

# エネルギー耕作型文明への転換



「京都環境文化学術フォーラム」  
国際シンポジウム

第12回地球環境の殿堂

国立京都国際会館

2021年11月15日



システム技術研究所  
槌屋 治紀

## 狩猟から耕作への転換

太古の時代に食料に関して狩猟から農耕への文明の転換が生じた

### 現状：エネルギー狩猟型文明

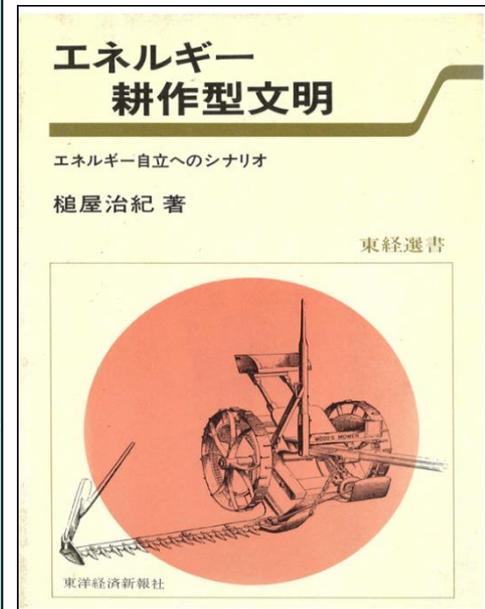
地下から燃料（石油、石炭、天然ガス、核物質）を掘り出す。  
二酸化炭素を排出し気候に影響し、いつの日か枯渇する。



### エネルギー耕作型文明への転換

地上で太陽エネルギーを受けとめ、農業のように太陽光、風力、水力、太陽熱、バイオマスなどを利用する文明。

太陽の光はどこにでも誰にでも届いている。  
食料に生じたことがエネルギーでも生じる。  
そのコストは大量生産によって小さくできるはずである、と考えた。



(東洋経済1980)

# そのころ、アメリカでは「ソフトエネルギーパス」が話題に

**ソフトエネルギーパス**

**SOFT ENERGY PATHS**  
TOWARD A DURABLE PEACE  
AMORY B. LOVINS

**永続的平和への道**

エイモリー・ロビンズ

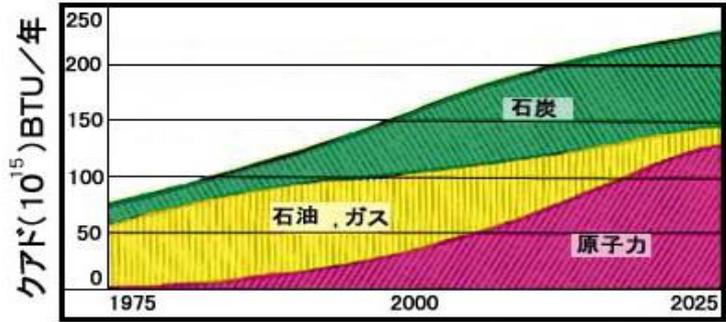
室田泰弘・植屋治紀

NY Times  
ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か

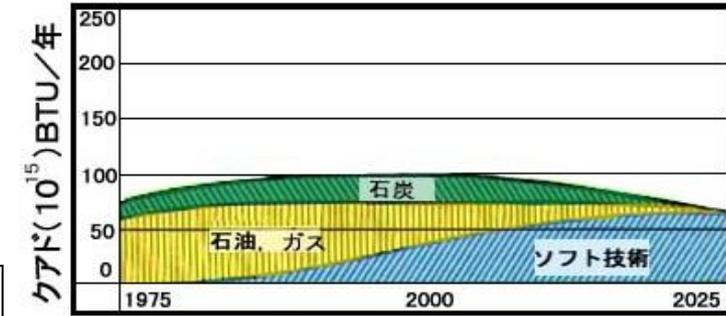
ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か

ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か  
ロビンズが正しいか否か

室田・植屋訳、時事通信社



ハード・エネルギー・パス



ソフト・エネルギー・パス



エイモリー・ロビンズ (1979)

1977年 エイモリー・ロビンズは「ソフトエネルギーパス」を発表、原子力・石炭を大量に拡大する「ハードエネルギーパス」は危険が大きい、エネルギー利用効率の向上と再生可能エネルギーを中心にするのが現実的と主張した。コロラドでロッキーマウンテン研究所を主宰。2012年第4回京都地球環境殿堂入り。

