

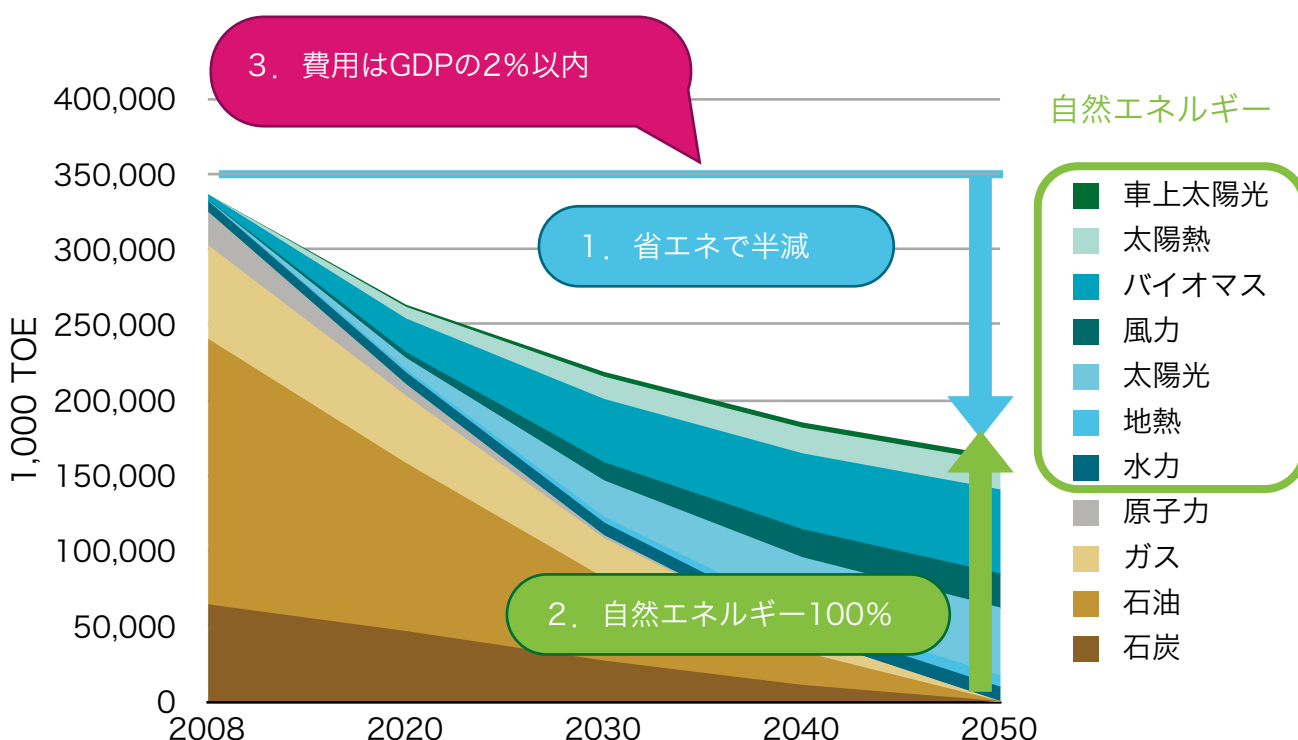


脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ “省エネルギーで半減” “100%自然エネルギー” 「費用算定編」報告書 概要版

WWFエネルギーシナリオが示す3つのキーポイント

1. 今ある省エネルギー技術の急速な普及で、必要とする**エネルギーを半減**できること
2. **自然エネルギー**を飛躍的に拡大することで、**100%賄う**社会が可能であること
3. 必要な費用は毎年の**GDP比で1.6%程度**、2030年ごろから**費用より便益**がまさること

※本概要版は『脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ』を元にWWFジャパンの責任においてまとめたものである。



WWFインターナショナルは、2011年2月に、世界レベルで100%自然エネルギーが可能であることを示す報告書を、エネルギーに関するシンクタンクEcofysと共同で作成しました。

この「100%自然エネルギー」の可能性を、日本においてシステム技術研究所に研究委託した報告書（以下「WWFシナリオ」と呼ぶ）が、今回の『脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案』です。

2011年に第1部〈省エネルギー編〉と第2部〈自然エネルギー編〉を発表しており、このシナリオ実現のために必要な「費用」を算定したのが、今回の第3部〈費用算定編〉です。

