

COP28の目標を実現するには

2050年脱炭素社会に向けた100%自然エネルギーシナリオ



WWFジャパン エネルギーシナリオ
発表会

～ COP28の目標を実現するには～

2024年5月31日

システム技術研究所
所長 槌屋 治紀

目次

- 1) WWFシナリオの目的
- 2) 最終エネルギー需要の改定
- 3) 2030年までに再エネ容量を3倍にする
(基準年は2019年)
- 4) 2030年までに効率を2倍にする
- 5) 2035年、2040年、2045年におけるCO₂削減率
- 6) まとめ

今回、昨年人口推計が発表されたので、最終エネルギー需要を改定した。

1GW=百万kW

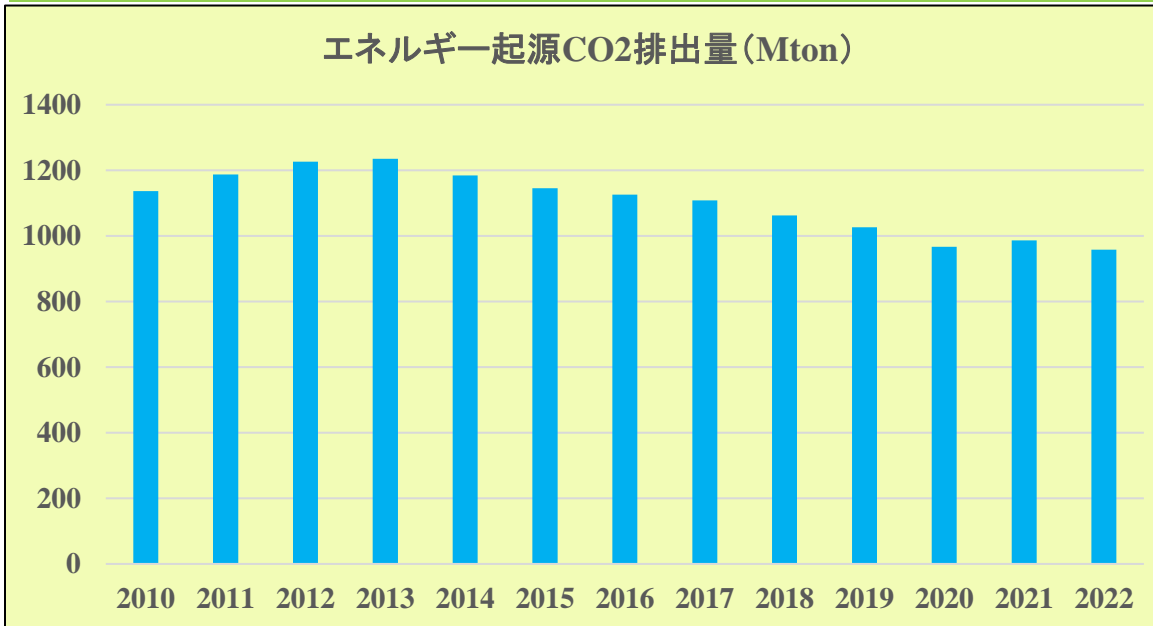
1TWh=10億kWh

WWFシナリオの目的

WWFシナリオは、2021年に発表した内容を改定して、COP28の要請に応じ、世界全体で1.5度目標を達成するために以下のような点に配慮して検討を行った。

- 1) 2030年までに再エネ容量を3倍にする(基準年は2019年)
- 2) 2030年までに効率を2倍にする
- 3) 2035年に2019年比CO₂ 65%削減 (GHG60%削減) (IPCC提示)
- 4) 2040年に2019年比CO₂ 80%以上削減 (IPCC提示)
- 5) 2050年より前(2045年など)に2019年比CO₂ 90%以上削減

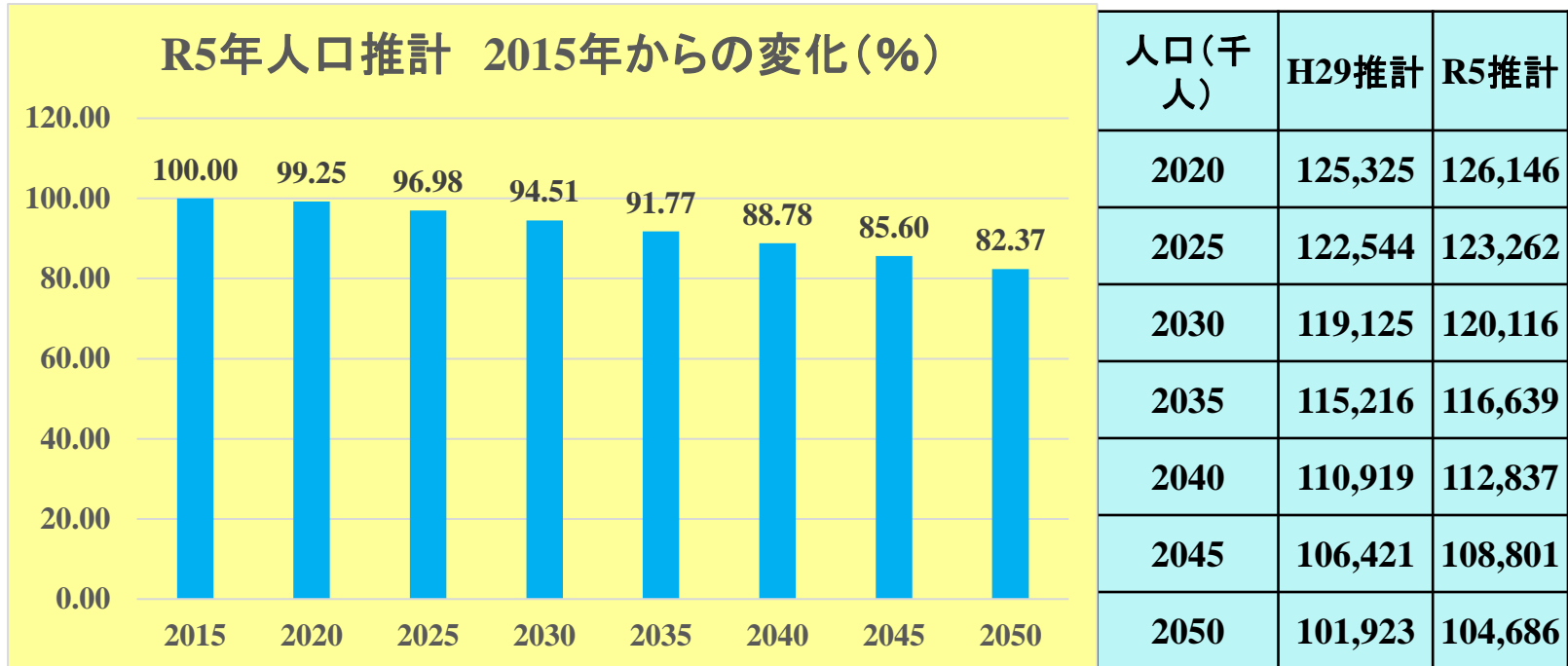
CO2排出量データ 2010-2022



年	CO2(Mton)
2010	1137
2011	1188
2012	1227
2013	1235
2014	1185
2015	1146
2016	1126
2017	1109
2018	1064
2019	1029
2020	968
2021	987
2022	964

CO2 排出量は2013年が最大であり、2022 年には、2013 年比でマイナス22% になっている。これは9年間に毎年2.4% の削減である。2035 年までの12年間にCO2 排出量を65% 削減するには毎年3.7%の削減が必要で、過去9 年の削減速度の1.5倍が必要になる。

R5年人口推計



前回はH29年人口推計(社会保障・人口問題研究所、中位推計)をベースに需要を求めた。最新のR5年推計が発表されたので、修正を行った。特殊出生率がすこし増加し減少速度が低下して2050年には、2015年比で80.1%→82.37の減少となった。

将来のエネルギー需要の推定方法

将来のエネルギー需要

=

基準年のエネルギー需要

×

活動度変化
人口、素材輸出、建物の長寿命化、情報化
(ペーパーレス)

