いことも示している(第 4 章を参照)。個別の国や地域は、それぞれの既存の社会経済構造に特徴付けられる異なる出発点からエネルギー転換に向けて進みだす。その道筋も、政策的目標の程度によって大きく影響される。国がエネルギー転換による便益を得ることができるかどうかを左右する条件は、(1) 国内サプライチェーンの規模、強度、多様性、そして(2) 化石燃料や他の一次産品、技術、貿易パターンへの依存度である(図 6.2 を参照)。

図 6.2 エネルギー転換が地域や国にもたらす成果

エネルギー転換による成果を形成する構造的要素



IRENA, 2020a より編集

エネルギー転換と広範な経済変革を 推進し、支援するためには、 それぞれの国の強みに基づいた 政策を策定しなければならない。

エネルギー転換が進行するにつれ、個別の国々に存在する構造的な差異が、実現のための課題や新たに得られる機会の両方に影響する。エネルギー転換と広範な経済変革を推進し、支援するためには、それぞれの国の強みに基づいた政策を策定しなければならない。しかし、それらの政策は同時に、各国が自国構造への依存を克服して新たな機会をより有効に活用できるものでなければならない。このような依存の中でも、以下で説明する一次産品への依存、技術的依存、貿易への依存という3つのタイプが顕著である。

一次産品への依存: エネルギーシステムには、基本的な一次産品（燃料、金属、その他の原料）へのある程度の依存が付きものであり、他国に比べてこれらが手に入りやすい国もある。このような依存はさまざまな形を取り、エネルギー部門だけでなく経済全体に顕在化することもある。輸出品目の構成から見ると、世界の半数以上の国々、また途上国の3分の2の国々の経済が一次産品に依存していると見なされる(UNCTAD, 2019)。

一次産品への依存は、輸出収入だけでなくエネルギーの抽出、加工、販売に必要な多くの施設にも及び、サプライチェーンに原材料を提供する産業部門や労働力を教育・訓練する機関にも影響を及ぼす。しかし、一次産品に依存しているのはエネルギー輸出国だけとは限らない。エネルギー輸入国も、石油、ガス、石炭に関連する大規模なインフラや流通網、資産、ノウハウを構築しているためである。

このような依存は、エネルギー転換の進展とともに負担になる可能性がある。化石燃料からの投資撤退と脱炭素化の動きが高まる状況において、化石燃料の輸出国は市場の需要縮小に直面することが予想される(Elgouacem et al., 2020)。エネルギー輸出国と輸入国の両方が、座礁資産のリスクにさらされるリスクがますます高まっていくと考えられる。

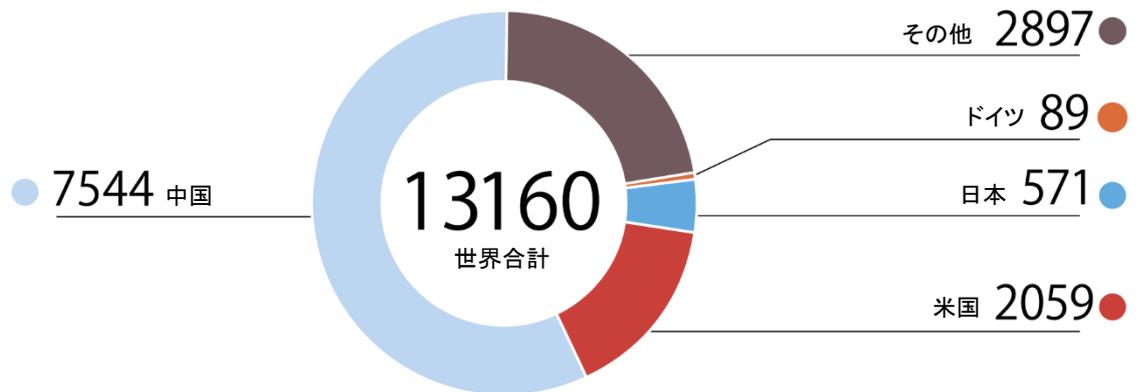
技術的依存: 技術を革新し、開発し、商業化する能力は、国が新たな経済機会を推し進め、活用することができる力量を示す重要な要素である。

特許出願件数は、その国の技術革新能力を評価するひとつの指標となる。図6.3は、2018年における再生可能エネルギー部門に関連する特許出願件数の4分の3がわずか4カ国における出願であることを示している。次節で論じるように、多くの国は、ローカルレベルの能力を構築し、活用するための措置を早急に講じない限り、再生可能エネルギーのバリューチェーンにおける高付加価値領域を自国の産業に取り込み、それに伴う雇用を創出することが難しくなると考えられる。

様々な産業部門から多数のコンポーネントや原材料の供給を受ける製造業と比較すると、設備の建設や運用といった業種においては、他の経済部門との密接な関りは少ない。まさにこれが、エネルギー転換によって幅広い社会経済的便益を得ようとするうえで技術的依存が障壁となりうる理由である。

図 6.3 再生可能エネルギーのイノベーション：先導国

再生可能エネルギー技術に関連する特許出願件数(2018年)



出所：IRENA オンライン特許データプラットフォーム

既存の生産能力や天然資源の有無によって各国の出発点が決まるが、この出発点が再生可能エネルギーや他のグリーンテクノロジーの開発能力を大きく左右する。一部の国々は、開発能力を強化し、再生可能エネルギーのバリューチェーンにおける高付加価値領域を自国の産業に取り込むことに成功している。

太陽電池のセルやモジュールといった再生可能エネルギー技術関連製品の低コスト生産国として支配的な立場を築いた中国は、その好例である。中国は、エネルギー転換を実現するための政策を組み合わせて振興を図り(図 6.4 を参照)、十分に発達した国内のサプライチェーンや長江デルタ地帯のような製造集積地を活用することができた(Ball et al., 2017)。ブラジルも同じように、国内の既存の航空機製造能力を生かして競争力のある風車製造部門を発達させることに成功した(ボックス 6.2 を参照)。



ボックス 6.2 既存の能力を活用してエネルギー転換を支援： ブラジルの事例

イノベーションの研究者は、経済先進国に追いつくためには、技術転換によって一時的に生じる絶好の機会を活用する必要があると論じている（Perez and Soete, 1988; Lee, 2013）。途上国にとって、エネルギー転換がまさにこの機会となる可能性がある。問題は、エネルギー転換とそれに伴う世界的な再生可能エネルギーのバリューチェーン拡大がもたらす産業面の機会を、各国がどのような手段を選べば最大限に活用することができるかである。

既存の生産能力、特に経済の他の部分への波及効果が高い製造部門の能力は、グリーンテクノロジーの革新において重要な役割を果たすと考えられている（Anzolin and Lebdioui、発刊予定）。ブラジルの場合、風車製造部門の成功の背後にある主な要因として、産業政策の組み合わせ、金銭的インセンティブと税制優遇措置、航空機製造における既存の国内能力の活用があると、Hochstetler（発刊予定）は説明している。

したがって、途上国がグリーンテクノロジー開発における好機を逃さないために必要な能力を獲得できるか否かは、いくつかの要因によって決まる。必ずしもすべての国が成功事例を再現できるわけではなく、新たな依存パターンが生じる可能性もある。国際連合経済社会理事会（2019）が指摘するように、「先端技術を実現する開発能力や政策能力がない途上国がポテンシャルを発揮するためには、能力を開発する努力とそれに関連する人的資源への支援が必要となる」のである。



エネルギー転換が定着するにつれ、新たなタイプの依存が生じている。これは、再生可能エネルギー技術への直接的な依存だけでなく、蓄電池技術や原材料などの分野にも及ぶ。現在、リチウムイオン電池製造の大部分が少数のアジア諸国で行われており、この状況を受けて欧州などの他の地域では、この新たな技術的依存を低減するための動きが生じている (Martin, 2019; European Commission, 2019c)。

貿易への依存: 再生可能エネルギー技術が安価になるにつれ、クリーンエネルギーへのアクセス拡大による恩恵を受ける国がますます増えることは間違いない。しかし、大部分の再生可能エネルギー設備の設計と製造は、高価値サービスの提供とともに、いまなお少数の国に限られている。多くの国々、特に途上国は、太陽光パネルや風車などの技術の生産国というより消費国に留まっているため、建設、運用・保守に関連する雇用創出やその他の社会経済的便益は限定的である。バリューチェーンにおけるこれらの領域は、低付加価値である傾向があり、経済的な乗数効果が小さいうえに、他の部門との相互関係も少ない。

それらをより高付加価値な活動へと多様化することができない限り、多くの国々は、エネルギー転換とグリーン経済への移行がもたらす便益を最大化することができないおそれがある。この点について、政策立案者に示されるいくつかの基本的な選択肢は、再生可能エネルギーの輸入を可能な限り安価にするか、あるいはローカルレベルの能力を育成し、バリューチェーンへの投資の一部を地域への投資とするための策を講じるかである。

このような選択は、各国の個別の状況、特に市場構造と社会経済的展望によって左右されると考えられる。一部の国々は、ローカルレベルの能力を構築することに関心を向ける可能性がある。その場合、論理的な道筋としては、設備を国内で組み立てることから開始し、次にローカルレベルで適切な設備設計を可能にする仕様と規格を策定し、最終的に構成部品の製造または再生可能エネルギー事業に関連する各種サービスの提供に移行する可能性もある。

想定外の事態: 上記のような依存は構造的なものであり、したがって、それを克服するためには持続的な取り組みが必要である。新型コロナウイルス (COVID-19) の世界的流行と、それが世界経済や原油の需要¹と価格に及ぼす影響は、この複雑な世界において、実際の動向や計画されたプロセスに壊滅的な影響を及ぼしうる想定外の要因が存在することを突きつけるものであった。これは、本報告書の主要な論点、すなわち、エネルギーシステムと広範な経済の密接な相互関係が何よりも重要であることを改めて認識させる結果となった。

エネルギー転換を成功させるためには、エネルギーシステムと広範な経済の密接な相互関係が何よりも重要である。

¹ 国際エネルギー機関は需要拡大予測を修正し、2020年の世界の石油需要は縮小する予想であると発表した。通年での需要縮小は過去 10 年以上なかったことである。

新型コロナウイルスの感染拡大は、エネルギー転換にも同様に影響を及ぼし、多くの部門においてグローバルサプライチェーンを脅かすと考えられる(Economist, 2020)。原油価格のボラティリティは、相反する効果をもたらす可能性がある。たとえば、非従来型の石油・ガス開発や長期契約の実現性を低下させる可能性があるし、燃料コストが下がることで自動車の走行量が増加し、結果的に電気自動車の魅力を減少させる可能性もある。いずれの場合でも、新型コロナウイルスの影響の重大度と継続期間は、現時点では不明であるが、これによって低炭素社会の構築に必要な道筋が変わることはないと考えられる。

結論: これまでに論じたような依存を考慮すると、誰一人取り残さない移行を可能にするためには、一連の政策介入を慎重に策定する必要があることが浮き彫りになる。公正かつ包摂的な移行には、国際規範の順守、十分なリソースの動員、さまざまな国が直面する課題に合わせた対策の策定が求められる。

6.3 脱炭素化社会に向けた政策介入

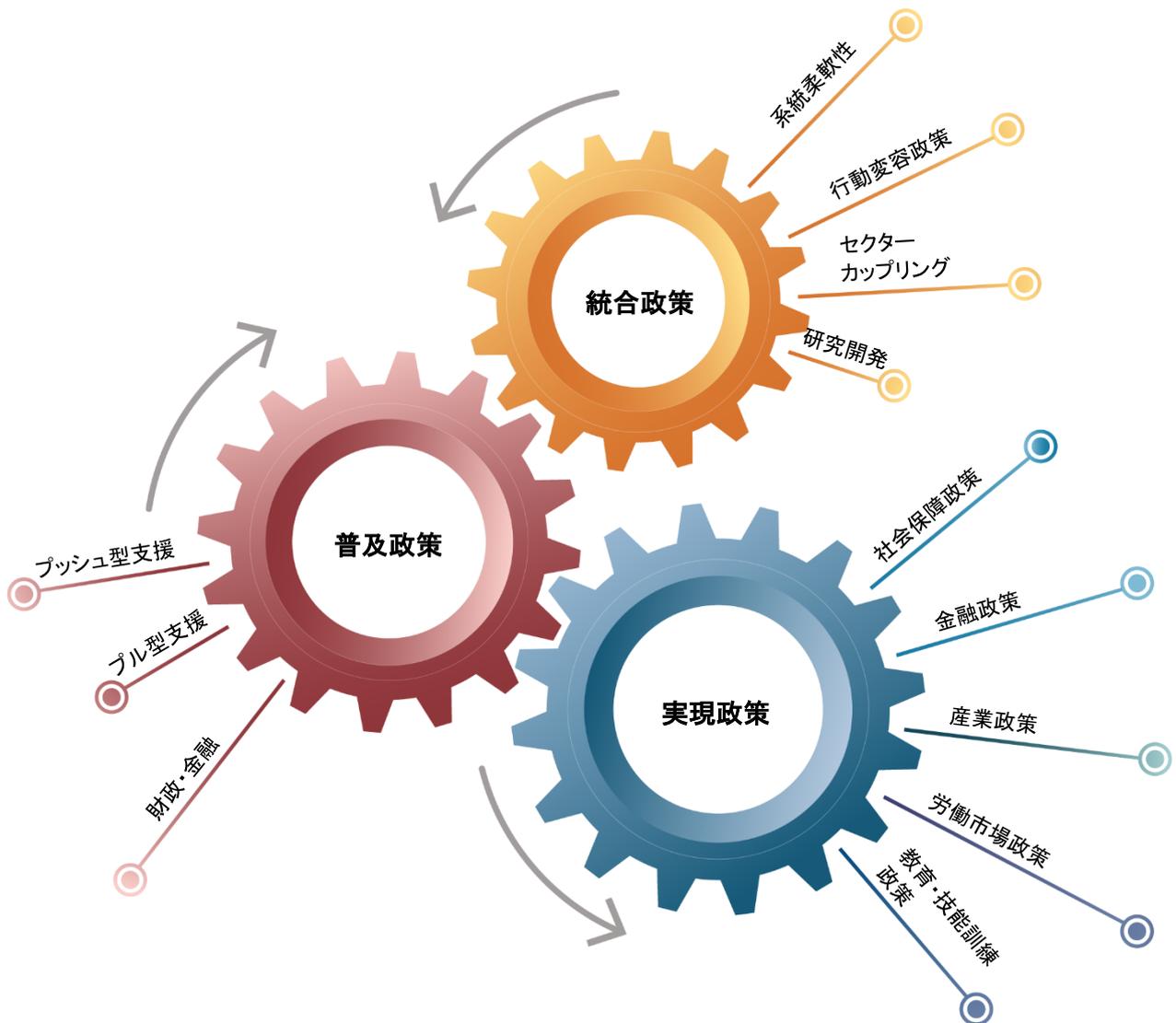
IRENA のエネルギー転換シナリオは、パリ協定の目標達成に向けて世界を動かすことを目的としている。このエネルギー転換シナリオが実現すれば、2050 年までに CO₂ 排出量が 70%削減され、世界は平均気温の上昇を 2° C よりさらに低く抑える軌道に乗ることができる。これは意欲的な目標ではあるが、課題に見合うレベルでリソースを動員し、政策を実施すれば、実現可能な目標である。

世界の気温上昇を確実に食い止めるためには、2050 年までに CO₂ の純排出量をゼロにしなければならない。IRENA の脱炭素深化見通しで説明されるように、追加的な緩和策が必要となる。このシナリオでは、エネルギー生産、輸送、工業プロセス、浪費的行動に起因する CO₂ 排出量を緩和する新たな技術の重要性が強調されている。

エネルギー転換は、エネルギーシステムと広範な経済や自然環境との複雑な相互作用を背景として展開する(IRENA, 2018a)。エネルギー転換に伴う社会経済への影響については、第 2 章で世界レベル、第 4 章で地域レベルの分析を行ったが、それぞれエネルギー転換を実現する計画や政策の立案に欠かせない知見を提供している。図 6.4 は、公正な移行のための経済構造と要素を考慮した政策枠組みの概略を図解するものである。個別の状況は国によってさまざまであるものの、包括的な政策枠組みには、以下に説明するように、普及政策、統合政策、密接に関連し合う実現政策といった幅広い政策と介入を組み合わせる必要がある。



図 6.4 包括的な政策枠組み：普及政策、実現政策、統合政策
公正な移行のための政策枠組み



出所：IRENA(2019q)

エネルギー供給システムと最終消費用途における再生可能エネルギーの統合を促進し、変動性再生可能エネルギーが重要性を増すに従って十分なシステム柔軟性を確保するためには、協調的な普及政策とそれに関連する措置が必要である(IRENA, 2019q)。

実現政策は、エネルギー転換が個人およびコミュニティ、国、地域にとって広く便益をもたらし、社会的疎外を回避または最小限にする形で実施されるようにする。実現政策には、次のようなものがある。

- 国内経済力を構築し、強化し、適切に活用する、十分に練られた産業政策(IRENA, 2017e, 2017f, 2018d)。これらは、適切かつ移転可能な有形資産や人々の専門知識に関する慎重な分析に基づ

くものである。国内の能力を強化し活用するためには、慎重に策定したインセンティブと規則、創業支援の取り組み、サプライヤー開発プログラム、中小企業支援策、主要産業クラスターの形成促進が必要である。

- 適切な雇用サービス(求人と適任者のマッチング、従業員福利の促進、職場内外における教育訓練(OJT および Off-JT)の促進、雇用のセーフティネットの実施)を提供するとともに、職業転換助成金などの労働移動促進策を実施する、効果的な**労働市場介入**。
- エネルギー転換がもたらす雇用機会を十分に活用するための**的を絞った教育・技能開発政策**およびプログラム。政府の調整により教育機関と再生可能エネルギー産業が戦略的協働を行うことで、技能の需給ミスマッチを低下または回避することができる。化石燃料部門の労働者の技能と専門知識を、クリーンエネルギーという新たな部門で活用できるようにするための機会を見出すことに特別な注意を払う必要がある。
- 弱い立場にある労働者とそのコミュニティがエネルギー転換による不公平な負担を負わされないことがないよう、支援を提供する**社会保障政策**。これには、失業保険やその他のプログラムによる所得安定策、可能であれば従業員を継続雇用する(そして再訓練する)よう雇用者に促す政策的なインセンティブ制度、そして雇用の安定を促進する柔軟かつ長期的な雇用契約などがある。
- 社会経済的混乱を最小限に抑えるために策定した、先を見越した**公正な移行戦略**。これには、上記の政策に加え、影響を受ける地域やコミュニティへの公共投資や経済多角化策なども含まれる場合がある。



ここで論じる対策は、政府による行動を伴うものが多い。しかし、多くの再生可能エネルギー技術の際立った特徴のひとつは、分散型であるがゆえにエネルギー転換における市民の関与と発言力を高めるといふ点であり、それは 2019 年の新たな EU 電力市場規則においても認識されている²。コミュニティのエネルギー事業は、エネルギー関連の意思決定を大きく民主化し、ひいては、エネルギー転換が促すより広範な社会変革の重要な構成要素となることができる。

² 電力市場の設計に関する新たな規則案を欧州議会が採択したことを受け、欧州議会は、「指令改正に基づくこれらの新たな規則によって、消費者はエネルギー転換の中心的存在となり、これまで以上に選択肢が広がり、手厚い保障を受けられるようになる。スマートメータ、価格比較ツール、ダイナミックプライシング契約、市民向けのエネルギーコミュニティが利用できるようになり、消費者は市場における能動的なプレーヤーとなることができる。同時に、エネルギー貧困に陥っている弱い立場の消費者も、これまで以上の保障を受けることができる」との見解を示した(European Commission, 2019b)。

6.4 成功のための基盤：資金動員、政策の一体性、国際協調

世界のエネルギー転換を実現するには、政府、民間部門、市民社会のゆるぎない決意によって促進される、前例のない資金動員が必要である。政府は、国民の決断力を高め、「誰一人取り残さない」という目標を達成するために、幅広い政策を採用しなければならない。2008年の経済危機に対処するために巨額の資金が動員されたことが示すように、国家や社会は、力を合わせて意欲的な取り組みを実現することが可能である。今、新型コロナウイルスという未知の脅威とその影響は、より良い未来を目指すという我々の決意に対する新たな試練となっている。

世界のエネルギー転換を支える資金動員を実現するためには、クリーンエネルギーソリューションに対し、これまでよりはるかに多くの継続的な投資を行う必要がある。クリーンエネルギーソリューションには、再生可能エネルギーと、エネルギーの効率化、貯蔵、系統電力の供給地域・未供給地域の両面における電化、といった関連技術がある。エネルギーへの投資は、社会的疎外を最小限に抑えるために十分な資金の供給と並行して行わなければならない。また、すべての個人とコミュニティがクリーンエネルギーを利用できるようにするとともに、円滑な移行を実現するための調整を行わなければならない。これには、地域経済とさらに狭域の経済の多角化と活性化、労働者を再訓練し、新たな技能の習得を促す対策の導入、社会保障プログラムの提供などがある。

制度と政策の一体性を強化することが不可欠である。国家レベルでは、求められる規模とスピードでの変化を促すためには、堅牢な制度とエネルギー転換に特化した政策が決定的な役割を果たす。エネルギー担当省庁は、政策や実現枠組みの設定において重大な役割を果たすが、広範な経済と産業における転換を実現するためには、部門や機関の境界を越えた団結が不可欠である。エネルギー転換実現の成否は、多分野にわたるステークホルダーの協働にかかっている。

国際協調も同様に重要である。特に、必要なリソースを集結し、組織能力を高め、技術的なノウハウを開発する能力は国によって大きな差があるため、なおさらである。教訓やベストプラクティスを活かそうという意欲を共有することで、脱炭素化に向けた多国間協調をいっそう強化することができる。カーボンニュートラルあるいは100%再生可能エネルギーに取り組んでいる段階の国もあれば、まだ自国の再生可能エネルギー源を利用する初期段階にある国もある。そのため、それぞれ異なる段階にある国々のニーズに応じた国際協調に取り組まなければならない。

それと同時に、国際協調は、課題を克服し、世界の経験曲線効果を加速させるのに十分なほど創造的でなければならない。また、脱炭素化社会とその経済を構築するための長期的な取り組みの中で、想定外の事態や混乱に対処できるほどの俊敏性を持つものである必要がある。

IRENA は、2020 年初めの時点では 160 カ国が加盟し、20 カ国以上が加盟審査中であり、協調を実現する貴重な手段を提供している。IRENA の堅牢かつ時宜を得た知識基盤や広範囲にわたるプラットフォーム、パートナーシップ、ツールは、世界のエネルギー転換に対する継続的かつ積極的な取り組みを反映したものである。2011 年の設立以降、IRENA は持続可能かつ公平なエネルギーの未来をもたらすことを目的として、各国政府、世界および地域の主要団体、民間部門と協力を行っている。

近年設立された気候投資プラットフォーム(CIP)は、クリーンエネルギーを推進する国際協調の最たる例である。国連事務総長の呼びかけで 2019 年 9 月に開催された国連気候行動サミットにおいて発表された CIP は、国際連合開発計画(UNDP)、万人のための持続可能なエネルギー(SEforALL)、IRENA が主導し、緑の気候基金と協力して運営されている。CIP は、利害関係にあるすべてのパートナーと協力しつつ、地域と国家のエネルギー転換に当初の重点を置いて、気候目標に即した投資を動員することを目的としている。的を絞った実地的な行動を促進することを目的として、IRENA は、CIP 履行のための地域より細かい単位での枠組み策定の調整を行っている。この取り組みの一環として、IRENA は地域レベルの投資フォーラムを定期開催しており³、意思決定者が投資要件を策定するための支援や、投資確実性の高い事業組成を行うための開発事業者支援、資金調達手段へのアクセス向上に努めている。

最終的に、世界のエネルギー転換を前進させることができるか否かは、採用される政策、それらが実施されるスピード、投入されるリソースの水準によって決まる。相互に関連し合う世界において、国際協調・連携は単に望ましいというだけでなく、気候変動、経済的不平等、社会的不公正といった問題に取り組むために不可欠の条件である。

したがって、今後、すべての投資決定は、その投資が包摂的な低炭素経済への転換を加速させる可能性に基づいて評価されることが望ましい。そうしなければ、社会の脱炭素化への転換に向けてたどるべき道筋が著しく妨げられることになる。

³ 詳しくは <https://irena.org/irenaforcip> を参照。



今後、すべての投資決定は、包摂的な低炭素経済への転換を劇的に加速させる可能性に基づいて評価されることが望ましい。

参考文献

- Alvarez, R. A. et al. (2018)**, “Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain”, *Science* 361, 186-88, <https://doi.org/10.1126/science.aar7204>.
- Amelang, S. (2017)**, “How can Germany keep the lights on in a renewable energy future?” *Clean Energy Wire*, 26 January, www.cleanenergywire.org/factsheets/how-can-germany-keep-lights-renewable-energy-future.
- Anzolin, G. and Lebdioui, A. (発刊予定)**, “The Holy Trinity: Industrial policy, climate change and sustainable green growth”, *European Journal of Development Research*.
- Asici, A.A., Bünü, Z. (2012)**, Green new deal: a green way out of the crisis? *Environment Policy Governance* 22 (5), 295–306.
- Ball, J. et al. (2017)**, *The new solar system: China’s evolving solar industry and its implications for competitive solar power in the United States and the world*, Steyer-Taylor Center for Energy Policy and Finance, Stanford University, March.
- BNEF (2020)**, *Sector Coupling in Europe: Powering Decarbonisation, Potential and Policy Implications of Electrifying the Economy*, Bloomberg New Energy Finance.
- Bohlsen, M. (2020)**, “Lithium miners news for the month of January 2020”, *Seeking Alpha*, <https://seekingalpha.com/article/4318882-lithium-miners-news-for-month-of-january-2020> (accessed 3 March 2020).
- Bosch, J., Staffel, I. and Hawkes, A. D. (2018)**, “Temporally explicit and spatially resolved global offshore wind energy potentials”, *Energy* 163, 766- 81, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.153>.
- Bosch, J., Staffel, I. and Hawkes, A. D. (2017)**, “Temporally-explicit and spatially-resolved global onshore wind energy potentials”, *Energy* 131, 207-17, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.052>.
- Butler, N. (2020)**, “It is time to unlock the potential of hydrogen”, *Financial Times*, 2 February, www.ft.com/content/8505cb1c-4354-11ea-abea-0c7a29cd66fe.
- Deng, Y. Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. and de Jager, D. (2015)**, “Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply”, *Global Environmental Change* 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.
- DNV-GL (2019)**, *Energy transition outlook 2019. A global and regional forecast to 2050*, <https://eto.dnvgl.com/2019>.
- Economist (2020)**, “The new coronavirus could have a lasting impact on global supply chains”, 15 February, www.economist.com/international/2020/02/15/the-new-coronavirus-could-have-a-lasting-impact-on-global-supplychains.
- Elgouacem, A., Halland, H., Botta, E. and Singh, G. (2020)**, *The fiscal implications of the low-carbon transition*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Enerdata (2019)**, “Share of wind and solar in electricity production”, *Global Energy Statistical Yearbook 2019*, <https://yearbook.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html> (accessed 5 March 2020).
- Equinor (2019)**, *Energy perspectives 2018: Longterm macro and market outlook*, June, www.equinor.com/en/news/energy-perspectives-2019-delaying-climate-action-increases-the-challenge.html.
- European Commission (2020)**, “The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained”, 14 January, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24.
- European Commission (2019a)**, “A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent”, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- European Commission (2019b)**, “Clean Energy for All Europeans: Commission welcomes European Parliament’s adoption of new electricity market design proposals”, 26 March, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_1836.
- European Commission (2019c)**, “European Battery Alliance”, https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance_en.
- European Commission (2016)**, “STEELANOL”, Innovation and Networks Executive Agency, European Commission, <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/biofuels/steelanol> (accessed 4 March 2020).

