

2050年脱炭素社会WWFジャパン 100%自然エネルギーシナリオ



中央環境審議会地球環境部会
2050年ネットゼロ実現に向けた気候
変動対策検討小委員会・産業構造
審議会イノベーション・環境分科会
地球環境小員会中長期地球温暖化
対策検討WG

2024年12月20日

システム技術研究所
所長 槌屋 治紀

目次

- 1) WWFシナリオの概要
- 2) 最終エネルギー需要
- 3) エネルギー供給構成
- 4) 費用の推定
- 5) CO2削減率
- 6) まとめ

WWFシナリオは、WWFジャパンの依頼で当研究所が作成した「2050年脱炭素社会に向けた100%自然エネルギーシナリオ」(2021-2024)」である。その内容はWWFジャパンのサイトから入手可能である。

WWFシナリオの概要

WWFシナリオは2050年に再エネ100%を実現する方法について検討。太陽光と風力の野心的な導入を想定し、気象データを使って1時間ごとの1年間の電力需給ダイナミックシミュレーションを行っている。

2021-2024年に発表したWWFシナリオでは、以下のようなCOP28の要請を満たしている。

- 1) 2030年に2019年比で再エネ容量を3倍にする
- 2) 2035年CO2削減率を2019年比で65%以上にする
さらにIPCCは以下の要請を行っているが、
WWFシナリオはこれも満たしている。
- 3) 2040年CO2削減率を2019年比で80%以上にする
- 4) 90%以上の削減を2050年より前倒しにする。

WWFシナリオ 将来のエネルギー需要の推定方法

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{将来のエネルギー需要} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{基準年のエネルギー需要} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{活動度変化} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{効率向上} \\ \hline \end{array}$$

人口、素材輸出、建物の長寿命化、情報化（ペーパーレス）

断熱住宅、LED照明、ヒートポンプ、電気自動車など

将来の最終エネルギー需要は、基準年のエネルギー需要、将来の活動度変化、効率向上の積でできる。活動度は、最終用途ごとに適切な指標から推定する。

WWFエネルギーシナリオ

	2035年	2050年
目標	2019年レベルからCO2排出のおおよそ65%を削減する	すべてのエネルギー用途に再エネを供給し、CO2排出をゼロにする
エネルギー需要	人口減少により活動度が減少、効率化が進み、これに比例してエネルギー需要も減少してゆく	人口減少83%と産業構造変化に伴って活動度はさらに減少、合わせてエネルギー効率向上により半分以下に減少
エネルギー供給	電力はおおよそ75%を再エネから、残りをガス、石油、原子力(*)から供給。石炭火力を廃止する。	太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス、周囲熱など、100%再エネ電力を熱・燃料需要にも供給
民生部門	効率のよい家電製品が普及。暖房・温水需要にヒートポンプが増加	暖房・温水には再エネ電力+ヒートポンプまたは太陽熱を供給
産業部門	産業構造変化が進展。石炭を鉄鋼・紙パルプ・セメント産業に、ガスを熱需要に供給	産業構造変化がさらに進展。再エネ電力から水素を生産して鉄鋼業に、さらに電力を直接加熱またはヒートポンプにより熱需要に供給
運輸部門	乗用車のEV化が進展する。トラック、船舶の電動化が始まる	車上PVが普及。乗用車はEVに、トラックはEVとFCVになる。再エネ電力から水素を生産して船舶、航空機に供給

(*)原子力については2021年時点ですでに再稼働決定したもの、および適合性審査完了済・申請済は稼働するが、30年以上経過したものは稼働せず、新規建設はしない。2030年には3基のみ322万kW(泊、東通、志賀)が稼働、2038年以降ゼロになると想定した。

WWFシナリオ

産業部門のエネルギー需要構造変化の推定

総合変化量＝人口減少＊素材輸出減少＊建物長寿命化＊情報化

	活動量の要因別変化量(%)				
2015年→2050年	人口減少	輸出増減	建物の長寿命化	情報化	総合変化量
産業					
農林水産鉱建設業	83%	100%	100%	100%	83.0%
製造業					
食品飲料製造業	83%	100%	100%	100%	83.0%
繊維工業	83%	100%	100%	100%	83.0%
パルプ・紙・紙加工品製造業	83%	95%	98%	85%	65.7%
化学工業 (含 石油石炭製品)	83%	70%	98%	100%	56.9%
プラスチック・ゴム・皮革製品製造業	83%	70%	98%	100%	56.9%
窯業・土石製品製造業	83%	90%	80%	100%	59.8%
鉄鋼・非鉄・金属製品製造業	83%	70%	95%	100%	55.2%
機械製造業	83%	150%	100%	120%	149.4%