×

効率向上
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、効率向上の積できる。活動度は、最終用途ごとに適切な指標から推定する。

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自然エネルギーを供給し、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50%を自然エネルギーから残りをガス、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、周回熱など、100%再エネ電力を熱・燃料需要に供給
民生部門	効率のよい家電製品が普及。暖房・温水需要にはガスを供給する	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。石油をトラック、船舶、航空機に供給	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。

産業部門の構造変化の推定

総合変化量 = 人口減少 * 素材輸出減少 * 建物長寿命化 * 情報化

2015年→2050年	活動量の要因別変化量(%)				
	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%

省エネルギー

効率向上の可能性：家庭部門と業務部門

	家庭部門		業務部門
断熱化	ZEH(ゼロエネルギーハウス)や次世代の省エネ基準が普及し、戸建+集合住宅の暖冷房需要が現状の36%に低下する。	暖冷房	ZEB(ゼロエネルギービル)や断熱化により、現状から50~75%に低下。エアコンCOPが2倍になり、暖冷房需要は35%に低減
エアコンCOP	COPが現状の3~4から6~7へ、効率が2倍になる	照明	暖冷房を除く電力の50%が照明。LEDタスク+アンビエント照明の普及で効率4倍に
照明	白熱灯と蛍光灯はなくなり、LED電球が広く普及。現状の4倍の効率になる	OA機器	ハードディスクに代わってフラッシュメモリーが普及しPCやデータセンターの電力消費は1/3に低下。OA機器の電力消費が50%に低減
電気製品	高効率の電気冷蔵庫の普及。家電製品は半導体の電力損失低減により、現状の半分の電力消費になる	リモート会議	出張などがリモート会議へ移行してエネルギー消費が低減する

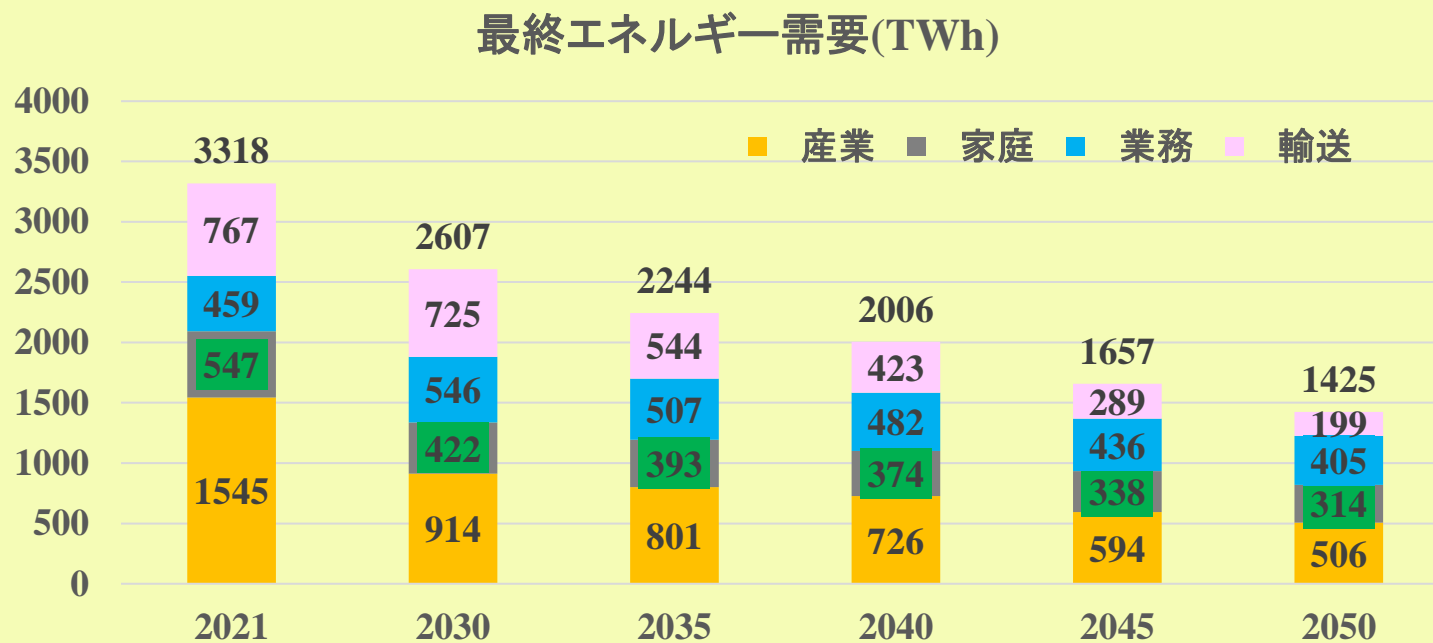
省エネルギー

効率向上の可能性：産業部門と運輸部門

	産業部門
鉄鋼業	鉄鋼生産は2015年の1億400万トンから2050年には5512万トンへ減少し、リサイクル率は70%になり、水素製鉄で1653万トン、電炉で3858万トンの生産
化学・窯業 ・紙パルプ	生産量が減少してゆくが、高効率省エネルギー機器の導入により効率が30%向上する。
分野横断 技術	インバータ制御モータの広範な導入により、効率が30%向上する

	運輸部門
自動車、 EV/FCVへ	すべての自動車が、軽量化され、電動になる。乗用車はEVに、トラックは半分ずつEVとFCVになる。乗用車は5280万台から2050年には3690万台に減少する。
船舶	小型機はバッテリーまたは水素+FC駆動、大型機は水素+FCに移行
航空機	小型機はバッテリーまたは水素+FC駆動、大型機は水素ジェットに移行

最終エネルギー需要の推定



2030～2050年の最終エネルギー需要をR5人口推計の中位推計に沿って改訂した。改訂前と比較すると2050年においては2.73%の最終エネルギー需要の増加となっている。

最終エネルギー需要は活動度と産業構造の変化により2015年比で2035年には68%に、2040年には61%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。

太陽光の想定

(1) PVの設備利用率は12.8%としていたが、JPEAのデータでは住宅・建物用で13.8%、事業用で17.8%となっている。この数値にすると同じ容量で発電量を10%増大できる。

(2) ペロブスカイトにより設置場所が増大。建物の屋根や壁など広範囲にシート状のPV製品が利用できる。このため2050年には15%設置容量が増えたとする。2050年には413GWになると想定。

シナリオ	PV(GW)	2021	2030	2035	2040	2045	2050
今回のWWFシナリオ		62	161	280	360	396	413

風力の想定

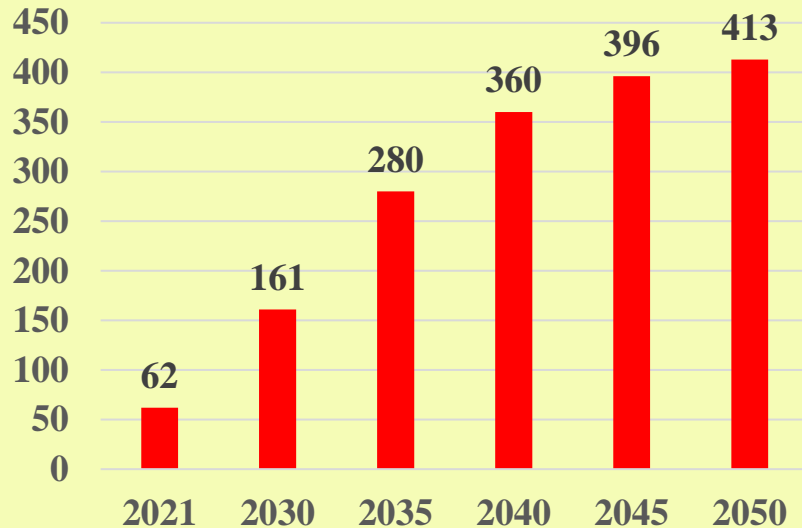
(1) 風力の設備利用率は平均30%としていたが、JWPAのデータでは陸上25%、洋上着床35%、洋上浮体45%となっている。この数値にすると同じ容量で発電量が10%ほど増大する。