- Fink, L. (2020)**, "Larry Fink's letter to CEOs", BlackRock, USA.
- FS-UNEP and BNEF (2019)**, *Global trends in renewable energy investment 2019*, Frankfurt School – UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, Frankfurt, www.fs-unep-centre.org.
- FT (2019)**, "Tata to build UK's biggest carbon capture project", *Financial Times*, 26 June, www.ft.com/content/b45d94b6-97fc-11e9-8cfb-30c211dcd229.
- Gielen, D. and Saygin, D. (2018)**, *Global industrial carbon dioxide emissions mitigation: Investigation of the role of renewable energy and other technologies until 2060*, Colorado School of Mines, Payne Institute, Golden, Colorado.
- Global Carbon Atlas (2019)**, *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.
- Global Petrol Prices (2019)**, "Electricity prices around the world", www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).
- Greenpeace (2015)**, *Energy [r]Evolution. A sustainable world energy outlook 2015*, Greenpeace, SolarPower Europe and Global Wind Energy Council, Brussels.
- GrInHy2.0 (2019)**, "GrInHy2.0", www.green-industrial-hydrogen.com (accessed 4 March 2020).
- GWEC (2020)**, *Global wind report 2019*, Global Wind Energy Council, Brussels.
- Healy, C. and Marchand, T. M. (2019)**, *SEA change: Delivering a zero carbon economy in Southeast Asia*, E3G, Berlin.
- Hill, J. (2020)**, "Germany hits record 61 per cent renewables for month of February 2020", *RenewEconomy*, 2 March, <https://reneweconomy.com.au/germany-hits-record-61-per-centrenewables-for-month-of-february-99434>.
- Hinge, D. (2019)**, "BIS launches green bond fund for central banks", *Central Banking*, 27 September, www.centralbanking.com/central-banks/reserves/4456611/bis-launches-green-bond-fund-for-central-banks.
- Hochstetler, K. (発刊予定)**, *Political economies of energy transition: Wind and solar power in Brazil and South Africa*, Cambridge: Cambridge University Press.
- HYBRIT (2016)**, "HYBRIT – Fossil-free steel", www.hybritdevelopment.com (accessed 4 March 2020).
- Hydropower & Dams (2014)**, *Hydropower & Dams – World Atlas*, *International Journal of Hydropower and Dams*, <https://www.hydropower-dams.com/world-atlas/> (accessed 5 March 2020).
- IEA (2019a)**, *World Energy Outlook 2019*, Analysis, International Energy Agency, Paris.
- IEA (2019b)**, *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.
- IEA (2019c)**, *World Energy Investment 2019 – Analysis*, International Energy Agency, Paris.
- IEA (2017)**, *IEA Bioenergy annual report 2017*, International Energy Agency, Paris.
- IEA and IRENA (2017)**, *Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system*, International Energy Agency and International Renewable Energy Agency, Paris and Abu Dhabi.
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank and WHO (2019)**, *Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2019*, International Energy Agency, International Renewable Energy Agency, United Nations Statistics Division, World Bank and World Health Organization, Washington, D.C.
- IMF (2019)**, *The economics of climate – Finance and development – A quarterly publication of the International Monetary Fund*, International Monetary Fund, Washington, D.C.
- IMO (2018)**, "Low carbon shipping and air pollution control", International Maritime Organization, www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx (accessed 4 March 2020).
- 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*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IPCC (2014)**, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IRENA (発刊予定 a)**, *Cost reduction potential for solar and wind to 2030 in the G20*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (発刊予定 b), *Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation*, staff technical paper, IRENA, Abu Dhabi.

IRENA (発刊予定 c), *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for solar water heaters*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (発刊予定 d), *Reaching zero: Reducing emissions with renewables* (provisional title), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2020a), *Measuring the socio-economics of transition: Focus on jobs*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2020b), *Discussions on sustainable aviation take place in Abu Dhabi*, press release (accessed 6 March 2020).

IRENA (2020c), *Innovative solutions for 100% renewable power in Sweden*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019a), *Global energy transformation (GET): A roadmap to 2050* (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019b), *NDCs in 2020: Advancing renewables in the power sector and beyond*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Renewable power generation costs in 2018*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019d), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019e), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socioeconomic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019f), *Renewable energy statistics 2019*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019g), *Hydrogen: A renewable energy perspective*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019h), *Renewable energy auctions: Status and trends beyond price*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019i), *Renewable power generation costs in 2018*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019j), *Innovation outlook: Smart charging for electric vehicles*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019k), *Bioenergy from boreal forests: Swedish approach to sustainable wood use*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019l), *Sustainable rural bioenergy solutions in sub-Saharan Africa: A collection of good practices*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019m), *Advanced biofuels: What holds them back?* International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019n), *Internet of things – Innovation landscape brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019o), *Innovation landscape for a renewable-powered-future*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

【日本語訳】 将来の再生可能エネルギー社会を実現するイノベーションの全体像: 変動性再生可能エネルギー導入のためのソリューション, 環境省 (2020)
http://www.env.go.jp/earth/report/R01_Reference_2.pdf

IRENA (2019p), *Renewable energy and jobs – Annual review 2019*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019q), *Transforming the energy system – and holding the line on rising global temperatures*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019r), *Navigating the way to a renewable future: Solutions to decarbonise shipping*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2018a), *Global energy transformation: A roadmap to 2050* (2018 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2018b), *Bioenergy from Finnish forests: Sustainable, efficient, modern use of wood*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2018c), *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2018d), *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for offshore wind*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2017a), *Biogas for domestic cooking: Technology brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

- IRENA (2017b)**, *Bioenergy from degraded land in Africa: Sustainable and technical potential under Bonn Challenge pledges*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2017c)**, *Sustainable flight with biofuels*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2017d)**, *Biofuels for aviation: Technology brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2017e)**, *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for solar PV*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2017f)**, *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for onshore wind*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2016a)**, *Boosting biofuels: Sustainable paths to greater energy security*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2016b)**, *Measuring small-scale biogas capacity and production*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2016c)**, *Renewable energy benefits: Measuring the economics*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2014)**, *Global bioenergy – Supply and demand projections: A working paper for REmap 2030*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA Patents Data Online Platform INSPIRE**, <http://inspire.irena.org/>.
- Kåberger, T. (2019)**, “2019 Global power sector developments: RE finally dominated growth”, Renewable Energy Institute, 2 March, www.renewable-ei.org/en/activities/column/REupdate/20200302.php.
【日本語訳】トーマス・コーベリエル, ロマン・ジスラー: 2019年世界の電力セクターの動向 – 自然エネルギーが主役に成長の成長の主役に, 自然エネルギー財団コラム, 2020年3月10日, <https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20200310.php>
- Korfiati, A., Gkonos, C., Veronesi, F., Gaki, A., Grassi, S., Schenkel, R., Volkwein, S., Raubal, M. and Hurni, L., (2016)**, “Estimation of the global solar energy potential and photovoltaic cost with the use of open data”, International Journal of Sustainable Energy Planning and Management 9, <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.9.3>.
- Lee, K. (2013)**, *Schumpeterian analysis of economic catch-up, knowledge, path-creation and the middle-income trap*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Martin, J. R. (2020)**, “US surge pushes global corporate solar PPAs near 10GW-a-year mark”, PV-Tech, 30 January, www.pv-tech.org/news/us-surge-pushes-global-corporate-solar-ppas-near-10gw-a-year-mark.
- Martin, J. R. (2019)**, “Europe approves US\$3.5bn for R&D in major push to create sustainable battery manufacturing ecosystem”, Energy Storage News, <https://www.energy-storage.news/news/europewages-multi-billion-crusade-to-nurture-batteryecosystem>.
- McKinsey (2019)**, “New global energy perspective 2019: Reference case”, McKinsey & Company, www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2019.
- NASA (2020)**, “Climate change evidence: How do we know?” Global Climate Change Vital Signs of the Planet, US National Aeronautics and Space Administration, <https://climate.nasa.gov/evidence/> (accessed 6 March 2020).
- Paul, S. (2019)**, “Australia backs trials to produce green hydrogen to make ammonia”, Reuters, 29 September, www.reuters.com/article/us-australiahydrogen- incitec-pivot/australia-backs-trials-to-produce-green-hydrogen-to-make-ammoniaidUSKBN1WF0CF.
- Perez and Soete (1988)**, “Catching up in technology: Entry barriers and windows of opportunity”, in G. Dosi et al., eds., *Technical Change and Economic Theory*, London: Francis Pinter, 458-79.
- Pooler, M. (2020)**, “Surge in plastics production defies environmental backlash”, *Financial Times*, 11 February, www.ft.com/content/4980ec74-4463-11ea-abea-0c7a29cd66fe.
- Recharge (2020)**, “Japan opens world's largest green-hydrogen plant near Fukushima disaster site”, 9 March 2020, <https://www.rechargenews.com/transition/japan-opens-worlds-largestgreen-hydrogen-plant-near-fukushima-disastersite/2-1-769361> (accessed: 12 March 2020).
- Shell (2018)**, “Shell Scenarios Sky. Meeting the goals of the Paris Agreement”, Shell Global, April, <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energyfuture/scenarios/shell-scenario-sky.html>.
- Simms, A., et al. (2008)**, A Green New Deal. Joined-up policies to solve the triple crunch of the credit crisis, climate change and high oil prices, New Economics Foundation, <https://neweconomics.org/2008/07/green-new-deal>.

Spiegel (2020), “Elektroautos: Vollbremsung bei Elektro-Wachstum in USA und China (Electric cars: full braking on electric growth in USA and China)”, *Der Spiegel*, 26 February, www.spiegel.de/auto/elektroautos-vollbremsung-bei-elektro-wachstum-in-usa-und-china-a-662f780e-1053-4665-a4f6-c7ff1443673a.

Tong, D., Zhang, Q., Zheng, Y., Caldeira, K., Shearer, C., Hong, C., Qin, Y. and Davis, S. J. (2019), “Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target”, *Nature* 572, 373-77, <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1364-3>.

Traywick, C. et al. (2020), “Gas exports have a dirty secret: A carbon footprint rivaling coal’s”, *Bloomberg Green*, 23 January, www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-23/gas-exports-havedirty-secret-a-carbon-footprint-rivaling-coal-s.

UCS (2019), “Ready for work: Now is the time for heavy-duty electric vehicles”, *Union of Concerned Scientists*, <https://www.atlasevhub.com/resource/ready-for-work-now-is-the-time-for-heavy-duty-electric-vehicles/> (accessed 11 December 2019).

UNCTAD (2019), *State of commodity dependence 2019*, United Nations Conference on Trade and Development, Geneva.

UN ECOSOC (2019), *The impact of rapid technological change on sustainable development. Report of the Secretary-General*, Geneva, 4 March, https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ecn162019d2_en.pdf.

UNEP (2020), *Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, Fourteenth edition*, United Nations Environment Programme, Nairobi.

UNEP (2009), *Global Green New Deal Policy Brief*, United Nations Environment Programme, Nairobi.

UTS-ISF (2019), *Achieving the Paris Climate Agreement goals, global and regional 100% renewable energy scenarios with non-energy GHG pathways for +1.5°C and +2°C*, University of Technology Sydney – Institute for Sustainable Futures (UTS-ISF), Sydney, www.springer.com/gp/book/9783030058425.

Wacket, M. (2019), “Germany to start closing black coal plants in 2020: draft law”, *Reuters*, 5 September, <https://www.reuters.com/article/us-germany-politics-climate-change/germany-to-start-closing-black-coal-plants-in-2020-draft-lawidUSKCN1VQ1U9>.

World Bank Group (2019a), *GDP, PPP (constant 2011 international \$)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019c), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019d), *Urban population*, World Bank Group.

WHO (2020), “Air pollution – Overview”, World Health Organization, www.who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution (accessed 6 March 2020).

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

Yara (2019), “Yara and Nel collaborate to produce carbon free hydrogen for ammonia production”, Yara, <https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/2019/yara-and-nel-carbon-freehydrogen-for-fertilizer-production/> (accessed 3 March 2020).

略語一覧

°C	摂氏温度 (Degrees Celsius)	Mt	メガトン (Megatonne)
BES	ベースラインシナリオ (Baseline Energy Scenario)	MW	メガワット (Megawatt)
CCS	二酸化炭素回収・貯留 (Carbon capture and storage)	MWh	メガワット時 (Megawatt-hour)
CCUS	二酸化炭素回収・有効利用・貯留 (Carbon capture, utilisation and storage)	N ₂ O	一酸化二窒素 (Nitrous oxide)
CDR	二酸化炭素除去 (Carbon dioxide removal)	NDC	国が決定する貢献 (Nationally Determined Contribution)
CHP	熱電併給、コージェネレーション (Combined heat and power)	OECD	経済協力開発機構 (Organisation for Economic Co-operation and Development)
CIP	気候投資プラットフォーム (Climate Investment Platform)	PES	現行計画シナリオ (Planned Energy Scenario)
CO ₂	二酸化炭素 (Carbon dioxide)	PPA	電力購入契約 (Power purchase agreement)
CSP	集光型太陽熱発電 (Concentrating solar power)	ppt	パーセンテージポイント (Percentage point)
DDP	脱炭素深化見通し (Deeper Decarbonisation Perspective)	PV	太陽電池 (Photovoltaic)
DRI	直接還元製鉄法 (Direct reduced iron)	RE	再生可能エネルギー (Renewable energy)
EJ	エクサジュール (Exajoule)	REmap	IRENA の再生可能エネルギー・ロードマップ分析 (Renewable energy roadmap analysis by IRENA)
EU	欧州連合 (European Union)	SDG	持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goal)
EV	電気自動車 (Electric vehicle)	SEforALL	万人のための持続可能なエネルギー (Sustainable Energy for All)
FCEV	燃料電池車 (Fuel cell electric vehicle)	SF ₆	六フッ化硫黄 (Sulphur hexafluoride)
G20	金融・世界経済に関する首脳会合 (Group of Twenty)	t	トン (Tonne)
GCF	緑の気候基金 (Green Climate Fund)	TES	エネルギー転換シナリオ (Transforming Energy Scenario)
GDP	国内総生産 (Gross domestic product)	TJ	テラジュール (Terajoule)
GJ	ギガジュール (Gigajoule)	TW	テラワット (Terawatt)
Gt	ギガトン (Gigatonne)	TWh	テラワット時 (Terawatt-hour)
GW	ギガワット (Gigawatt)	UK	英国 (United Kingdom)
GWEC	世界風力会議 (Global Wind Energy Council)	UNDP	国連開発計画 (United Nations Development Programme)
GWh	ギガワット時 (Gigawatt-hour)	UNFCCC	国連気候変動枠組条約 (United Nations Framework Convention on Climate Change)
H ₂	水素 (Hydrogen)	VRE	変動性再生可能エネルギー (Variable renewable energy)
IEA	国際エネルギー機関 (International Energy Agency)	WHO	世界保健機関 (World Health Organization)
IMF	国際通貨基金 (International Monetary Fund)		
IMO	国際海事機関 (International Maritime Organization)		
IRENA	国際再生可能エネルギー機関 (International Renewable Energy Agency)		
kg	キログラム (Kilogram)		
kWh	キロワット時 (Kilowatt-hour)		
LCOE	均等化発電原価 (Levelised cost of electricity)		
LNG	液化天然ガス (Liquefied natural gas)		
LULUCF	土地利用・土地利用変化および林業		
m ²	平方メートル (Square metre)		

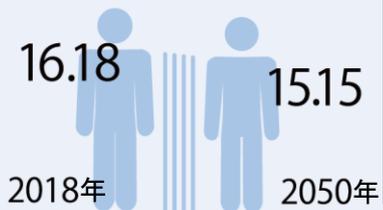
エネルギー転換 東アジア

地域分析は、以下の5カ国を対象にしている。

- ・中国
- ・朝鮮民主主義人民共和国(北朝鮮)
- ・日本
- ・モンゴル
- ・大韓民国(韓国)

状況/特徴とニーズ:

人口(億人)



現在: 世界人口の21%を占める。
中国が過半数(87%)を占め、日本(8%)、韓国・北朝鮮(5%)が続く。

2050年展望: 年平均で0.2%減少して15億1,500万人となる見込み。
世界人口の16%を占める。

E3MEに基づくIRENAの分析による。

1人あたりGDP
(千ドル、2015年)

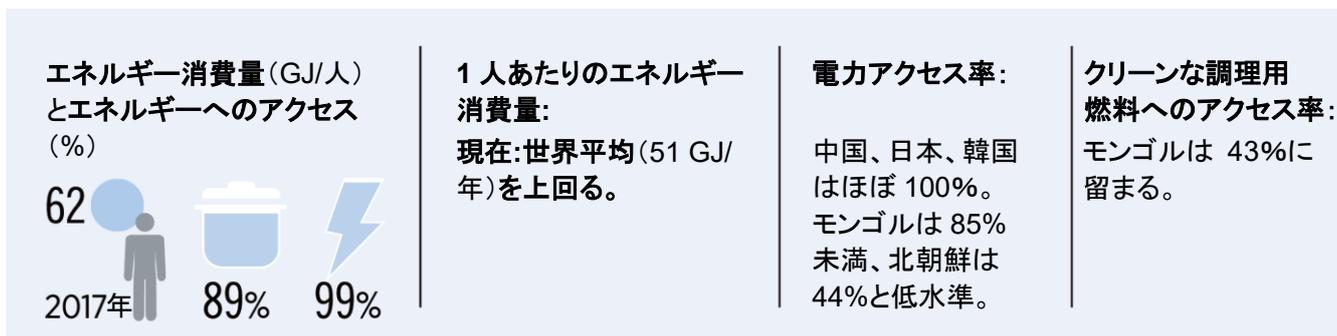


現在: 世界平均(1万900ドル)前後

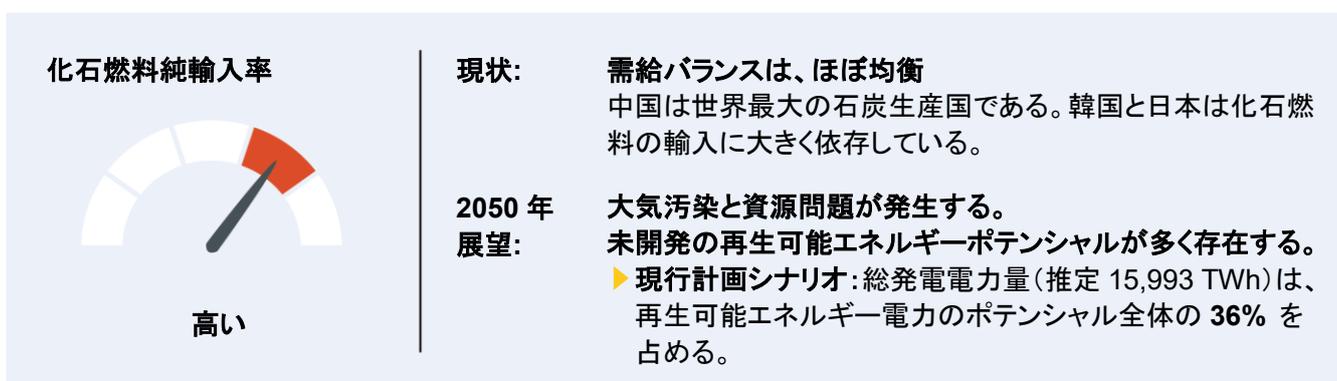
2050年展望: 急速な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率=3.4%

E3MEに基づくIRENAの分析による。

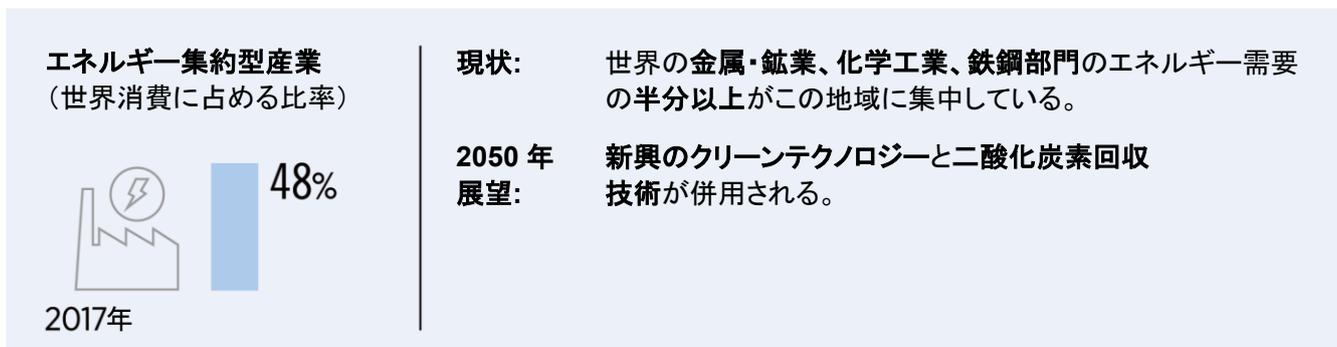




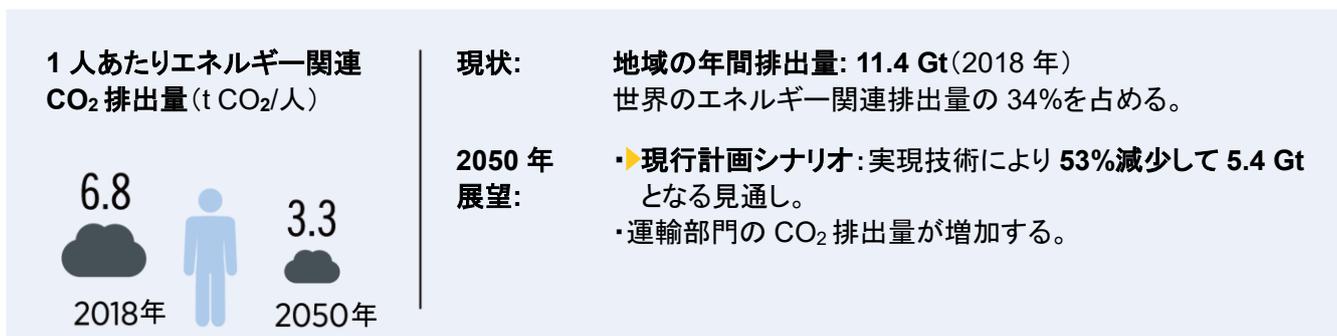
出所: 電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ (IEA, 2019)に基づく。