# そしておよそ40年間に起きたこと

## IPCC、COP:

1988年IPCCの発足、気候変動に警鐘。COP3~26で1.5°C削減目標を議論、これはエネルギー耕作型文明への転換である

## 温暖化の影響:

豪雨、洪水、海水面温度上昇、山火事、熱中症頻発

## 原発事故:

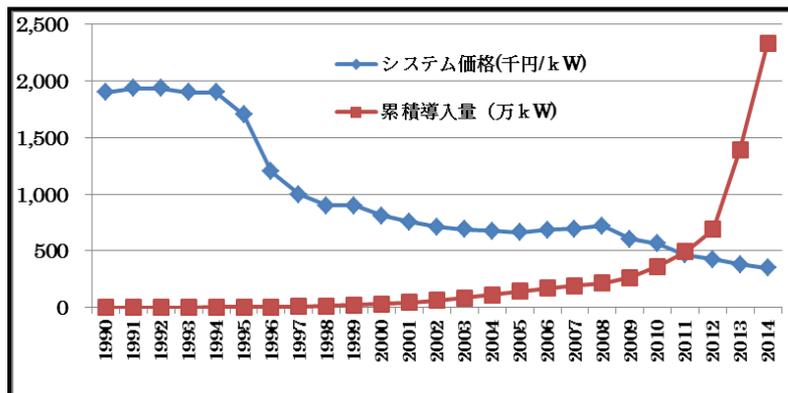
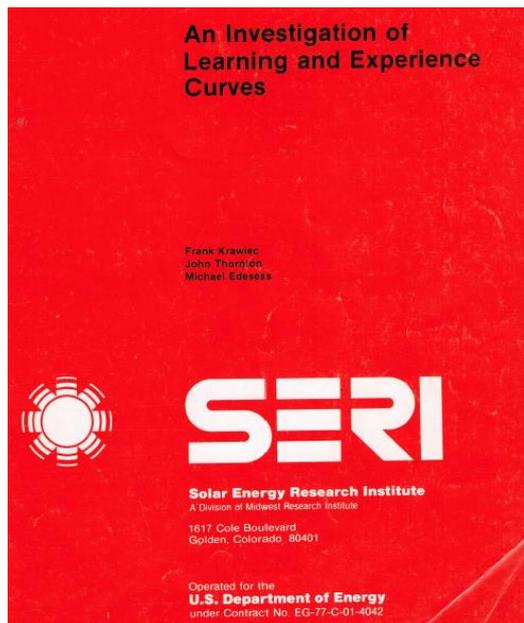
スリーマイル島(1979)  
チェルノブイリ(1986)  
福島第一原発(2011)

## 技術革新:

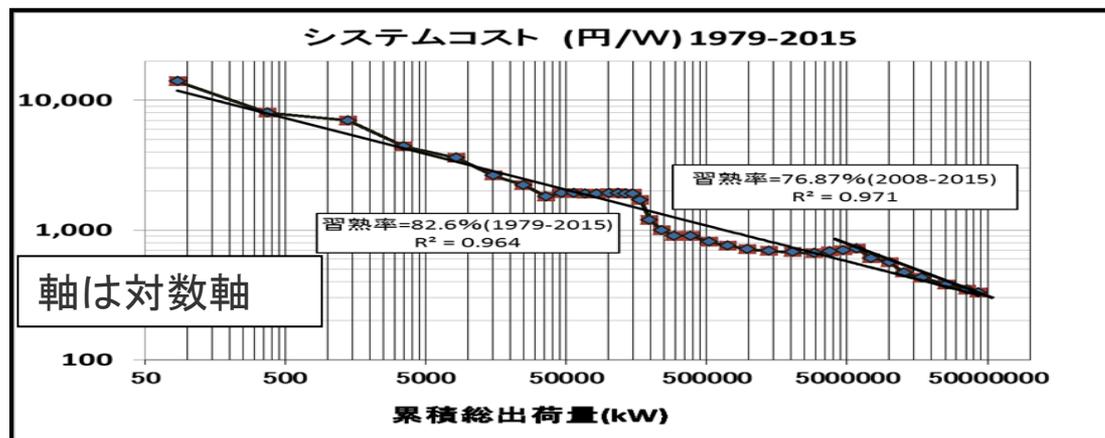
LED照明,太陽電池,電気自動車(EV),風力発電,燃料電池の実用化

日本政府:2050年のカーボンニュートラルを宣言、2030年の46%削減を宣言。再生可能エネルギーを主力電源化する、太陽光のコストが原子力のコストより小さくなると発表。