(2) 洋上風力の産業編成が始まっており、前倒しの増加を期待できる。このため2040-2050年には、陸上、洋上ともに設置容量が前倒しで増加と想定。

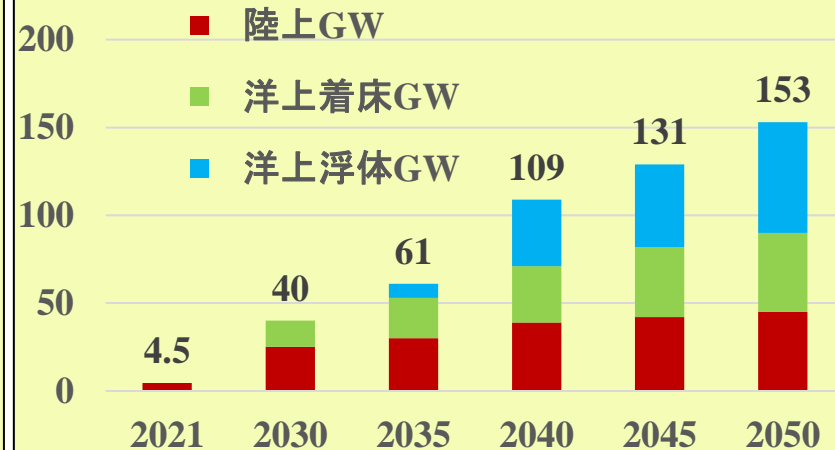
シナリオ	2021	2030	2035	2040	2045	2050
WWF24: 風力計(GW)	4.5	40	61	109	131	153
陸上(GW)	4.5	25	30	39	42	45
洋上着床(GW)		15	23	32	40	45
洋上浮体(GW)			8	38	49	63

太陽光と風力の想定

太陽光発電容量 (GW)



風力容量 (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。

2030年に2019年比でRE容量3倍は可能か

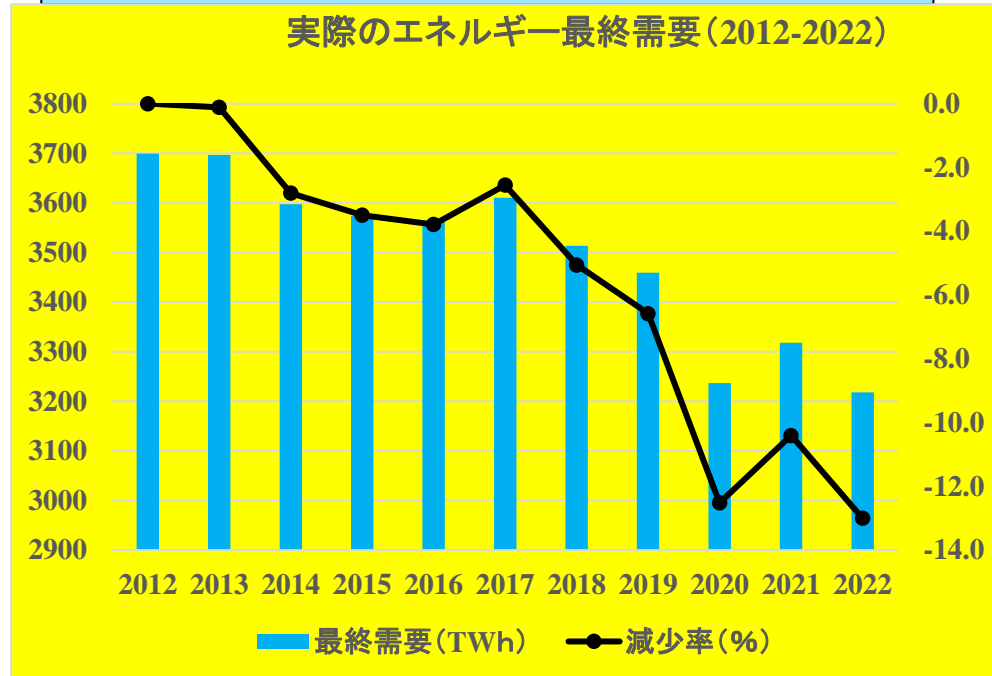
WWFシナリオでは、風力は2030年に2019年比で10倍あり、十分である。

PVは2030年には161GWとしている。2019年の55.42GWに対して $161/55.42=2.905$ 倍である。2030年に6GW増加して167GWとすれば3倍になるが...