注: 現状は、一次エネルギー供給量の 2017 年データ(IEA, 2019)における化石燃料の純輸入量割合比率に基づく IRENA の分析による。2050 年展望、IRENA 分析とポテンシャルは Deng *et al.* (2015)に基づく。



2017 年データ(IEA, 2019)に基づく IRENA の分析による。



注: 2050 年データは IRENA の分析に基づく。過去データは Global Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



28%

● 中程度

260都市

● 良好 ● 中程度 ● 劣悪

中国:2010年以降、主に石炭を燃料とする開発が急速に進み、貧困が緩和された。新たな規制導入により、2015から2017年にかけて大気汚染が20%減少したものの、大気汚染による死亡率は現在インドに続き2番目に高い。

PM2.5 濃度に関する2016年および2017年データ(WHO, 2019)に基づくIRENAの分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

他の地域と比較して、家庭用・産業用ともに中間帯に位置する。

再生可能エネルギー電力コスト:

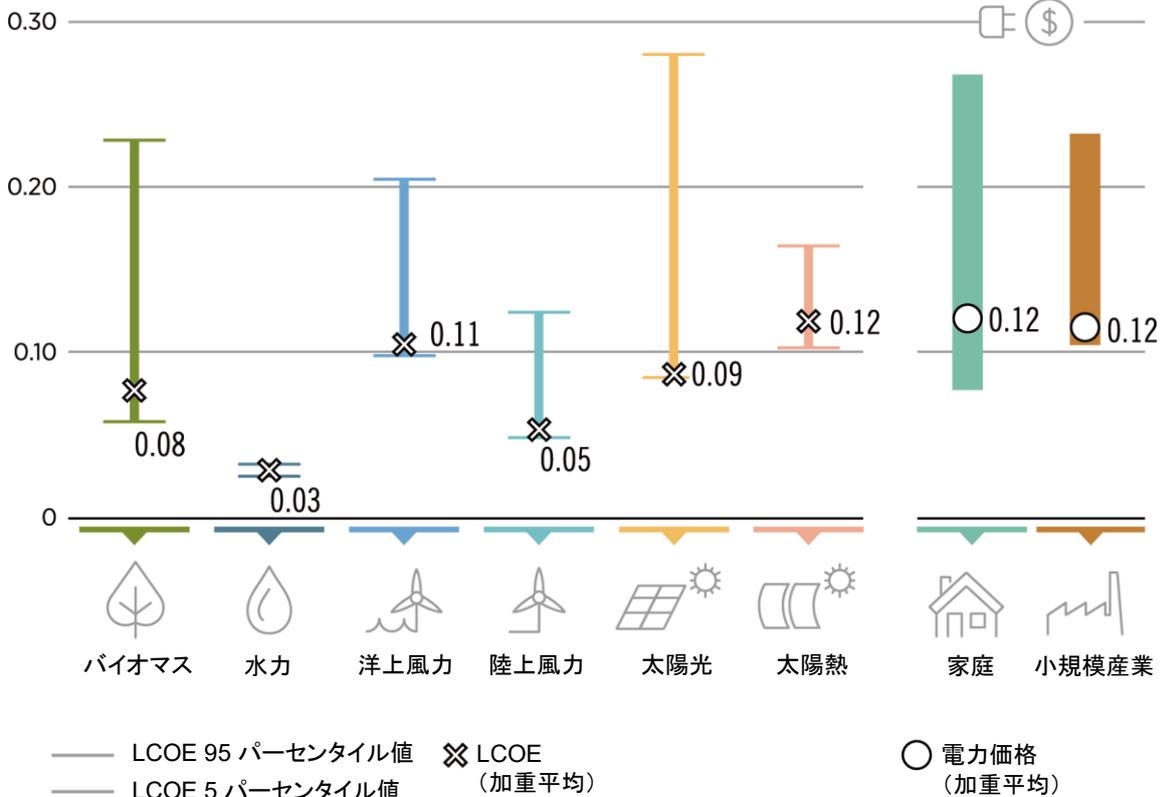
陸上風力発電の電力コストは、G20諸国の平均値(0.05ドル/kWh)に近い。太陽光発電はG20諸国の平均値(0.096ドル/kWh)よりも低い。

入札価格:

他の地域よりも安価。中国最大の太陽光発電の入札(新規容量1GW)では、最低価格0.077ドル/kWhを2017年に達成。

東アジア

LCOE 2018 (ドル/kWh)



LCOEはIRENA(2019a)に基づく。電力価格はGlobal Petrol Prices(2019)に基づく。

注:LCOEデータは2018年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト(WACC)はOECD諸国と中国で7.5%、それ以外の国々が10%。

エネルギー転換：主な便益

1

クリーンエネルギーの供給

- ▶ CO₂ 排出量の削減
- ▶ 地域の大気質の改善
- ▶ 水素、蓄電池などのイノベーションの活用



2

エネルギー自給

- ▶ エネルギー供給の多様化
- ▶ 外的リスクに対する耐性
- ▶ 投資リスクの低減



3

持続可能な発展

- ▶ 経済価値の付加
- ▶ 雇用の拡大
- ▶ 社会の活性化と意識向上



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●東アジア

2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	159	185	172	159	166	148	129
消費（最終エネルギー消費量）	102	114	107	100	105	97	89

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	7%	17%	27%	39%	27%	44%	65%
消費（最終エネルギー消費量）	8%	20%	30%	43%	31%	49%	70%
発電電力量	23%	42%	59%	73%	60%	77%	90%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	25%	33%	40%	48%	37%	47%	58%
産業部門	26%	39%	45%	53%	41%	51%	65%
運輸部門	3%	7%	20%	33%	14%	30%	46%
建築物部門	32%	44%	48%	52%	45%	51%	57%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	14	74	74	74	82	84	87
水力発電	349	484	533	582	490	539	588
太陽光発電	186	1175	1734	2305	1644	2396	3118
風力発電	169	706	1407	2106	1263	1990	2696

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	50	310	320	330	360	360	370

エネルギー関連CO₂排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	11.2	10.3	7.8	5.4	8.4	5.3	2.2
現状に対する削減率	NA	-8%	-30%	-52%	-25%	-53%	-80%

● 東アジア

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

	2016-2050 (PES)	目標 2016-2050 (TES)
電力部門	3 140	3 860
- 再生可能エネルギー	1 720	2 460
- 非再生可能エネルギー	630	350
- 電力系統および系統柔軟性	800	1 050
産業部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	250	350
運輸部門 (電化+エネルギー効率化)	1 010	1 140
建築物部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	1 330	1 960
バイオ燃料供給	54	134
再エネ由来水素 - 水電解装置	22	59



東アジア

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA, 2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● 東アジア

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	2019(推定)	2030	2050
	1 621 179	1 627 194	1 514 571



GDP (ドル、2015年)

	2019(推定)	2030	2050
GDP (百万): PES	17 550 968	25 739 253	46 369 936
GDP(百万): TES	18 075 537	26 577 659	47 521 377
GDPの差 (百万): TES-PES	524 569	838 406	1 151 441
GDPの差 (%): TES-PES	3	3.3	2.5
1人あたりGDP (千): PES	10.8	15.8	30.6
1人あたりGDP (千): TES	11.1	16.3	31.4

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

	2019(推定)	2030	2050
雇用者数: PES	997 554	979 427	839 204
雇用者数: TES	1 001 937	984 319	839 750
雇用者数の差: TES-PES	4 382	4 892	545
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.44%	0.50%	0.06%



● 東アジア

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	139	222	254	215	185
化石燃料	9 952	10 170	7 765	8 765	4 800
再生可能エネルギー	4 617	8 494	12 194	10 591	15 007
エネルギー効率化	1 912	7 521	7 748	9 672	8 852
電力系統および エネルギー柔軟性	2 339	4 406	5 332	4 746	5 673
合計	18 959	30 813	33 293	33 989	34 517
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		3.1%	4.0%	3.5%	4.1%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	414	1 069	801	1 185	1 005
太陽光	3 211	5 571	7 630	6 725	9 404
水力	469	621	716	604	688
風力	519	1 225	2 999	2 061	3 844
地熱	4	7	46	12	50
海洋	0	1	2	4	15
合計	4 617	8 494	12 194	10 591	15 007
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の 雇用 (%)		27.6%	36.6%	31.2%	43.5%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	545
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-3 034
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	4 257
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	1 223

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● 東アジア

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	7 896	建設・設置	5 894	一般作業員・ 技能者	9 972
太陽熱	1 437	製造	4 236	熟練技能者	1 475
陸上風力	3 144	運用・保守	3 098	技術者	1 275
洋上風力	699	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	505
地熱	50				
合計	13 228		13 228		13 228



東アジア

福祉水準の向上
(%) : TES - PES

2030

2050

指数

	2030	2050
経済	0.6	0.4
社会	3.8	7.4
環境	1.9	4
合計	6.3	11.8



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018), World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

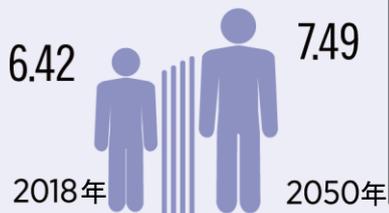
エネルギー転換 東南アジア

地域分析は、東南アジア諸国連合のうち以下の 10 カ国を対象にしている。

- ・ブルネイ・ダルサラーム
- ・ラオス人民民主共和国
- ・マレーシア
- ・シンガポール
- ・カンボジア
- ・ミャンマー
- ・タイ
- ・インドネシア
- ・フィリピン
- ・ベトナム

状況/特徴とニーズ:

人口 (億人)



- 現在:** 世界人口の 8.5% を占める。
国別の比率ではインドネシアが最も高く (41%)、次にフィリピン (16%)、ベトナム (15%) の順となっている。
- 2050 年展望:** 年平均で 0.5% 増加して 7 億 4,900 万人となる見込み。
世界人口の 8% を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

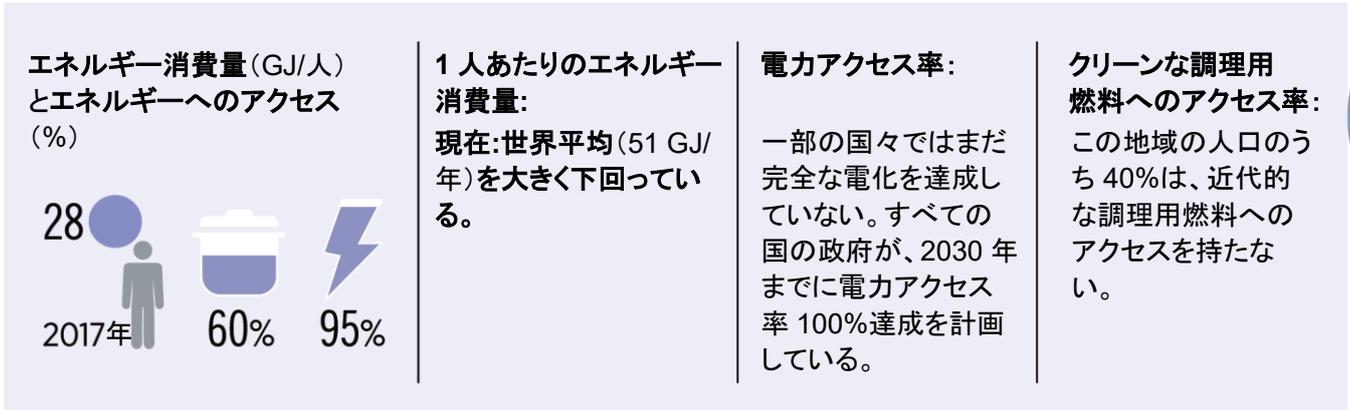
1 人あたり GDP
(千ドル 2015 年)



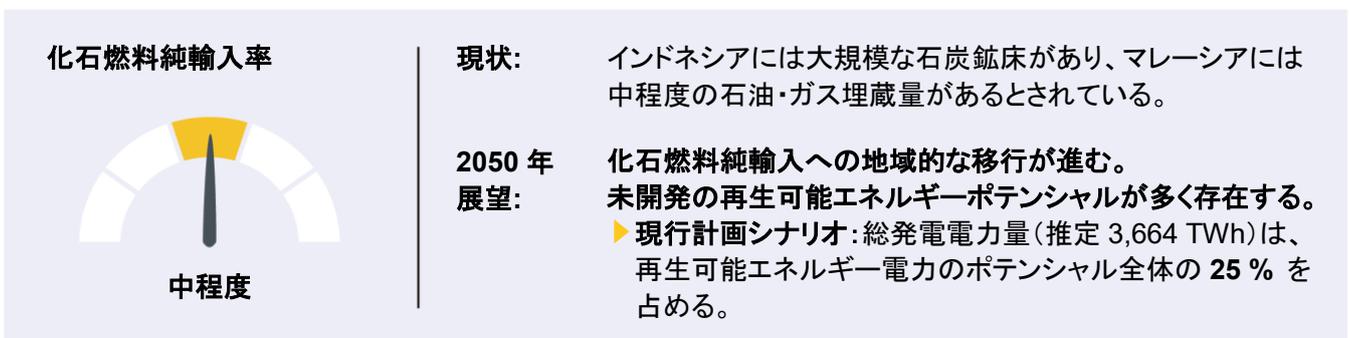
- 現在:** 世界平均 (1 万 900 ドル) を大きく下回る。
- 2050 年展望:** 急速な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率 = 4.2%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

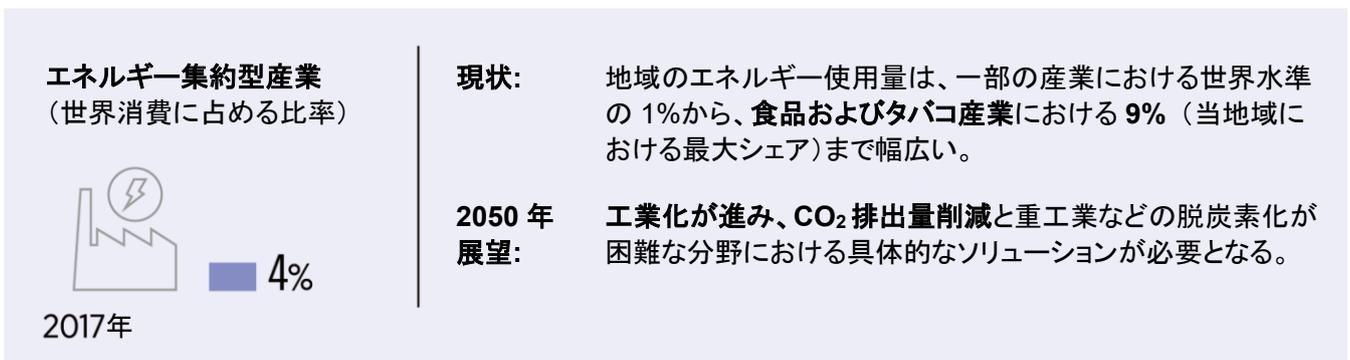




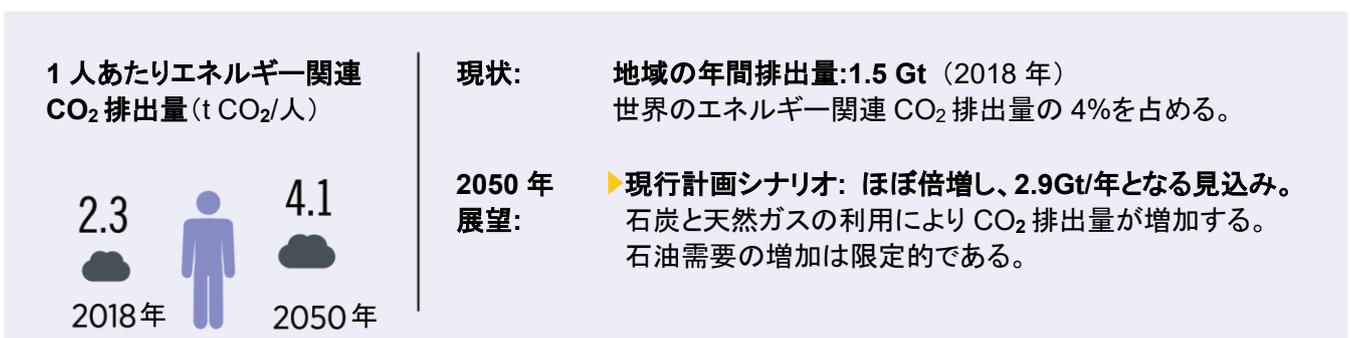
出所: 電力アクセス率は2017年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は2016年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は2017年データ(IEA, 2019)に基づく。



注: 現状は、一次エネルギー供給量の2017年データ(IEA, 2019)における化石燃料の純輸入量比率に基づくIRENAの分析による。2050年展望、IRENA分析とポテンシャルはDeng et al. (2015)に基づく。

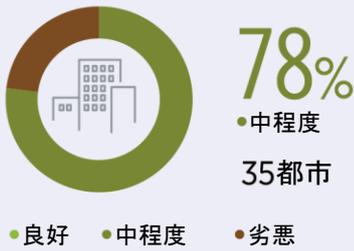


2017年データ(IEA, 2019)に基づくIRENAの分析による。



注: 2050年データはIRENAの分析に基づく。過去データはGlobal Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



この地域の都市のうち 22%が深刻な大気汚染レベルにあり、それ以外のほとんどの都市の大気汚染レベルは中程度である。このデータは、地域全体の都市大気質が低く、さらに悪化を続けていることを示している。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

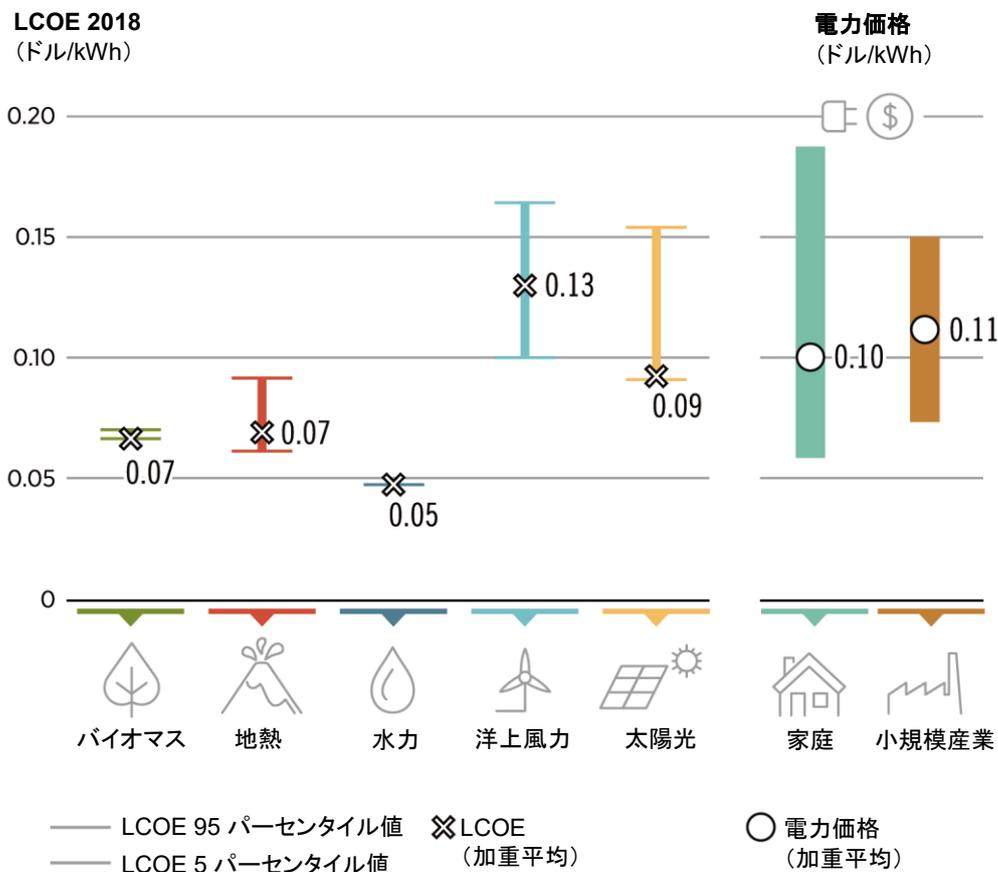
電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:
地域平均 0.10~0.11 ドルと、他の地域に比べて低価格。

再生可能エネルギーコストと入札:
再生可能エネルギーのコスト競争力が一層高まる。

ベトナムは 2019 年に東南アジアで最大となる、設備容量 5.5 GW の太陽光発電の入札を実施した。

東南アジア



LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。
 注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

エネルギー
アクセスおよび
インフラ

- ▶ エネルギー供給の多様化
- ▶ 電力系統のコスト削減
- ▶ グリーン産業革命



2

エネルギーの
安定供給

- ▶ エネルギー自給率の向上
- ▶ 再生可能エネルギーのコスト削減
- ▶ 地域間連系の増加
- ▶ 運輸部門の電化の促進



3

持続可能な発展

- ▶ 取引増加による経済成長の促進
- ▶ 再生可能エネルギー関連雇用者数の大幅な増加
- ▶ 大気質と衛生環境の改善
- ▶ 市民の意識啓発と活性化



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

● 東南アジア

2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	28	40	50	60	39	48	54
消費（最終エネルギー消費量）	18	21	27	31	21	25	28

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	13%	28%	29%	31%	41%	59%	75%
消費（最終エネルギー消費量）	12%	16%	19%	22%	27%	48%	68%
発電電力量	20%	31%	34%	37%	53%	73%	85%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	18%	22%	26%	31%	20%	32%	42%
産業部門	22%	16%	19%	23%	16%	22%	27%
運輸部門	0.2%	1%	2%	3%	3%	11%	23%
建築物部門	30%	68%	77%	83%	63%	82%	91%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー発電	7	26	32	37	66	111	176
水力発電	39	41	51	70	71	81	100
太陽光発電	4	54	109	198	106	399	647
風力発電	1	5	8	11	13	22	32

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	70	340	390	620	470	570	930

エネルギー関連 CO₂ 排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	1.4	2	2.6	2.9	1.6	1.3	0.8
現状に対する削減率	NA	45%	81%	106%	15%	-10%	-46%

● 東南アジア

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

	2016-2050 (PES)	目標 2016-2050 (TES)
電力部門	390	660
- 再生可能エネルギー	120	390
- 非再生可能エネルギー	130	50
- 電力系統および系統柔軟性	150	220
産業部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	70	130
運輸部門 (電化+エネルギー効率化)	100	200
建築物部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	270	400
バイオ燃料供給	32	69
再生エネルギー由来水素 - 水電解装置	0	0



東南アジア

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● 東南アジア

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	2019(推定)	2030	2050
	647 605	700 587	749 019



GDP (ドル、2015年)

	2019(推定)	2030	2050
GDP (百万): PES	2 465 787	3 981 401	10 065 561
GDP(百万): TES	2 495 821	4 155 442	10 360 523
GDPの差 (百万): TES-PES	30 034	174 041	294 962
GDPの差 (%): TES-PES	1.2	4.4	2.9
1人あたりGDP (千): PES	3.8	5.7	13.4
1人あたりGDP (千): TES	3.9	5.9	13.8

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

	2019(推定)	2030	2050
雇用者数: PES	319 692	354 865	369 980
雇用者数: TES	319 792	354 512	369 664
雇用者数の差: TES-PES	101	-353	-316
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.03%	-0.10%	-0.09%



● 東南アジア

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	1	5	10	10	20
化石燃料	2 000	2 682	2 764	2 647	2 429
再生可能エネルギー	779	1 681	2 028	3 780	6 720
エネルギー効率化	1 005	645	564	978	703
電力系統および エネルギー柔軟性	308	474	451	501	638
合計	4 092.7	5 487.5	5 817.2	7 915.2	10 509.4
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		1.5%	1.6%	2.2%	2.8%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	502	1 302	1 457	2 752	4 412
太陽光	91	186	372	628	1 882
水力	155	139	154	285	283
風力	15	18	19	40	45
地熱	15	35	27	56	63
海洋	0	0	0	18	34
合計	779	1 681	2 028	3 780	6 720
エネルギー部門の雇用における再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		30.6%	34.9%	47.8%	63.9%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	-316
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-325
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	5 018
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	4 692