AIがデータセンターの電力消費を増大させるか？

AIモデルの電力消費とCO2排出量

Artificial Intelligence Report 2023, Stanford University 2023

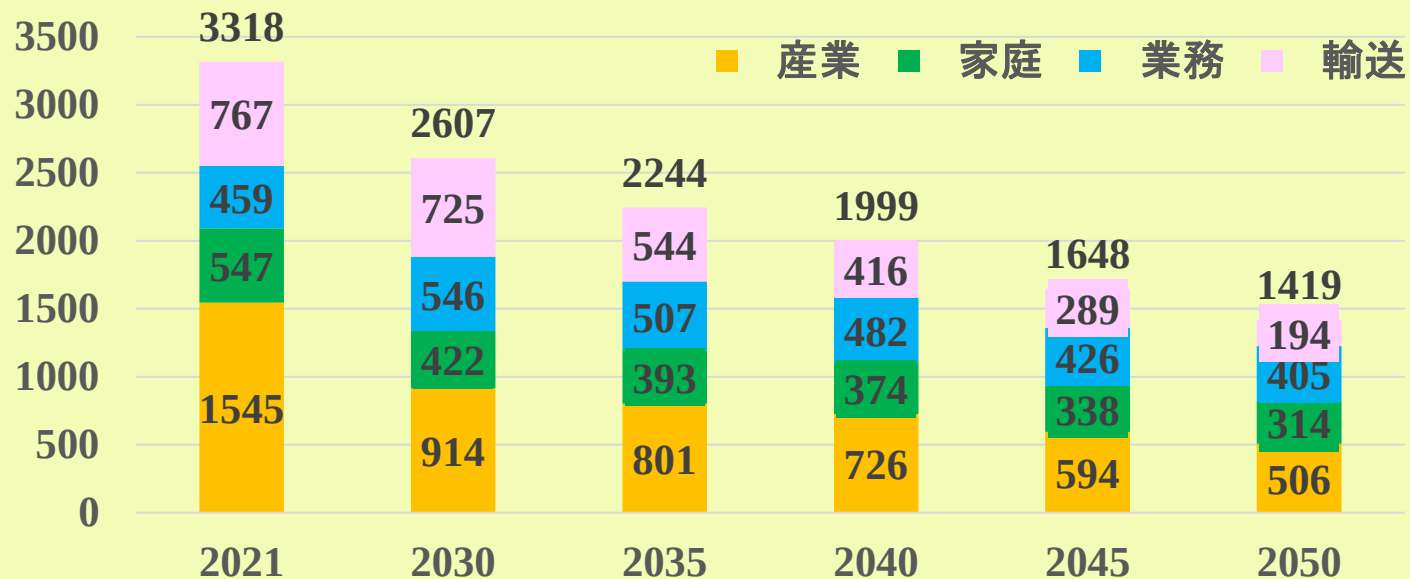
モデル	電力消費 (MWh)	CO2排出係数(g/kWh)	CO2排出量(トン)
Gopher	1066	330	352
BLOOM	433	57	25
GPT-3	1287	429	502
OPT	324	231	70

これまでも新技術が電力消費を増大させるという説は繰り返しあった。1980年代末には高温超電導が発見され、電力消費が指数関数的に増大するという予測が行なわれたが、そうならなかった。インターネットの普及、仮想通貨のマイニングなどでも増加が予想されたがそうならなかった。。

電力消費削減の技術開発もある。政府出資のラピダスは、電力消費を1/10にする省エネ半導体を開発して、データセンターの電力消費を抑制すると発表。

最終エネルギー需要の推定

WWFシナリオ 最終エネルギー需要(TWh)



WWFシナリオの最終エネルギー需要は2021年比で、2035年には67%に、2050年にはさらに43%に減少する。産業部門の減少が大きく、またEVの導入により自動車の効率が3～4倍になるため運輸部門の減少が特に大きい。

主要な再エネ容量の想定

シナリオ	容量(GW)	2021-22	2030	2035	2040	2050
WWFシナリオ	風力	4.5	40	61	109	153
	太陽光	62	161	280	360	413