PVは2020-2030年に年率10GWで増大すると想定したが、実際には年率6GW増にとどまっている。2030年に161GWにするには抜本的な政策が必要である。

2030年までに効率を2倍にできるか

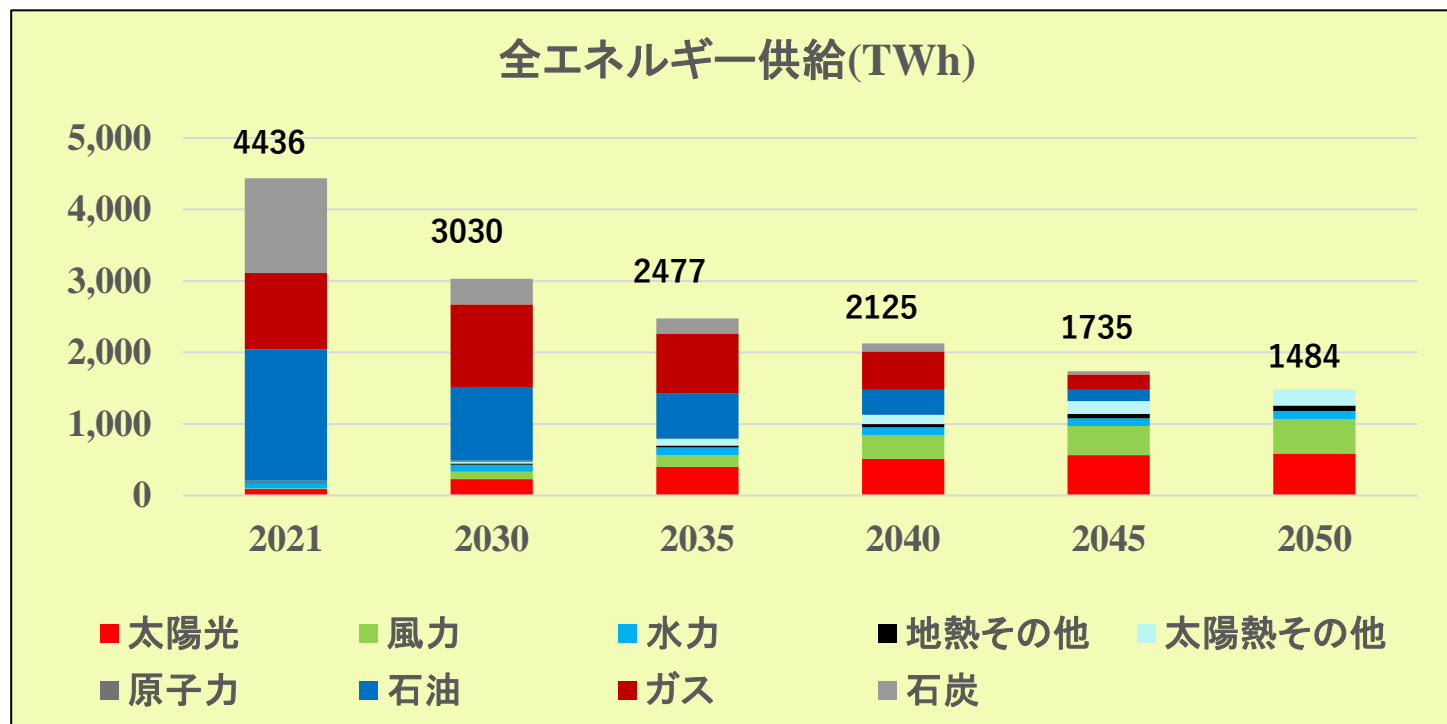
効率化：最終エネルギー需要の減少



シナリオ	TWh	減少率(%)
2020	3237	
2030	2607	-19.5
2020-2030	年平均%	-1.95

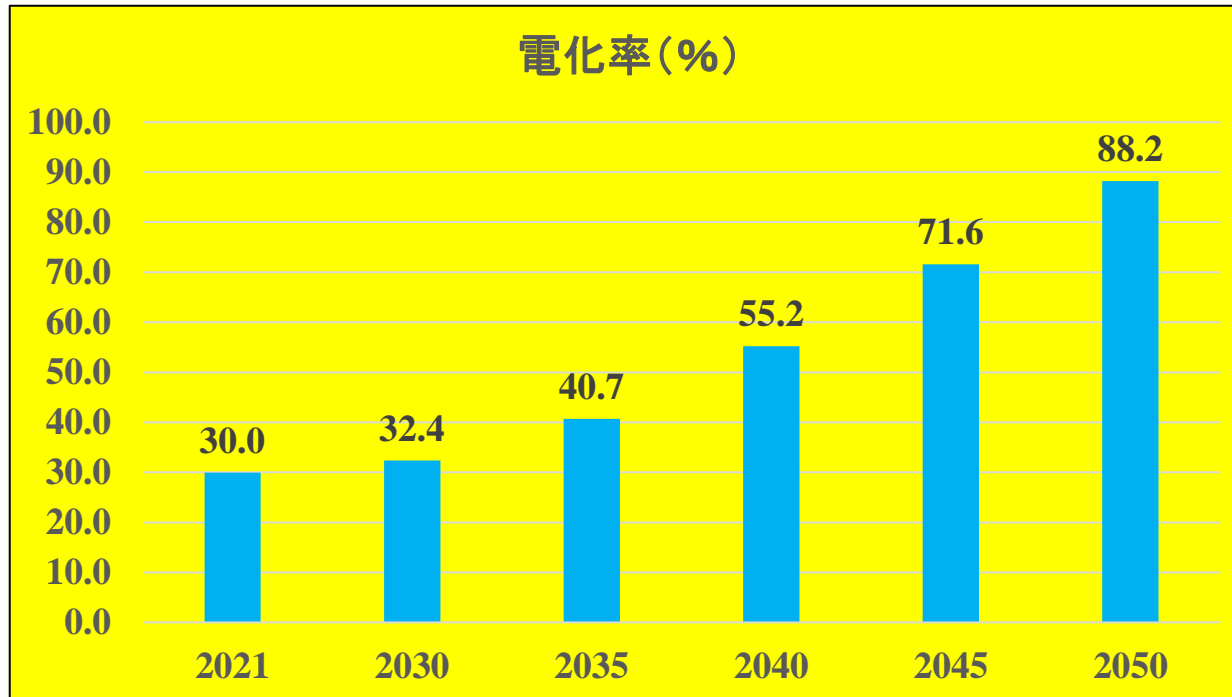
2030年までに効率を2倍にすることが、COP28の要請である。
2012-2022年の実データ：10年間で13%減少、年率1.3%の減少である
WWFシナリオ：2020-2030年では、3237→2607TWhであり、
10年間で19.5%の減少、これは年率1.95%の減少
前の10年間より1.5倍の減少速度である。2倍にはなっていない。

全エネルギー供給構成(TWh)



2050年に向かって最終需要が減少するだけでなく、再エネ電力が増加して、火力発電による発電損失がゼロになってゆくため、全エネルギー供給が減少してゆく。太陽熱その他には、バイオマス熱と周囲熱が含まれている。全エネルギーとしたのは一次エネルギーとは異なり、各種エネルギーの物理的な量をそのまま扱っている。このため、再エネ電力は火力発電のような損失分を含まない量として扱っている。

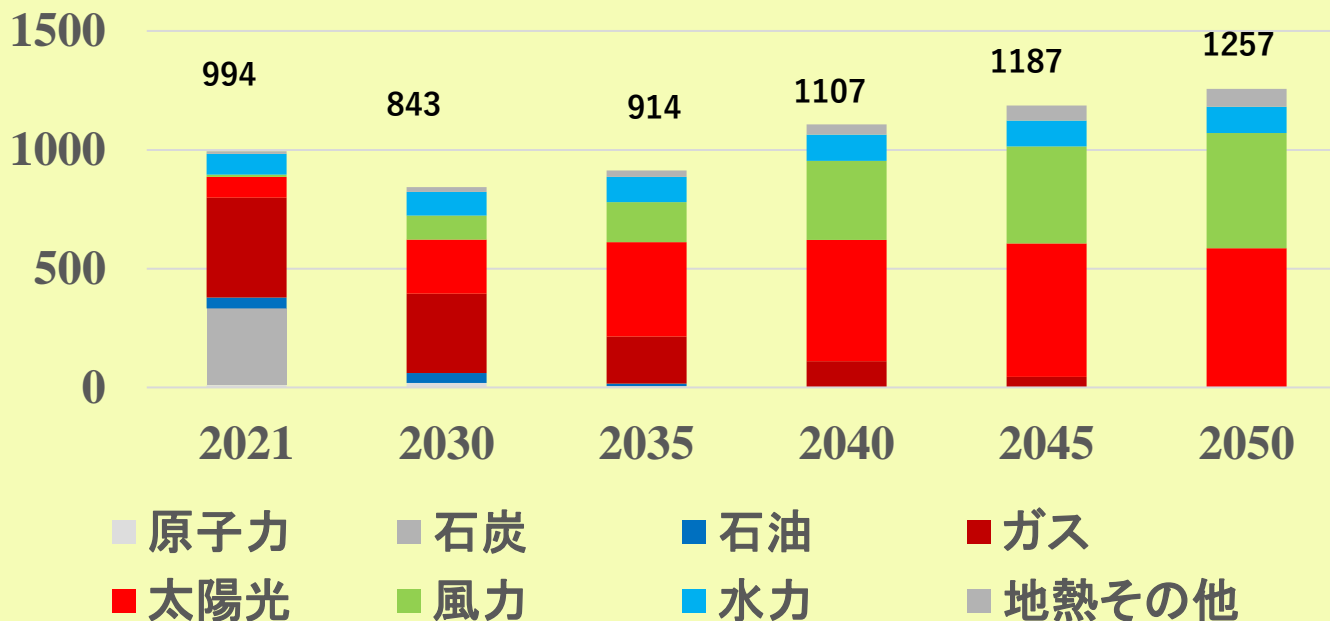
電化率(%)