# 太陽光発電コストと学習曲線



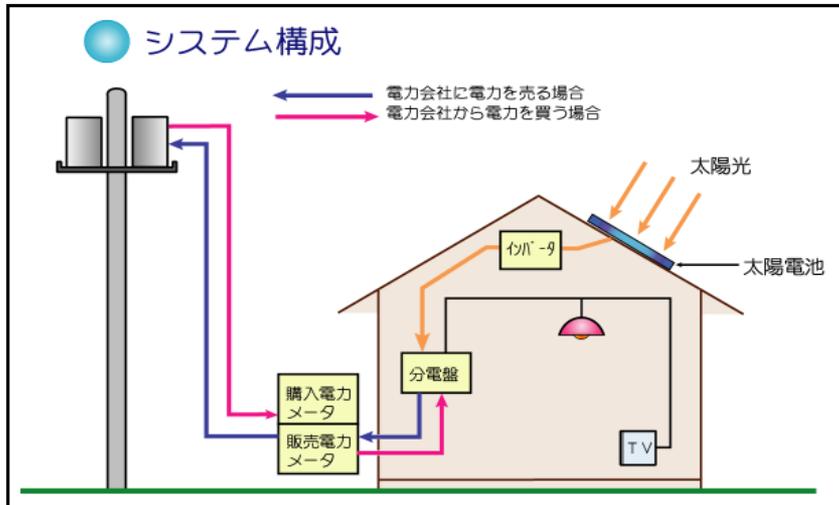
1989年まで待つとデータは10年分になり、分析して結果を発表、さらにデータを得て1999、2016年にも発表。



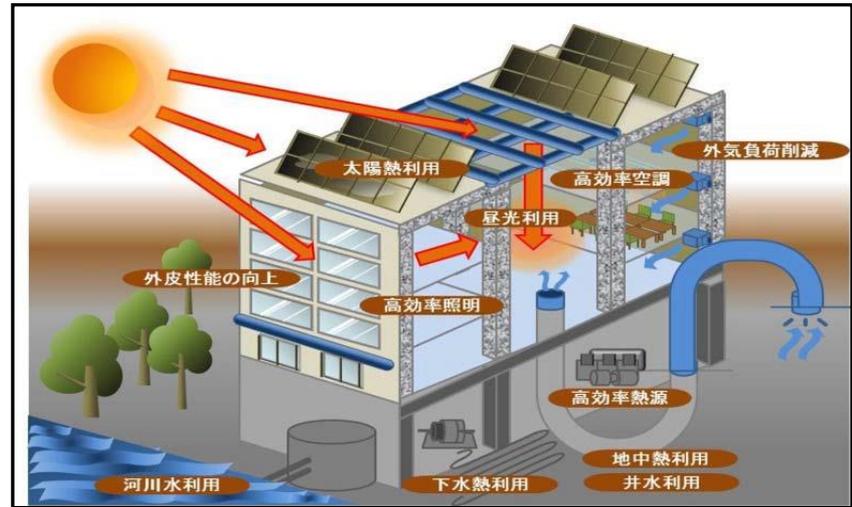
太陽光発電のコストが大量生産によって低下するかはまだ仮説であった。デンバーのSERI(国立太陽エネルギー研究所)の資料室で学習曲線の文献を発見した(1982)

習熟率: 累積導入量が2倍になるときのコストの低下割合。分析結果は82%(1979~1989)、77%(2008~2015)であった。1kWあたりのコストは1400万円(1979年)から200万円(1993年)に、そして15万円(2020年)に、およそ100分の1に低下した。

# 太陽光発電



通常の太陽光発電：建物の屋根に設置



ZEH(ゼロエネルギーハウス)：  
断熱性の高い建物＋太陽光・熱利用  
によりエネルギー自給自足

メガソーラー：  
森林伐採が問題になっており、自治  
体のゾーン規制が必要。大型建物の  
屋根や壁、耕作放棄地、未利用農地  
など利用可能な土地は十分にある。