▶ 2050年の雇用者数: エネルギー転換シナリオ / ● 東南アジア

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	1 560	建設・設置	805	一般作業員・ 技能者	1 515
太陽熱	322	製造	988	熟練技能者	206
陸上風力	45	運用・保守	198	技術者	176
洋上風力	-	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	94
地熱	63				
合計	1 991		1 991		1 991



東南アジア

福祉水準の向上
(%) : TES - PES

2030

2050

指数

経済	0.1	0.0
社会	1.5	7.7
環境	1.6	3.5
合計	3.2	11.2



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018), World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換 その他アジア

地域分析は、以下の 16 カ国を対象にしている。

西アジア

- ・アルメニア
- ・アゼルバイジャン
- ・トルコ

中央アジア

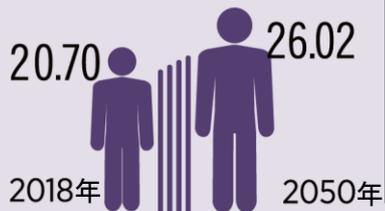
- ・カザフスタン
- ・キルギス共和国
- ・タジキスタン
- ・トルクメニスタン
- ・ウズベキスタン

南アジア

- ・アフガニスタン
- ・バングラデシュ
- ・ブータン
- ・インド
- ・モルディブ
- ・ネパール
- ・パキスタン
- ・スリランカ

状況/特徴とニーズ:

人口（億人）



- 現在:** 世界人口の 27% を占める。
インド（68%）が過半数を占め、パキスタン（11%）、バングラデシュ（8%）、トルコ（4%）が後に続く。
- 2050 年展望:** 年平均で 0.7% 増加して 26 億 200 万人となる見込み。
世界人口の 28% を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

1 人あたり GDP
（千ドル、2015 年）



- 現在:** 世界平均（1 万 900 ドル）を大きく下回る。
- 2050 年展望:** 急速な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率 = 4.9%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

<p>エネルギー消費量(GJ/人)とエネルギーへのアクセス(%)</p>	<p>1人あたりのエネルギー消費量: 現在:世界平均(51 GJ/年)を大きく下回っている。</p>	<p>電力アクセス率: 75%(2010年)から91%以上(2017年)に上昇。依然として、この地域では1億7,800万人が電力アクセスを持っていない(IEA, IRENA, UNSD, WB, WHO, 2019)。</p>	<p>クリーンな調理用燃料へのアクセス率: この地域のアクセス率は50%未満に留まる(2017年)。特にインドのアクセス率が非常に低い(IEA, IRENA, UNSD, WB, WHO, 2019)。</p>
<p>21 2017年 46% 91%</p>			

出所: 電力アクセス率は2017年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は2016年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は2017年データ(IEA, 2019)に基づく。

<p>化石燃料純輸入率</p>	<p>現状: 西アジア諸国と東アジア諸国は純輸入国であるが、中央アジア諸国は純輸出国である(主に石油とガス)。</p>
<p>高い</p>	<p>2050年展望: 大気汚染と資源問題が悪化する。未開発の再生可能エネルギーポテンシャルが多く存在する。 ▶ 現行計画シナリオ: 総発電電力量(7,514TWh)は、再生可能エネルギー電力のポテンシャル全体の23%を占める。</p>

注: 現状は、一次エネルギー供給量の2017年データ(IEA, 2019)における化石燃料の純輸入量比率に基づくIRENAの分析による。2050年展望、IRENA分析とポテンシャルはDeng et al. (2015)に基づく。

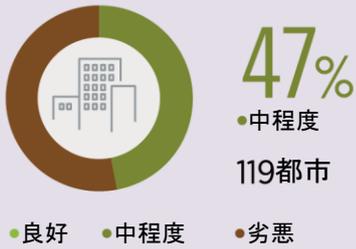
<p>エネルギー集約型産業(世界消費に占める比率)</p>	<p>現状: 世界のエネルギー需要のうち、鉄鋼産業においては14%、非鉄金属・非金属鉱物産業においては約9%を占める。</p>
<p>8% 2017年</p>	<p>2050年展望: 鉄鋼、金属、化学工業、石油化学工業部門の生産量が増加。インドとパキスタンにおいては徹底した対策と具体的な脱炭素ソリューションが必要となる。</p>

2017年データ(IEA, 2019)に基づくIRENAの分析による。

<p>1人あたりエネルギー関連CO₂排出量(t CO₂/人)</p>	<p>現状: 地域の年間排出量: 3.8 Gt(2018年)世界のエネルギー関連CO₂排出量の11%を占める。</p>
<p>1.9 2018年 2.8 2050年</p>	<p>2050年展望: ▶ 現行計画シナリオ: 実現政策により、ほぼ倍増して7.2 Gtとなる。運輸部門のCO₂排出量は、人口増加と都市化により3倍の1.4 Gtに増加する見込み。</p>

注: 2050年データはIRENAの分析に基づく。過去データはGlobal Carbon Atlas(2019)に基づく。

都市大気質 (%)



南アジアの大気質は現在、世界で最も有害であるとされる。地球上で大気が最も汚染されている 20 都市のうち 18 都市が、インド (15 都市)、パキスタン (2 都市)、バングラデシュ (1 都市) に存在する。インドのデリーでは、記録的な大気汚染によって定期的に諸活動が停止し、深刻な健康問題が発生している。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:
その他欧州地域と並んで、世界全体で中東・北アフリカに次いで電力価格が低い。

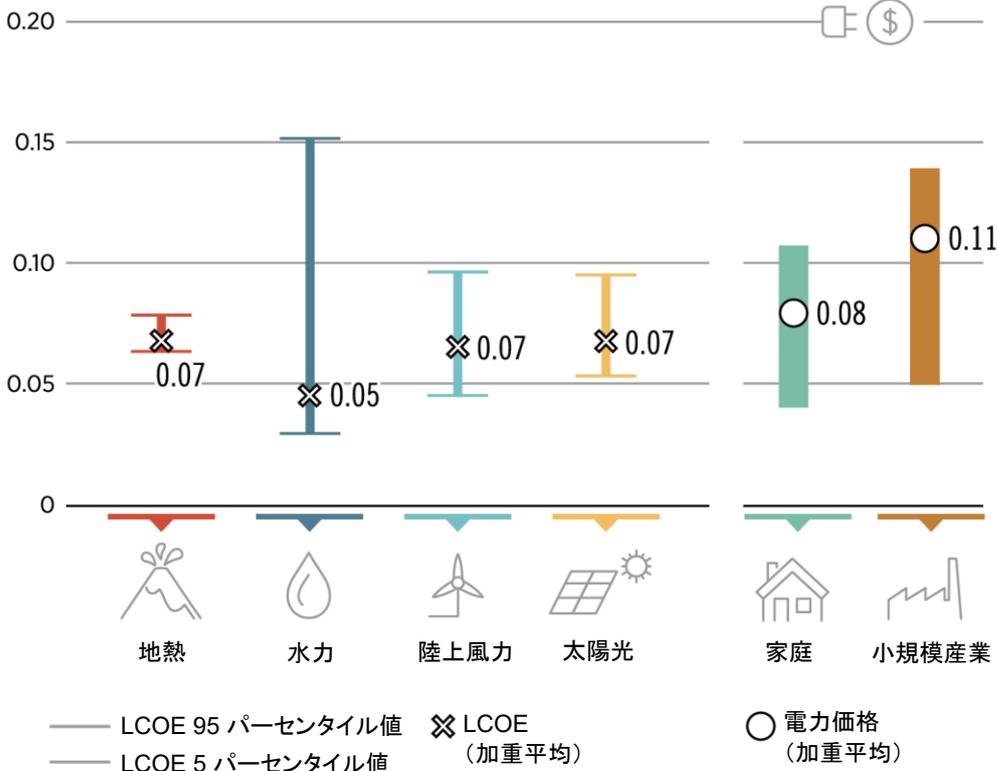
再生可能エネルギーのコストと入札:
陸上風力発電: G20 の平均値 0.05 ドル/kWh に近い(加重平均 LCOE)。太陽光発電: G 20 の平均値よりも低い(0.096 ドル/kWh)。

インド:太陽光発電は、火力発電と比較してコスト競争力があるとされる(石炭火力発電は 0.068 ドル/kWh、コンバインドサイクル・ガス発電は 0.093 ドル/kWh)。

その他アジア

LCOE 2018 (ドル/kWh)

電力価格 (ドル/kWh)



LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

CO₂ 排出量の削減

- ▶ 大気質の改善
- ▶ CO₂ 排出量の削減
- ▶ 衛生環境と福祉水準の向上



2

エネルギー自給と電力アクセス

- ▶ 無電化地域への分散型再生可能エネルギー源の導入
- ▶ エネルギー供給の多様化
- ▶ クリーンな調理用燃料へのアクセスの向上



3

経済的かつ持続可能な発展

- ▶ 経済成長と貧困の緩和
- ▶ 近代的エネルギー関連の雇用創出と技能開発
- ▶ 衛生環境への変革的影響
- ▶ コミュニティに対する寄与




2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●その他アジア

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	64	89	107	124	77	82	86
消費（最終エネルギー消費量）	42	61	75	87	51	54	55

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	8%	17%	19%	22%	27%	41%	58%
消費（最終エネルギー消費量）	8%	14%	17%	21%	24%	40%	59%
発電電力量	18%	37%	44%	51%	52%	68%	81%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	18%	21%	24%	26%	26%	37%	47%
産業部門	21%	15%	15%	15%	19%	25%	32%
運輸部門	1%	6%	7%	9%	18%	37%	52%
建築物部門	20%	45%	57%	66%	51%	63%	75%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	12	30	32	35	39	45	55
水力発電	110	149	175	185	154	202	240
太陽光発電	24	216	430	733	314	706	1 072
風力発電	41	162	254	404	223	374	541

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	10	110	290	380	140	530	810

エネルギー関連 CO₂ 排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	3.5	5.4	6.4	7.2	3.8	3.1	2
現状に対する削減率	NA	53%	81%	105%	8%	-11%	-43%

● その他アジア

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

	2016-2050 (PES)	2016-2050 (TES)
電力部門	1 220	1 510
- 再生可能エネルギー	460	840
- 非再生可能エネルギー	300	160
- 電力系統および系統柔軟性	450	520
産業部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	220	330
運輸部門 (電化+エネルギー効率化)	370	700
建築物部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	780	1 140
バイオ燃料供給	20	120
再エネ由来水素 - 水電解装置	2	30



その他アジア

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● その他アジア

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	2019(推定)	2030	2050
	2 088 441	2 326 499	2 601 942



GDP (ドル、2015年)

	2019(推定)	2030	2050
GDP (百万): PES	5 699 443	11 092 911	31 609 299
GDP(百万): TES	5 892 431	11 194 938	31 994 075
GDPの差 (百万): TES-PES	192 988	102 027	384 776
GDPの差 (%): TES-PES	3.4	0.9	1.2
1人あたりGDP (千): PES	2.7	4.8	12.1
1人あたりGDP (千): TES	2.8	4.8	12.3

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

	2019(推定)	2030	2050
雇用者数: PES	1 020 945	1 251 416	1 562 473
雇用者数: TES	1 021 164	1 250 735	1 561 263
雇用者数の差: TES-PES	219	(681)	(1 210)
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.02%	-0.05%	-0.08%



●その他アジア

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	60	103	86	91	65
化石燃料	3 424	6 170	6 621	5 163	4 495
再生可能エネルギー	1 422	2 846	3 577	3 795	5 164
エネルギー効率化	2 615	2 596	1 034	3 925	1 815
電力系統および エネルギー柔軟性	1 654	2 483	3 009	2 551	3 220
合計	9 175	14 198	14 326	15 523	14 759
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		1.1%	0.9%	1.2%	0.9%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	238	860	756	1 243	1 491
太陽光	340	941	1 687	1 422	2 504
水力	760	821	798	821	774
風力	80	220	333	305	386
地熱	4	4	4	5	9
海洋	0	0	0	0	0
合計	1 422	2 846	3 577	3 795	5 164
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の 雇用 (%)		20.0%	25.0%	24.4%	35.0%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	-1 210
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-2 147
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	2 579
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	432

▶ 2050年の雇用者数: エネルギー転換シナリオ / ● その他アジア

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	1 819	建設・設置	1 580	一般作業員・ 技能者	2 191
太陽熱	519	製造	195	熟練技能者	250
陸上風力	295	運用・保守	958	技術者	253
洋上風力	91	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	39
地熱	9				
合計	2 733		2 733		2 733



その他アジア

福祉水準の向上
(%) : TES - PES

2030

2050

指数

経済	0.1	0.2
社会	7.7	11.3
環境	2.0	4.2
合計	9.8	15.7



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IEA, IRENA, UNSD, WB, WHO (2019), *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2019*, Washington DC.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換 欧州連合

地域分析は、以下の 28 加盟国*を対象にしている。

- ・オーストリア
- ・エストニア
- ・イタリア
- ・ルーマニア
- ・ベルギー
- ・フィンランド
- ・ラトビア
- ・スロバキア
- ・ブルガリア
- ・フランス
- ・リトアニア
- ・スロベニア
- ・クロアチア
- ・ハンガリー
- ・ルクセンブルク
- ・スペイン
- ・キプロス
- ・ドイツ
- ・マルタ
- ・スウェーデン
- ・チェコ共和国
- ・ギリシャ
- ・ポーランド
- ・オランダ
- ・デンマーク
- ・アイルランド
- ・ポルトガル
- ・英国 (UK) *

状況/特徴とニーズ:

人口 (億人)



- 現在:** 世界人口の 6.8%を占める。
国別の比率ではドイツが最も高く (16%)、次いでフランス (13%)、イギリス (13%)、イタリア (12%) の順となっている。
- 2050 年展望:** 年平均 0.1%減少して 4 億 9,700 万人となる見込み。
世界人口の 5.3%を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

1 人あたり GDP
(千ドル、2015 年)

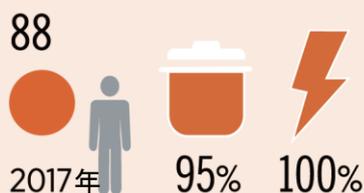


- 現在:** 世界平均 (1 万 900 ドル) を大きく上回る。
- 2050 年展望:** わずかな成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率 = 1.8%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

*英国は 2020 年 1 月をもって欧州連合 (EU) から正式に脱退したが、本分析は 2019 年 4 月までの進展を基にしているため、本報告書では英国を欧州連合の一部とみなす。

エネルギー消費量(GJ/人)
とエネルギーへのアクセス
(%)



1人あたりのエネルギー
消費量:

現在:世界平均(51 GJ/
年)を大きく上回っている。

電力アクセス率:

本地域は長年にわたり100%の電化と電力アクセスを達成してきた。

クリーンな調理用
燃料へのアクセス率:

農村地域において、非効率的なバイオマス調理設備がわずかに利用されている。

出所: 電力アクセス率は2017年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は2016年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は2017年データ(IEA, 2019)に基づく。

化石燃料純輸入率



非常に高い

現状:

一次エネルギー消費量に対し、国内の化石燃料資源は非常に限られている。輸入の石油(石油供給量の93%)とガス(ガス供給量の79%)に大きく依存している。

2050年
展望:

エネルギーの安定供給が改善される。
当地域は2050年までの気候中立の実現を計画している。
▶ 現行計画シナリオ: 総発電電力量(推定3,796 TWh)は、再生可能エネルギー全体のポテンシャルの15%を占める。

注: IRENAの分析は、2017年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入量比率に基づく。2050年展望、IRENA分析とポテンシャルはDeng et al. (2015)に基づく。

エネルギー集約型産業
(世界消費に占める比率)



現状:

世界のエネルギー需要のうち、紙・パルプ産業では約20%、食品・たばこ産業では17%、化学工業・石油化学産業では約11%、金属・鉱物資源産業では約9%を占めている。

2050年
展望:

重工業においてCO₂排出削減が喫緊に求められる。

注: 現状とIRENAの分析は、2017年データ(IEA, 2019)に基づく。

1人あたりエネルギー関連
CO₂排出量(t CO₂/人)



現状:

地域の年間排出量: 3.3 Gt(2018年)
世界のエネルギー関連排出量の10%を占める。

2050年
展望:

▶ 現行計画シナリオ: 実現政策により41%減少して1.9 Gtとなる見込み。エネルギー集約度の改善と再生可能エネルギーの採用により排出量が減少する。

注: 2050年データはIRENAの分析に基づく。過去データはGlobal Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



欧州連合の約 75%の都市では、大気汚染が中程度から深刻な状態にある。その主な原因は乗用車・トラックなどの輸送車両である。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

他の地域と比較して、家庭用電力価格は最も高く、産業用電力価格は 2 番目に高い。

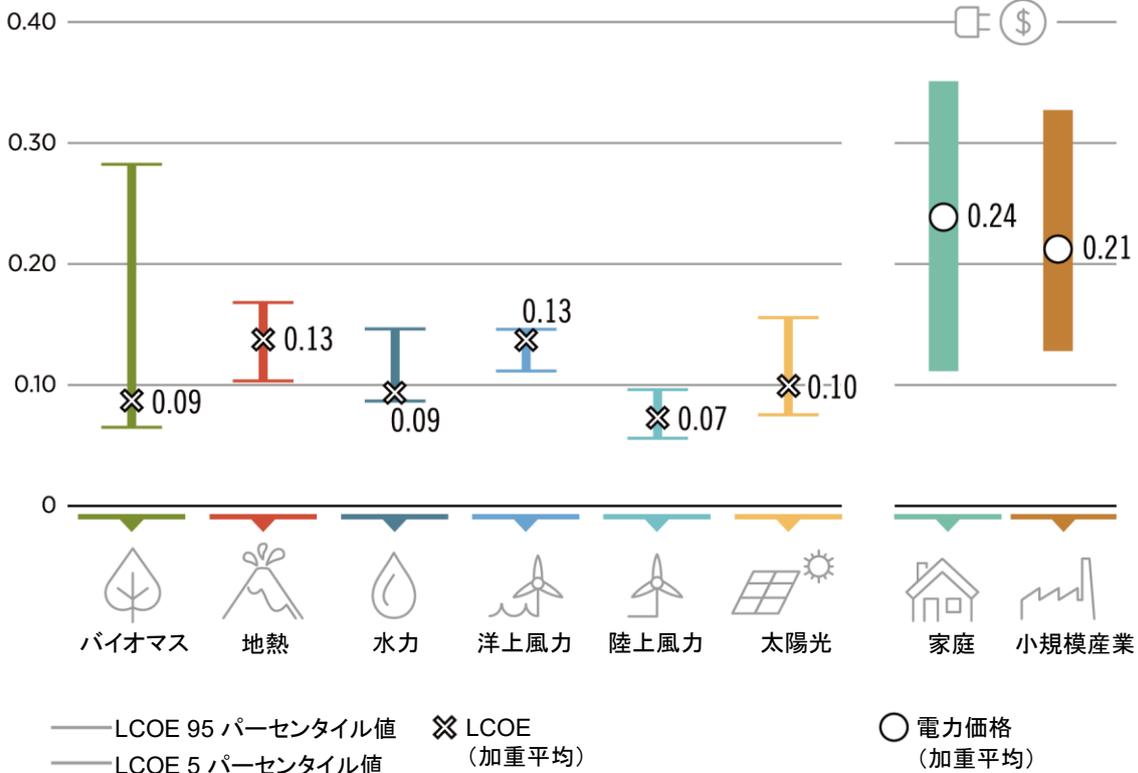
再生可能エネルギーコストと入札:

石炭や天然ガスと比較した場合、コスト競争力がある、もしくは最も低コストであるといえる。過去事例における平均 LCOE は、太陽光発電が約 0.08ドル/kWh、風力発電が約 0.05ドル/kWh である。新規太陽光発電プロジェクトのコストは約 0.02~0.03ドル/kWh、風力発電プロジェクトのコストは約 0.03~0.04ドル/kWh と、他の地域よりも低コストである。

欧州連合

LCOE 2018
(ドル/kWh)

電力価格
(ドル/kWh)



注: LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

クリーン
テクノロジーの
中心地となる

- ▶ エネルギー転換において世界をリード
- ▶ 2050年までにカーボンニュートラルを実現(EU 目標)
- ▶ 高エネルギー効率の実現
- ▶ 低廉なエネルギー供給



2

エネルギーの
安定供給

- ▶ エネルギー自給率の向上
- ▶ 石油・ガスへの依存の緩和
- ▶ エネルギー効率化と再生可能エネルギーへの転換



3

経済社会の発展

- ▶ 投資と支援政策による経済成長の促進
- ▶ 雇用創出と能力開発
- ▶ 大気汚染の緩和、衛生環境と福祉の改善



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

● 欧州連合

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	68	62	57	55	54	49	45
消費（最終エネルギー消費量）	45	43	42	42	38	34	29

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	15%	23%	28%	33%	39%	50%	71%
消費（最終エネルギー消費量）	17%	24%	30%	34%	36%	48%	70%
発電電力量	31%	44%	50%	58%	55%	73%	86%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	22%	25%	27%	29%	30%	38%	49%
産業部門	31%	31%	37%	38%	40%	47%	54%
運輸部門	2%	4%	6%	8%	7%	14%	32%
建築物部門	33%	35%	37%	39%	42%	48%	55%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	34	45	44	47	55	82	107
水力発電	130	136	137	140	140	141	143
太陽光発電	107	204	243	281	284	512	784
風力	169	235	288	360	319	469	621

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	250	420	460	520	720	860	970

エネルギー関連 CO₂ 排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	3.4	2.6	2.2	1.9	1.9	1.2	0.6
現状に対する削減率	NA	-22%	-35%	-42%	-43%	-64%	-82%

● 欧州連合

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

電力部門	980	1 450
- 再生可能エネルギー	380	780
- 非再生可能エネルギー	220	120
- 電力系統および系統柔軟性	380	560
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	60	80
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	180	320
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	890	1 300
バイオ燃料供給	20	50
再エネ由来水素 - 水電解装置	0	7



欧州連合

本報告書では、2019 年 4 月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030 年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019 年第 3 四半期時点の進展状況を考慮した IRENA 報告書 (IRENA, 2019b; 2019c) で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050 年までの社会経済展望

● 欧州連合

2019 (推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	511 528	506 687	496 892
--------------	---------	---------	---------



GDP (ドル、2015 年)

GDP (百万): PES	20 903 940	26 987 610	34 800 915
GDP (百万): TES	21 279 174	27 940 359	37 372 375
GDP の差 (百万): TES-PES	375 234	952 749	2 571 460
GDP の差 (%): TES-PES	1.8	3.5	7.4
1 人あたり GDP (千): PES	40.9	53.3	70.0
1 人あたり GDP (千): TES	41.6	55.1	75.2

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

雇用者数: PES	237 331	241 626	228 604
雇用者数: TES	238 323	244 026	234 073
雇用者数の差: TES-PES	992	2 400	5 469
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.42%	0.99%	2.39%



● 欧州連合

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	104	118	73	96	27
化石燃料	1 113	1 645	1 135	1 346	726
再生可能エネルギー	1 290	1 730	1 636	2 502	2 701
エネルギー効率化	312	1 715	1 496	2 723	1 717
電力系統および エネルギー柔軟性	483	694	574	757	821
合計	3 303	5 901	4 914	7 424	5 993
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		2.4%	2.1%	3.0%	2.6%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	661	736	709	968	1 065
太陽光	139	282	311	646	866
水力	136	245	151	280	144
風力	344	456	454	592	608
地熱	9	10	9	13	15
海洋	1	1	2	2	4
合計	1 290	1 730	1 636	2 502	2 701
エネルギー部門の雇用における再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		29.3%	33.3%	33.7%	45.1%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	5 469
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-454
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	1 533
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	1 079

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● 欧州連合

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	629	建設・設置	600	一般作業員・ 技能者	1 101
太陽熱	221	製造	549	熟練技能者	164
陸上風力	443	運用・保守	324	技術者	139
洋上風力	165	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	69
地熱	15				
合計	1 473		1 473		1 473



欧州連合

福祉水準の向上
(%): TES-PES

2030

2050

指数

経済	0.9	2.0
社会	3.1	5.1
環境	1.7	3.5
合計	5.7	10.6



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, *Global Environmental Change* 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018), World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換 その他欧州

地域分析は、以下の国を対象にしている。

- ・アルバニア
- ・アンドラ
- ・ベラルーシ
- ・ボスニア・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
- ・ノルウェー
- ・モルドバ共和国
- ・ロシア連邦
- ・セルビア
- ・スイス
- ・北マケドニア
- ・ウクライナ