WWFインターナショナル/Ecofys『エネルギー・レポート』

http://www.wwf.or.jp/re100_global

WWF脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案

第1部〈省エネルギー編〉 第2部〈自然エネルギー編〉 第3部〈費用算定編〉

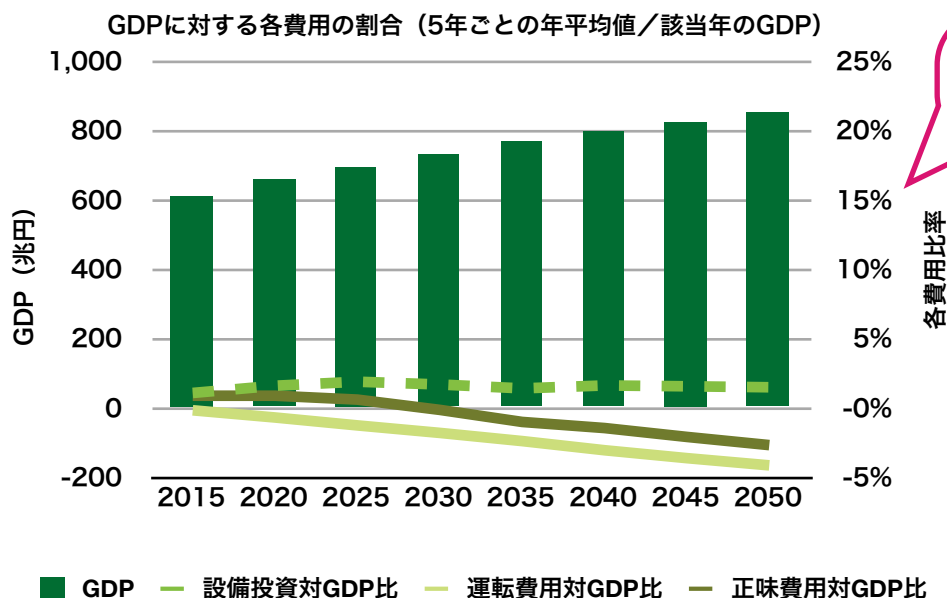
<http://www.wwf.or.jp/re100>

第1部〈省エネルギー編〉(2011)と第2部〈自然エネルギー編〉(2011) でわかったこと

- ◆ 現在すでに想定される技術や対策の普及で、日本のエネルギー需要は、2050年に現在の約半分まで減らすことが可能であること
- ◆ 既存の自然エネルギーのポテンシャル調査等をもとにして、自然エネルギーによって日本のエネルギー需要を満たすことは、少なくとも技術的には十分可能であること
- ◆ 電力だけではなく、熱・燃料を含めた総合的なエネルギーを自然エネルギーで満たすためには、自然エネルギーで供給しやすい電力の形でまかなう用途を増やすこと（最終用途エネルギー需要の約半分の電力化）
- ◆ 自然エネルギーだけでは供給が困難な熱・燃料需要には、自然エネルギーから水素を作って、水素で充当することで代替可能。（ちなみにWWFインターナショナルのグローバルシナリオでは水素を想定せず、持続可能なバイオマスを想定）
- ◆ 変動する電力需要に、変動する自然エネルギーを合わせることができると、全国の気象データを使ったダイナミックシミュレーションで検証した。結果、太陽光・風力・水力発電などを時間ごとにうまく組み合わせることで、1年間の電力を切れ目無く供給することは可能。
- ◆ 自然エネルギー100%の2050年時点でのCO2排出量はゼロ。2020年のエネルギー起源CO2の排出量は1990年比約25%削減、2030年には約58%削減
- ◆ 決して耐乏生活ではなく、快適で安全な生活が可能だが、省エネルギーや自然エネルギーを後押しする政策やライフスタイルを変革することが必要

〈費用算定編〉(2013) で新たにわかったこと

- ◆ 省エネルギーと自然エネルギーの投資の総費用は、GDP比で1.6%程度におさまる。省エネルギーと自然エネルギーの普及によってエネルギー費用が削減され、2030年ごろに節約額が投資費用を上回り、2050年ごろには**正味では大きな便益**となる



- ◆ 設備投資に対する正味費用の割合は、2050年までの累計値で見ると、省エネルギーで-90%、自然エネルギーで-19%となり、省エネルギーの導入がきわめて有効であること
- ◆ 電力価格は2030年ごろまで増加するが、その後は化石燃料価格の上昇とともに、BAU(成り行きケース)では価格が上がっていく一方であるのに対し、WWFシナリオの電力価格は2050年に向かって低下していく

1. 〈費用算定編〉におけるエネルギーの価格と費用算定の方法

〈費用算定編〉は、第1部〈省エネルギー編〉で検討した省エネ技術と第2部〈100%自然エネルギー編〉で検討した自然エネルギーの費用を算定することを目的としています。検討対象は、産業・家庭・業務・運輸部門における代表的な省エネルギー技術と、太陽光・風力・地熱・水力などの自然エネルギー技術です。

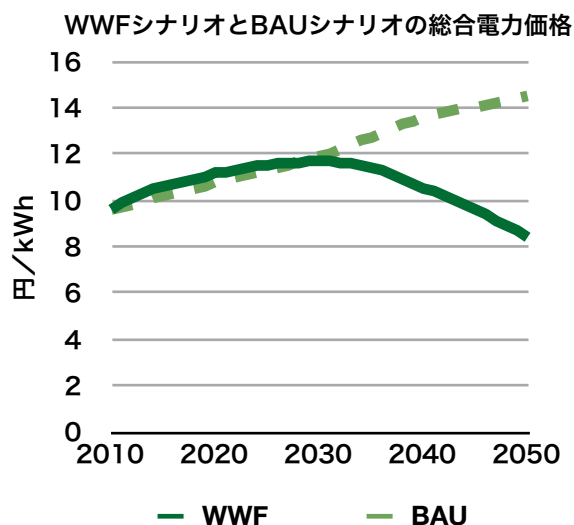
その費用を評価するために必要なエネルギー価格は、石炭・石油・天然ガスに関しては米国エネルギー省情報局(EIA)が毎年発表している将来見通し(2013年版)を参照しました。この想定は、エネルギー価格は2050年に向かって上昇していくものとしています。