# 太陽光発電の発展



自転車通路に太陽電池



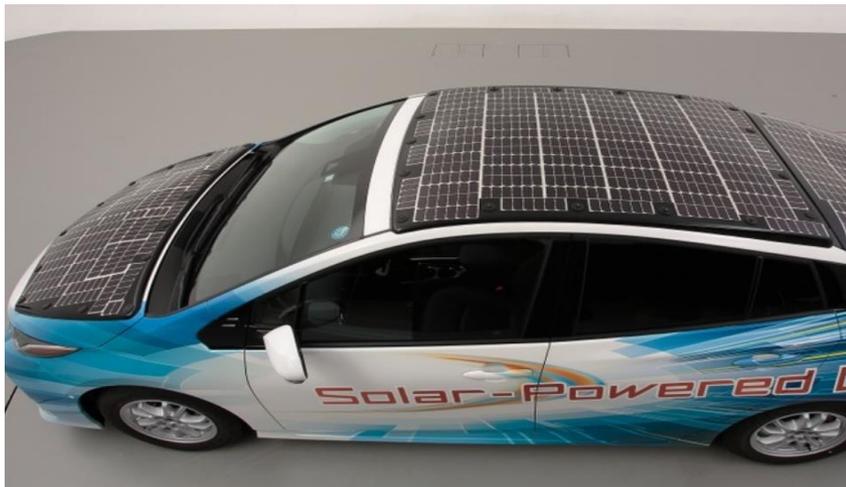
ソーラーシェアリング：  
農業生産と太陽光発電を同  
時に実施する。



ソーラーランタン：  
アフリカでは送電網のない地域で利用  
されている。ガラス瓶のふたに太陽電  
池とバッテリーがついている。

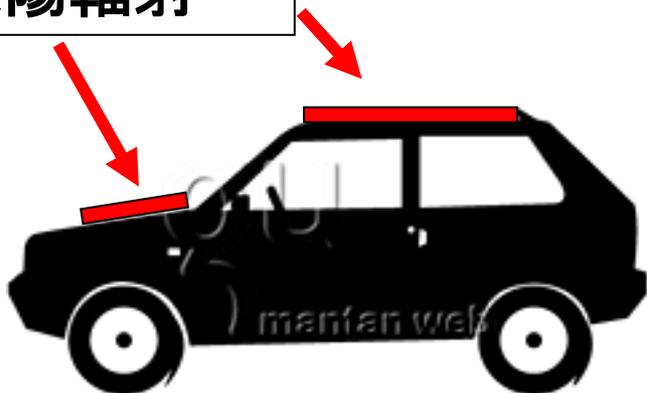
# ソーラーアシスト・カー

EVに太陽電池を搭載して、捕獲した電力を直接またはバッテリーに貯蔵して利用。EVの充電は時間がかかり、実際には面倒であり、充電に関する負担を減らせる。



NEDOは2019年7月、プリウスPHVに効率34%以上の0.03mm厚の太陽電池をとりつけ自立走行する自動車の実験を公開した。1日の太陽光充電量で44.5km走行。充電スタンドがなくても太陽光があれば走行可能になる。

太陽輻射



実際、建物の屋根に設置した太陽光パネルから得た電力を充電スタンドで充電するよりも、直接的であり損失が少ない。この方法についてシミュレーションを行って2006年に発表した。トヨタが発表した最新のEVの屋根には、オプションで太陽電池が搭載可能。

# 風力発電



洋上風車:陸上より風速が大きく発電量が大きい。  
日本では2030年に1000万kWの導入の計画。



陸上風車:北海道、東北、九州  
地域には大きなポテンシャルが  
ある。



風力発電はヨーロッパで実用化され、2019年の世界の風力発電規模は5億8642万kW、既に経済性のある投資となっている。しかし、日本の導入量は379万kW。ドイツは国土面積は日本より小さいのに6082万kWもある。

気球型風力発電:上空では風速が大きいので大きな発電量を期待できる。

# 脱炭素社会のエネルギーシステム

## 希望

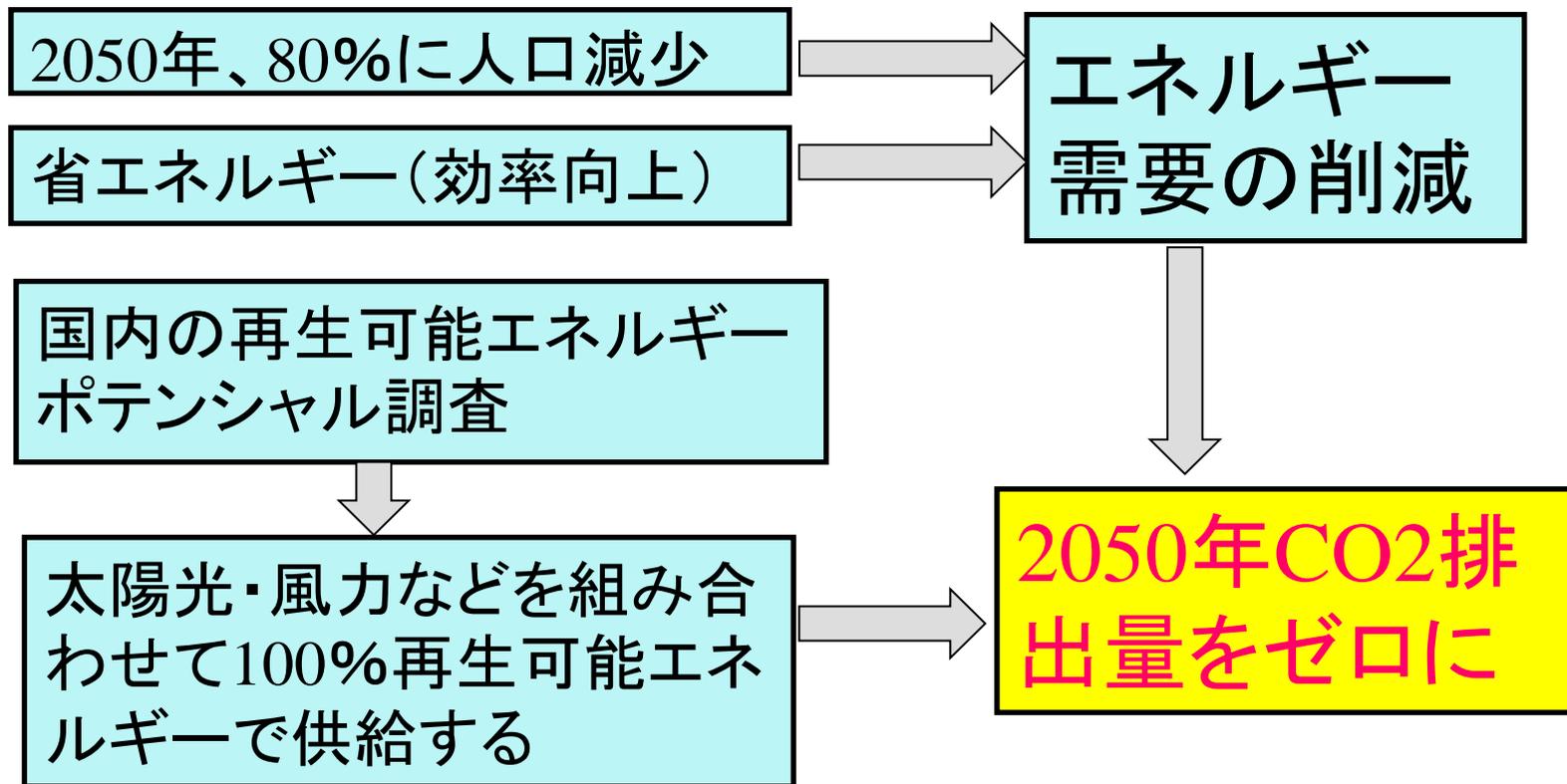
- 安全性
- CO2排出なし
- セキュリティ向上
- エネルギー自立
- サステナブルである
- 核拡散の減少