状況/特徴とニーズ:

人口（億人）



現在: 世界人口の3%を占める。
国別の比率ではロシア連邦（61%）が過半数を占め、ウクライナ（19%）が後に続く。

2050年展望: 年平均で0.3%減少して2億800万人となる見込み。
世界人口の2.2%を占める。

E3MEに基づくIRENAの分析による。

1人あたりGDP
（千ドル、2015年）



現在: 世界平均（1万900ドル）を上回る。

2050年展望: わずかな成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率= 1.5%

E3MEに基づくIRENAの分析による。



<p>エネルギー消費量(GJ/人)とエネルギーへのアクセス(%)</p>	<p>1人あたりのエネルギー消費量: 現在:世界平均(51 GJ/年)を大きく上回っている。</p>	<p>電力アクセス率: 本地域は長年にわたり、100%電化を達成している。</p>	<p>クリーンな調理用燃料へのアクセス率: 8%の地域でアクセスを持たない。主に農村地域で、調理や家庭用暖房における非効率なバイオマスストーブの利用がわずかにみられる。</p>
			

出所: 電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ (IEA, 2019)に基づく。

<p>化石燃料純輸入率</p>  <p>低い</p>	<p>現状: 化石燃料の純輸出地域(主にロシア連邦)。世界最大の石油・ガス輸出国であり、世界の他の地域のエネルギー消費の約 6%をカバーしている (2018 年)。</p> <p>2050 年展望: 未開発の再生可能エネルギーポテンシャルが多く存在する。 ▶ 現行計画シナリオ: 総発電電力量(推定 1,997 TWh)は、再生可能エネルギー電力のポテンシャル全体の 7%を占める。</p>
--	---

出所: 一次エネルギー供給量の 2017 年データ(IEA, 2019)における化石燃料の純輸入量比率に基づく IRENA の分析による。2050 年展望、IRENA 分析とポテンシャルは Deng et al. (2015)に基づく。

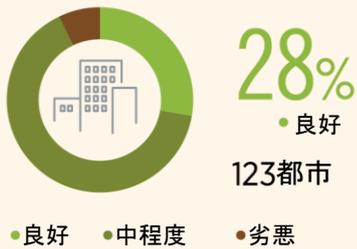
<p>エネルギー集約型産業(世界消費に占める比率)</p>  <p>2017年</p>	<p>現状: 世界のエネルギー需要のうち、鉄鋼業においては 11%以上、化学・石油化学産業においては約 8%、食品・たばこ産業では約 7%を占める。</p> <p>2050 年展望: 代替となる脱炭素技術ソリューションが必要となる。</p>
--	--

注: 現状と IRENA の分析は、2017 年データ(IEA, 2019)に基づく。

<p>1人あたりエネルギー関連CO₂排出量(t CO₂/人)</p> 	<p>現状: 地域の年間排出量: 2.1 Gt(2018 年)世界のエネルギー関連排出量の 6%を占める。</p> <p>2050 年展望: ▶ 現行計画シナリオ: 現在の政策により、7%増加して 2.3 Gt となる見込み。</p>
--	---

注: 2050 年データは IRENA の分析に基づく。過去データは Global Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



ノルウェーやスイスと比較して欧州南東部などの一部の国々では PM 2.5 の濃度レベルが高く、大気汚染が問題となっている。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

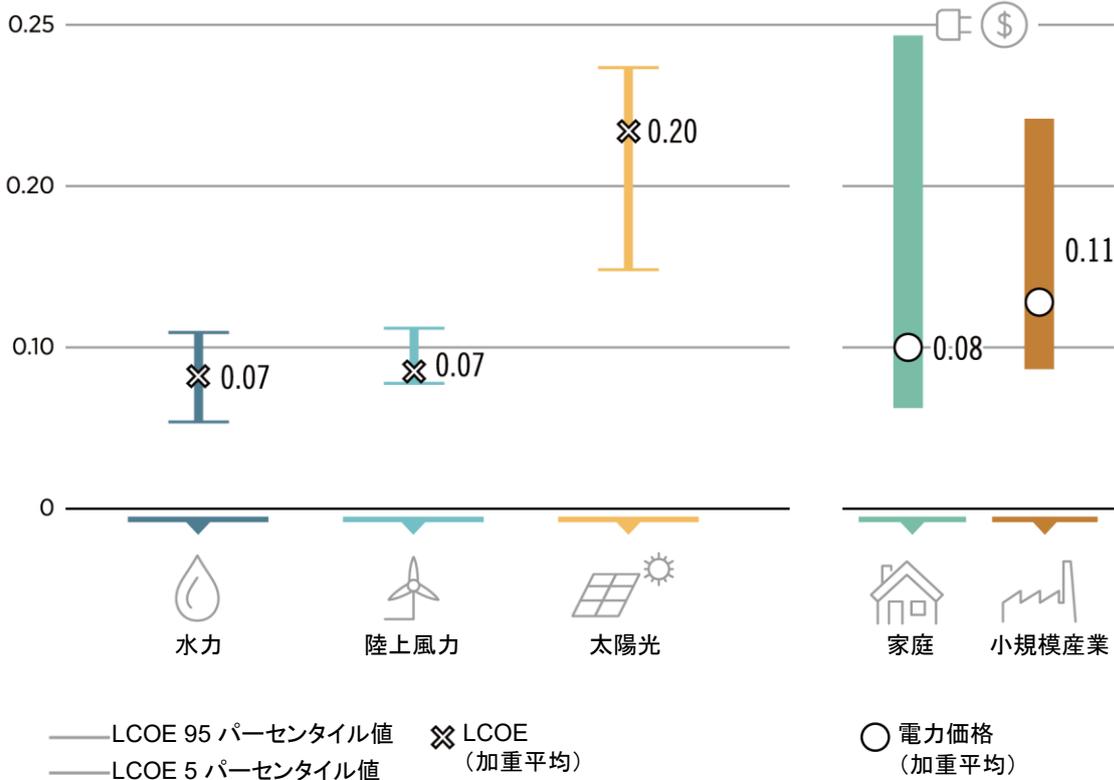
その他アジア地域と並んで、世界全体で中東・北アフリカに次いで電力価格が低い。

再生可能エネルギーコストと入札:

過去事例における平均 LCOE は、太陽光発電が 0.08 ドル/kWh、風力発電が 0.05 ドル/kWh であった。

その他欧州

LCOE 2018
(ドル/kWh)



LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

持続可能な発展

- ▶ 低廉なエネルギーの提供
- ▶ 経済成長と競争力の強化
- ▶ エネルギー部門の雇用増加
- ▶ 福祉水準の向上



2

エネルギーの安定供給

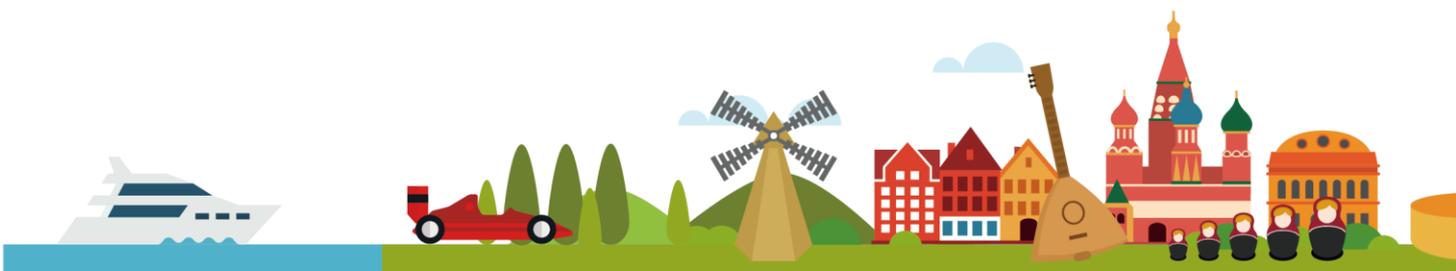
- ▶ 石油・ガスへの依存の緩和（純輸入国）
- ▶ ロシア連邦などの化石燃料純輸出国の経済およびエネルギー供給の多様化



3

気候安定性

- ▶ 大気質の改善
- ▶ 再生可能エネルギー利用の増加
- ▶ コスト効率の高い道筋での気候目標実現



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●その他欧州

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	39	46	46	47	38	36	33
消費（最終エネルギー消費量）	24	29	30	30	23	21	18

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	6%	10%	10%	12%	19%	34%	54%
消費（最終エネルギー消費量）	7%	9%	11%	12%	20%	37%	61%
発電電力量	27%	28%	28%	31%	42%	63%	82%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	18%	18%	20%	22%	23%	28%	38%
産業部門	20%	22%	24%	25%	27%	30%	35%
運輸部門	6%	6%	8%	12%	12%	21%	37%
建築物部門	21%	24%	26%	28%	28%	33%	42%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	2	3	6	17	27	56	83
水力発電	111	105	95	94	127	140	157
太陽光発電	3	25	25	38	39	58	107
風力発電	2	16	31	45	33	57	79

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	10	120	180	230	220	340	470

エネルギー関連CO₂排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	2	2.4	2.3	2.3	1.6	1.2	0.7
現状に対する削減率	NA	17%	15%	12%	-19%	-42%	-68%

● その他欧州

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

電力部門	250	330
- 再生可能エネルギー	40	210
- 非再生可能エネルギー	160	50
- 電力系統および系統柔軟性	50	60
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	50	70
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	120	200
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	570	830
バイオ燃料供給	20	80
再エネ由来水素 - 水電解装置	1	10



その他欧州

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● その他欧州

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	230 174	223 224	208 212
--------------	---------	---------	---------



GDP (ドル、2015年)

GDP (百万): PES	2 991 058	3 242 176	4 289 467
GDP(百万): TES	3 150 705	3 181 845	4 356 940
GDPの差 (百万): TES-PES	159 647	-60 332	67 473
GDPの差 (%): TES-PES	5.3	-1.9	1.6
1人あたりGDP (千): PES	13.0	14.5	20.6
1人あたりGDP (千): TES	13.7	14.3	20.9

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

雇用者数: PES	144 339	148 766	154 839
雇用者数: TES	144 472	148 635	154 527
雇用者数の差: TES-PES	133	-131	-313
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.09%	-0.09%	-0.20%



●その他欧州

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	167	181	184	148	65
化石燃料	3 139	3 085	2 962	2 771	2 407
再生可能エネルギー	275	500	716	1 044	1 730
エネルギー効率化	420	373	435	577	940
電力系統および エネルギー柔軟性	927	964	1 001	978	1 063
合計	4 928	5 103	5 298	5 518	6 205
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		3.4%	3.4%	3.7%	4.0%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	97	228	395	579	1 049
太陽光	31	82	169	193	450
水力	143	128	50	171	86
風力	4	61	97	95	122
地熱	1	1	5	5	23
海洋	0	0	0	0	0
合計	275	500	716	1 044	1 730
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の 雇用 (%)		9.8%	13.5%	18.9%	27.9%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	-313
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-674
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	1 581
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	908

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● その他欧州

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	311	建設・設置	400	一般作業員・ 技能者	485
太陽熱	138	製造	34	熟練技能者	49
陸上風力	122	運用・保守	160	技術者	53
洋上風力	-	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	8
地熱	23				
合計	594		594		594



その他欧州

福祉水準の向上
(%): TES-PES

2030

2050

指数

経済	(0.3)	0.2
社会	4.2	7.8
環境	2.1	4.5
合計	6.0	12.4



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, *Global Environmental Change* 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

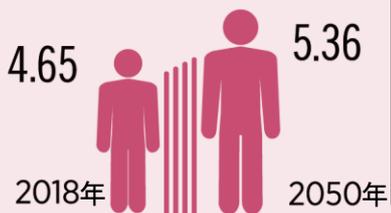
エネルギー転換

ラテンアメリカ・ カリブ諸国

地域分析は、カリブ海諸島と中米から南米最南端までの地域を対象にしている。

状況/特徴とニーズ:

人口（億人）



現在: 世界人口の 6.1% を占める。
国別の比率ではブラジルが最も高く（40%）、次にコロンビア（10%）、アルゼンチン（9%）の順である。

2050 年 展望: 年平均で 0.4% 増加して 5 億 3,600 万人となる見込み。
世界人口の 5.7% を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

1 人あたり GDP
（千ドル、2015 年）

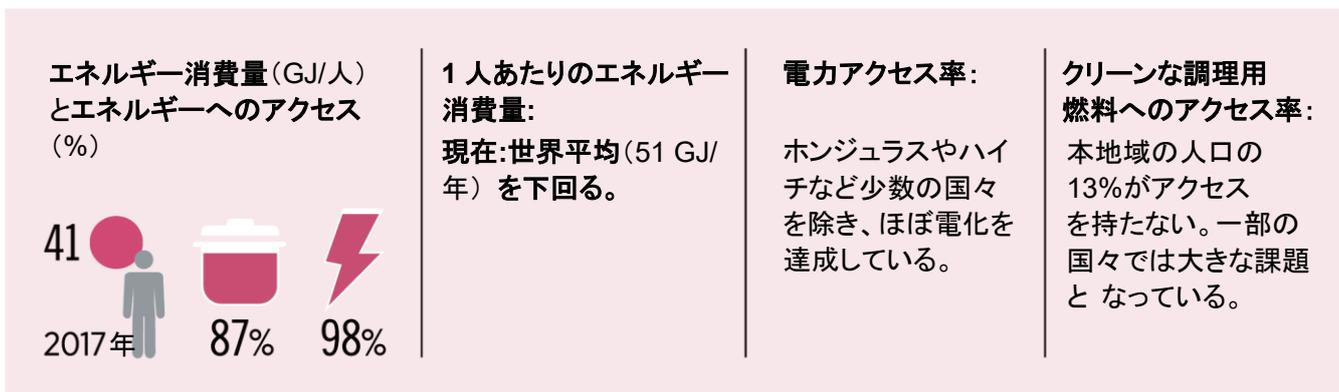


現在: 世界平均（1 万 900 ドル）を下回る。

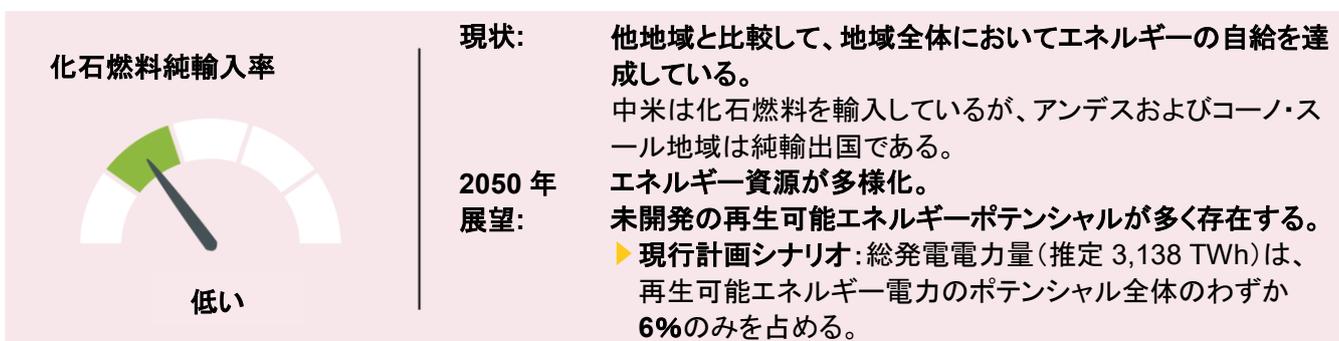
2050 年 展望: 急速な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率 = 3.8%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

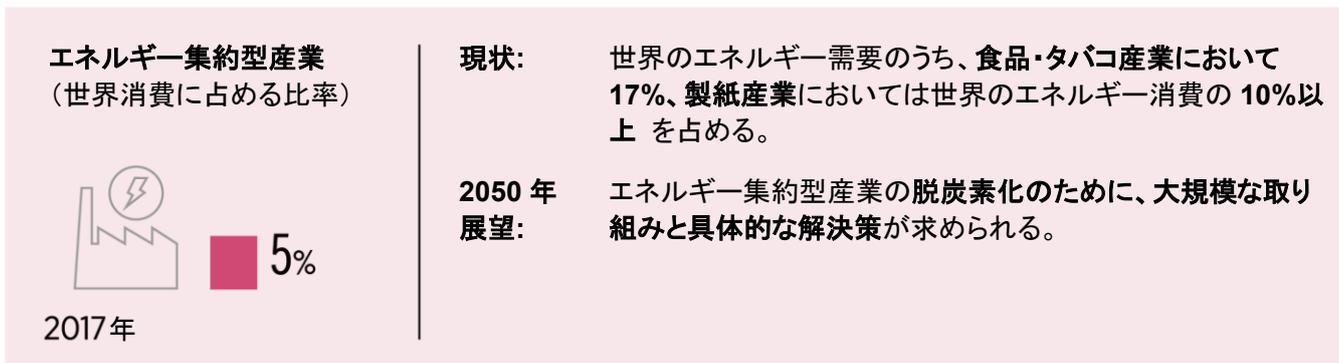




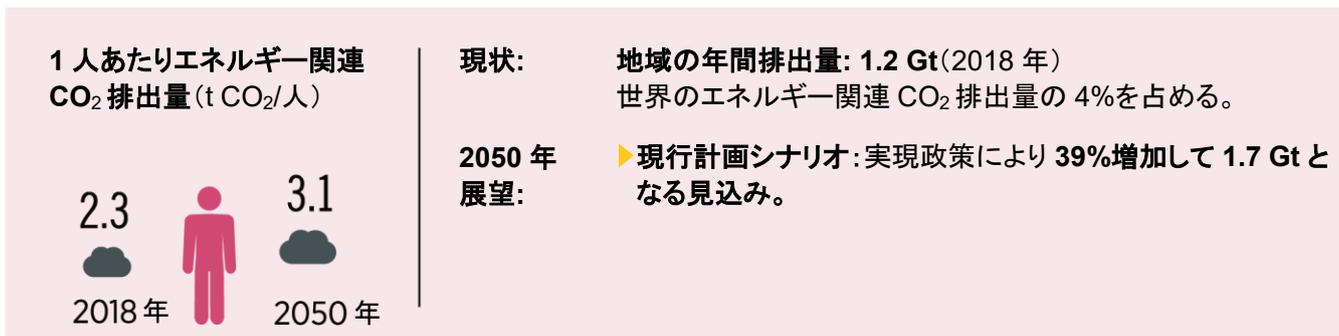
出所: 電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ (IEA, 2019)に基づく。



注: 現状、IRENA の分析は、2017 年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入量比率に基づく。2050 年展望、IRENA 分析とポテンシャルは Deng et al. (2015)に基づく。

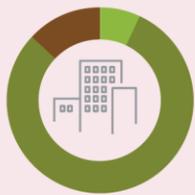


注: 現状、IRENA の分析は 2017 年データ(IEA, 2019)に基づく。



注: 2050 年データは IRENA の分析に基づく。過去データは Global Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



7%

● 良好

91都市

● 良好 ● 中程度 ● 劣悪

継続的な人口増加と都市化に伴い、運輸部門からの CO₂ 排出量が増加している。

現在の計画では、軽車両の販売は増加するが、交通渋滞や地域汚染も深刻化すると考えられる。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

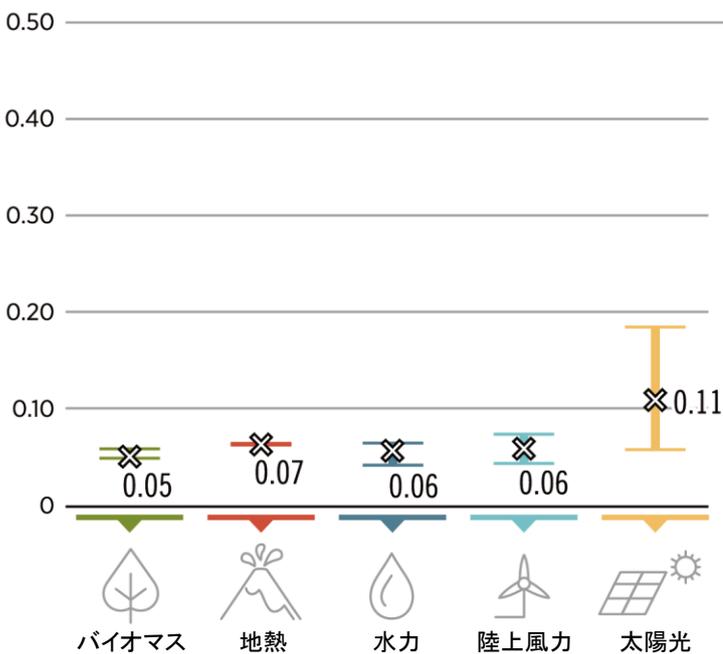
他地域と比較して、家庭用・産業用ともに中間帯に位置する。

再生可能エネルギーコストと入札:

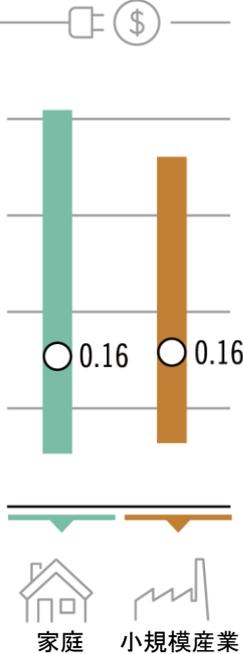
コスト競争力がある。アルゼンチンの風力発電は 2017 年に平均 0.041 ドル/kWh を達成した。ブラジルの太陽光発電は 2019 年に平均 0.021 ドル/kWh を達成した(IRENA, 2019a)。水力発電は依然として競争力がある。

ラテンアメリカ・カリブ諸国

LCOE 2018
(ドル/kWh)



電力価格
(ドル/kWh)



— LCOE 95 パーセンタイル値 ✕ LCOE (加重平均)
— LCOE 5 パーセンタイル値

○ 電力価格 (加重平均)

出所: LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

廉価でアクセス可能なエネルギー

- ▶ 電力系統コストの削減
- ▶ 無電化地域への分散型再生可能エネルギー源の導入
- ▶ クリーンな調理用燃料へのアクセスの向上



2

エネルギーの安定供給、気候変動に対するレジリエンス

- ▶ 気候変動などのリスクに対するレジリエンスの向上
- ▶ エネルギー供給の多様化
- ▶ エネルギー効率改善によるエネルギー需要の低減
- ▶ インフラの改善



3

クリーンで気候にやさしい経済

- ▶ 経済発展
- ▶ 化石燃料からのエネルギー転換による貿易利益
- ▶ 大気質と地域の環境問題の改善
- ▶ 市民の意識啓発と活性化



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●ラテンアメリカ・カリブ諸国

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	27	35	42	46	30	32	33
消費（最終エネルギー消費量）	21	27	31	34	22	22	21

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	30%	40%	42%	46%	53%	63%	73%
消費（最終エネルギー消費量）	30%	36%	37%	40%	47%	57%	67%
発電電力量	65%	73%	75%	79%	85%	90%	93%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	18%	22%	24%	26%	26%	31%	39%
産業部門	21%	24%	24%	25%	27%	29%	33%
運輸部門	0.2%	1%	1%	2%	9%	14%	24%
建築物部門	45%	58%	63%	67%	61%	70%	78%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	19	45	61	79	50	72	94
水力発電	173	181	201	226	186	211	240
太陽光発電	5	76	128	177	108	196	281
風力	17	74	111	148	93	141	188

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	310	610	740	790	610	750	730

エネルギー関連CO₂排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	1.2	1.4	1.6	1.7	1	0.8	0.6
現状に対する削減率	NA	19%	35%	38%	-21%	-35%	-54%

● ラテンアメリカ・カリブ諸国

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

	2016-2050 (PES)	目標 2016-2050 (TES)
電力部門	390	450
- 再生可能エネルギー	210	280
- 非再生可能エネルギー	50	30
- 電力系統および系統柔軟性	130	150
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	70	110
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	100	190
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	290	420
バイオ燃料供給	24	25
再生エネルギー由来水素 - 水電解装置	0.3	5



ラテンアメリカ・カリブ諸国

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮した。IRENA 報告書 (IRENA, 2019b; 2019c) で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050 年までの社会経済展望

● ラテンアメリカ・カリブ諸国

2019 (推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	2019 (推定)	2030	2050
	474 076	505 546	535 802



GDP (ドル、2015年)

	2019 (推定)	2030	2050
GDP (百万): PES	3 679 104	5 158 950	13 240 587
GDP (百万): TES	3 700 954	5 194 779	13 563 681
GDP の差 (百万): TES-PES	21 850	35 828	323 093
GDP の差 (%): TES-PES	0.6	0.7	2.4
1人あたり GDP (千): PES	7.8	10.2	24.7
1人あたり GDP (千): TES	7.8	10.3	25.3