将来の電力価格はWWFシナリオの方がBAU電力価格よりも下がる見込み

自然エネルギーをこれだけ大幅に増加させるときに気になる電力価格については、WWFシナリオでは、電力価格は2030年ごろまでは上がっていきませんが、その後は下がるシミュレーションになりました。

WWF電力価格の算定には、まず自然エネルギーの将来価格を、固定価格買い取り制度やコスト等検証委員会の価格を参考にして、学習曲線を用いて計算しました。一方のBAU(成り行きケース)の将来の発電の燃料構成は、2010年の構成が固定されるもの(つまり自然エネルギーが大規模水力を入れて約9%)と想定し、価格を算定しました。このBAU電力価格を下記の費用算定に用いています。

化石燃料価格の上昇とともにBAU電力価格が上昇する一方であるのに対して、自然エネルギーが増加することで運転費用が少なくなるWWFシナリオの電力価格は下がっていき、2050年の段階では大きく差が開きます。**将来の電力価格は自然エネルギーを多く導入する方が相対的に低くなることを示唆しています。**



費用算定の方法

省エネルギーと自然エネルギーの費用算定の手法は、必要となる①設備投資と、②運転費用を出し、さらに設備投資と運転費用を合わせた正味費用を示しました。

$$\text{③正味費用 (Net)} = \text{①設備投資 (CapEx)} + \text{②運転費用 (OpEx)}$$

①設備投資は、BAUシナリオの省エネルギーに対する追加の省エネルギー費用、および自然エネルギーは太陽光や風力発電などの初期投資の費用を意味します。

②運転費用には、まず省エネ設備や自然エネルギー設備の運転に必要な維持費用があります。そこから、省エネルギーにより削減されたり、自然エネルギーによって代替される化石燃料や電力などの費用をさしひきました。そのときの電力価格に上記のBAU電力価格を用いています。

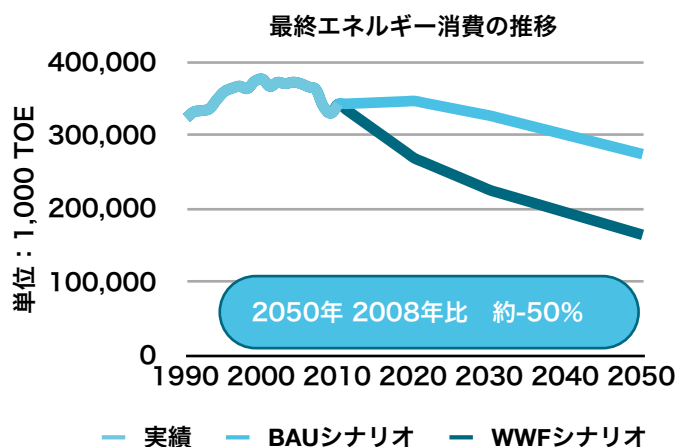
つまり、設備投資は当初はプラスの金額となりますが、運転費用は省エネルギーや自然エネルギーによって代替されて回収された金額が差し引かれるため、次第にマイナスになります。したがって、投資が適切なものであれば、③の正味費用は初期の設備投資のときにはプラスの値になりますが、次第に減少していき、いずれマイナスになります。これは**設備投資が回収されるだけでなく、利益となることを意味しています。**(本報告書では正味費用がマイナスになることを便益と呼ぶ)

2. 省エネルギーの可能性と費用について

〈省エネルギー編〉2050年エネルギー半減は可能

WWFシナリオでは、産業、家庭、業務、運輸部門において、代表的な技術（たとえば照明を効率の高いLED照明に替える、電気自動車/燃料電池車や断熱性の高い住宅・建築物への移行など）を選んで、急速に普及させていくことによって、どのくらいエネルギー需要が削減できるかを、部門ごとに計算して積み上げました。

その結果として、2050年には、生活の質を落とさずに現状と比較して約50%の削減が可能であることがわかりました。



〈費用算定編〉省エネルギーの費用は投資効果が極めて有効

省エネは、エネルギーの費用節約になるため、多くの省エネ技術は、通常のビジネススペースでも進んでいくと考えられます。そこで費用算定は、BAUレベルを超えてWWFシナリオが示す大幅なレベルの省エネ投資を進めるために必要となる、追加的な費用を計算しました。