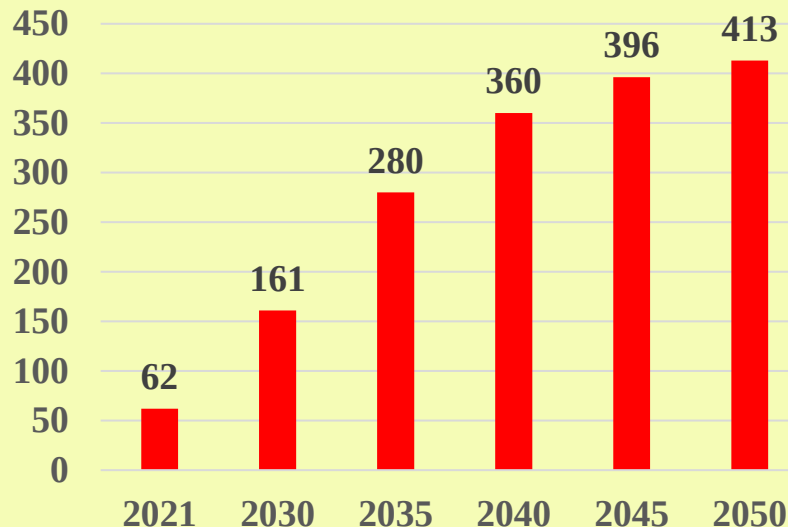
WWFシナリオでは、上記のように風力と太陽光を将来の主要なエネルギー供給源として設定している。参考までに両業界のエネルギービジョンを示すと以下のようにになっている。

(1) JWPA(風力発電協会)の風力ビジョンでは2050年に陸上40GW、洋上着床40GW、洋上浮体60GW、合計140GWとなっている。

(2) JPEA(太陽光発電協会)のPVビジョンでは、2050年に太陽光を400GWとしている。

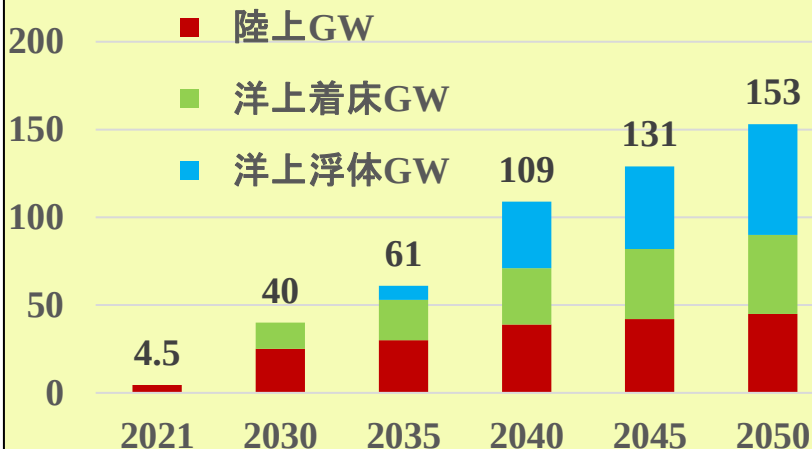
WWFシナリオ 太陽光と風力の想定

太陽光発電容量(GW)



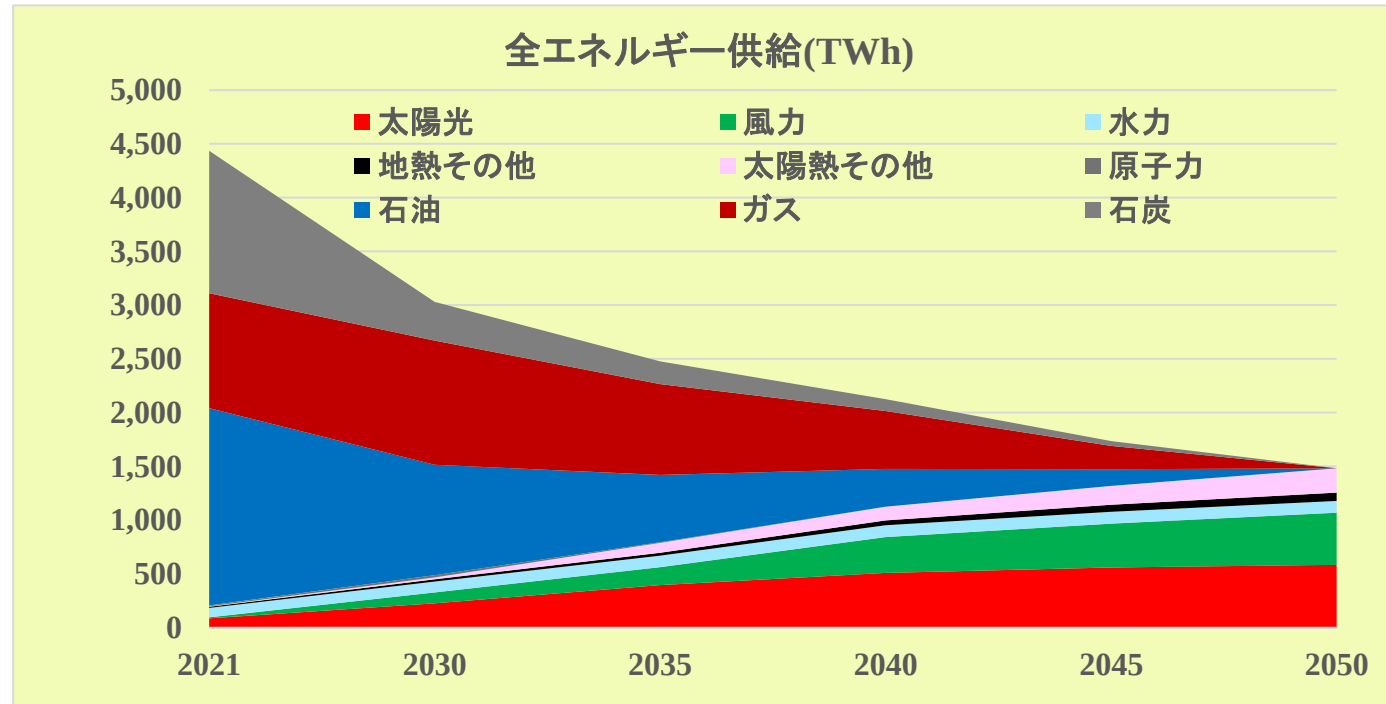
太陽光発電(PV)は2050年には413GWに達する。住宅など建物に付属するものと、事業用として大規模なものとの比を4:6と想定した。