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

	2019 (推定)	2030	2050
雇用者数: PES	272 097	282 324	251 102
雇用者数: TES	272 239	281 399	250 700
雇用者数の差: TES-PES	143	-925	-402
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.05	-0.33	-0.16



●ラテンアメリカ・カリブ諸国

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	8	12	8	10	6
化石燃料	1 180	1 104	953	962	700
再生可能エネルギー	2 027	2 575	2 585	3 295	3 212
エネルギー効率化	887	870	735	1 211	818
電力系統および エネルギー柔軟性	364	466	403	463	455
合計	4 467	5 026	4 685	5 941	5 190
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		1.80%	1.90%	2.10%	2.10%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	1 620	1 971	1 875	2 331	2 133
太陽光	64	173	301	474	570
水力	300	320	264	351	306
風力	42	109	143	136	199
地熱	1	2	2	2	4
海洋	0	0	0	0	0
合計	2 027	2 575	2 585	3 295	3 212
エネルギー部門の雇用における再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		51.2%	55.2%	55.5%	61.9%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	-402
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-255
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	761
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	506

▶ 2050年の雇用者数: エネルギー転換シナリオ / ● ラテンアメリカ・カリブ諸国

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	276	建設・設置	372	一般作業員・ 技能者	631
太陽熱	293	製造	225	熟練技能者	64
陸上風力	195	運用・保守	174	技術者	52
洋上風力	5	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	25
地熱	4				
合計	771		771		771



ラテンアメリカ・
カリブ諸国

福祉水準の向上
(%) : TES - PES

2030

2050

指数

経済	-0.1	0.2
社会	2.8	10.0
環境	2.2	4.6
合計	5.0	14.8



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.
 Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.
 Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).
 IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.
 IRENA (2019a), *Renewable energy auctions: Status and trends beyond price*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
 IRENA (2019b), *Renewable Cost Database*, 2019.
 IRENA (2019c), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
 IRENA (2019d), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
 WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).
 World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.
 World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換

中東・北アフリカ

状況/特徴とニーズ:

地域分析は、湾岸諸国、その他の中東地域、北アフリカの主な石油・ガス輸出国と純輸入国を対象にしている。

中東:

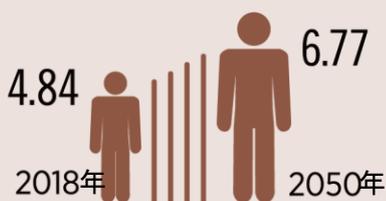
- ・バーレーン
- ・イラン(イスラム共和国)
- ・イラク
- ・イスラエル
- ・ヨルダン
- ・クウェート
- ・レバノン

- ・オマーン
- ・カタール
- ・サウジアラビア
- ・パレスチナ
- ・シリア・アラブ共和国
- ・アラブ首長国連邦
- ・イエメン

北アフリカ:

- ・アルジェリア
- ・エジプト
- ・リビア
- ・モロッコ
- ・チュニジア
- ・西サハラ
- ・ジブチ

人口(億人)



現在:

世界人口の6%を占める。
地域別の比率では、エジプトが最も高く(22%)、イラン(18%)とアルジェリア(9.4%)が続く。

2050年 展望:

年平均で1.1%増加して6億7,700万人となる見込み。
世界人口の7%を占める。

E3MEに基づくIRENAの分析による。

1人あたりGDP (千ドル、2015年)



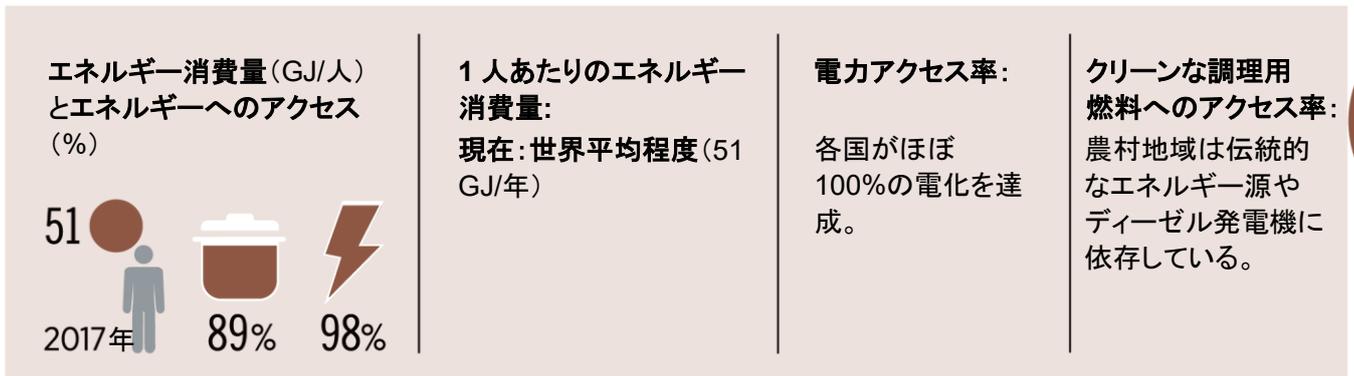
現在:

世界平均(1万900ドル)を下回る。

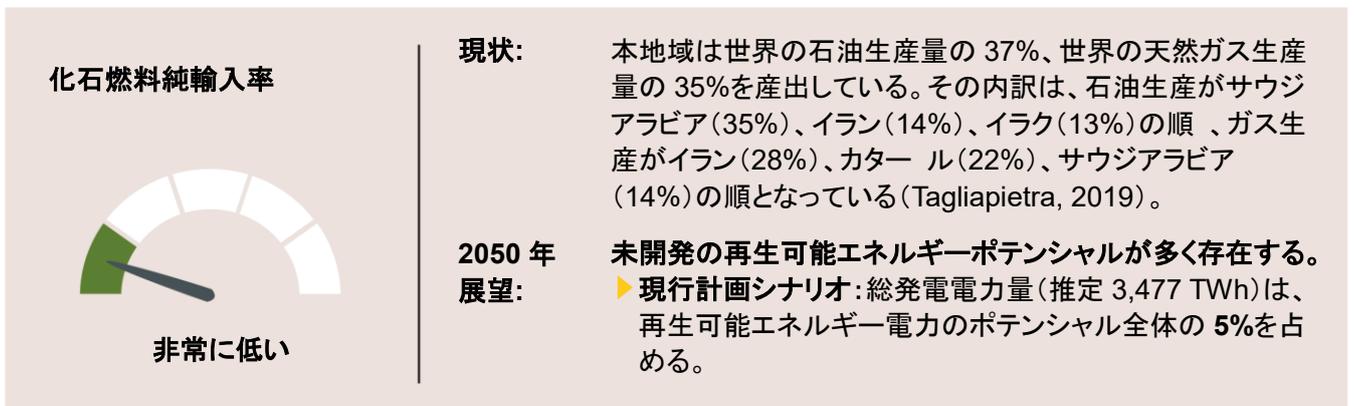
2050年 展望:

十分な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率= 3%

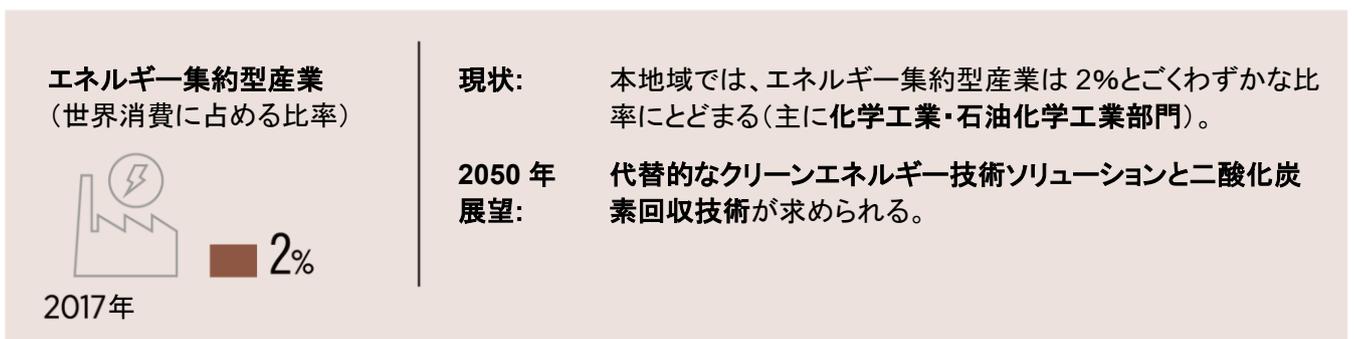
E3MEに基づくIRENAの分析による。



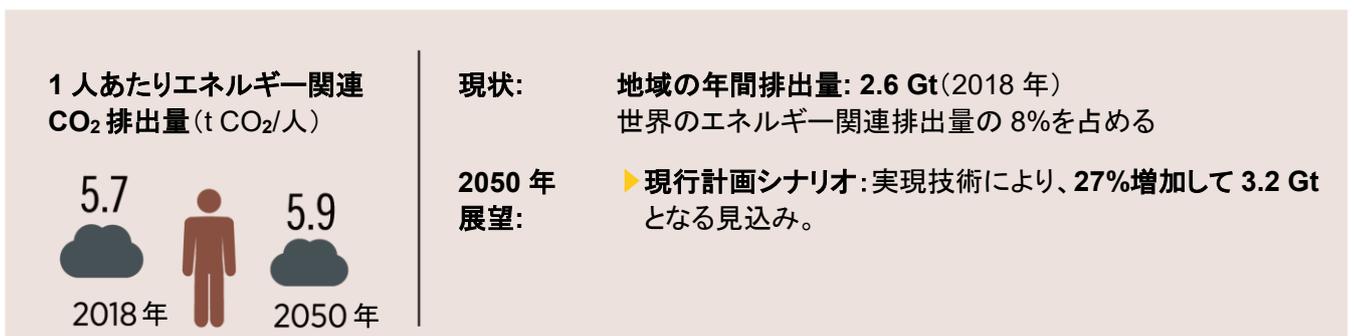
出所: 電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ (IEA, 2019)に基づく。



注: 現状、IRENA の分析は、2017 年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入率に基づく。2050 年展望、IRENA 分析とポテンシャルは Deng et al. (2015)に基づく。

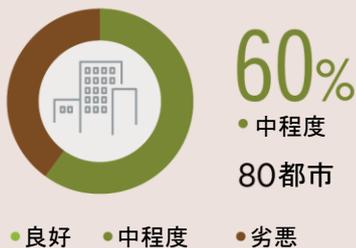


2017 年データ(IEA, 2019)に基づく IRENA の分析による。



注: 2050 年データは IRENA の分析に基づく。過去データは Global Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



大気質はここ数十年で急激に悪化した。低・中所得帯の中東・北アフリカ諸国において、人口 10 万人以上の都市 (3%) のほとんどが WHO の大気質ガイドライン (2018 年) を満たしていない。

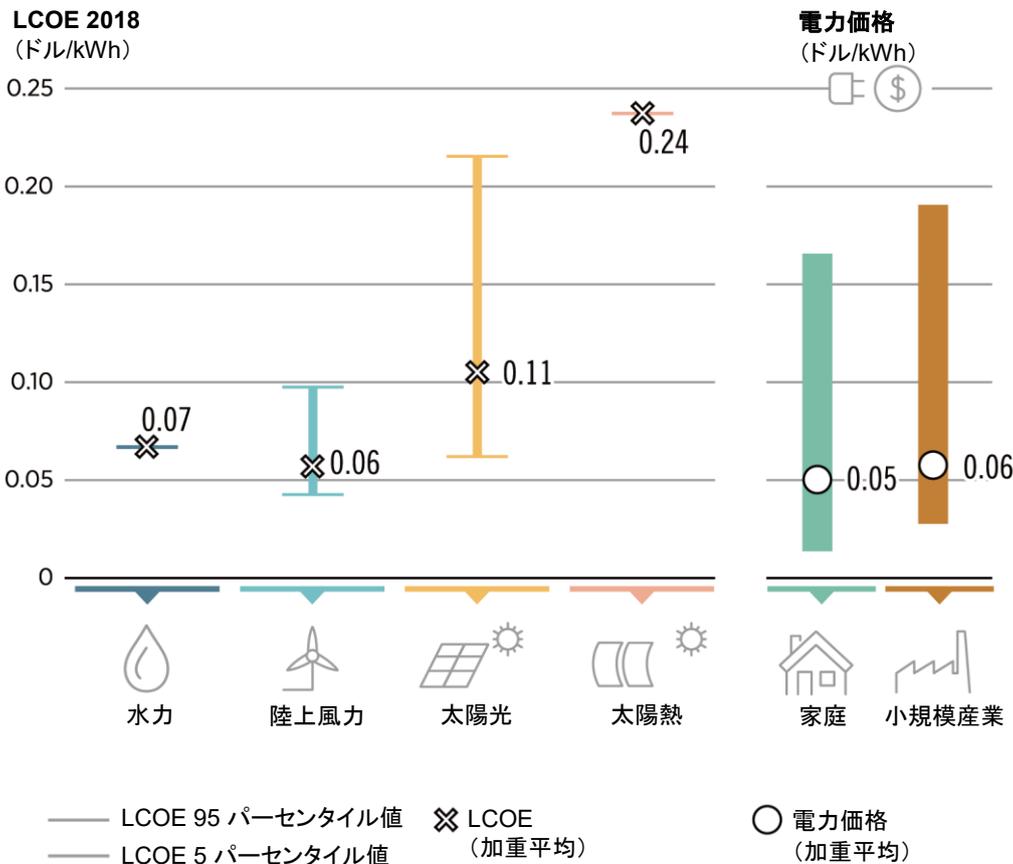
PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:
化石燃料への補助金により、他地域と比較して最も価格が低い。

再生可能エネルギーコストと入札:
2019 年に、モロッコは太陽熱・太陽光の先進的複合発電所の入札を実施し、史上最低価格であるピーク時料金 0.071ドル/kWh (IRENA, 2019 a) を達成。また、アラブ首長国連邦は、太陽光発電電力を 0.299ドル/kWh (IRENA, 2017) で契約した。

中東・北アフリカ



LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。
 注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

CO₂ 排出量と
地域の大気汚染
の緩和

- ▶ CO₂ 排出量の削減
- ▶ 地域の大気質の改善
- ▶ 農村地域へのエネルギーサービスの拡大



2

エネルギーの
安定供給と経済
的自立

- ▶ エネルギー供給の多様化
- ▶ 石油輸入国の輸入依存度の低減
- ▶ 石油輸出国による高付加価値品（水素・合成燃料など）の輸出への注力
- ▶ 国境を越えた電力取引



3

持続可能な発展

- ▶ 経済の多様化と持続可能な経済活動
- ▶ 地域の雇用創出
- ▶ 福祉水準の向上



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

● 中東・北アフリカ

2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	40	52	60	62	39	36	30
消費（最終エネルギー消費量）	23	33	39	41	25	24	20

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	1%	4%	6%	7%	9%	16%	26%
消費（最終エネルギー消費量）	1%	4%	4%	5%	8%	15%	26%
発電電力量	3%	14%	17%	20%	27%	39%	53%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	19%	16%	18%	20%	20%	27%	38%
産業部門	12%	8%	8%	9%	12%	15%	20%
運輸部門	0.1%	0.3%	1%	2%	2%	7%	15%
建築物部門	43%	44%	46%	50%	48%	59%	77%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	0	2	2	3	2	3	3
水力発電	20	18	21	23	20	23	26
太陽光発電	2	53	71	85	66	108	147
風力発電	2	51	100	138	76	158	212

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	NA	30	30	40	40	50	60

エネルギー関連 CO₂ 排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	2.5	2.9	3.2	3.2	2	1.6	1.1
現状に対する削減率	NA	16%	29%	30%	-20%	-34%	-56%

● 中東・北アフリカ

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016～2050 年における年平均) 億ドル/年

	2016-2050 (PES)	目標 2016-2050 (TES)
電力部門	550	530
- 再生可能エネルギー	90	160
- 非再生可能エネルギー	220	140
- 電力系統および系統柔軟性	240	230
産業部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	80	110
運輸部門 (電化+エネルギー効率化)	110	150
建築物部門 (再生可能エネルギー+エネルギー効率化)	520	760
バイオ燃料供給	11	30
再エネ由来水素 - 水電解装置	3	28



本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA, 2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● 中東・北アフリカ

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	2019(推定)	2030	2050
	491 460	567 708	677 439



GDP (ドル、2015年)

	2019(推定)	2030	2050
GDP (百万): PES	4 516 464	7 372 988	15 494 435
GDP(百万): TES	4 580 811	7 358 619	15 112 505
GDPの差 (百万): TES-PES	64 347	-14 368	-381 930
GDPの差 (%): TES-PES	1.4	-0.2	-2.5
1人あたりGDP (千): PES	9.2	13.0	22.9
1人あたりGDP (千): TES	9.3	13.0	22.3

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

	2019(推定)	2030	2050
雇用者数: PES	175 696	187 016	186 184
雇用者数: TES	175 742	186 825	185 801
雇用者数の差: TES-PES	46	-191	-382
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.03%	-0.10%	-0.21%



● 中東・北アフリカ

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	15	56	70	55	42
化石燃料	2 815	3 693	3 379	3 257	2 625
再生可能エネルギー	542	789	895	1 226	2 064
エネルギー効率化	1 113	1 809	1 328	2 731	1 537
電力系統および エネルギー柔軟性	622	927	885	900	1 014
合計	5 108	7 274	6 557	8 168	7 283
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		3.9%	3.5%	4.4%	3.9%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	196	290	282	584	846
太陽光	88	180	265	283	703
水力	250	262	250	266	239
風力	7	55	93	90	273
地熱	1	2	4	3	4
海洋	0	0	0	0	0
合計	542	789	895	1 226	2 064
エネルギー部門の雇用における再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		10.8%	13.6%	15.0%	28.3%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	-382
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-782
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	1 507
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	726

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● 中東・北アフリカ

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光発電	343	建設・設置	559	一般作業員・ 技能者	774
太陽熱温水器	332	製造	153	熟練技能者	80
陸上風力	273	運用・保守	240	技術者	76
洋上風力	0	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	22
地熱	4				
合計	952		952		952



中東・北アフリカ

福祉水準の向上
(%): TES-PES

2030

2050

指数

経済	0.0	0.0
社会	4.3	7.7
環境	1.9	4.6
合計	6.2	12.3



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable energy auctions: Status and trends beyond price*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019b), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019c), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019d), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2017), *Renewable Energy Auctions: Analysing 2016*. IRENA, Abu Dhabi.

Tagliapietra, S. (2019), *The impact of the global energy transition on MENA oil and gas producers*, Energy Strategy Reviews 26, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100397>.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018), World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換 北米

地域分析は、以下の三カ国を対象にしている。

- ・カナダ
- ・メキシコ
- ・米国

状況/特徴とニーズ:

人口（億人）



現在: 世界人口の 6.5% を占める。
米国が半数以上を占め（67%）、メキシコ（26%）、カナダ（7%）が続く。

2050年展望: 年平均 0.6% 増加して 5 億 9,100 万人となる見込み。
世界人口の 6.3% を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

1人あたり GDP
(千ドル、2015年)

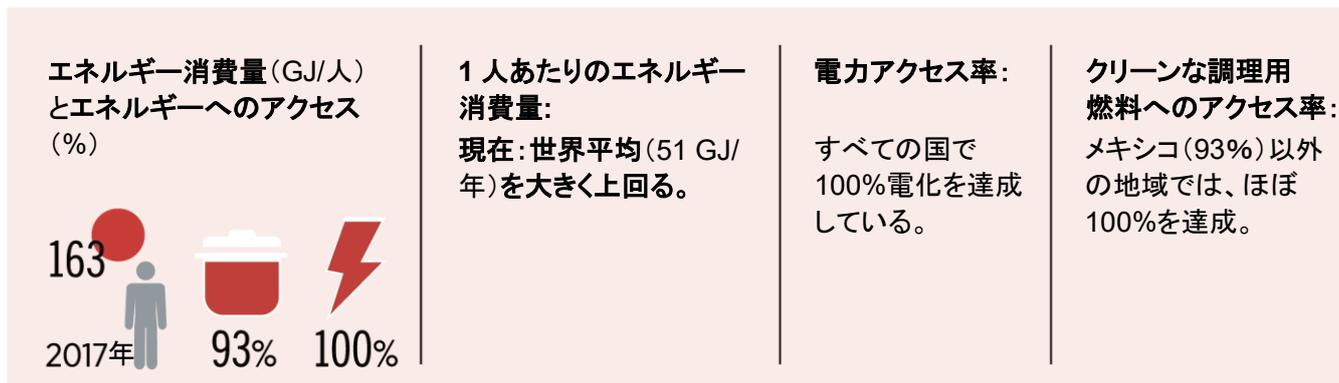


現在: 世界平均(1万900ドル) を大きく上回る。

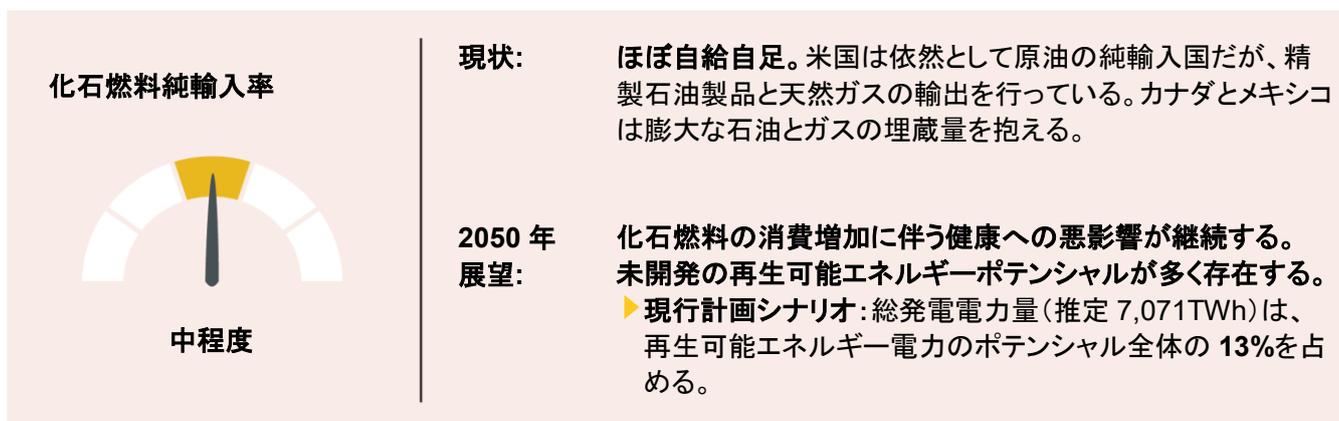
2050年展望: わずかな成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率= 1.6%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

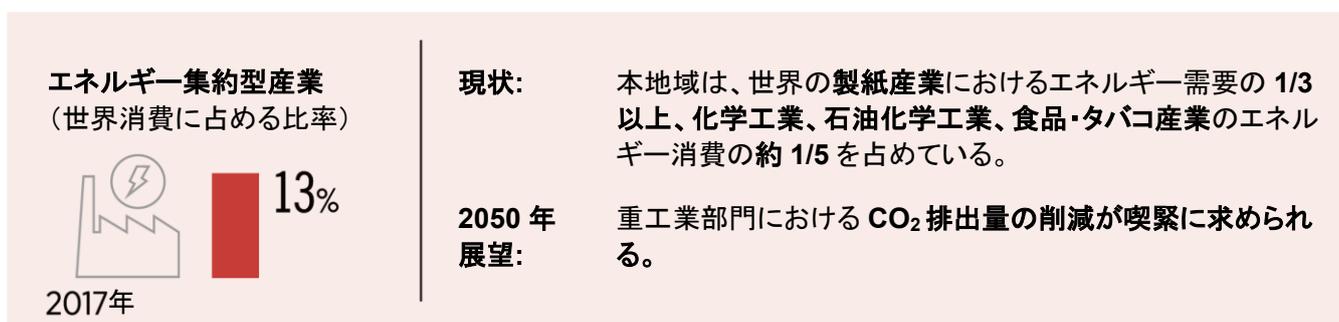




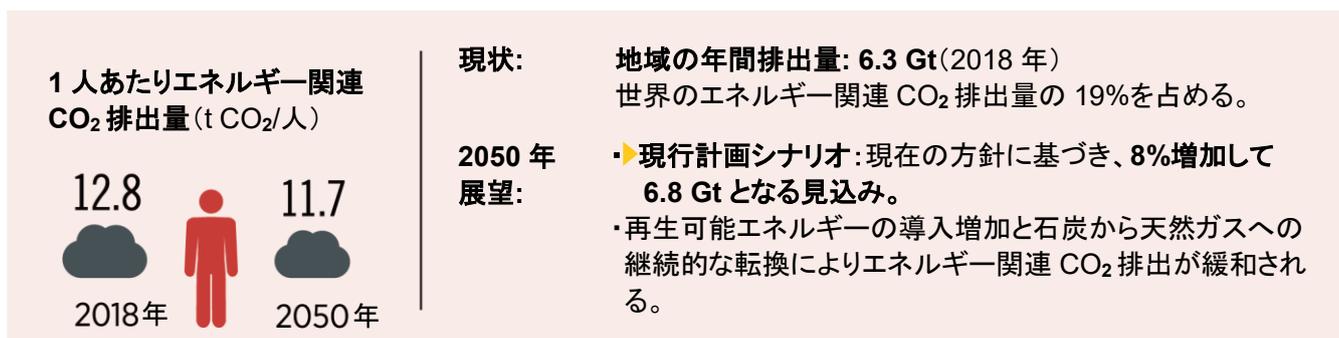
出所: 電力アクセス率は 2017 年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は 2016 年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は 2017 年データ (IEA, 2019)に基づく。