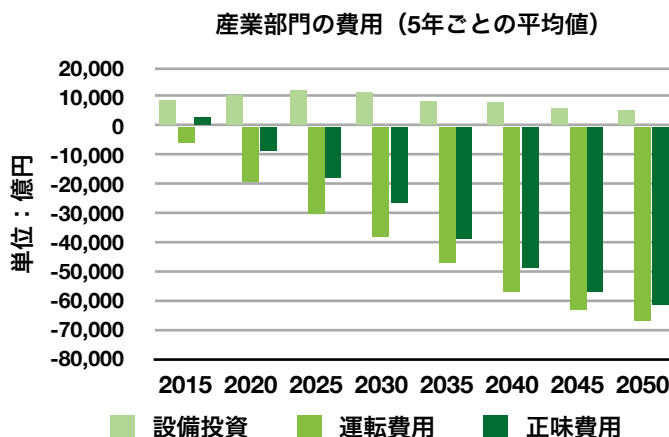
産業部門に関しては、特定の技術の発展について2050年まで想定をおくのは困難であるため、特定の技術の導入をとくに取り上げず、2010~2050年においてWWFシナリオで毎年必要となる省エネルギー量から投資額を計算するという手法をとりました。1997~2010年における日本経団連の自主行動計画の分析から、省エネルギー投資とその費用回収期間を計算できます。単位省エネ量当たりの投資金額は、年間1TOEあたり12~16万円となり、WWFシナリオではその2倍の費用がかかるものと想定しました。

産業部門の省エネルギー設備投資と回収期間

| 産業 | 開始年 | 終了年 | 累計 | 省エネ量 万TOE/年 | 投資額/省エネ量 万円/(TOE/年) | 平均エネ価格 万円/TOE | 回収期間 年 |
|-------|------|------|-----------------|----------------|------------------------|------------------|-----------|
| | | | 省エネ投資 合計(億円) | | | | |
| 紙・パルプ | 1997 | 2010 | 2,499 | 201 | 12.44 | 5.141 | 2.42 |
| 化学 | 1997 | 2010 | 5,084 | 407 | 12.49 | 3.938 | 3.17 |
| 鉄鋼 | 1997 | 2010 | 6,182 | 459 | 13.47 | 2.563 | 5.25 |
| 製造業 | 1997 | 2010 | 26,990 | 1,697 | 15.90 | 5.398 | 2.95 |

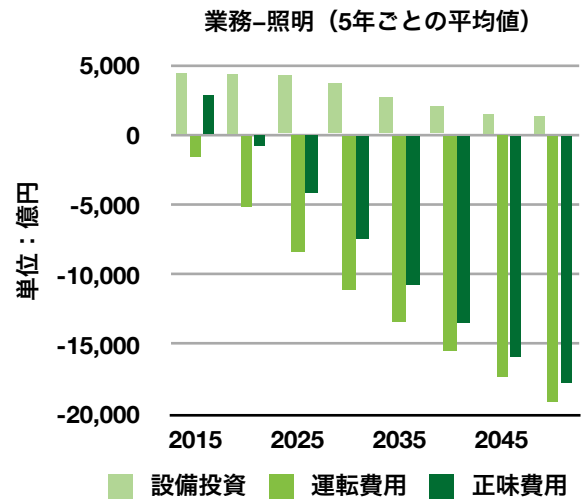
計算式：回収期間=省エネ投資/省エネ量/平均エネ価格 日本経団連、エネ研、経産省よりシステム技術研究所作成

エネルギー価格については、上記表から製造業の5.4万円/TOEとし、将来の価格を計算しています。計算結果では、40年間で35.9兆円の設備投資、対する運転費用は-163.9兆円となり、**産業部門では省エネ投資効果が大きいことを示唆する結果となりました。**



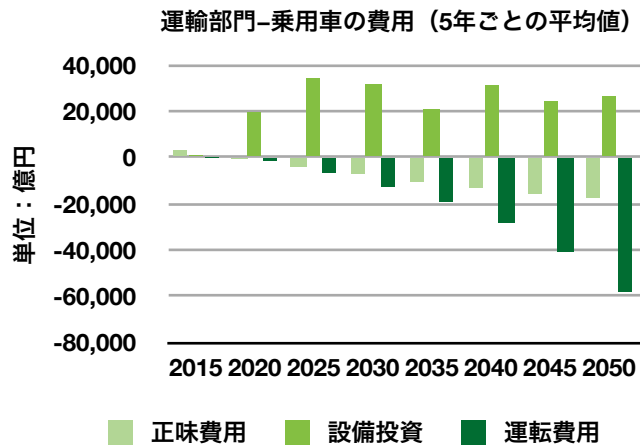
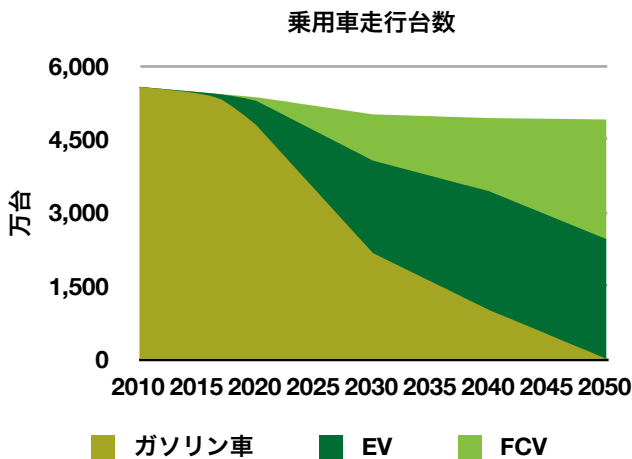
家庭、業務部門に関しては、断熱化や照明、エアコンなどの代表的な対策・技術の費用を算定することによって、その部門に必要な費用を推計するという手法をとっています。