風力容量(GW)



風力発電は2050年には153GWになると想定した。内訳は陸上45GW、洋上着床45GW、洋上浮体63GWである。

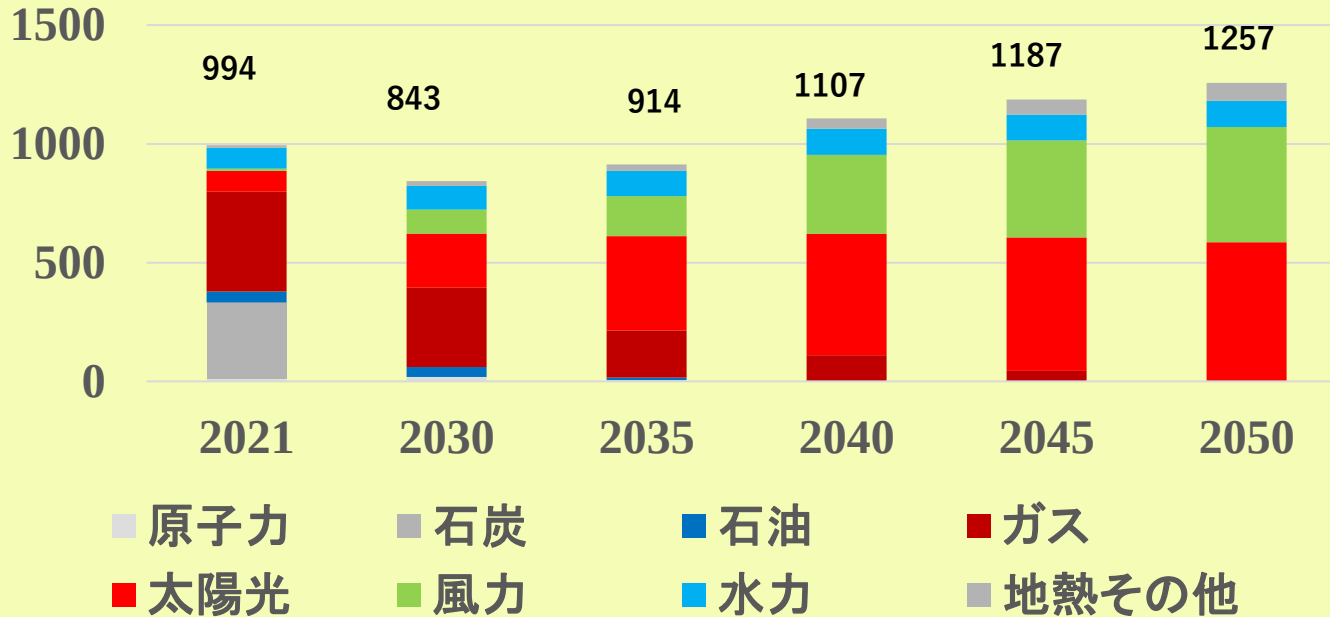
WWFシナリオ 全エネルギー供給の構成変化



現状ではCO₂を排出する化石燃料が主要な構成要素であるが、2035年にむけて石炭火力が大きく減少する。さらに2050年にむけて、太陽光や風力などの再生可能エネルギーに転換してゆくことを想定している。