注: 現状、IRENA の分析は、2017 年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入比率に基づく。2050 年展望、IRENA 分析とポテンシャルは Deng et al. (2015)に基づく。



2017 年データ(IEA, 2019)に基づく IRENA の分析による。



注: 2050 年データは IRENA の分析に基づく。過去データは Global Carbon Atlas (2019)に基づく。

都市大気質 (%)



- ・都市人口の80%が、大都市に集中する傾向にある。
- ・主に運輸部門からのCO₂排出により、都市の18%で中等度から深刻な水準の大気汚染が見られる。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

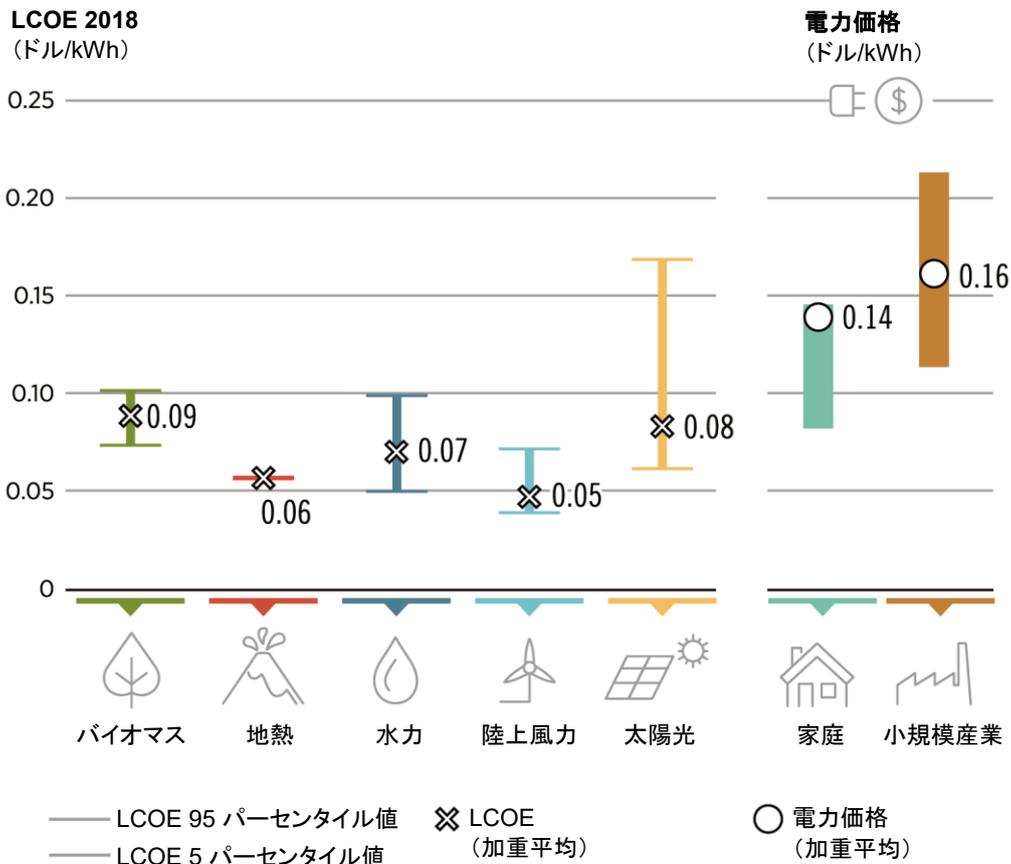
電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:
家庭用、産業用ともに世界平均を上回っている。

再生可能電力コスト:
石炭や天然ガスと比較して競争力がある。コストは世界で最も低く、太陽光発電は平均 0.08 ドル/kWh、風力発電は 0.05 ドル/kWh (2018) である。

入札価格:
他の地域よりも低い。新規太陽光発電設備は約 0.02-0.03 ドル/kWh を達成し、新規風力発電設備は約 0.03-0.04 ドル/kWh である。

北米



LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

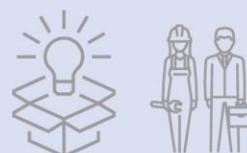


エネルギー転換：主な便益

1

最先端のイノベーション

- ▶ 高度な製造とサービスの実現
- ▶ エネルギーシステムのコスト削減
- ▶ 高付加価値雇用の創出



2

エネルギーの安定供給

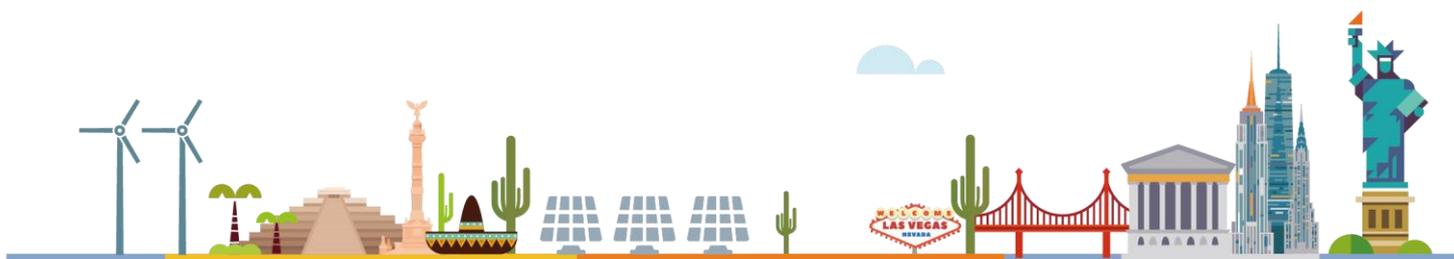
- ▶ 地域エネルギー自給率の向上
- ▶ 高いエネルギー効率
- ▶ 再生可能エネルギー電力・機器の導入
- ▶ 地域間連系の改善



3

社会経済の発展

- ▶ 経済成長
- ▶ 経済全体およびエネルギー部門の雇用の増加
- ▶ 環境と福祉の改善



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●北米

2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	112	116	120	127	90	86	82
消費（最終エネルギー消費量）	79	86	89	93	69	64	58

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	10%	13%	14%	17%	30%	50%	67%
消費（最終エネルギー消費量）	10%	12%	13%	15%	29%	48%	68%
発電電力量	23%	30%	33%	38%	60%	79%	85%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

最終消費部門	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	20%	21%	21%	22%	28%	40%	52%
産業部門	20%	19%	19%	19%	20%	25%	28%
運輸部門	0.2%	1%	2%	2%	13%	35%	57%
建築物部門	48%	48%	49%	50%	54%	63%	78%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	16	19	18	30	22	26	25
水力発電	177	182	198	238	180	192	204
太陽光発電	45	153	296	512	485	1 054	1 728
風力発電	104	174	189	191	448	946	1 314

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	640	630	620	700	960	1 440	1 830

エネルギー関連 CO₂ 排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	6.2	6.6	6.7	6.8	3.7	2.5	1.4
現状に対する削減率	NA	7%	8%	10%	-41%	-59%	-77%

●北米

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

電力部門	1 170	1 950
- 再生可能エネルギー	310	1 080
- 非再生可能エネルギー	450	220
- 電力系統および系統柔軟性	410	650
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	180	270
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	290	970
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	1 180	1 770
バイオ燃料供給	5	59
再エネ由来水素 - 水電解装置	0.5	21



北米

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

●北米

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	496 175	536 927	590 667
--------------	---------	---------	---------



GDP (ドル、2015年)

GDP (百万): PES	21 913 288	27 877 680	42 199 950
GDP(百万): TES	22 188 303	28 117 917	42 814 939
GDPの差 (百万): TES-PES	275 016	240 237	614 990
GDPの差 (%): TES-PES	1.3	0.9	1.5
1人あたりGDP (千): PES	44.2	51.9	71.4
1人あたりGDP (千): TES	44.7	52.4	72.5

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

雇用者数: PES	250 014	279 310	288 609
雇用者数: TES	251 639	281 435	291 621
雇用者数の差: TES-PES	1 625	2 125	3 012
雇用者数の差 (%): TES-PES	0.05	-0.33	-0.16



●北米

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	60	69	53	71	18
化石燃料	1 126	1 380	1 318	1 053	816
再生可能エネルギー	992	1 197	1 367	2 335	2 987
エネルギー効率化	733	3 945	3 363	6 058	3 805
電力系統および エネルギー柔軟性	375	572	510	656	837
合計	3 285	7 163	6 610	10 174	8 463
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		2.56%	2.29%	3.61%	2.90%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	449	431	422	625	764
太陽光	269	390	601	1 137	1 520
水力	97	127	121	135	125
風力	134	202	174	386	512
地熱	43	47	49	52	61
海洋	-	-	-	0	5
合計	992	1 197	1 367	2 335	2 987
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の 雇用 (%)		16.7%	20.7%	23.0%	35.3%



2050 年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	3 012
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-537
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	2 390
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	1 853

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● 北米

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	991	建設・設置	915	一般作業員・ 技能者	1 639
太陽熱	516	製造	561	熟練技能者	199
陸上風力	462	運用・保守	604	技術者	174
洋上風力	49	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	67
地熱	61				
合計	2 079		2 079		2 079



北米

福祉水準の向上
(%): TES-PES

2030

2050

指数

	2030	2050
経済	0.3	0.6
社会	4.0	8.4
環境	3.3	6.5
合計	7.7	15.5



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2020), *Air pollution – Overview*, World Health Organization, www.who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution (accessed 6 March 2020).

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

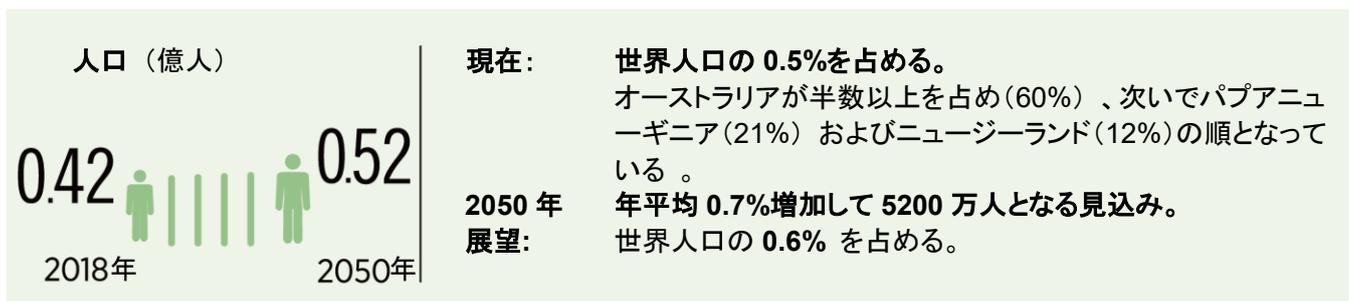
World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

エネルギー転換 オセアニア

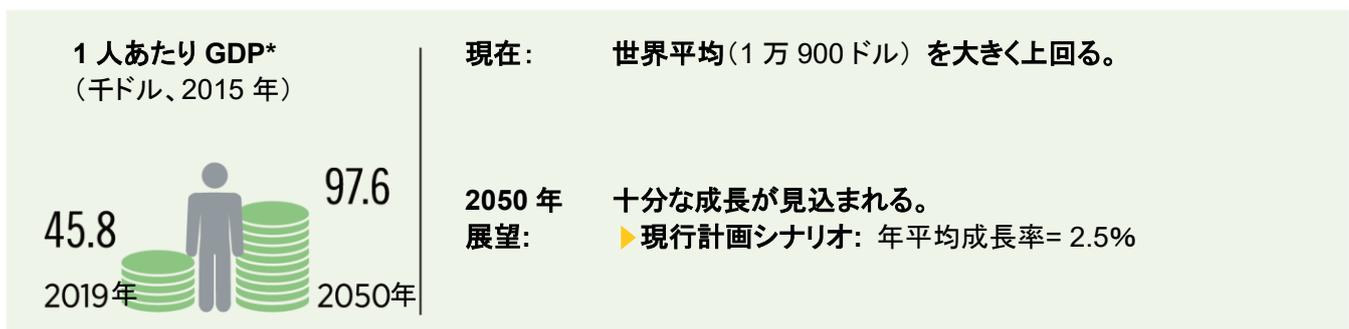
地域分析は、インド洋、太平洋、南洋にある国や地域を対象にしている。

- ・オーストラリア
- ・クリスマス島
- ・ココス(キーリング)諸島
- ・フィジー
- ・ハード島とマクドナルド諸島
- ・ミクロネシア連邦
- ・ニューカレドニア
- ・ニュージーランド
- ・ノーフォーク島
- ・パプアニューギニア
- ・フランス領ポリネシア
- ・ソロモン諸島
- ・バヌアツ

状況/特性とニーズ:



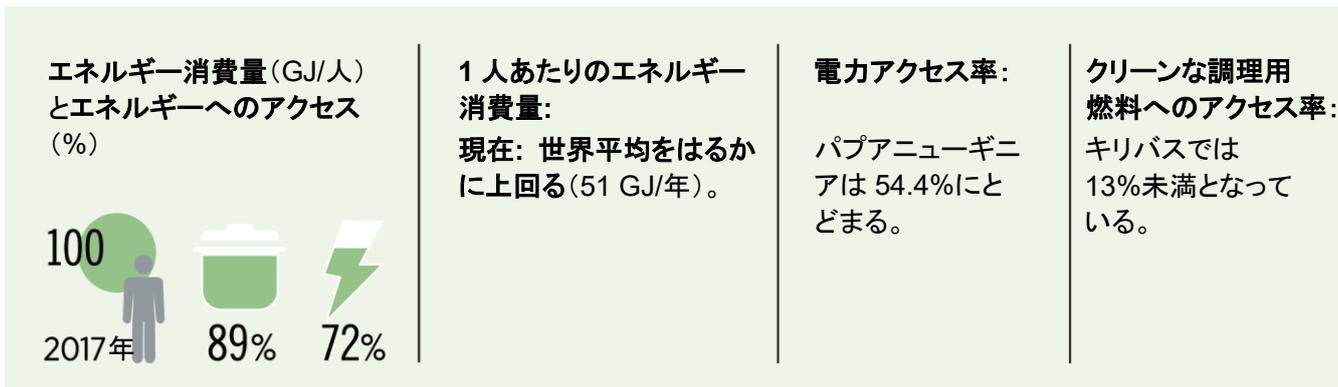
出所: IRENA による分析



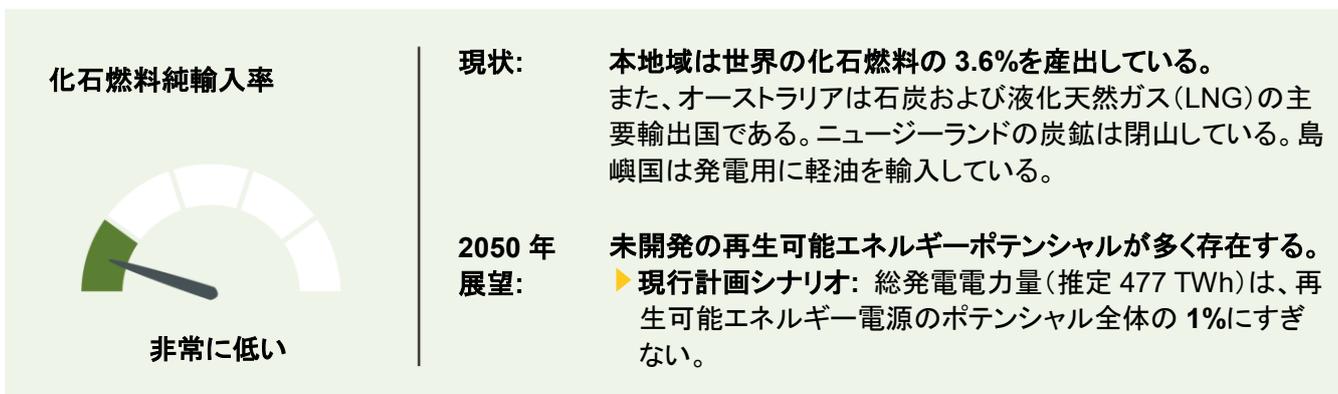
E3MEに基づくIRENAの分析による。

*経済性の地域間格差が大きいため、経済分析はオーストラリアとニュージーランドのみを対象としている。

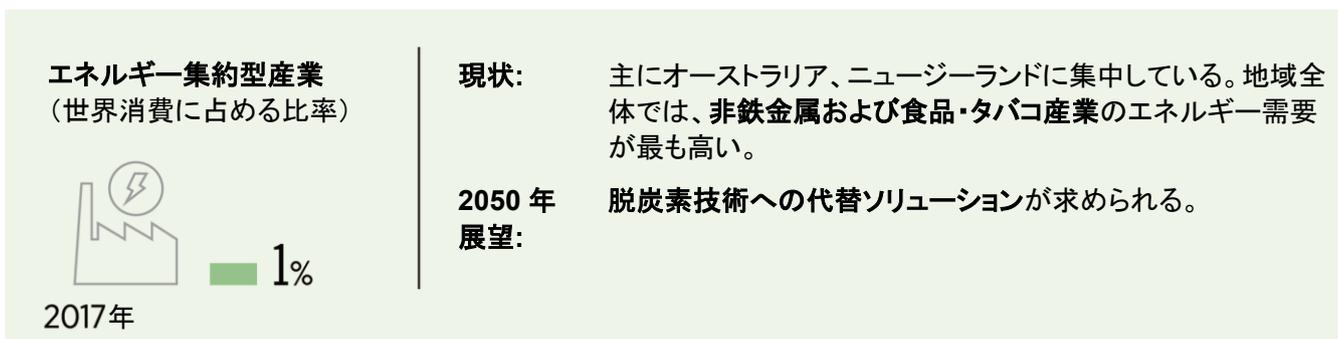




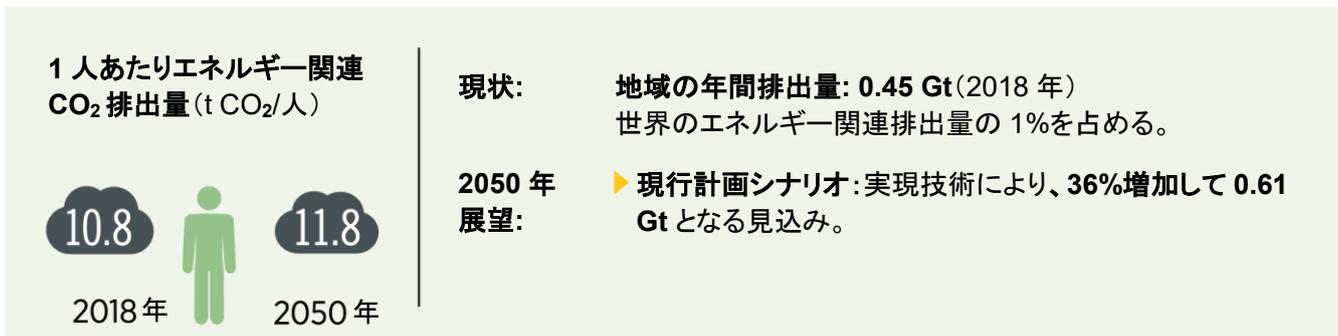
出所: 電力アクセス率は2017年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は2016年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は2017年データ(IEA, 2019)に基づく。



注: 現状、IRENAの分析は、2017年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入量比率に基づく。2050年展望、IRENA分析とポテンシャルはDeng et al. (2015)に基づく。



2017年データ(IEA, 2019)に基づくIRENAの分析による。



注: 2050年データはIRENAの分析に基づく。過去データはGlobal Carbon Atlas(2019)に基づく。

都市大気質 (%)



96%

● 良好

28都市

● 良好 ● 中程度 ● 劣悪

主に都市交通によるもの。人口増加に伴う軽自動車販売台数の増加。意欲的な計画により、ニュージーランドで電気自動車の利用増加が見込まれている(IEA, 2017)。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

他の地域と比較して、産業用の電力価格は最も高く、家庭用の電力価格は 2 番目に高い。

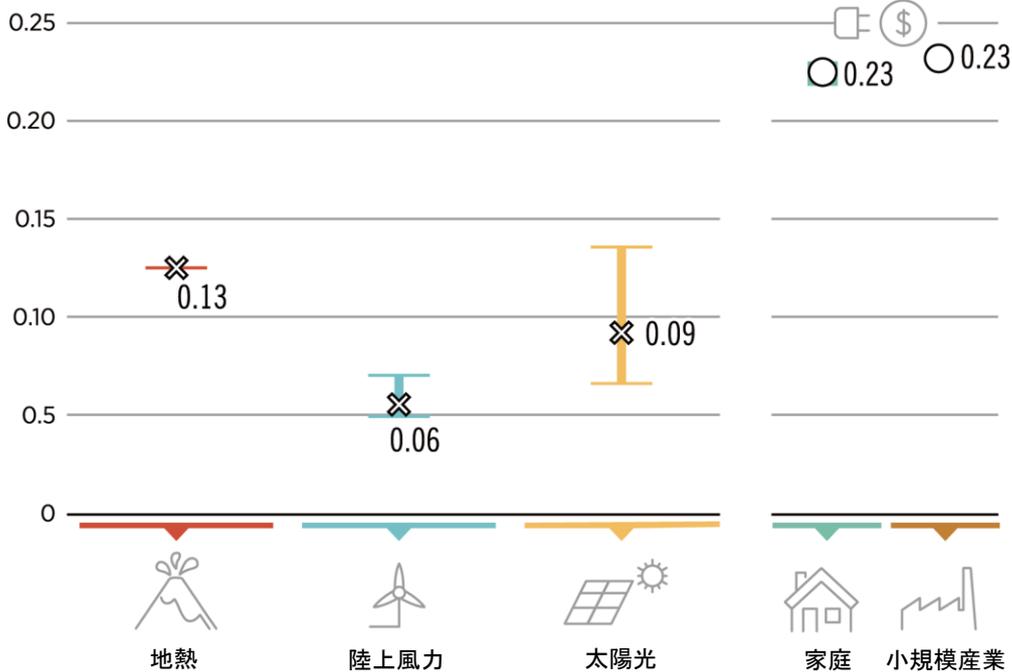
再生可能エネルギーコストと入札:

2017 年に、南オーストラリア州で集光型太陽光発電(CSP)の入札が行われ、150 MW が 0.061 ドル/kWh の価格で落札された。

オセアニア

LCOE 2018 (ドル/kWh)

電力価格 (ドル/kWh)



— LCOE 95 パーセンタイル値 ✕ LCOE (加重平均) ○ 電力価格 (加重平均)
 — LCOE 5 パーセンタイル値

LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

低廉性と持続性

- ▶ クリーンエネルギーの多様化
- ▶ CO₂ 排出量の削減
- ▶ 低価格化
- ▶ 競争の拡大



2

エネルギー自給とエネルギーへのアクセス

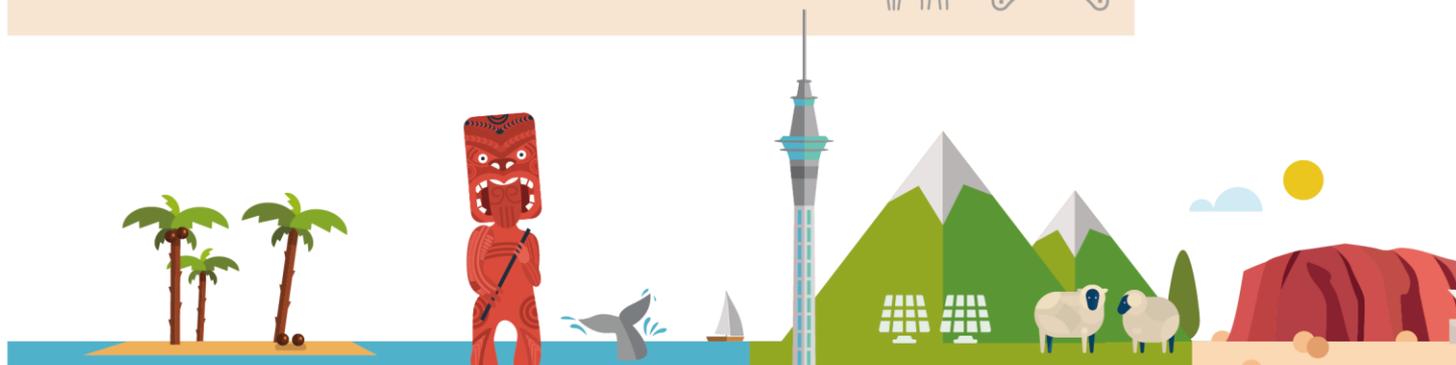
- ▶ 再生可能エネルギー利用の増加
- ▶ 効率的な発電の実現
- ▶ エネルギーの安定供給
- ▶ 農村部や遠隔地での持続可能な電源の確保