## 問題点？

- 安定供給可能か？  
(太陽や風力は変動する)
- エネルギー資源は国内に充分あるか？
- 大きなエネルギー貯蔵が必要か？
- コストは非常に大きい？

WWFジャパンはシステム技術研究所に「脱炭素社会・100%自然エネルギーシナリオ」の作成を依頼した（2011～2020年12月）以下はその概要。

# 脱炭素社会エネルギーシナリオ



2050年に人口が80%に減少するので、エネルギー需要は縮小してゆく。経済性の高い省エネルギーにより需要を削減すれば、再生可能エネルギーの供給の問題が小さくなり、効果的にCO2排出ゼロが実現。

## 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  
2015年

×

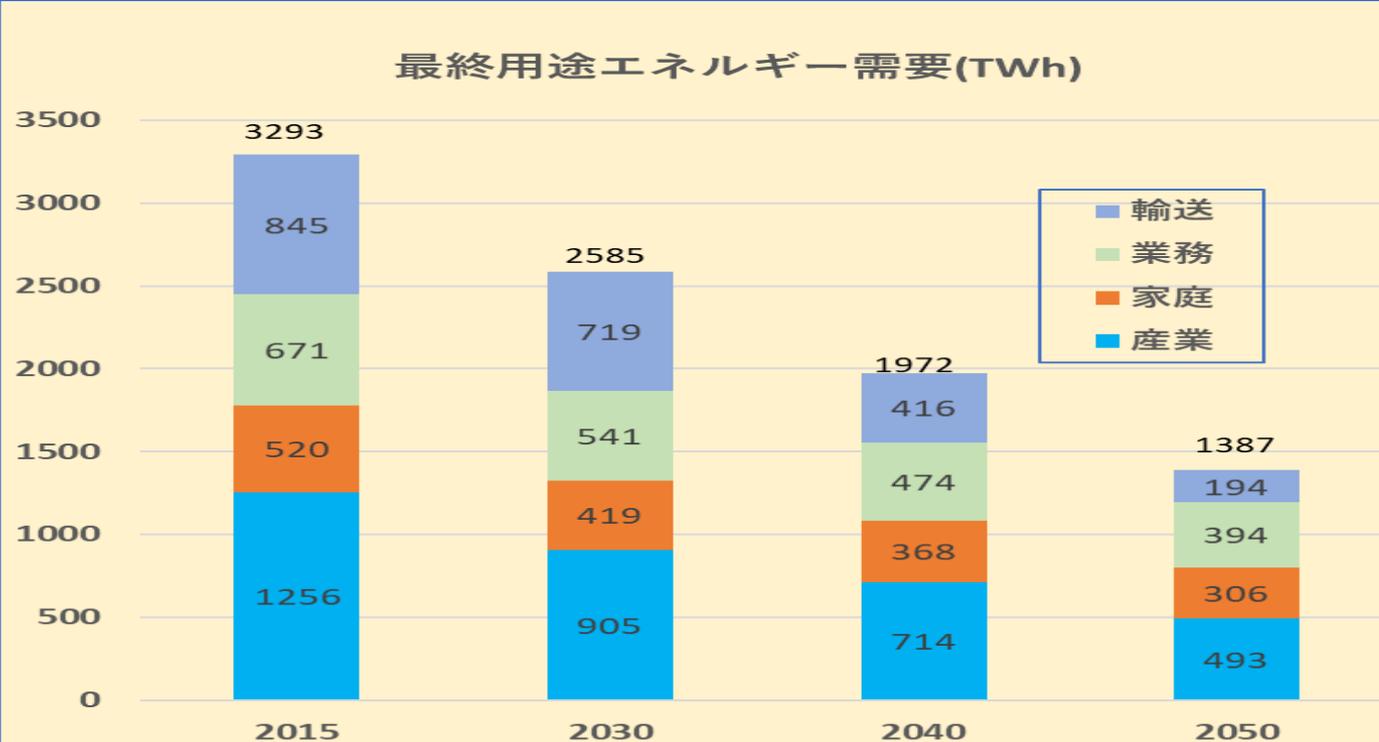
活動度変化  
人口、素材  
輸出減、電  
炉鉄増、建  
物の長寿命  
化、情報化  
(ペーパーレス)