右図は業務用ビルの高効率照明の投資と正味費用を5年ごとに表しています。早くから運転費用がマイナスとなり、投資に対して大きな利益が出るが示されています。



運輸部門ではエネルギー消費の大きい乗用車の省エネルギー費用を算定しました。WWFシナリオでは、現状のガソリン車から、バッテリー駆動の電気自動車(EV)と燃料電池車(FCV)へ代替されていくと想定し、設備

投資と運転費用を算定しました。省エネ費用算定では、乗用車への設備投資が最も大きく、2050年までには正味では利益となりませんが、2050年以降に投資効果が表れてきます。



結果としては、省エネルギーのために必要な設備投資は、2010~2050年までの40年間で210兆円、対する運転費用(節約額)は398兆円となりました。正味費用で見ると、188兆円のマイナスとなり、省エネルギーの導入がきわめて有効であることがわかりました。省エネ全体でみると費用対効果は、90%もの便益になり、省エネ投資が極めて有効であることを示しています。

40年間の省エネルギー設備投資・運転費用・正味費用の合計

| 項目 | A | B | C | C/A | |
|----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | 設備費用 | 運転費用 | 正味費用 | | |
| 産業部門 | 35.9 | -163.9 | -128.0 | -356% | |
| 家庭部門 | 断熱化 | 41.5 | -42.5 | -1.0 | -2% |
| | 照明 | 8.1 | -39.3 | -31.1 | -383% |
| | エアコン | 2.0 | -6.2 | -4.1 | -203% |
| 業務部門 | 省エネビル | 16.1 | -16.1 | 0.0 | 0% |
| | 照明 | 12.0 | -45.7 | -33.7 | -280% |
| 運輸部門 | 乗用車 | 94.1 | -84.5 | 9.7 | 10% |
| 省エネルギー合計 | 209.9 | -398.2 | -188.3 | -90% | |

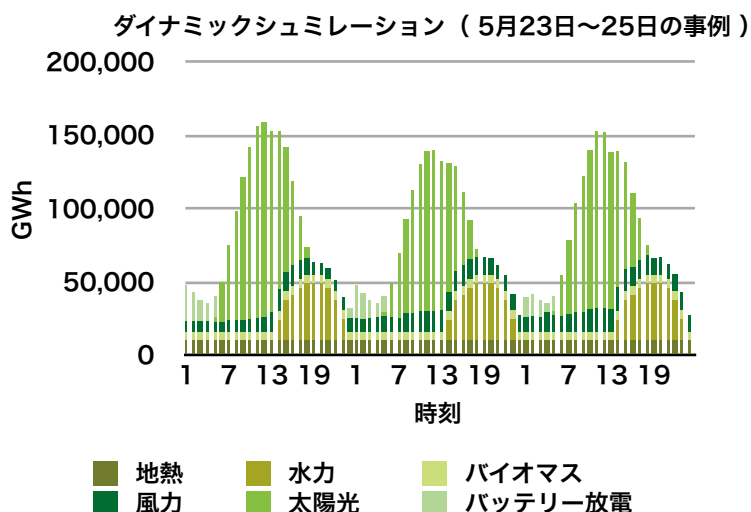
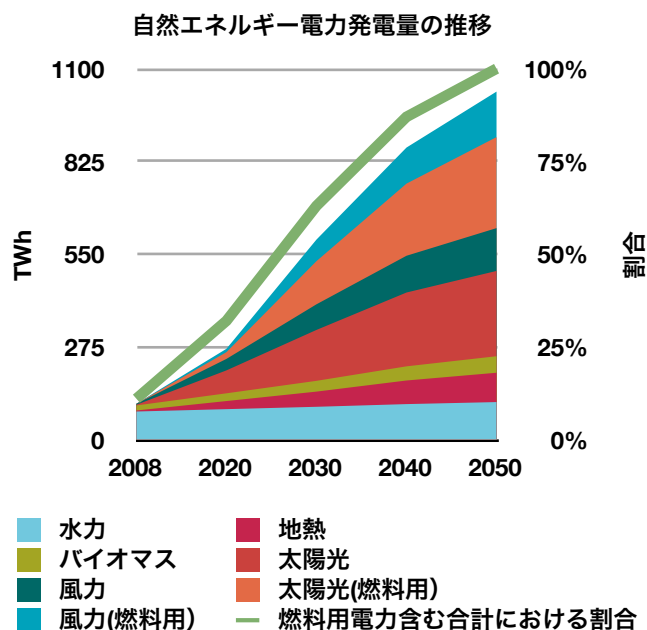
3. 自然エネルギーの可能性と費用について

〈自然エネルギー編〉 2050年100%自然エネルギーで賄う社会は可能

現在日本のエネルギー需要は、大きく分けて電力需要が約4割、その他の燃料(熱)需要が6割となっています(一次ベース)。このうち、熱・燃料需要については、日本にある自然エネルギー熱(バイオマス・太陽熱など)だけでは供給が困難であるため、WWFシナリオでは、一部は電力化によって置き換えたり、自然エネルギーから水素を作って、水素で充当することを想定しました。