3

社会経済の発展

- ▶ 雇用創出
- ▶ 教育・能力開発の充実
- ▶ 呼吸器系疾患の減少と健康の増進



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

●オセアニア

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	7	10	11	12	9	10	12
消費（最終エネルギー消費量）	4	6	7	8	6	6	5

近代的再生可能エネルギーの比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
供給（一次エネルギー供給量）	10%	22%	27%	34%	39%	71%	85%
消費（最終エネルギー消費量）	11%	14%	15%	18%	26%	58%	75%
発電電力量	25%	45%	51%	61%	66%	92%	93%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
最終消費部門	23%	20%	19%	20%	22%	32%	45%
産業部門	27%	19%	18%	18%	20%	48%	67%
運輸部門	1%	1%	1%	1%	6%	13%	33%
建築物部門	57%	60%	60%	61%	64%	36%	34%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	1	1	1	2	3	2	3
水力発電	13	17	14	14	21	20	22
太陽光発電	6	11	17	27	27	84	109
風力	6	11	18	26	25	46	65

バイオ燃料

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	2	5	10	10	30	30	30

エネルギー関連CO₂排出量

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.1
現状に対する削減率	NA	32%	38%	37%	-8%	-54%	-73%

● オセアニア

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

電力部門	70	160
- 再生可能エネルギー	30	100
- 非再生可能エネルギー	10	10
- 電力系統および系統柔軟性	20	40
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	20	30
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	20	50
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	60	110
バイオ燃料供給	1	3
再エネ由来水素 - 水電解装置	0	11



オセアニア

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望*

● オセアニア

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	29 739	32 982	37 063
--------------	--------	--------	--------



GDP (ドル、2015年)

GDP (百万): PES	1 361 509	1 935 173	3 618 538
GDP(百万): TES	1 311 801	1 936 844	3 595 574
GDPの差 (百万): TES-PES	-49 708	1 671	-22 964
GDPの差 (%): TES-PES	-3.7	0.1	-0.6
1人あたりGDP (千): PES	45.8	58.7	97.6
1人あたりGDP (千): TES	44.1	58.7	97.0

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

雇用者数: PES	16 479	18 955	19 816
雇用者数: TES	16 471	19 020	19 923
雇用者数の差: TES-PES	-8	65	107
雇用者数の差 (%): TES-PES	-0.05%	0.34%	0.54%



*経済性の地域間格差が大きいため、社会経済分析はオーストラリアとニュージーランドのみを対象としている。

● オセアニア

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	-	-	-	-	-
化石燃料	215	266	227	240	193
再生可能エネルギー	37	54	61	116	293
エネルギー効率化	3	52	56	97	62
電力系統および エネルギー柔軟性	53	60	54	66	78
合計	307	432	398	519	626
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		2.3%	2.0%	2.7%	3.1%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	19	24	22	42	56
太陽光	8	14	30	54	216
水力	8	9	2	9	3
風力	1	4	5	9	12
地熱	1	3	1	3	5
海洋	-	-	-	0	1
合計	37	54	61	116	293
エネルギー部門の雇用における 再生可能エネルギー関連の 雇用 (%)		12.5%	15.3%	22.4%	46.8%

2050年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	107
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-34
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	262
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	228

▶ 2050年の雇用者数:エネルギー転換シナリオ / ● オセアニア

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	52	建設・設置	134	一般作業員・ 技能者	203
太陽熱	159	製造	27	熟練技能者	11
陸上風力	11	運用・保守	67	技術者	9
洋上風力	0	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	4
地熱	5				
合計	227		227		227



オセアニア

福祉水準の向上
(%): TES-PES

2030

2050

指数

	2030	2050
経済	0.0	0.0
社会	5.0	12.3
環境	2.2	5.0
合計	7.2	17.3



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IEA (2017), *Energy Policies of IEA Countries: New Zealand 2017 Review*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-new-zealand-2017-review>

IRENA (2019a) *Renewable energy auctions: Status and trends beyond price*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

IRENA (2019b), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019c), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019d), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)*, World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.

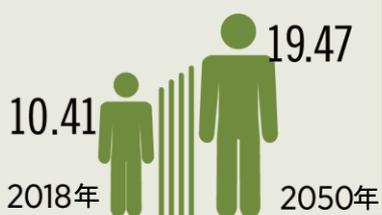
エネルギー転換

サハラ以南アフリカ

地域分析はサヘル地域(サハラ砂漠南縁部に広がる半乾燥地帯)からアフリカ大陸最南端の国々と、関連する島嶼国を対象としている。

状況/特性とニーズ

人口 (億人)



現在: 世界人口の 14% を占める (2018 年末時点)。地域内ではナイジェリア (18%) とエチオピア (10%) の比率が高い。

2050 年展望: 年平均 2% 増加して 19 億 4700 万人となる見込み。世界人口の 21% を占める。

E3ME に基づく IRENA の分析による。

1 人あたり GDP
(千ドル、2015 年)

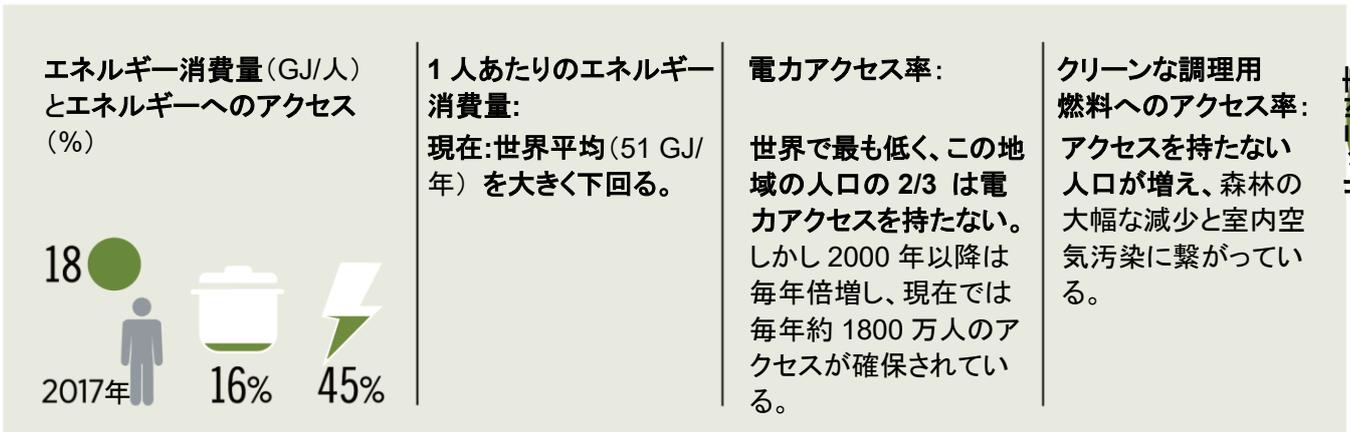


現在: 世界平均 (1 万 900 ドル) を大きく下回る。

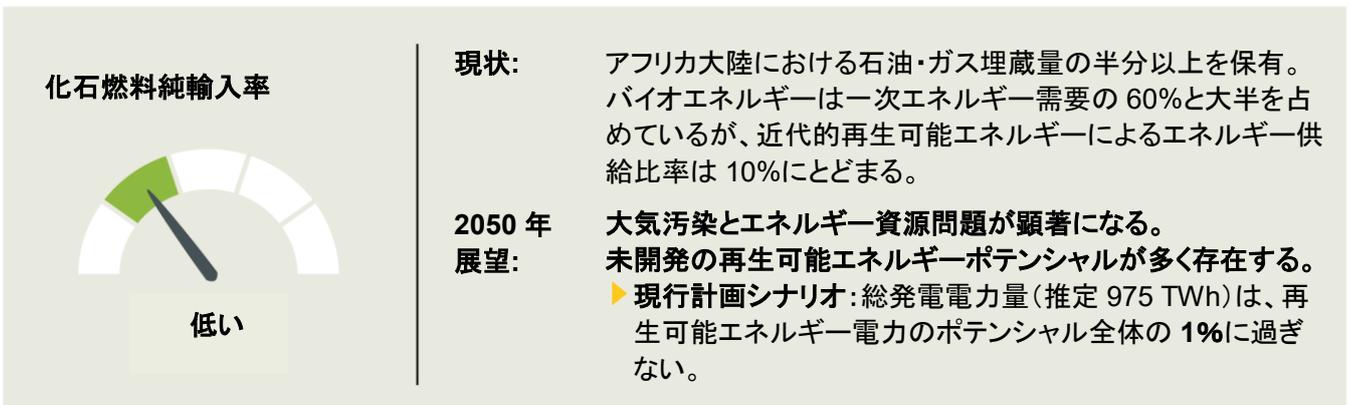
2050 年展望: 急速な成長が見込まれる。
▶ 現行計画シナリオ: 年平均成長率 = 3.2%

E3ME に基づく IRENA の分析による。

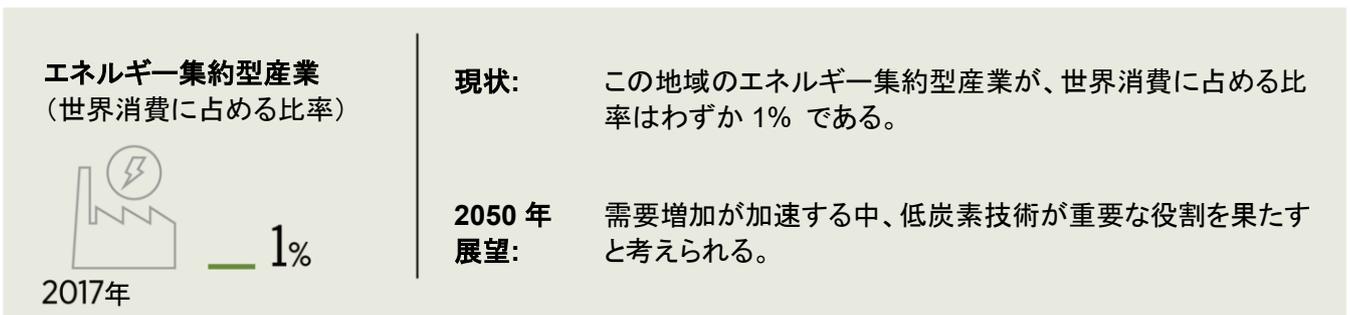




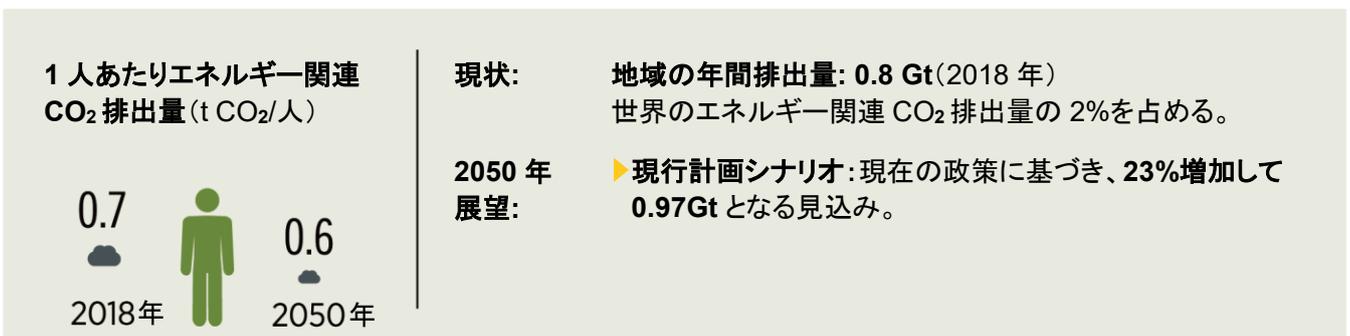
出所: 電力アクセス率は2017年データ(World Bank Group, 2019a)、クリーンな調理用燃料へのアクセス率は2016年データ(World Bank Group, 2019b)、最終エネルギー消費量は2017年データ(IEA, 2019)に基づく。



注: 現状、IRENAの分析は、2017年データ(IEA, 2019)の一次エネルギー供給量における化石燃料の純輸入率に基づく。2050年展望、IRENA分析とポテンシャルはDeng et al. (2015)に基づく。



2017年データ(IEA, 2019)に基づくIRENAの分析による。



注: 2050年データはIRENAの分析に基づく。過去データはGlobal Carbon Atlas(2019)に基づく。

都市大気質 (%)



本データは4都市に限定されているが、一部の都市では微粒子汚染 (PM2.5) が世界で最も深刻で、都市の大気質が悪化している。屋内でのバイオマスの燃焼は、毎年数千人が死亡する原因となっている。

PM2.5 濃度に関する 2016 年および 2017 年データ(WHO, 2019)に基づく IRENA の分析による。

電力価格と再生可能エネルギーコスト

電力価格:

家庭用は低価格帯、産業用は中間帯(他地域との比較において)に位置する。電力価格は平均収入に比べて非常に高い。

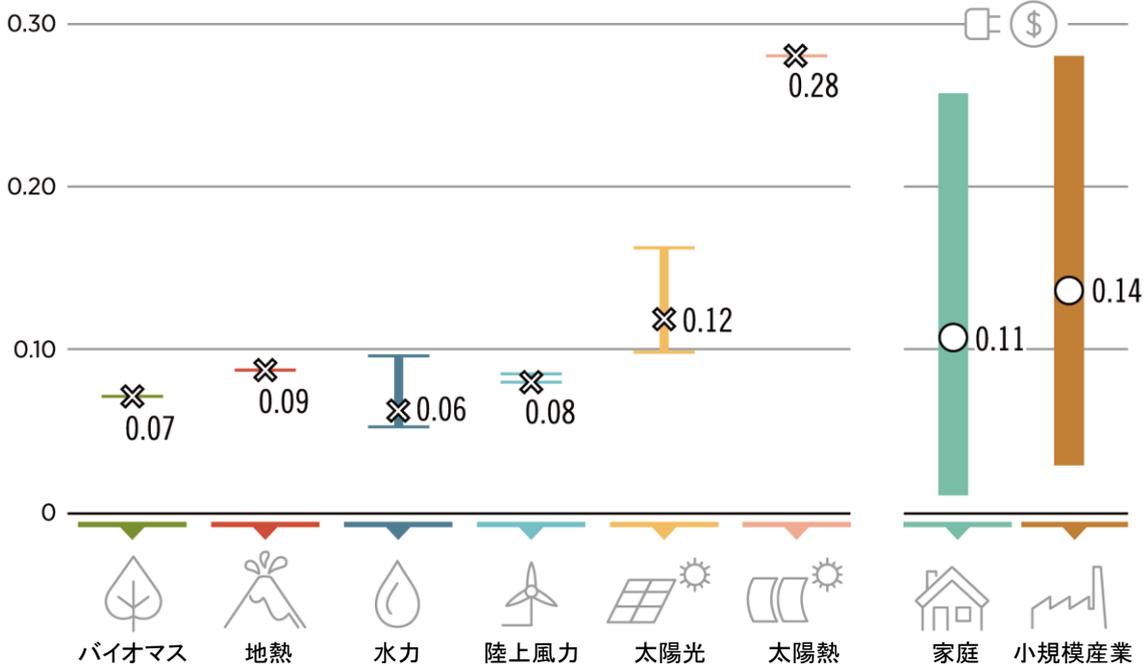
再生可能エネルギーコストと入札:

地方や遠隔地の住民も利用できる分散型のミニグリッドシステムが重宝される。

サハラ以南アフリカ

LCOE 2018 (ドル/kWh)

電力価格 (ドル/kWh)



—— LCOE 95 パーセンタイル値 ✕ LCOE (加重平均)
 —— LCOE 5 パーセンタイル値 ○ 電力価格 (加重平均)

LCOE は IRENA (2019a) に基づく。電力価格は Global Petrol Prices (2019) に基づく。

注: LCOE データは 2018 年の委託プロジェクトに基づく。加重平均資本コスト (WACC) は OECD 諸国と中国で 7.5%、それ以外の国々が 10%。

エネルギー転換：主な便益

1

社会と経済の 発展

- ▶ 貧困の緩和につながる経済成長
- ▶ 無電化地域への分散型
再生可能エネルギー源の導入および雇用創出
- ▶ 健康や教育への変革的影響



2

エネルギーの 安定供給推進の ための投資

- ▶ 送配電損失の低減を通じた財務改善
- ▶ 資本集約型設備に対する長期財源の確保
- ▶ 堅牢な法制枠組み



3

クリーンな空気、 排出量の削減

- ▶ 従来の薪炭材への依存の最小化
- ▶ 近代的エネルギーの効率的な利用
- ▶ クリーンな調理用燃料と電力への
アクセスの拡大



2050年までのエネルギー転換ロードマップ

現行計画が目指す未来 エネルギー転換シナリオが目指す目標

● サハラ以南アフリカ

	2017	2030 (PES)	2040 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2040 (TES)	2050 (TES)
--	------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

エネルギー(EJ)

供給（一次エネルギー供給量）	25	17	19	20	13	24	35
消費（最終エネルギー消費量）	18	12	13	13	9	17	26

近代的再生可能エネルギーの比率

供給（一次エネルギー供給量）	7%	24%	29%	34%	43%	75%	89%
消費（最終エネルギー消費量）	8%	22%	26%	29%	42%	72%	86%
発電電力量	26%	48%	53%	51%	67%	88%	95%

最終エネルギー消費に占める電力の比率

最終消費部門	7%	16%	20%	23%	23%	33%	48%
産業部門	26%	27%	28%	29%	31%	23%	29%
運輸部門	1%	1%	1%	1%	2%	20%	47%
建築物部門	4%	26%	43%	58%	57%	78%	89%

再生可能エネルギー設備容量(GW)

バイオエネルギー	1	7	10	12	11	27	56
水力発電	27	44	72	54	55	95	108
太陽光発電	3	49	69	85	79	255	548
風力	3	20	28	35	33	131	314

バイオ燃料

液体バイオ燃料 (億ℓ/年)	0.4	80	100	120	130	170	210
-------------------	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

エネルギー関連 CO₂ 排出量

年間排出量 (Gt CO ₂ /年)	0.8	0.8	1.0	1.0	0.6	0.5	0.3
現状に対する削減率	NA	6%	24%	26%	-24%	-35%	-60%

注：表に示されている知見は、パリ協定の気候目標と一致するIRENAのREMap（Renewable Energy Roadmap）の方法論に基づく。また、IRENAは、アフリカ47カ国を対象に開発した容量拡張モデリングツール「SPLATモデル」を用いて、アフリカ大陸における電力部門の詳細な分析と長期計画を実施している。詳細は、以下を参照。<https://irena.org/energytransition/Energy-Planning-Support/System-Planning-Test-Model>

● サハラ以南アフリカ

現行計画が目指す目標 エネルギー転換シナリオが目指す
2016-2050 (PES) 目標 2016-2050 (TES)

エネルギーシステム投資 (2016~2050 年における年平均) 億ドル/年

電力部門	170	560
- 再生可能エネルギー	70	340
- 非再生可能エネルギー	40	40
- 電力系統および系統柔軟性	60	180
産業部門 (再生可能エネルギー+ エネルギー効率化)	20	100
運輸部門 (電化+エネルギー効率 化)	30	200
建築物部門 (再生可能エネルギ ー+エネルギー効率化)	130	190
バイオ燃料供給	10	30
再生エネルギー由来水素 - 水電解装置	0.2	2

サハラ以南
アフリカ

本報告書では、2019年4月時点の目標と進展状況を考察している。本報告書において、2030年のエネルギー転換シナリオにおける風力発電と太陽光発電の設備容量は、2019年第3四半期時点の進展状況を考慮したIRENA報告書(IRENA、2019b; 2019c)で提示されている推定値をわずかに上回っている。

2050年までの社会経済展望

● サハラ以南アフリカ

2019(推定)

2030

2050

地域全体の人口 (千人)	1 065 761	1 352 421	1 947 326
--------------	-----------	-----------	-----------



GDP (ドル、2015年)

GDP (百万): PES	2 562 424	4 330 057	12 582 520
GDP(百万): TES	2 572 269	4 354 122	12 673 559
GDPの差 (百万): TES-PES	9 846	24 065	91 039
GDPの差 (%): TES-PES	0.4	0.6	0.7
1人あたりGDP (千): PES	2.4	3.2	6.5
1人あたりGDP (千): TES	2.4	3.2	6.5

雇用者数

経済全体の雇用者数 (千人)

雇用者数: PES	280 021	307 757	337 215
雇用者数: TES	279 997	307 688	337 240
雇用者数の差: TES-PES	-23	-69	25
雇用者数の差 (%): TES-PES	-0.01%	-0.02%	0.01%



● サハラ以南アフリカ

2017

2030
(PES)2050
(PES)2030
(TES)2050
(TES)

エネルギー部門の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
原子力	6	3	3	1	2
化石燃料	3 122	3 060	2 753	2 929	2 489
再生可能エネルギー	306	442	519	859	2 023
エネルギー効率化	506	758	801	1 217	1 016
電力系統および エネルギー柔軟性	313	462	502	462	694
合計	4 253	4 725	4 577	5 468	6 224
経済全体におけるエネルギー関連の雇用 (%)		1.5%	1.4%	1.8%	1.8%

再生可能エネルギー関連の雇用者数(千人)

	2017	2030 (PES)	2050 (PES)	2030 (TES)	2050 (TES)
バイオエネルギー	176	243	279	581	1 270
太陽光	44	97	135	154	583
水力	71	76	64	91	111
風力	14	25	37	30	57
地熱	1	2	3	3	3
海洋	0	0	0	0	0
合計	306	442	519	859	2 023
エネルギー部門の雇用における再生可能エネルギー関連の雇用 (%)		9.4%	11.3%	15.7%	32.5%



2050年における雇用者数の差(千人) TES-PES

経済全体の雇用者数の差	25
従来型エネルギー関連の雇用者数の差 (A)	-265
エネルギー転換関連技術部門の雇用者数の差 (B)	1 911
エネルギー部門全体の雇用者数の差 (A+B)	1 647

▶ 2050年の雇用者数: エネルギー転換シナリオ / ● サハラ以南アフリカ

技術職 (千人)		業種別 (千人)		職務要件別 (千人)	
太陽光	257	建設・設置	380	一般作業員・ 技能者	532
太陽熱	311	製造	95	熟練技能者	44
陸上風力	57	運用・保守	153	技術者	39
洋上風力	0	バイオ燃料供給	-	マーケティング・ 管理	13
地熱	3				
合計	628		628		628

サハラ以南
アフリカ福祉水準の向上
(%) : TES - PES

2030

2050

指数

	2030	2050
経済	0.0	0.1
社会	4.2	9.2
環境	1.9	4.2
合計	6.0	13.5



参考文献:

Deng, Y., Haigh, M., Pouwels, W., Ramaekers, L., Brandsma, R., Schimschar, S., Grözinger, J. & de Jager, D. (2015), *Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply*, Global Environmental Change 31, 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.005>.

Global Carbon Atlas (2019), *Global Carbon Atlas – CO₂ emissions*, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.

Global Petrol Prices (2019), *Electricity prices around the world*, www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (accessed 5 March 2020).

IEA (2019), *IEA Beyond 20/20 – 2019 edition*, International Energy Agency, Paris.

IRENA (2019a), *Renewable Cost Database*, 2019.

IRENA (2019b), *Future of solar photovoltaic – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019c), *Future of wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

WHO (2019), *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018), World Health Organization, www.who.int/airpollution/data/cities/en/ (accessed 5 March 2020).

World Bank Group (2019a), *Access to electricity (% of population)*, World Bank Group.

World Bank Group (2019b), *Access to clean fuels and technologies for cooking (% of population)*, World Bank Group.