



WWF for a living planet®

『エネルギー・レポート～2050年までに再生可能エネルギー100%』要約版

The Energy Report - 100% Renewable Energy By 2050

2011年2月3日

要約作成：WWF ジャパン

気候変動の影響によって、例年数億人規模で水不足や農作物の不作、洪水などの異常気象の被害を受けており、毎年15万人が死に至っているとされる¹。温室効果ガスの急増によって今後さらにその被害は広がる一方と予測される。現在の化石燃料依存は、気候変動の最大の要因となっており、化石燃料資源が有限であり持続可能なエネルギー源ではないという点を抜きにしても、2050年までに100%再生可能エネルギー社会へ移行する必要があるとWWFは考えている。

本レポートは2部構成になっており、第1部ではWWFの再生可能エネルギー100%ビジョンについて、第2部ではビジョンの裏付けとしてWWFが調査を委託したエコフィス（世界有数の気候・エネルギーに関するコンサルタント企業）の分析に基づく技術シナリオを示している。エコフィスの技術シナリオは、省エネルギーに関する従来のいかなるシナリオよりも野心的という点で類似の調査とは一線を画している。多くの賢明な選択を行うことによって、再生可能エネルギー100%が経済的にも技術的にも実現可能であること、そのようなエネルギーシステムへと向かう筋道を示し、さらにはそこへ至る上での障壁についても明確化している。

■ エコフィス・シナリオについて

エコフィスのシナリオは、今日既にある技術のみで何が達成できるかを模索したものであり、全ての対象分野に対し、十分な経済的コスト／ベネフィット分析を行った包括的なものである。

具体的には、1) 世界全体および各部門でエネルギー需要をどこまで減らすことができるのか、2) その需要に見合ったエネルギーを、持続可能な形で供給することができるか、をそれぞれ順番に検討した。

シナリオは、これまで発表されたどのシナリオよりも大きなエネルギー需要削減が可能であることを示した。さらに、2050年に再生可能エネルギー95%の実現が可能で、化石燃料や原子力、旧来型バイオマスは、より多様な再生可能エネルギー源ミックス（太陽光や太陽熱、風力、地熱といった再生可能エネルギーの組合せ）によって、ほぼ完全に代替することができるという結果が得られた。

現在14億人が電気のない生活²をしているが、このシナリオでは地球上すべての人口が電気にアクセスを可能とした上の結果である。これで世界のエネルギー由来のCO₂の排出