WWFシナリオ 電力供給構成

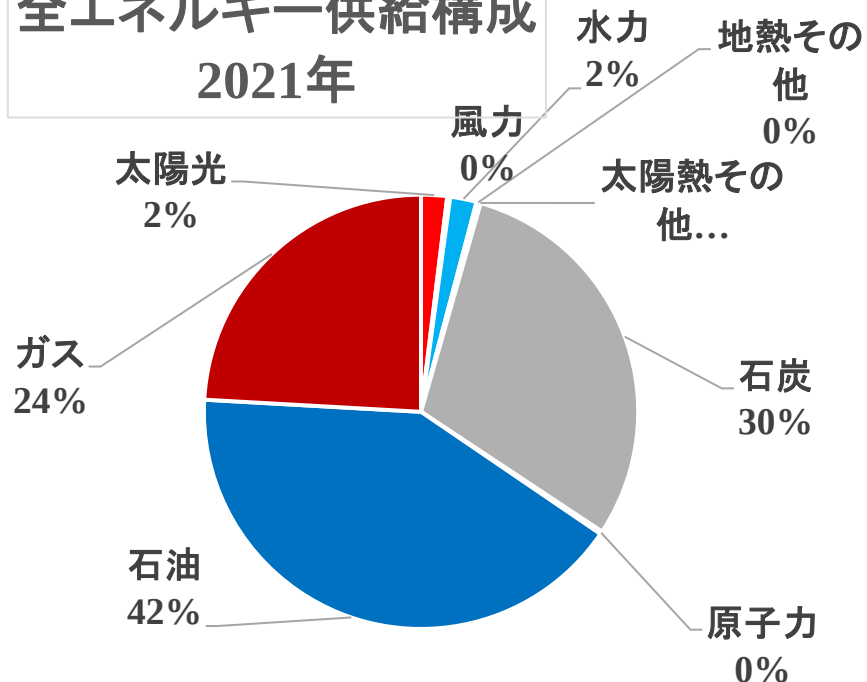
電力供給構成(TWh)



電力供給は2030年まで減少するが、その後は、再エネ発電が増加して、EV、電力加熱、水素製鉄、ヒートポンプなど、これまでは電力の用途ではなかった分野に電力供給が増加してゆく。地熱その他には、バイオマス発電と車上PVが含まれている