×

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。

## 最終エネルギー需要の推定(TWh)



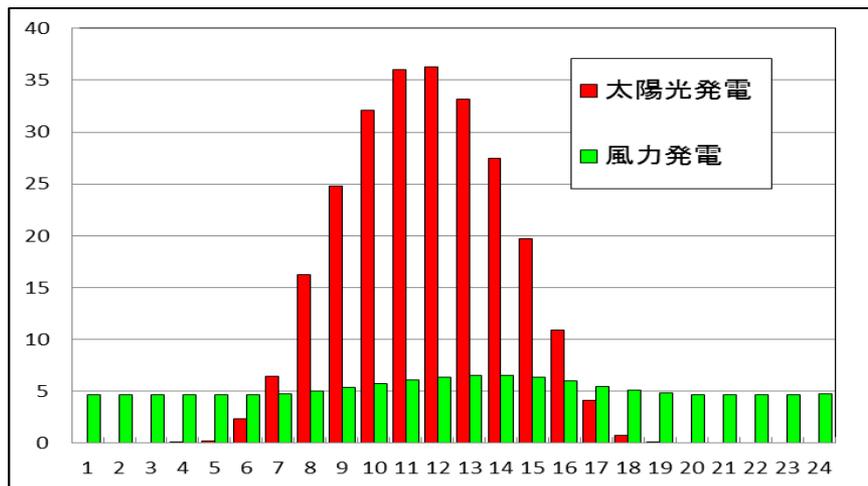
2015年と比較すると、2030年に78%に、2050年には42%に減少する。産業部門は構造変化により減少、運輸部門はEVにより自動車の効率が3~4倍になるため減少が特に大きい。

## 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

1GW=100万kW	導入量2018年	導入ポテンシャル2050
中小水力	--	9 GW
住宅用太陽光	11.2 GW	209 GW
公共用太陽光	40.6 GW	2536 GW
陸上風力	3.2 GW	284 GW
洋上風力	--	1120 GW
地熱	0.54 GW	136 TWh
バイオマス(電力)	4.1 GW	7.4 GW
バイオマス(熱)	52TWh	181 TWh
太陽熱	5.8TWh	136 TWh
地中熱	--	1050TWh

日本における再生可能エネルギーについては、総合的な調査がなかった。そのため電力会社の技術者は、日本では太陽光は最大でも1000万kW以上は無理であると公言した。最近、環境省は毎年調査結果を発表するようになり、非常に大きなポテンシャルが示されている。上記はH30年の報告である。