¹ <http://www.who.int/globalchange/news/fsclimandhealth/en/index.html>

² IEA, World Energy Outlook(WE)2010, Paris

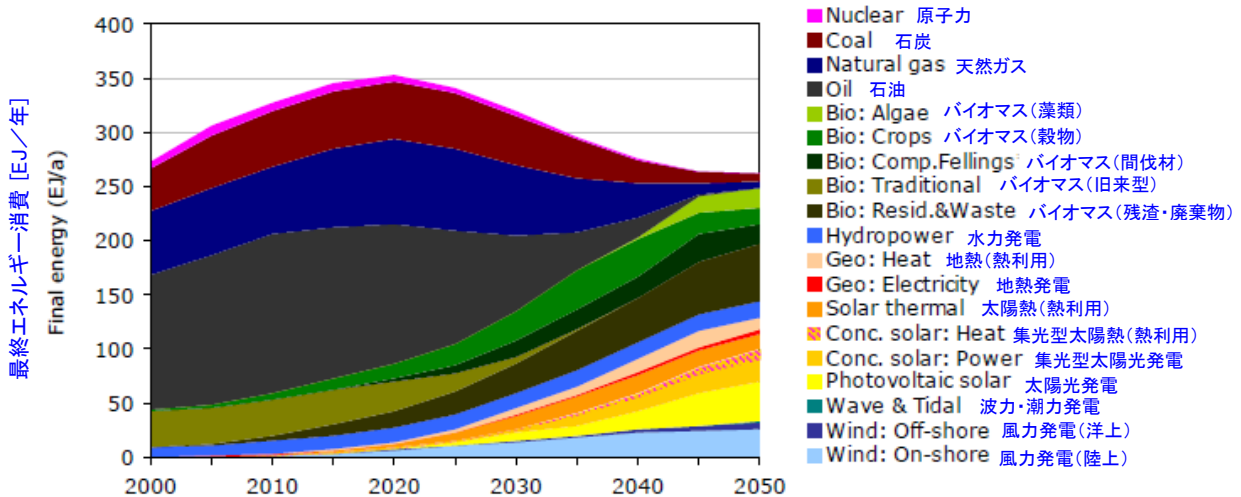


for a living planet®

量についても 2050 年に 80%以上削減される。なお、残りの 5%のエネルギーについては、今後誕生する新たな技術にゆだねている。

シナリオは、国連の人口増加の予測（2050 年 90 億人超）を反映し、また将来の燃料価格や技術コストなど全般的に比較的保守的な想定に基づいている。

このシナリオの達成に必要なグローバルな設備投資額は、長期的には、燃料費の削減や消滅などによる運用費の削減によって完全に回収され、利益が生じるまでになる。設備投資額と運用費の削減額の両方を考慮した正味のコストは、2050 年までの期間全体を通じて年当たり GDP の 2%を超えることはない。そして、2025 年前後をピークとしてやがて減少し、2040 年以降は正味で節約となることが判った。仮に、シナリオのコスト分析の中で、気候変動の悪影響回避によるコスト削減まで考慮した場合、節約額はさらに大きくなり、節約時期も 2040 年よりもさらに早まることとなる。



電力供給源		単位[EJ/年]		
		2010	2030	2050
化石燃料・原子力	原子力(発電)	8.2	3.8	0.0
	石油(発電)	3.1	1.4	0.0
	天然ガス(発電)	14.0	28.3	0.0
	石炭(発電)	21.5	10.0	0.0
	化石燃料(熱利用・燃料)	222.3	141.5	12.5
再生可能エネルギー	バイオマス発電	0.0	0.0	16.2
	バイオマス(熱利用・燃料)	44.1	75.2	88.7
	水力発電	11.3	14.4	14.9
	地熱(熱利用)	0.6	4.7	11.3
	地熱発電	0.3	1.7	4.9
	太陽熱(熱利用)	0.7	11.9	12.6
	集光型太陽熱(熱利用)	0.0	0.4	8.8
	集光型太陽熱発電	0.1	3.9	21.6
	太陽光発電	0.1	6.5	37.0
	波力・潮力発電	0.0	0.1	0.9
	風力発電(洋上)	0.0	1.3	6.7
	風力発電(陸上)	1.4	14.3	25.3
	合計		327.6	319.4

図1 エコフィス・シナリオにおける世界のエネルギー供給内訳



for a living planet®

以下に、エコフィス・シナリオの考え方および鍵となる要素を列記する。

➤ **省エネルギー策の徹底により、世界のエネルギー需要を減らす**

・本シナリオでは、エネルギー効率向上の徹底が前提条件であり、2050年のエネルギー需要は2005年よりも15%減少（BAU※予測では倍増）。ただしこれは、活動量の低下によるものではなく、エネルギーを可能な限り効率的に使うことによる低下である。特に途上国では、生産量やエネルギー使用量、人および貨物輸送量は増え続けることを想定している

※ Business As Usual：省エネルギーや需要側の電化などの対策を特段行わないケース

・シナリオにおいて、省エネは最も重要な要素であり、それ無しでは90億人と予測される人口のニーズを満たすことはできない。全てのセクターにおいて既にある省エネ技術をいかに早くグローバル規模で本格展開できるかが課題

・産業および全ての消費者にBAT（Best Available Technology：利用可能な最良の技術）基準を適用し、最も効率的なものが選ばれるようにする

・産業では、リサイクル材やエネルギー効率の高い材料を使用し、ビルは冷暖房に要するエネルギーが最少となるよう設計あるいはリフォームされ、輸送はより効率的なものへとシフトする

・技術だけでは再生可能エネルギー100%を達成することはできない。輸送や移動、行動の大きな転換も必要不可欠。我々の生活様式は現在とは異なるものとなるが、急激な変化が求められることはない

・省エネにより2050年のエネルギー需要は261.4EJ／年まで縮小され、その95%以上を持続可能な再生可能エネルギー源でまかなうことが可能である（2010年時点のエネルギー需要は327.6EJ／年、図1参照）