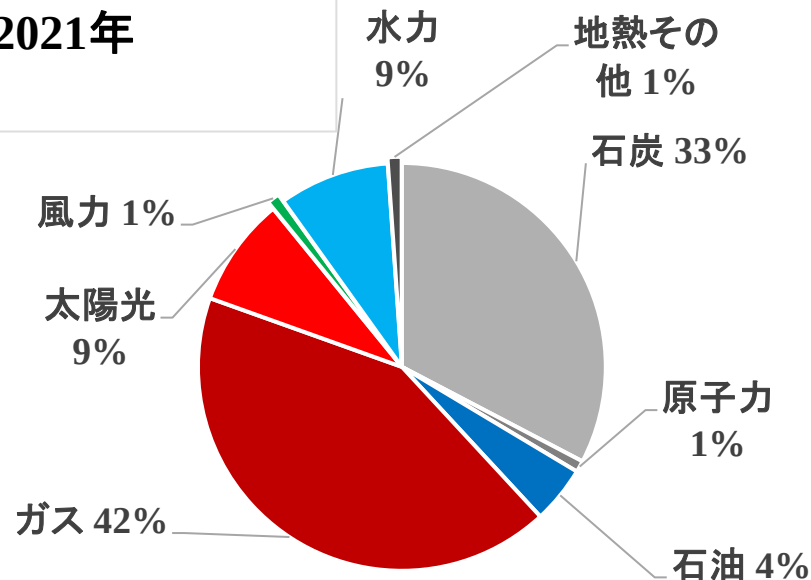
WWFシナリオ エネルギー供給構成 2021年

全エネルギー供給構成
2021年



全エネルギー供給をみると、ガス、石油、石炭が多くあり、太陽光や風力はごく一部の供給にとどまっている。

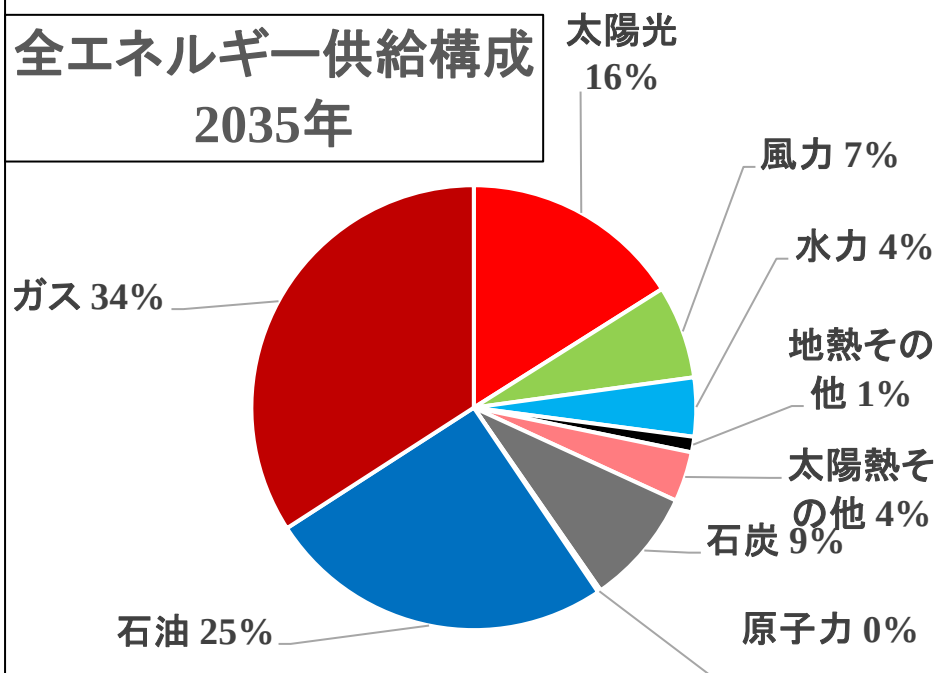
電力供給構成
2021年



電力供給をみると、最大はガス火力であり、石炭火力も大きい。

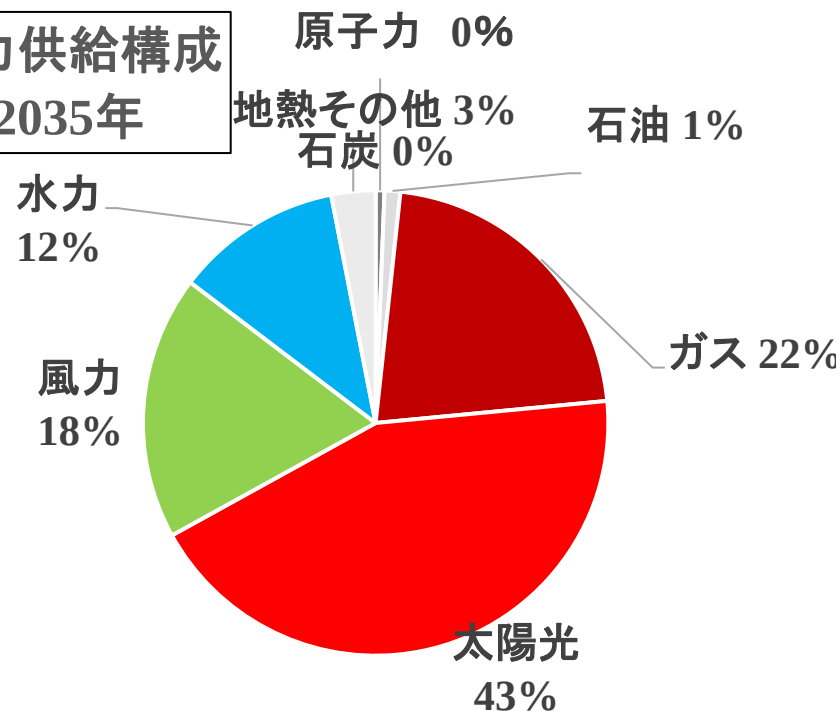
WWFシナリオ エネルギー供給構成 2035年

全エネルギー供給構成
2035年



全エネルギー供給をみると、まだガス、石油が多いが、太陽光や風力が増加している。

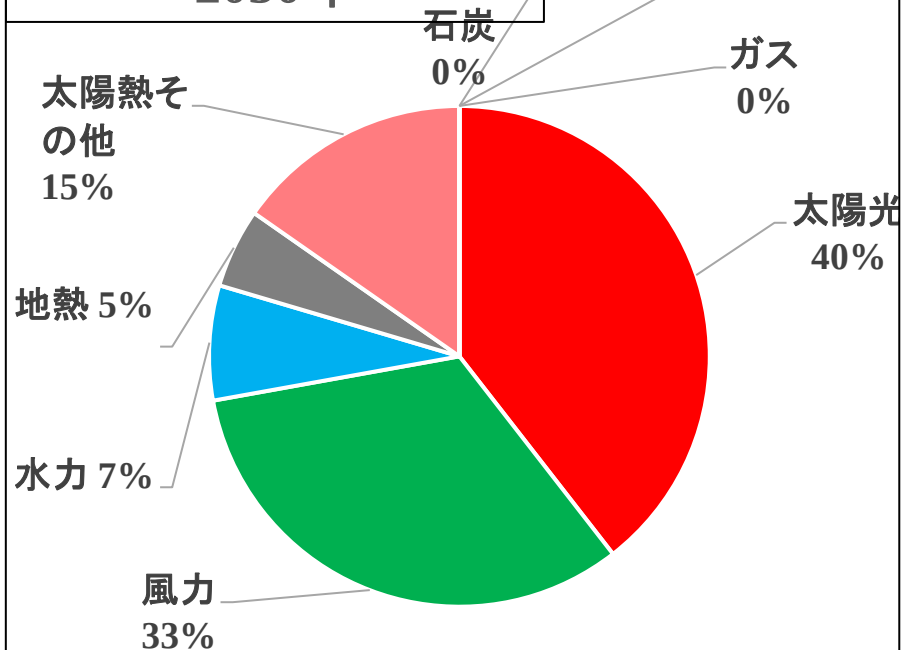
電力供給構成
2035年



電力供給をみると、石炭がゼロになり、原子力はすこし残っている。ガスより太陽光が大きくなっており、風力も増加しつつある

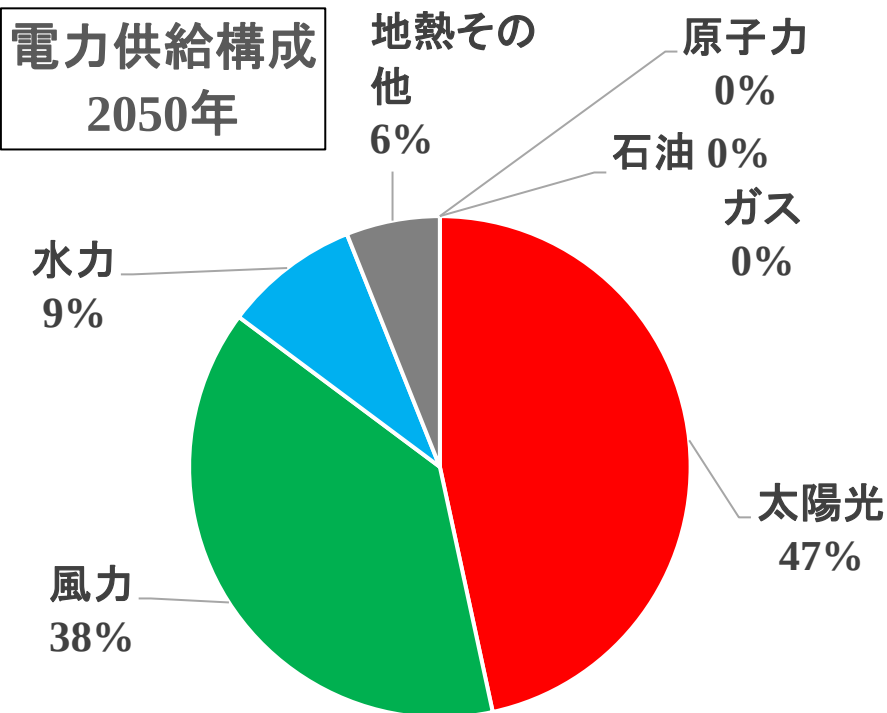
WWFシナリオ エネルギー供給構成 2050年

全エネルギー供給構成
2050年



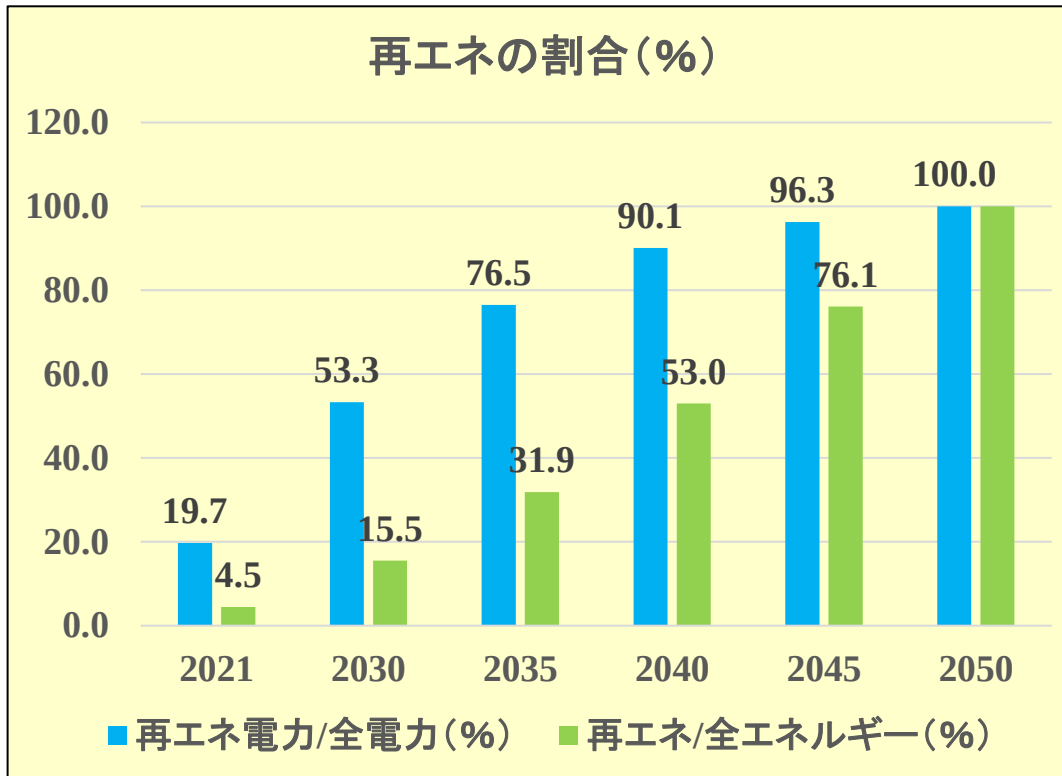
全エネルギー供給をみると、化石燃料はゼロとなり、太陽光が最大、風力がその次になっている。

電力供給構成
2050年



電力供給をみると、太陽光と風力が主要な供給源になっており、水力、地熱その他も有効に寄与している