## 1年間の時刻別発電量(TWh)



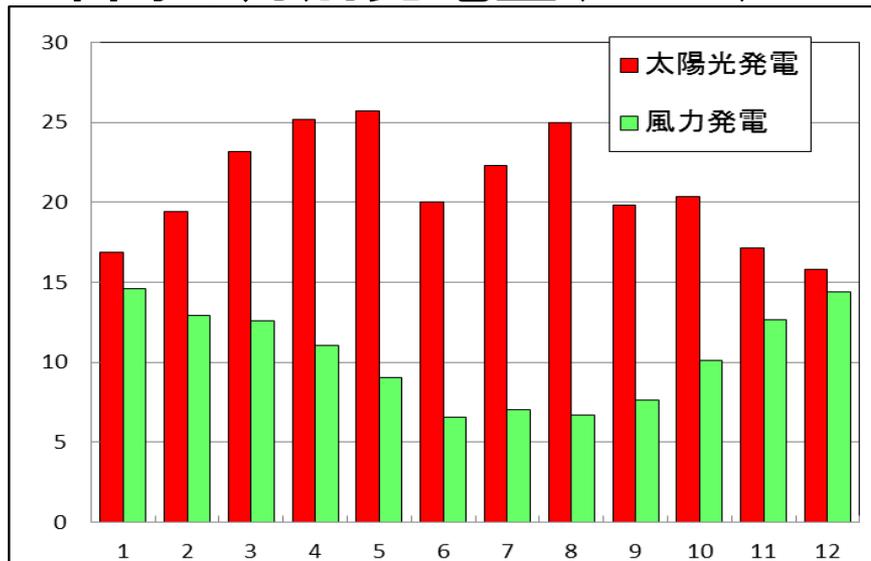
太陽光と風力は補完的

1時間ごとのAMEDAS気象データ(842地点)を使って計算すると、太陽光と風力を組み合わせると互いに補完的であることがわかった。

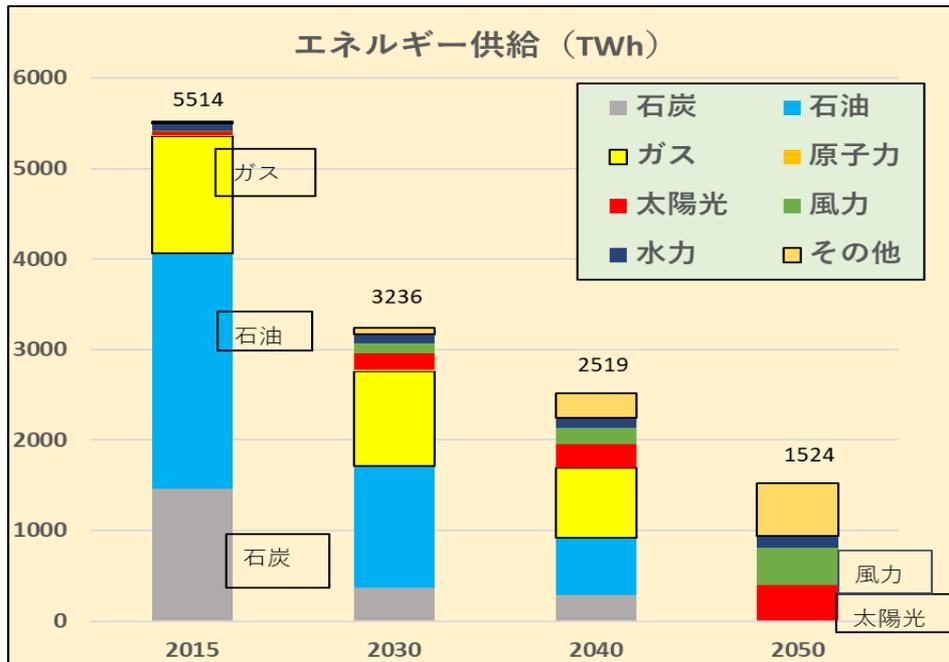
太陽光は6~18時に有効、春から夏にかけて大きくなり冬は小さい。

風力発電は24時間どの時間でも発電しているが、季節的にみると、太陽光と逆であり、夏に小さく冬に大きい。

## 1年間の月別発電量(TWh)



# エネルギー供給構成



エネルギー供給量は2030年には59%に、2050年には28%に減少する。火力発電の損失がなくなるので劇的に小さくなる。2050年には太陽光360GW、風力153GWの規模になる。これ以外に、車上PV、太陽熱、バイオマス、ヒートポンプ利用の周囲熱を供給する。(1TWh=10億kWh)

TWh	2015	2030	2040	2050
石炭	1459	368	291	0
石油	2603	1346	626	0
ガス	1298	1047	775	0
原子力	9	19	0	0
太陽光	35	179	260	401
風力	8	111	180	412
水力	87	100	110	122
その他	15	66	277	589
合計	5514	3236	2519	1524

# 再生可能エネルギーの供給 (2050年、数値はTWh)

再生可能エネルギー  
による発電

水力、太陽光、風力、  
地熱、バイオマス



電力需要A<sup>(578)</sup>

照明、モータ、エアコン、  
エレクトロニクス

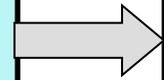
余剰電力太陽光、風力  
→一部を水素に



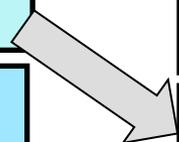
電力需要B<sup>(392)</sup>

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

太陽熱<sup>(133)</sup>、バイオマ  
ス<sup>(181)</sup>、周囲熱<sup>(104)</sup>  
車上PV<sup>(40)</sup>



電力需要Bは、時間的に柔軟にシ  
フト可能な需要であり、デマンドレ  
スpons、天気予報に応じて生産  
調整を行う。(1TWh=10億kWh)