➤ **各部門（産業、建築物、運輸）で電化を進める**

・電気は、持続可能なエネルギー源から最も得やすいエネルギー形態であるため、固体燃料や液体燃料よりも、可能な限り電気エネルギーの使用を優先する（電化）。電化については、次項で詳述

➤ **持続可能な再生可能エネルギー源でまかなう**

・風力、太陽光、バイオマス、水力を主とする電気エネルギーを優先的に活用し、電化のむずかしい分野、たとえばビルや産業に必要な熱エネルギー等については、大部分を太陽熱、地熱、ヒートポンプでまかなう

・風力や太陽光による電力は変動するため、スマート・グリッドを構築し、エネルギーをより効率的に搬送・貯蔵する必要がある

・14億の電気へのアクセスの無い人々、あるいは27億以上の旧来型バイオエネルギー（薪材等）に依存している人々に対し、手頃で信頼できるクリーンな再生可能エネルギーを供給する

・シナリオは、各再生可能エネルギー源のポテンシャル（潜在量）や現在の成長速度、持続可能性評価基準、その他の諸条件（風力や太陽光の変動性など）を考慮している



for a living planet®

➤ **バイオマスエネルギーは最後の手段**

・バイオマスエネルギーの使用は、様々な議論を呼ぶ分野であるが、特定の運輸および産業分野においては（既存の技術では）液体および固体燃料なしに需要を満たすことが難しい。したがって、航空機や船舶、トラック用の燃料供給、そして非常に高い温度を必要とする産業プロセスのためのみにバイオマスエネルギー（液体燃料、固体バイオマス）を使用する

・バイオ燃料（バイオエタノール、木チップ等）用としては、持続可能な穀物栽培、また木材には適切な森林管理が大前提。食糧や水、生物多様性への悪影響、ならびに大気中の炭素量の増加につながらないように、注意深い土地利用計画、そして強固な国際協力と体制が必要

・バイオマスエネルギー源に対しては認証が必要（食糧安全保障を脅かさない、生態系保護など）

➤ **経済的コスト**

・2050年までに、エネルギー効率向上や燃料節約により、正味で年間約4兆ユーロ（約500兆円）のコスト節約となる

・ただし、初期投資の大幅な増額が必要（巨大規模での再生可能エネルギーの導入、最新技術を駆使した電力網、製品輸送や公共輸送の変革、既存ビルのエネルギー効率の向上など）。

・投資は2040年頃に正味で利益に転じる。石油価格が予想以上に早く上昇したり、気候変動による悪影響に対するコストを考慮すると、さらにペイオフの時期は早まる



for a living planet®

■電化について

・シナリオでは、化石燃料および原子力の代わりに、クリーンな再生可能エネルギー源からの電力を最大限利用することを前提としている。現状では、最終エネルギー需要に占める電力の割合は5分の1未満であるが、2050年までにはほぼ半分まで高まることを想定している（図2参照）。たとえば、自動車や鉄道も完全に電化し、他のエネルギー形態の使用は最小化される。

・エコフィスの分析では、現在の先進国の電力網は、全電力の20~30%まで変動電力（風力、太陽光等）を受け入れ可能であるが、技術および電力網管理の進歩により、控え目に見積もっても2050年までには60%まで受け入れ可能となる。残りの40%は、水力やバイオマス、地熱発電、および蓄熱機能付き太陽熱発電などの変動しない電源（図3参照）

・図4に各再生可能エネルギー源の利用可能な資源ポテンシャルを示す。たとえば、太陽光発電は資源ポテンシャルとしては800EJ/年以上存在するが、シナリオで想定している利用量は電力網の制約等を考慮し2050年に37EJ/年に留めており、保守的かつ現実性の高いシナリオ設定としている。

・多くの大規模な再生可能エネルギー発電所も必要であるが、たとえば屋根上太陽光パネル、水車、個人用風力発電などを用いた地域レベルでの発電による電力も供給される。

・電力量の増加と電源の多様化に対応するため、電力網の拡張、最新化のための大規模投資も必要である。効率的な国際ネットワーク化により、太陽光や風力などの変動する電力の変動を相殺することにもつながる。