電化率は最終エネルギー需要に対する電力供給量を示している。2021年には30%であるが、再エネ電力の増加に伴って次第に上昇して2050年には88.2%に達する。

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

AIがデータセンターの電力消費を増大させるか？

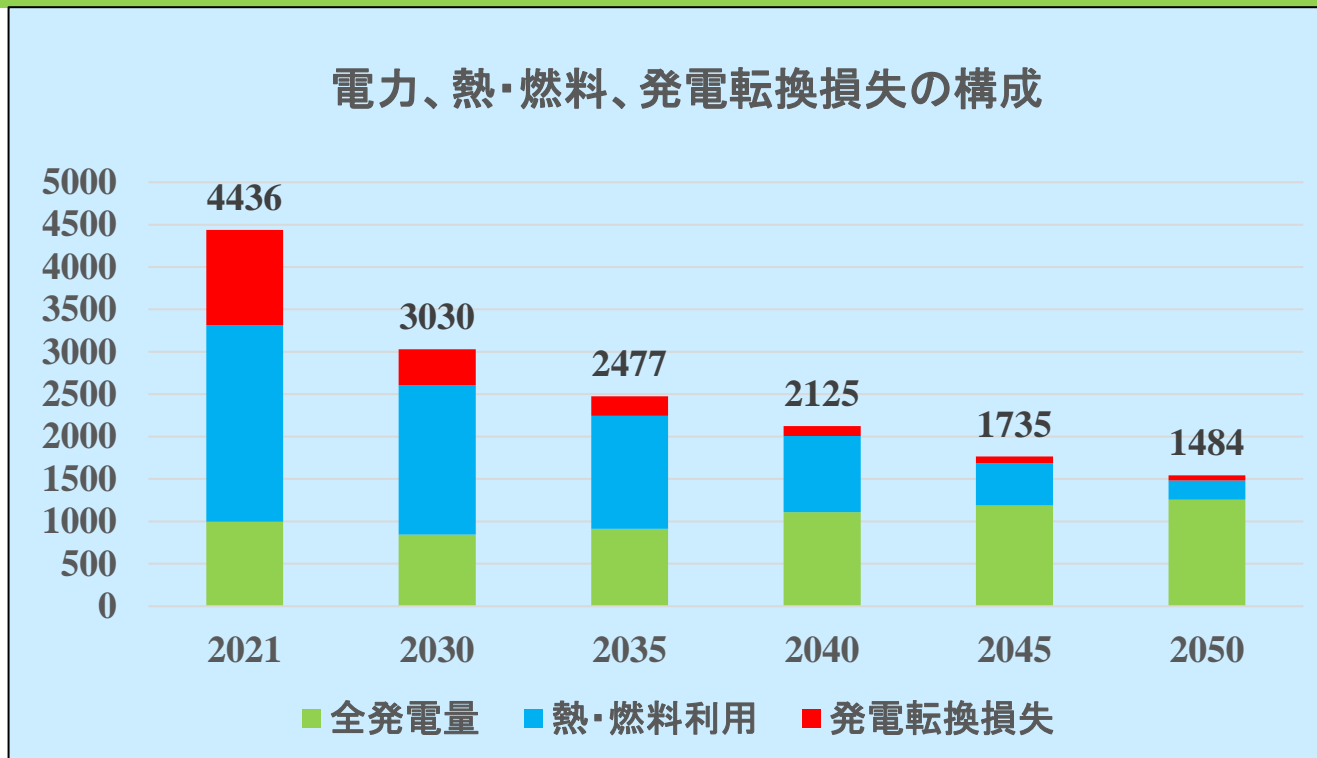
AIモデルの電力消費とCO2排出量

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

AIソフトによって電力消費は異なる。IT企業は再エネ導入に熱心なので、電力消費が大きくてもCO2削減を行う可能性が高い。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。しかし、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。

電力、熱・燃料、発電転換損失の構成



発電損失は火力発電により生じる。2021年には発電損失は全エネルギー供給の25%を占めていた。2030年には太陽光が増加してくるので火力発電が減少して、発電損失も減少してゆく。そして2040年以降は水素製鉄や輸送燃料としての水素生産にともなって水電解損失が増加している。

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(16/3GW)、バイオ
マス(20/5GW)

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

グリーン水素利用

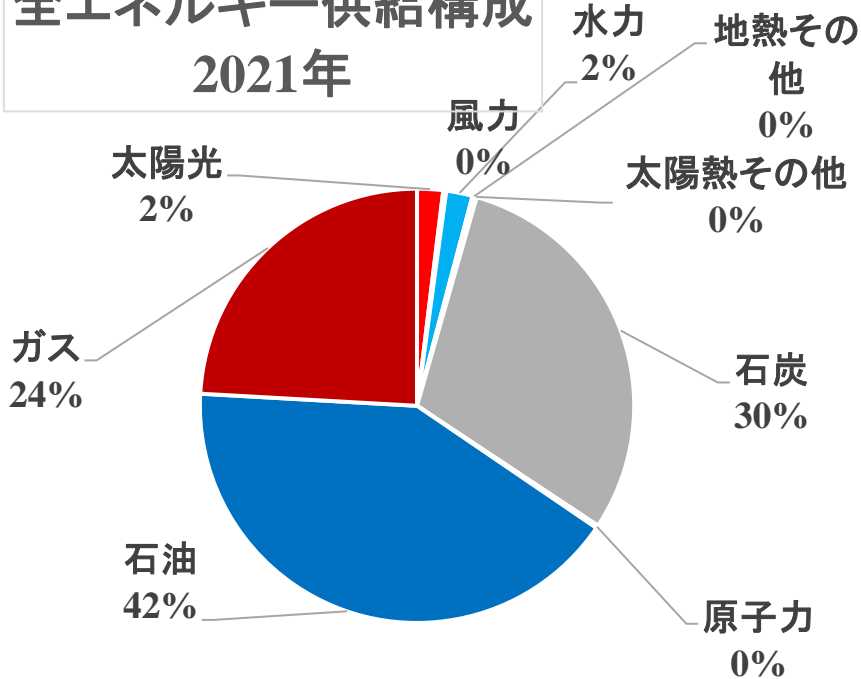
水素利用は2035年以降に始まり、2040年から本格化する。以下は2050年における水素利用状況の想定である。

用途	水素用電力消費 (TWh)	水素供給量 (万ton)	水素供給量 (億Nm ³)
水素製鉄	70	210	20.0
産業高温熱	50	150	14.3
トラック	23	69	6.6
航空機	20	60	5.7
船舶	20	60	5.7
合計	183	550	52.3

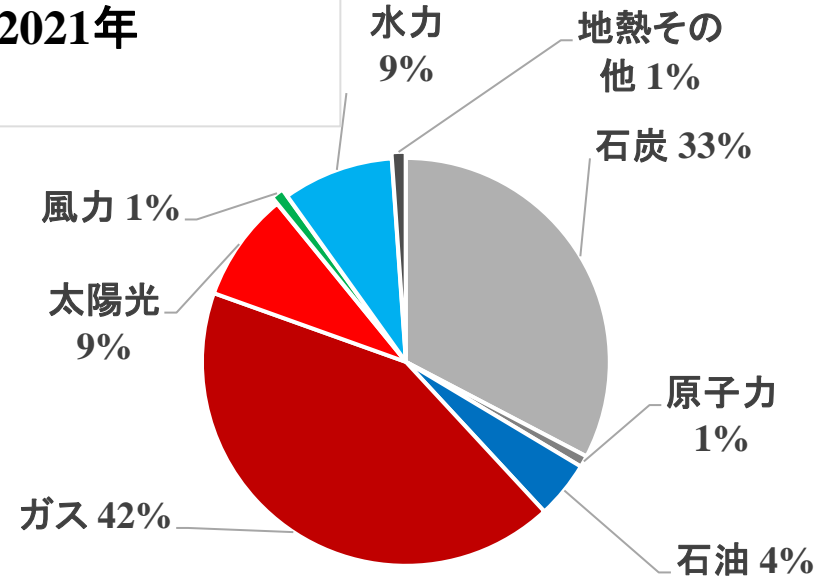
再エネ発電による電力を用いて水電解により水素を生産する。産業分野の製鉄や高温加熱の用途には水素を利用する。輸送分野ではバッテリーの利用と競合するが、水素の利点は、短い充填時間、軽量、安定な長期保存である。2050年には上記のような分野に水素が利用されるものとした。合計で1年間に183TWh、550万トン、52億Nm³に相当する。