再エネの割合(%)



年	再エネ電力/全電力(%)	再エネ/全エネルギー(%)
2021	19.7	4.5
2030	53.3	15.5
2035	76.5	31.9
2040	90.1	53.0
2045	96.3	76.1
2050	100.0	100.0

再エネの割合は2021年には、電力については19.7%であるが、2035年には79.5%に達する。これに対して全エネルギーに対する再エネの割合は、2021年には4.5%であり、2035年でも31.9%と、その増加速度は緩やかである。双方とも2050年には100%に達する。

WWFシナリオ 再生可能エネルギーの供給

(2050年、数値はTWh)

再エネ発電

水力、太陽光、風力、
地熱(3GW)、バイオ
マス(5GW)

余剰電力

太陽光、風力

太陽熱(76)、バイオマ
ス熱(70)、周囲熱(81)
車上PV(40)

電力需要Bは、熱・燃料需要に対
して供給する電力であり、時間的
に柔軟にシフト可能な需要であり、
デマンドレスポンス、天気予報に応
じて生産調整を行う。

電力需要

照明、モータ、エアコ
ン、エレクトロニクス

電力需要B

EV(49)・FCV(23)、水素
製鉄(70)、船舶(20)、
中温・高温熱(173)、
航空機燃料(20)

低温熱、ヒートポンプ(31、民生用C
OP=5, 産業用COP=3)、家庭・
業務用

年間平均投資額の推定

単位: 兆円	GX(政府)	WWFシナリオ
年平均投資額	15	8.5
再エネ投資/年	2	5.8
省エネ投資/年	4	2.7