・電力会社や電力使用者が、エネルギー供給量や電力料金に関する情報を得ることにより、エネルギー需要管理の一助となる。たとえば、洗濯機を回すなら、風が吹いているときや太陽が照っているときの方が安くなる。家庭やオフィス、工場において、スマートメーターのプログラムを設定し、電力供給が豊富な時間帯に家電や工程が自動的に稼動するようにする。電力会社は、流れる電気の量を調節することにより、エネルギー需要の急騰に対処することができる。エネルギー供給が需要を上回る時間帯を利用して、自動車のバッテリーを充電したり、水素燃料をつくることもできる。

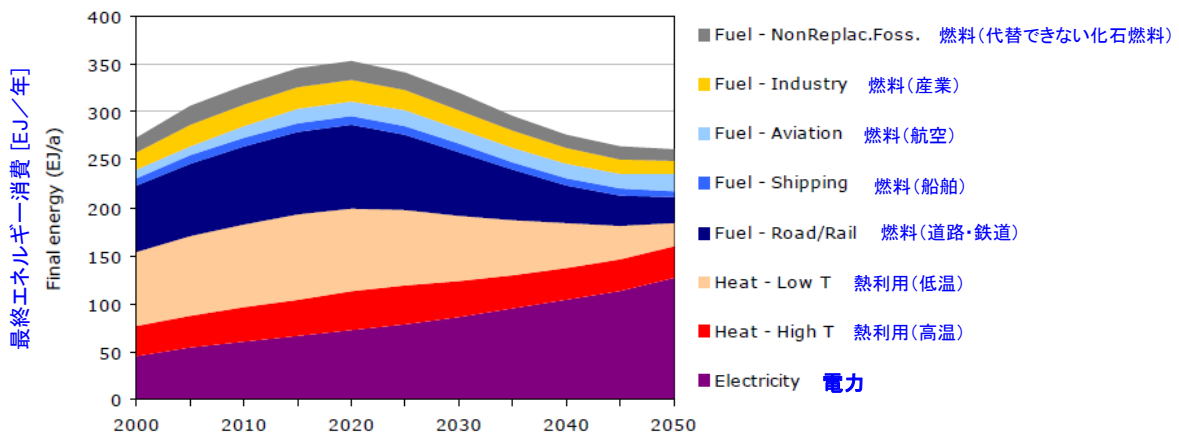
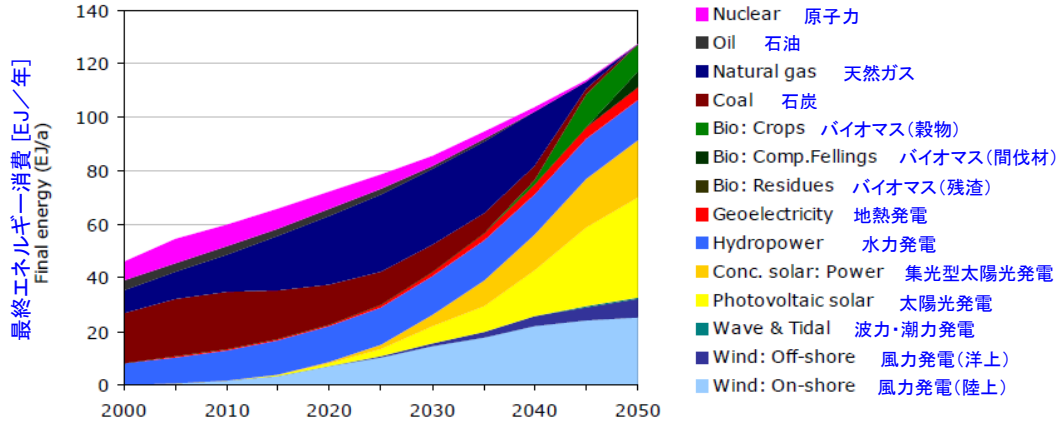


図2 各部門における世界のエネルギー需要とエネルギー形態



for a living planet®



単位[EJ/年]

電力供給源		2010	2030	2050
化石燃料・原子力	原子力(発電)	8.2	3.8	0.0
	石油(発電)	3.1	1.4	0.0
	天然ガス(発電)	14.0	28.3	0.0
	石炭(発電)	21.5	10.0	0.0
再生可能エネルギー源	バイオマス発電	0.0	0.0	16.2
	水力発電	11.3	14.4	14.9
	地熱発電	0.3	1.7	4.9
	太陽熱発電	0.1	3.9	21.6
	太陽光発電	0.1	6.5	37.0
	波力・潮力発電	0.0	0.1	0.9
	風力発電(洋上)	0.0	1.3	6.7
	風力発電(陸上)	1.4	14.3	25.3
合計		60	85.7	127.4