エネルギー供給構成 2021年

全エネルギー供給構成
2021年



電力供給構成
2021年

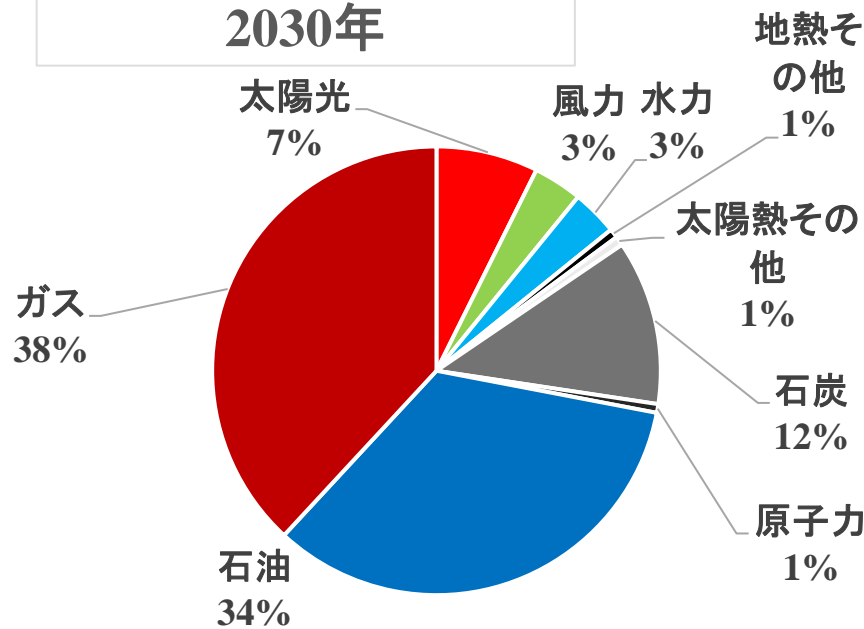


全エネルギー供給をみると、ガス、石油、石炭が多くあり、太陽光や風力はごく一部の供給にとどまっている。

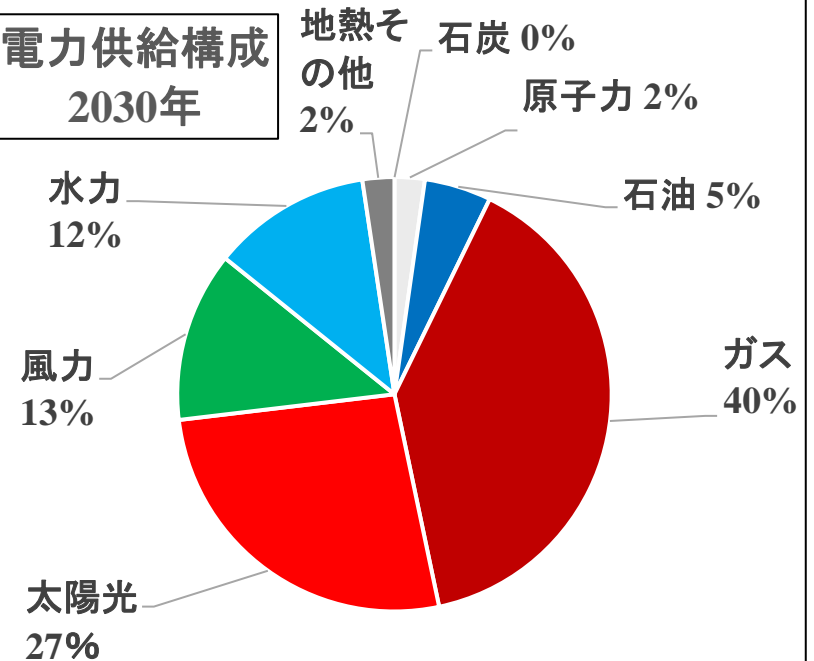
電力供給をみると、最大はガス火力であり、石炭火力も大きい。

エネルギー供給構成 2030年

全エネルギー供給構成
2030年



電力供給構成
2030年

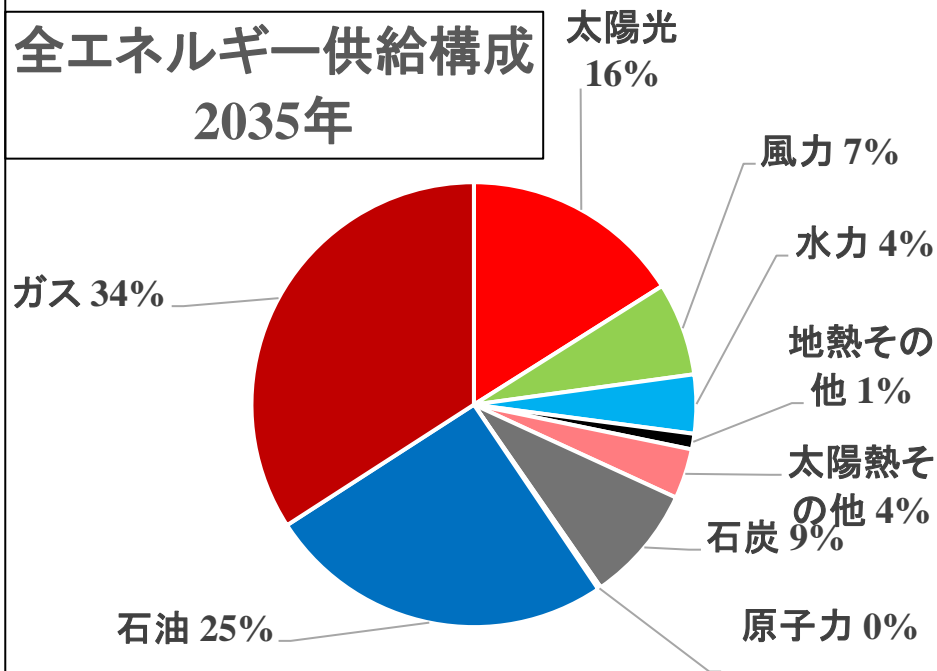


全エネルギー供給をみると、ガス、石油、石炭がまだ多くあり、太陽光や風力の一部の供給にとどまっている。

電力供給をみると、石炭火力はゼロになり、原子力はすこし残っている。ガスが主力であるが、太陽光と風力もかなり増加しつつある。

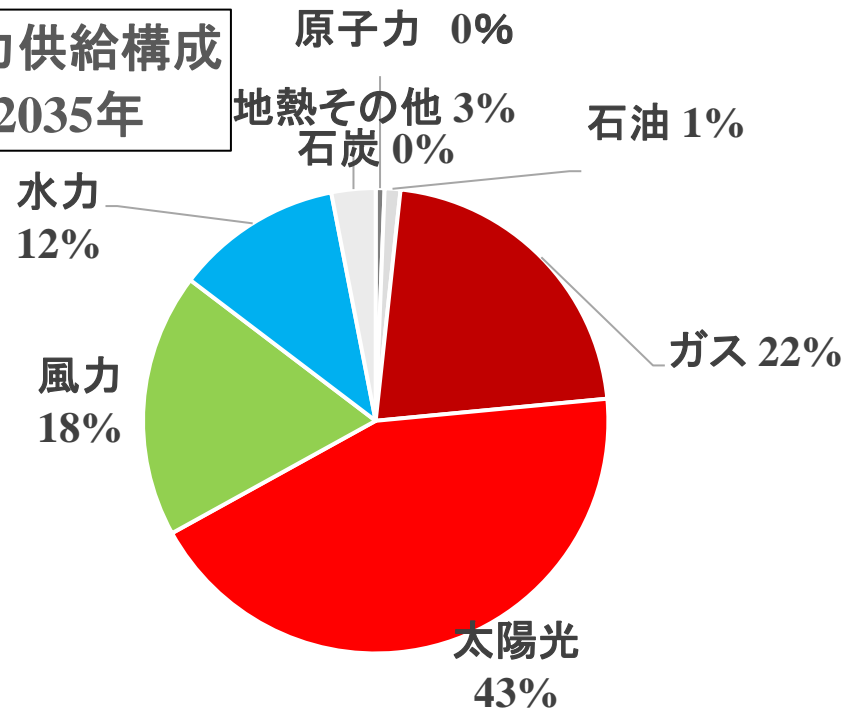
エネルギー供給構成 2035年

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。

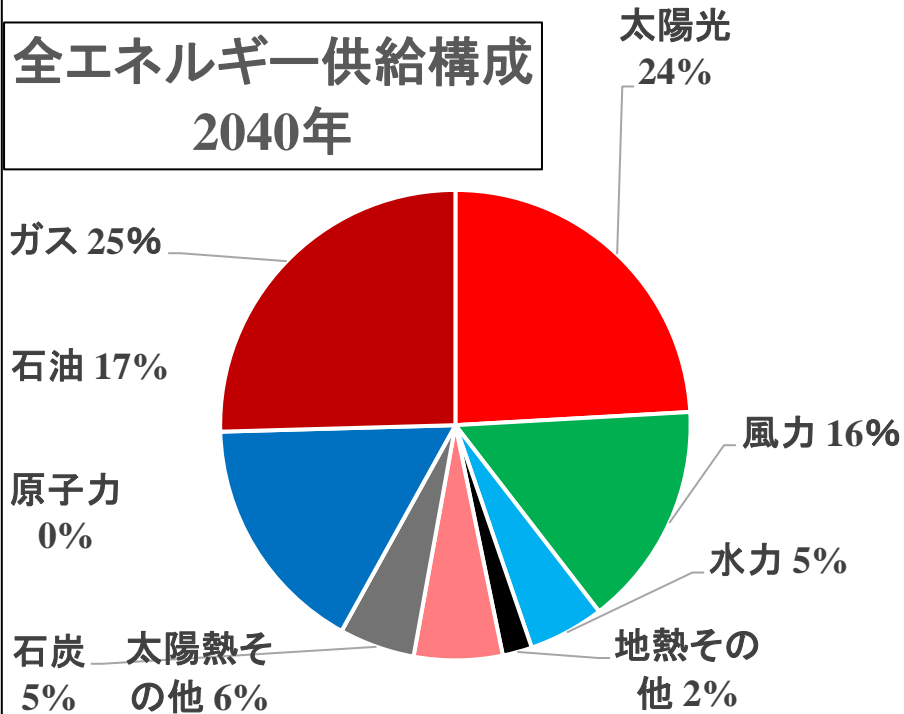
電力供給構成
2035年



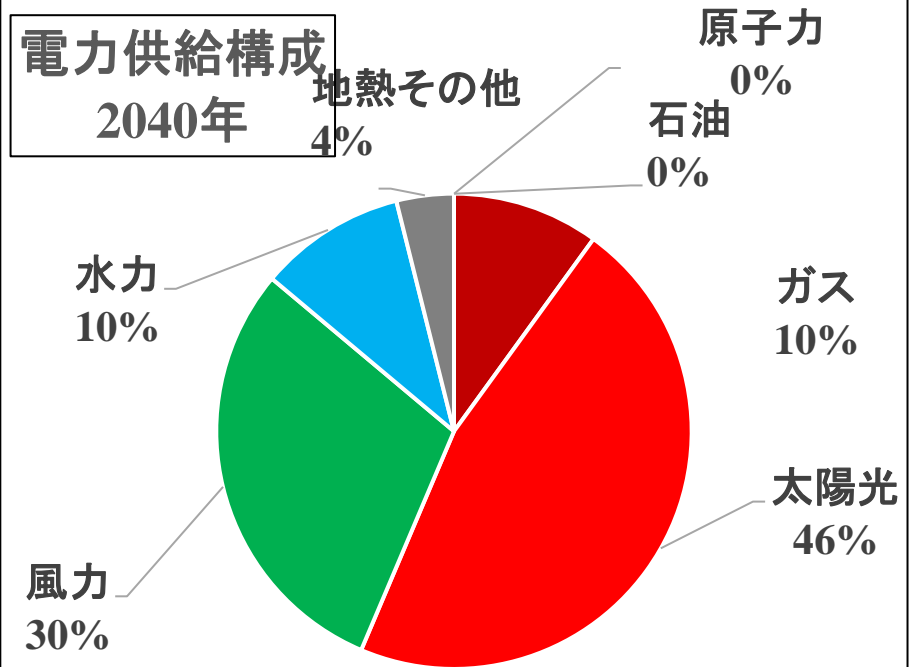
電力供給をみると、石炭がゼロになり、原子力はすこし残っている。ガスより太陽光が大きくなっており、風力も増加しつつある。