環境省の自然エネルギーのポテンシャル調査では、日本のエネルギー需要をはるかに超える大きなポテンシャルがあることが示されています。それを参考にしながら、環境配慮と持続可能性の観点から一定の制限を加えた上で算定しました。検討した自然エネルギーは、太陽光、風力、バイオマス、地熱、水力(今後増やすのは小中水力のみ)、太陽熱です。

さらに変動する需要に合わせて、変動する電源である太陽光や風力を活用できるかを見るため、日本全国の気象データを使って、365日の自然エネルギーによる発電量のダイナミックシミュレーションを行いました。結果として太陽光・風力はできる限り需要に対応し、地熱とバイオマス発電が一定の電力を供給する中、太陽光が減少する夕方に水力を持ってこることで、安定供給に必要なバッテリー容量を抑えることができることがわかりました。



〈費用算定編〉 自然エネルギーの費用は保守的に見ても正味で便益となる

現在日本の発電量に占める自然エネルギーは、大規模水力を除くと1%程度、1次エネルギーの4%程度にすぎません。そのため、費用についてWWFシナリオではこれから自然エネルギー設備の新規建設、および運転にかかる費用の全体を示すことにしました。

自然エネルギーの費用算定項目

| 種別 | 費用計算の対象 | 2050年時点の設備容量 (万kW) | エネルギー供給量 (1,000 TOE) |
|--------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| 太陽光発電 | | 47,705 | 45,052 |
| 陸上風力発電 | 純粋電力+燃料供給用を含む | 5,456 | 11,263 |
| 洋上風力発電 | | 5,456 | 11,263 |
| 地熱発電 | 発電用 | 1,419 | 7,482 |
| 水力発電 | 発電用 | 2,760 | 9,546 |
| 太陽熱利用 | 熱供給用 | - | 18,468 |
| バイオマス | 熱・燃料供給用 | - | 55,813 |

なかでも太陽光および風力は、非常に大きく導入が進展すると予測されています。そのコスト低下をまず学習曲線により計算しました。累積生産量が2倍になるときのコスト低下の割合（進歩指数）は、過去のコスト低下から得られている数値が今後も続くものとして、太陽光で82%、風力で90%に低下するなど想定しました。

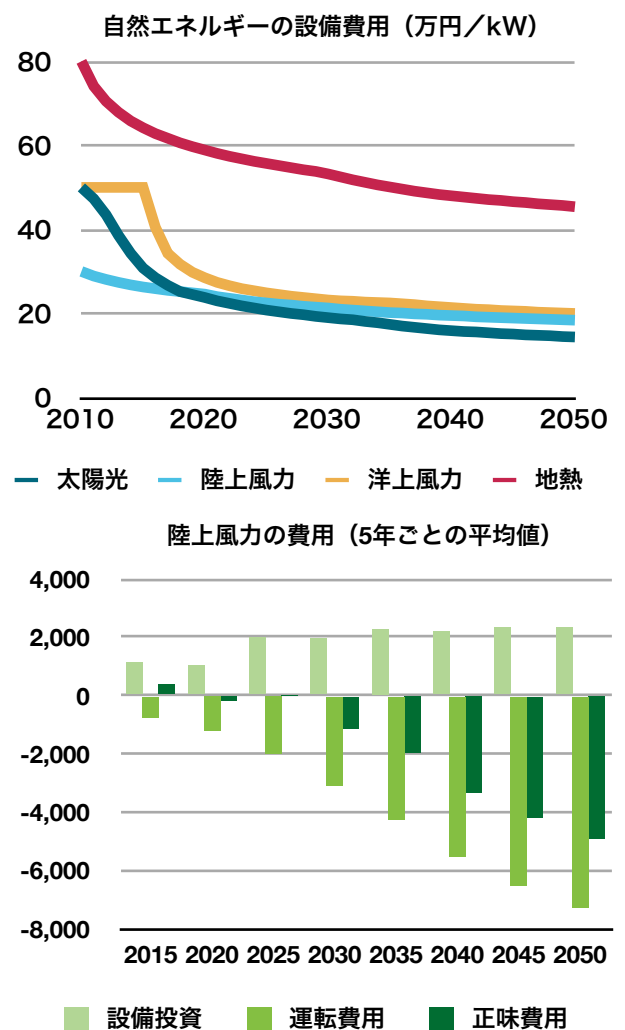
風力は陸上と洋上を2050年には半分ずつと想定し、それぞれ約5500万kWの設備容量の建設費用と運転費用を算定しました。2050年までの40年間では**投資した額の2倍がエネルギー節減で浮く**計算となり、投資効率がよいことがわかります。洋上は陸上よりも風況がよいので設備利用率は高くなるはずですが、陸上と同じ条件で算定しました。したがって計算結果は、節約される費用の観点からは控えめとなっており、技術の進展とともにさらなる便益となる可能性があります。