図3 世界の電力供給（図2の紫色部分）の内訳



for a living planet®

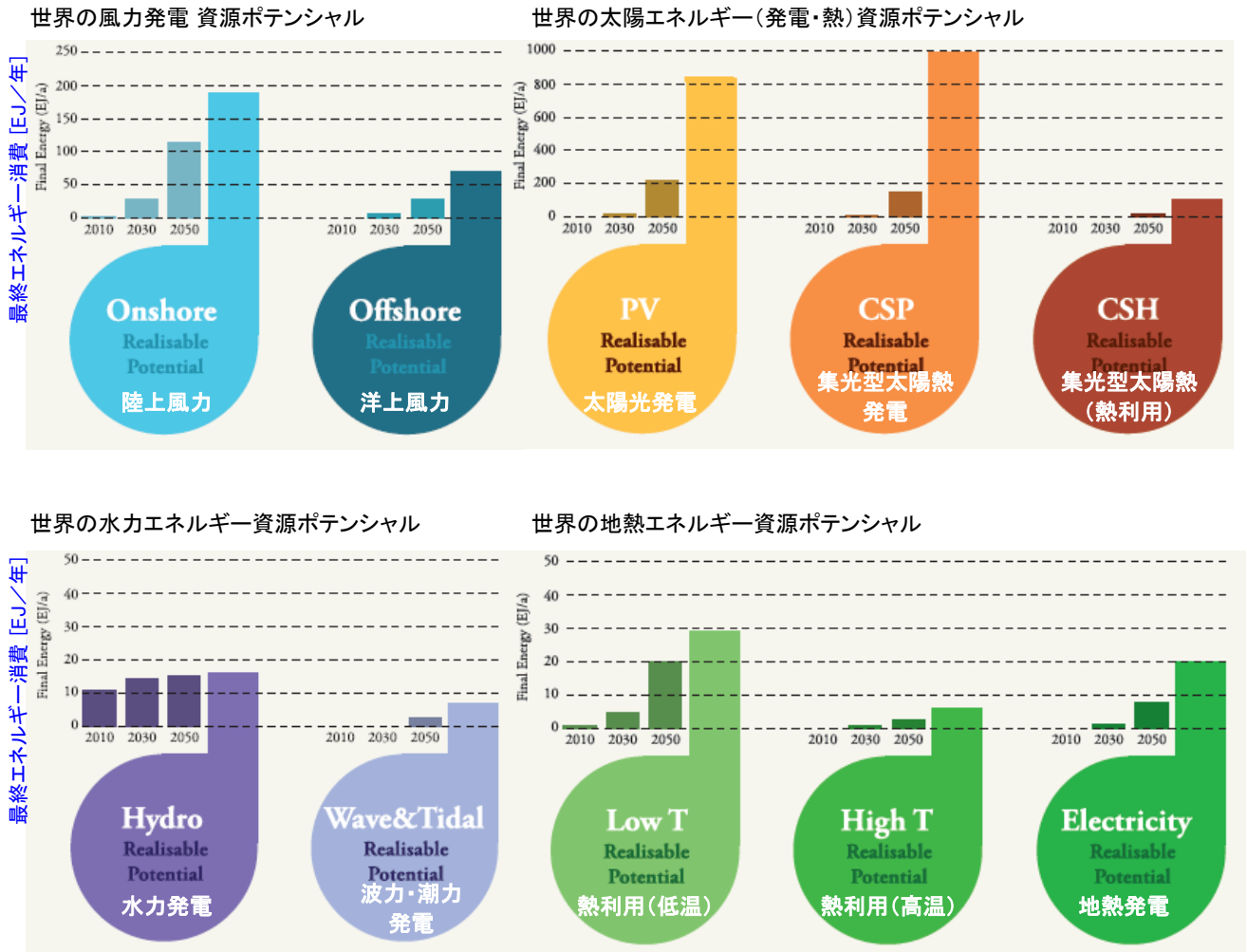


図4 各再生可能エネルギー源の利用可能な資源ポテンシャル



for a living planet®

■ WWF の主張

エコフィスの分析結果は、2050年までに再生可能エネルギー100%が達成可能であるというWWFのビジョンを裏付けるものである。技術的なブレークスルーや市場の力、地理的条件などにより、再生可能エネルギーの発達や普及の仕方は影響を受けるため、最終的なエネルギー構成はシナリオのものとは多少異なる可能性はある。しかし、全てを持続可能な再生可能エネルギー源でまかなうことが、技術的にも経済的にも実現可能であることが揺らぐことはない。ただし、それをより確実なものとするためにはエコフィスのシナリオをさらに発展させる必要がある。