エネルギー供給構成 2040年

全エネルギー供給構成
2040年



電力供給構成
2040年

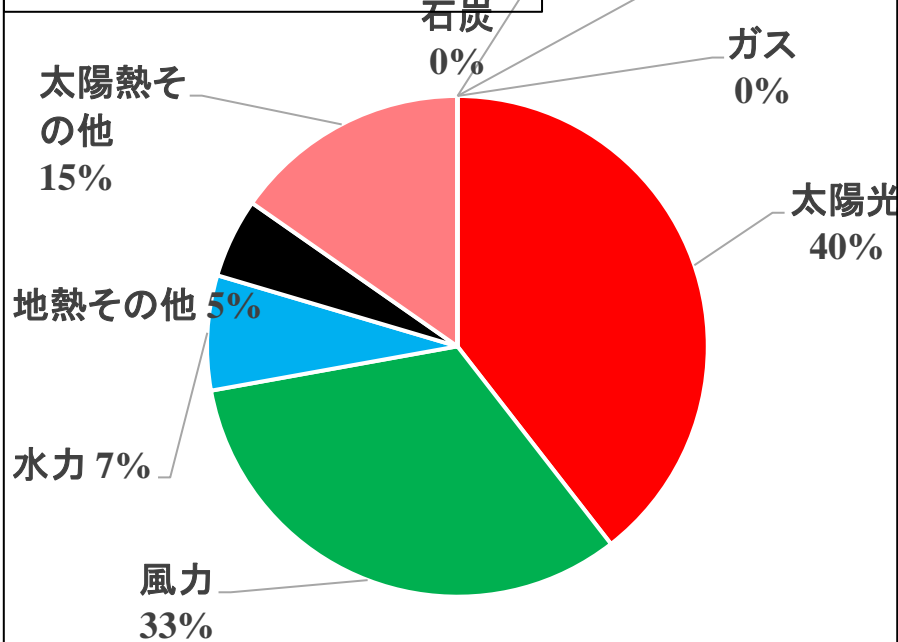


全エネルギー供給をみると、ガスと太陽光が同等になり、全体の半分を占めている。風力も増加している。

電力供給をみると、太陽光が最大になり、ガスの寄与は減少している。風力も増加して太陽光のおよそ60%になっている。

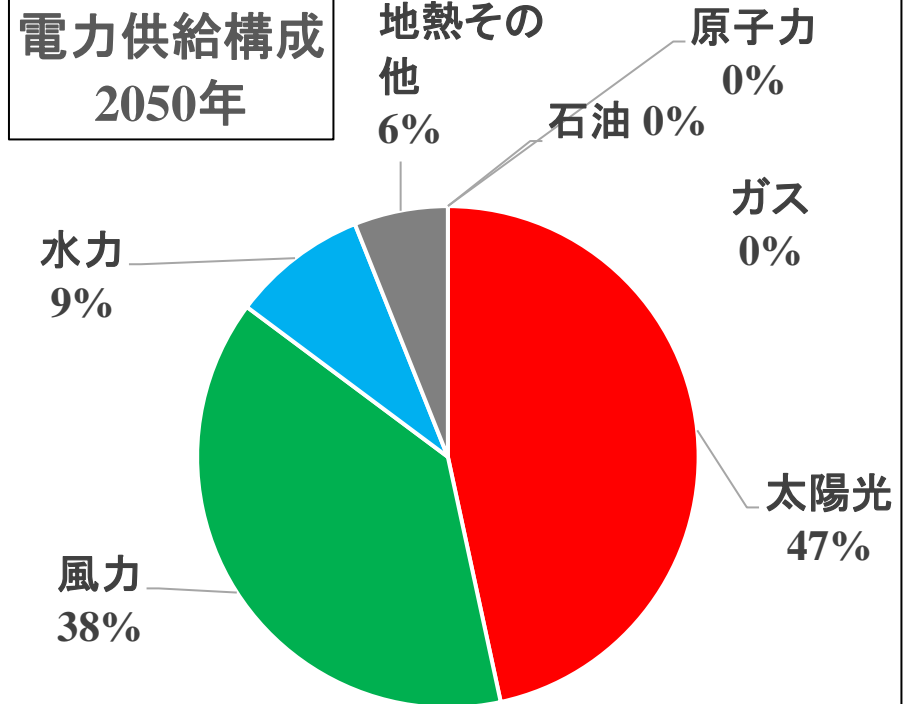
エネルギー供給構成 2050年

全エネルギー供給構成
2050年



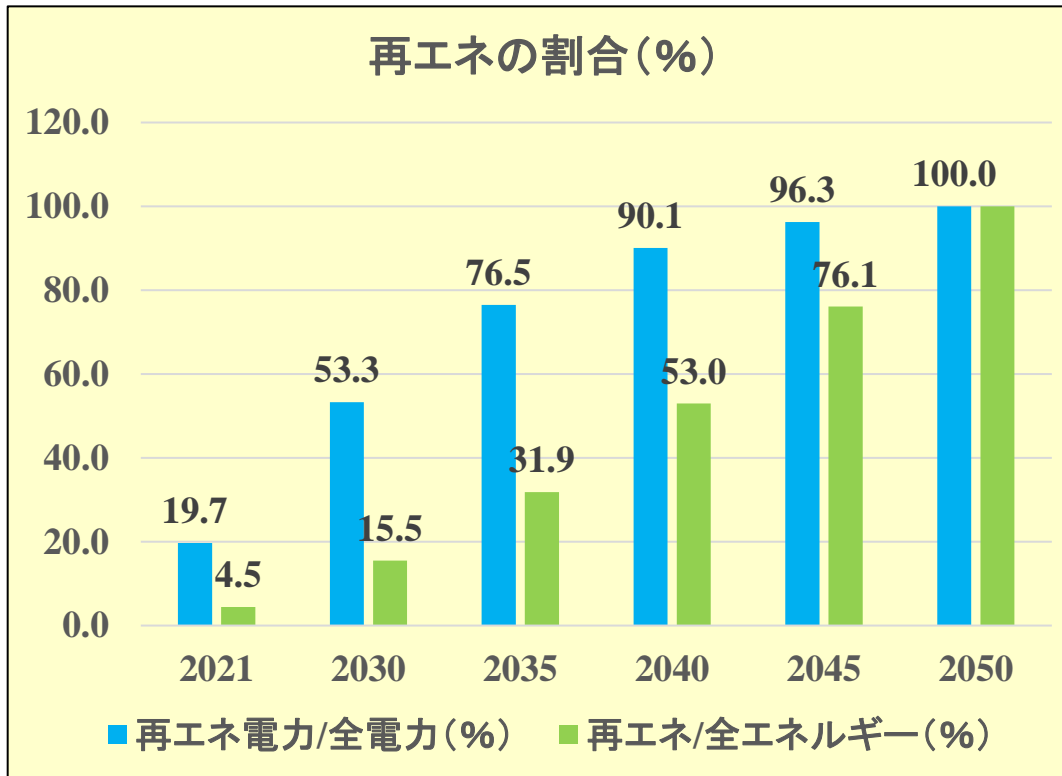
全エネルギー供給をみると、化石燃料はゼロとなり、太陽光が最大、風力がその次になっている。

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、地熱その他など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

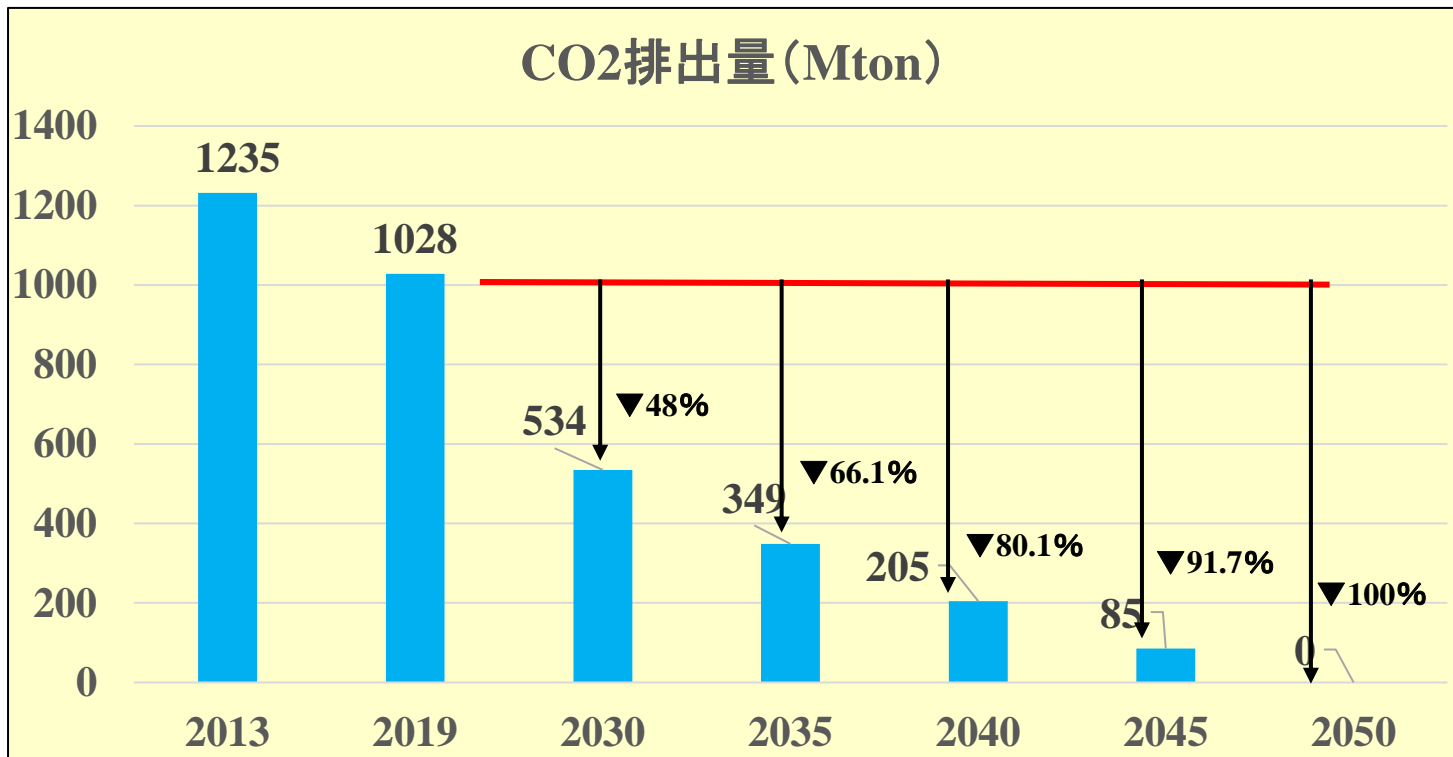
再エネの割合は2021年には、電力については19.7%であるが、2030年には53.3%に達する。これに対して全エネルギーに対する再エネの割合は、2021年には4.5%であり、2030年でも15.5%と、その増加速度は緩やかである。双方とも2050年には100%に達する。

CO2排出量

	2013	2019	2030	2035	2040	2045	2050
COP28目標削減率 (GHG)			43%	60%			
COP28/IPCC 目標削減率 (CO2)			48%	65%	80%		99%
COP28/IPCC 日本の実績と目標排出 量 (CO2Mton)	1,235	1,028	534	360	206		10