WWFシナリオでは、電力需要になるべく合わせるには、太陽光と風力の発電量を2:1に想定するのがよいというシミュレーション結果が示されています。そのため太陽光への投資が自然エネルギーの中では一番大きくなっており、2050年までに正味費用では便益になりません。しかし太陽光、風力ともにこれらの技術の製品は海外への輸出が想定でき、これにより累積生産量が増大するのでさらにコスト低下が考えられますが、本報告では考慮しませんでした。（なお、太陽光と風力に関しては電力用と燃料用を想定）

結果として、自然エネルギーに232兆円、運転費用（節約額）は-272兆円となり、40年間のトータルでは、43兆円の便益となることがわかりました。本試算では、自然エネルギーによる運転費用節約額を控えめに見積もっています。それでも、自然エネルギー全体では、費用対効果は**19%の便益**となっており、さらなる便益となる可能性を秘めています。

40年間の省エネと自然エネ設備投資・運転費用・正味費用の合計

| 項目 | A | B | C | C/A |
|---------------|-------|--------|-------|-------|
| | 設備費用 | 運転費用 | 正味費用 | |
| 太陽光 | 69.5 | -48.1 | 21.4 | 31% |
| 陸上風力 | 7.6 | -15.3 | -7.7 | -101% |
| 洋上風力 | 9.8 | -14.3 | -4.5 | -46% |
| 燃料用電力（太陽光+風力） | 92.8 | -73.6 | 19.2 | 21% |
| 太陽熱 | 26.6 | -83.4 | -56.8 | -214% |
| 地熱 | 10.9 | -18.3 | -7.3 | -67% |
| 水力 | 6.1 | -7.7 | -1.6 | -27% |
| バイオマス | 8.4 | -14.3 | -5.9 | -70% |
| 自然エネルギー合計 | 231.6 | -274.9 | -43.3 | -19% |



4. まとめ

WWFシナリオは、日本という国が持つ潜在力を、省エネルギーと自然エネルギーの両方で発揮すれば、「自然エネルギー100%」の将来は可能であることを示しています。しかもその費用は、40年間の合計では大きな便益となることが示されました。

2010年～2050年における省エネルギーと自然エネルギーの合計費用をまとめますと、設備投資は442兆円、運転費用（節約額）は673兆円、正味では232兆円の便益となります。1年間の平均値では、設備投資は年間11兆円となり、40年間の平均GDPに対して1.6%程度となります。本報告ではすべての最終用途の省エネルギーについて検討できませんでしたが、**省エネルギーと自然エネルギーの年間費用の割合は、GDPの2%程度**と推定されます。

40年間の省エネと自然エネ設備投資・運転費用・正味費用の合計

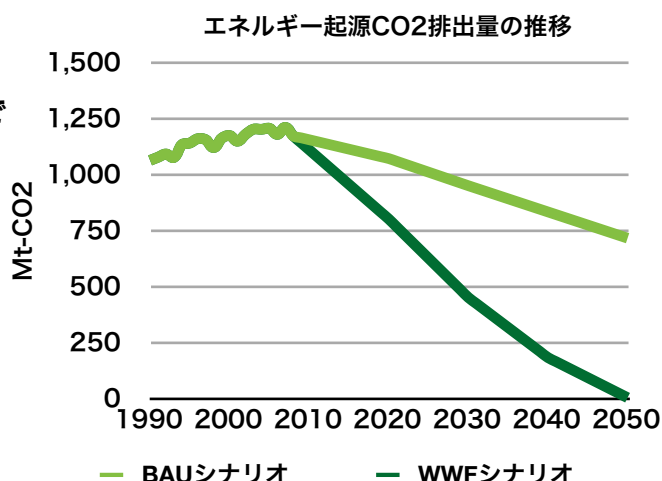
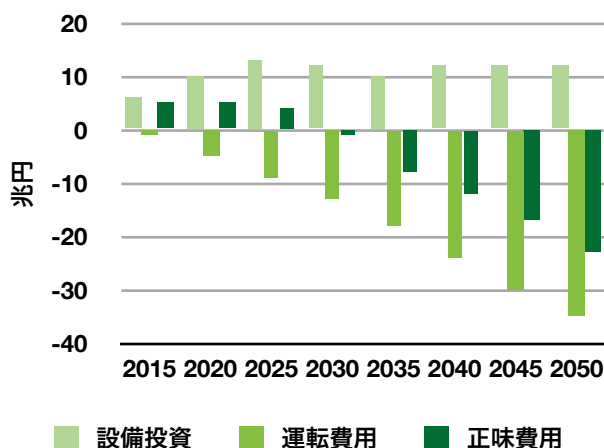
| 項目 | A | B | C | C/A |
|-----------|-------|--------|--------|------|
| | 設備費用 | 運転費用 | 正味費用 | |
| 省エネルギー合計 | 209.9 | -398.2 | -188.3 | -90% |
| 自然エネルギー合計 | 231.6 | -274.9 | -43.3 | -19% |
| 総合計 | 441.5 | -673.1 | -231.6 | -52% |
| 年間平均 | 11.0 | -16.8 | -5.8 | -52% |