WWFが考える、社会がとるべき極めて重要な5つの選択を以下に示す。

➤ 重要な選択その1: エネルギー効率と再生可能エネルギーの追求

2050年までに、エネルギーの主要形態は電気となり、再生可能エネルギー源がそれを供給する必要がある。また、ゼロエネルギー建築物や効率的な輸送、通信手段など、エネルギー効率を大幅に向上することにより、使用するエネルギーの量を最小化する必要がある。エネルギーを消費する全ての製品（建物を含む）に対し、日本の「トップランナー制度」や欧州のエコデザイン要件に沿った、法的拘束力のあるエネルギー効率の最低基準を世界的に導入すべき。富裕国においては、エネルギー税（ガソリンや電力、燃料への課税）の導入に加え、エネルギーをたくさん使う製品にも課税することにより、よりエネルギー効率の高い製品が選ばれるような需要のコントロールへとつながる。また、スマートグリッドの構築により、電気をスマートに使い省エネルギーを図る必要がある。遠隔地では、電力網から独立した地域内で完結するエネルギーシステムの構築が最良の選択である。化石燃料由来の液体燃料の需要を大幅に減らすために、自動車は電気で走らせ、大量公共交通システムを都市部の輸送モードとし、再生可能エネルギー駆動の高速鉄道によって、短中距離の航空移動を代替していく必要がある。

➤ 重要な選択その2: 土地利用と土地管理

再生可能エネルギー100%のビジョンにおいて、最も重要であり最も難しい選択が、バイオ燃料である。今日の技術では、トラックや船舶、航空機を電気や水素で駆動させる、あるいは産業プロセス用の高温の熱エネルギーを供給することはまだ難しい。そのため、依然として液体燃料が必要となるが、これを再生可能エネルギー源に代えていくためには、持続可能な方法で得られたバイオ燃料が必要となる。ただし、今後の人口増加からくる食糧需要増加に対する生産増や水資源の供給、土壌の質、生物多様性などを損なうことがないようにすることが前提となる。また、バイオ燃料生産により他の地域で温室効果ガスの排出増加が起きることのないようにしなければならない。これらを確実に担保するような政策や規制、体制が必要である。

➤ 重要な選択その3: 低炭素な生活スタイルを受け入れる

再生可能エネルギー100%社会への移行によって、我々の生活の質が犠牲になるわけではない。むしろ、電力やクリーン・エネルギーへのアクセスを確保することにより、経済成長を維持し、豊かで健全な生活スタイルへと導くものである。ただし、技術的な転換だ



for a living planet®

けでは再生可能エネルギーの世界を構築することはできない。[エネルギーの使い方においても、賢明な選択が必要](#)である。特に、先進国においては、企業行動や経済政策、個々人の生活スタイルなど、全てにおいて、エネルギー多消費行動を改めていく必要がある。途上国においては、エネルギーアクセスが増えるほど、人々の生活は改善され、健全な生活スタイルへと変化していく。あらゆるセクターにおいて、廃棄を最小化し、最も高いエネルギー効率基準を達成すべきである。生活スタイルの変化には時間がかかるであろうが、新しい製品や市場、職業、ビジネスチャンスも創出される。世界の富裕層に対しては、現在極度の貧困の中で暮らす数十億人と資源を公平に分配するために、何らかの成長制限が求められるであろう。変化によってどんな利益が得られるかが理解され、政策が正しい方向へと後押しすれば、人々が行動を変えられることは歴史が証明している。WWFは、人と自然が調和して生きられる公平で再生可能な将来へ向けて、世界の人々が新しい生活様式に適応し繁栄できると確信している。