WWFシナリオの年間平均費用は2020-2050年の30年間について総投資額254兆円(再エネ172兆円+省エネ81.7兆円)から算出した。それぞれのシナリオについての算定種目は同一ではない。

CO2排出量

	2013	2019	2030	2035	2040	2050
COP28目標 (CO2 Mton)	1,235	1,028	534	360		
WWFシナリオの CO2排出量(Mton)			534	349	205	0
WWFシナリオの 2013年比削減率(%)			56.7	71.7	83.4	100
WWFシナリオの 2019年比削減率(%)			48.0	66.1	80.1	100

WWFシナリオのCO2排出の削減率は2013年比で、2035年に72%、2040年に83%、2050年に100%となる。2019年比で、2035年に66%、2040年に80%、2050年に100%となる。

まとめ

適切な政策によって2050年に向かってエネルギー需要が減少する。再エネのコストが低下しており、再エネを主体にしたエネルギー政策は経済性が高く2050年にはCO₂を100%削減できる。再エネ産業は日本の将来の産業構造の主要な担い手になる。

CO₂排出量を大きく削減するには、毎年的大幅な効率改善や再エネ導入が必要。それには、資源リサイクルやペーパーレス、原材料輸出の減少、建物の長寿命化の推進、再エネの優先的扱い、再エネ関連企業の育成、洋上風力産業の推進、送電網の柔軟な利用促進、断熱住宅やEVの普及、水素製鉄の実現など、気候変動に対抗するイノベーションを進展させる政府の適切な政策が必要である。