2ページの図で示したように、毎年GDPの約1～2%程度の追加的な設備投資が必要とされますが、省エネルギーや自然エネルギーの普及によって削減されるエネルギー費用によって、2030年ごろからは正味では便益に転じます。さらに2050年に向かって運転費用（節約額）が大幅に減少していくことによって、**正味では大きな便益**をもたらすことが示されました。

すべてのエネルギーが自然エネルギーになれば、当然ですが、**CO2排出量はゼロ**になります。WWFシナリオの下では、2020年のエネルギー起源CO2の排出量は1990年比約25%削減、2030年には約58%削減となります。現在、政府が見直しを発表している「2020年までに1990年比で温室効果ガス排出量を25%削減」という目標は、温室効果ガス全体を対象とした目標であるため、このシナリオの計算だけで結論を出すことはできませんが、達成可能性を十分に示すものです。

安全で純国産、しかも温暖化も抑止する「**省エネルギー＋自然エネルギー100%社会**」は、投資面からも割が**あう**ことを、このWWFシナリオは示しているといえるでしょう。

省エネルギーと自然エネルギーの総費用（5年ごとの平均値）



5. 実現するために必要な政策

①短期的と長期的な省エネルギー目標と自然エネルギー目標の設定

省エネルギーと自然エネルギー社会が技術的に可能であり、投資が長期的には大きな便益をもたらすことがわかっているにもかかわらず、投資回収年数が約3～4年の設備投資しか行われていない現状から、より長い投資回収年数が必要となる省エネ・自然エネルギーへの投資を促すには、国としての明確な意思が示される必要があります。そのためには、長期的には自然エネルギー社会へ移行するという明確なビジョンに基づいて、2020年・2030年・2040年という経過地点において、野心的な自然エネルギー目標が欠かせません。WWFシナリオでは、たとえば、以下のような目標が必要です。

| | 2020 | 2030 | 2040 |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 自然エネルギー普及目標 | 電力：30% 燃料：15% | 電力：50% 燃料：40% | 電力：80% 燃料：55% |
| 2008年比省エネルギー目標 (最終エネルギー消費量削減目標) | 20%削減 | 30%削減 | 40%削減 |

(ただし電力については、燃料用も必要であるため、純粋な電力需要を満たす以上に自然エネルギー電源が必要)

②省エネルギー及び自然エネルギーのポテンシャルを十分に活かすような推進政策

このシナリオで想定されているような急速な省エネルギーと自然エネルギーの普及のためには、強力な自然エネルギー推進政策が必要です。自然エネルギー分野の代表的なものとして、固定価格買取制度があります。日本でもすでに効果を上げていますが、いまだ明確な自然エネルギー目標がないために、将来的な制度設計が見通せません。明確な目標と共に、それと整合的な買取価格や期間などの設計を行うべきです。

また、本報告書が示すように、省エネルギー・自然エネルギーいずれの分野でも、長期的に見れば投資は正味で便益を生みます。それにもかかわらず、そうした投資がされない現実を生んでいる社会的・制度的障害を取り除いていくための政策や仕組みを導入していくことが必要です。

③自然エネルギーの普及を妨げている社会的バリアの改革：電力システム改革など

いまだ自然エネルギーが発電量に占める割合が1%程度（水力を除く）の日本には、様々な社会的なバリアがあります。その一つが全国送電網がつながっていないことです。WWFシナリオのダイナミック・シミュレーションの中では、送配電網が統一されて全国的に系統運用が可能であることを前提としています。現在、電力システム改革が進められようとしています。自然エネルギーのポテンシャルを最大限に活かす視点を持って、送電網の中立性を確保し、広域の給電指令体制を整えることが必要です。また他分野の様々な規制改革の必要性を洗い出し、社会的バリアを速やかに取り除いていくことが重要です。

④自然エネルギーの熱活用／水素の有効利用

最終用途エネルギーの中で大きな割合を占める燃料・熱需要について、これまで軽視されがちだった太陽熱やバイオマスの熱利用に光を当てていくべきです。またそれだけではすべての燃料・熱需要を満たせない場合のために、水素の活用についてインフラ整備も含めて検討する必要があります。

⑤原発の着実な段階的廃止方針の採択

福島第一原発事故は、原子力の非持続可能性を端的に示しました。今後のエネルギー政策を考えるにあたっては、原子力を段階的に着実に廃止していくことを前提にした需給について考えていくべきです。

以上の提言は、本シナリオ実現のために必要な条件のほんの一部ではありますが、同時に、これらなくして達成は不可能といえる重要な要素です。WWFジャパンでは、今後も、このシナリオが示すビジョン実現のために必要な要素について、提言を続けていきます。

WWF エネルギーシナリオ 費用算定編

100%

2050年に自然エネルギー100%の社会は世界的にも日本においても可能

-50%

既存の省エネルギー技術の急速な普及で2050年のエネルギー消費量は1990年比の約50%に減少



CO₂ゼロ

2050年に向かって地球温暖化の進行を抑える社会を次世代に残せる

トータルではプラス

40年間で必要な投資は442兆円
しかしエネルギー削減で673兆円浮く
トータルでは、232兆円の便益