▶ **重要な選択その4: 資金と投資**

再生可能エネルギー社会へと移行していくには、そのための資金が極めて重要であり、エネルギー効率の向上と再生可能エネルギーに対する投資を促すよう、明確な政策枠組みによる後押しが必要である。投資回収期間は案件によって大きく異なる。たとえば長期的に見れば、利益の確保が見込まれる投資案件も増える。様々な時間軸でROI（投資利益率）が確保されるような金融商品が開発されるようにすべきである。[長期の投資サイクルが成立するような枠組み](#)が構築できれば、将来の世代が利益を享受することも可能となる。短期のROI（投資利益率）に焦点が置かれた現状の枠組みでは、将来世代に環境面のツケを残してしまうが、それを回避しなくてはならない。

▶ **重要な選択その5: R&D の支援**

再生可能エネルギー100%の未来に向けて、新技術の研究開発と既存技術の改良をさらに加速させていく必要性を、WWFは強く支持する。現在使われている鉄やセメント、化学製品などエネルギー多消費で炭素をたくさん排出する製品は、将来的には徐々に代替されるべきである。現在石油由来の燃料に依存し、著しい成長を続ける航空・船舶部門への対策としては、[再生可能エネルギーでつくられた水素エネルギー](#)の開発が必要である。エコフィスのシナリオでは、持続可能な方法で生産されたバイオ燃料による代替を挙げているが、それらを可能な限り再生可能水素で代替していくことにより、バイオ燃料生産以外の用途に土地を解放していくべきである。



for a living planet®

以上を受けて、WWFが提言するのが以下の10項目である。

■ 再生可能エネルギー100%に向けたWWFのすすめ

1. クリーン・エネルギー

最もエネルギー効率の高い製品のみを普及させる。2050年までに全ての人に十分なクリーン・エネルギーを供給できるよう、既存および新たな再生可能エネルギー源の開発を行う

2. 送配電網

送配電網および取引を通じてクリーン・エネルギーの共有とやりとりができるようにし、様々な地域間で持続可能なエネルギー源を最大限に有効活用する

3. エネルギーへのアクセス

全ての人々がエネルギーを使えるようにする。途上国の全ての人にクリーンな電気を供給し、効率的な調理ストーブなどの持続可能な手法を推進する

4. 投資

再生可能でクリーンなエネルギーとエネルギー効率の高い製品や建物に投資する

5. 食糧

食糧を粗末にしない。土地を自然にかえし、持続可能な林業やバイオ燃料生産に供するために、効率的かつ持続可能な方法で生産された食糧を選択する。全ての人々が食生活において健全なレベルのたんぱく質を摂取する権利を平等に持っている。そのためには、富裕層は肉の摂取を控える必要がある

6. 材料

廃棄物を最小にし、エネルギーを節約するために、リデュース・リユース・リサイクル（減らす・繰り返し使う・再資源化）を行う。耐久性の高い材料を開発する。必要のないもの／ことをつくらない／やらない

7. 輸送

公共交通の利用が大幅に増加するようなインセンティブ、人やものの輸送距離を減らすようなインセンティブを提供する。可能な用途に対しては電化を進め、（電化がむずかしい）船舶・航空分野に対しては水素燃料や他の代替燃料に関する研究を支援する

8. 技術

エネルギー効率および再生可能エネルギーの研究開発を促進するための、国レベル、二国間、多国間の行動計画を策定する

9. 持続可能性

再生可能エネルギーが環境および開発の目標と確実に両立するような厳格な持続可能性基準を策定・施行する



WWF *for a living planet*[®]

10. グローバル合意

再生可能エネルギーとエネルギー効率向上の促進に対する指針を与え、世界の協力を促していく上で、野心的な気候・エネルギー合意（次期枠組み合意）を支援する

■ レポート全文のダウンロード

『エネルギー・レポート～2050年までに再生可能エネルギー100%』*The Energy Report - 100% Renewable Energy By 2050* は、以下のサイトでダウンロードが可能です（英語のみ）

http://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_climate/green-energy/WWF_EnergyVisionReport.pdf

■ 問合せ先

WWF ジャパン気候変動プログラム プロジェクトリーダー 池原庸介(Tel:03-3769-3509、climatechange@wwf.or.jp)または 広報担当 新井秀子 (Tel:03-3769-1713、Fax:03-3769-1717)

以上