WWFシナリオの CO2排出量 (Mton)			534	349	205	85	0
IPCC基準年(2019年) 比削減率(%)			48.01	66.07	80.08	91.74	100
参考:日本の基準年 (2013年)比削減率(%)			56.73	71.76	83.42	93.12	100

WWFシナリオのCO2排出の削減率は2019年比で、2035年に66.07%、2040年に80.08%、2045年に91.74%となり、COP28とIPCCの目標を達成している。

CO2排出量



CO2排出量は2019年の10.28億トンから、2030年には5.34億トン、2035年には3.49億トンに、2040年には2.05億トンになる。2045年には0.85億トン、2050年にはゼロになる。

CO2削減率（2019年比）

	COP28/IPCCの目標	WWFシナリオ
2035年	65%以上の削減に	66.1%に達する
2040年	80%以上の削減に	80.1%に達する
90%以上の削減	2050年より前に	2045年に91.7%

COP28とIPCCの目標とするCO2削減率について、WWFシナリオはいずれの目標も達成できている。

まとめ

WWFシナリオの2030年の数値をみると、

- ①効率が2倍について:前の10年間より1.57倍の減少速度になる。2倍にするのは難しい。
- ②太陽光と風力の容量が3倍について:
2019年比で太陽光は2.9倍でやや不足だが、
風力は10倍もある

- ③2035年～2050年のCO2削減率はCOP28とIPCCの目標を達成できる。

このようにCO2排出量を大きく削減するには、毎年
の大幅な再エネ導入や効率改善が必要。それには、
資源リサイクルやペーパーレス、建物の長寿命化の
推進、再エネの優先的扱い、新エネ企業の育成、送
電網の柔軟な利用、断熱住宅やEVの普及、水素製
鉄など、気候変動に対抗する世界的なイノベーション
を進展させるべく政府の適切な政策が重要である。