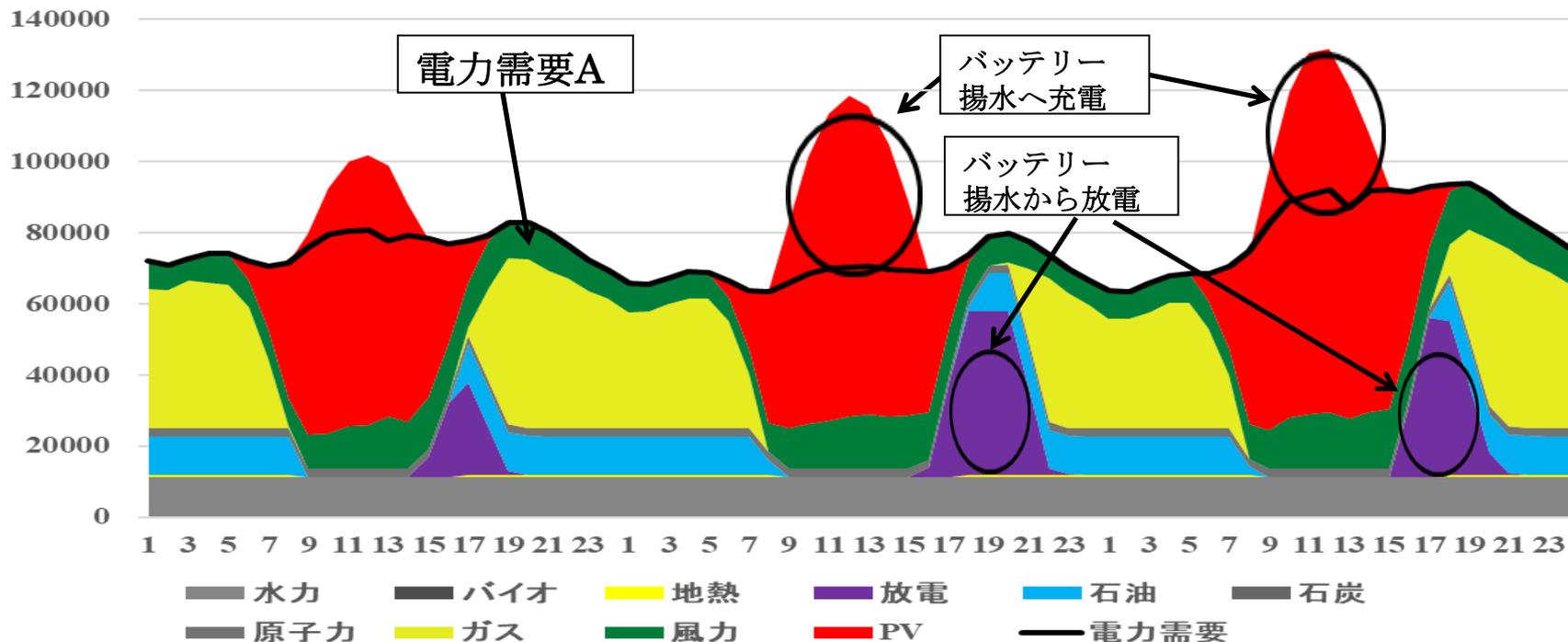


低温熱、ヒートポンプ<sup>(31)</sup>、民生  
用COP=5、産業用COP=3)、家  
庭・業務用

# 2030年再生可能エネルギーによる電力供給(3日間)

(日本全国842地点の拡張アメダス気象データを使用)

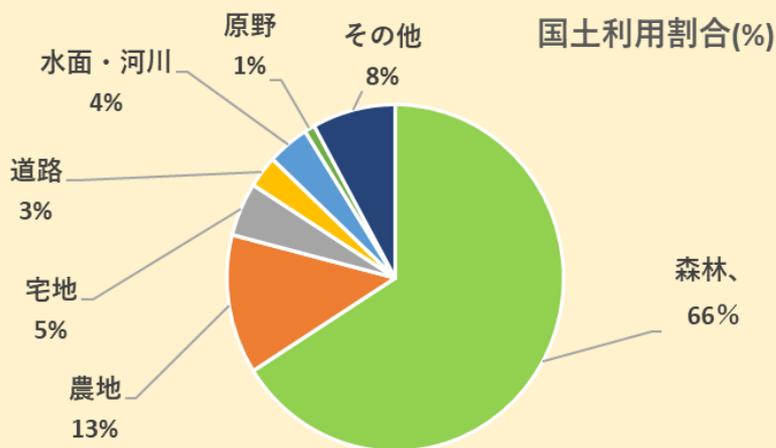
## Dynamic Simulation (15-17, April)



1時間ごとの年間シミュレータを開発した。2030年には石炭火力を廃止。電力需要A(黒い線)に対して、昼間は太陽光(赤色)が大きな供給源になり、不足分は風力(緑色)とガス火力(黄色)が補っている。また昼間に生じた余剰分を、揚水発電(260GWh)とバッテリー(100GWh)に蓄電して、夜間に放電する(紫色)。

# 太陽光(PV)と風力の設置面積

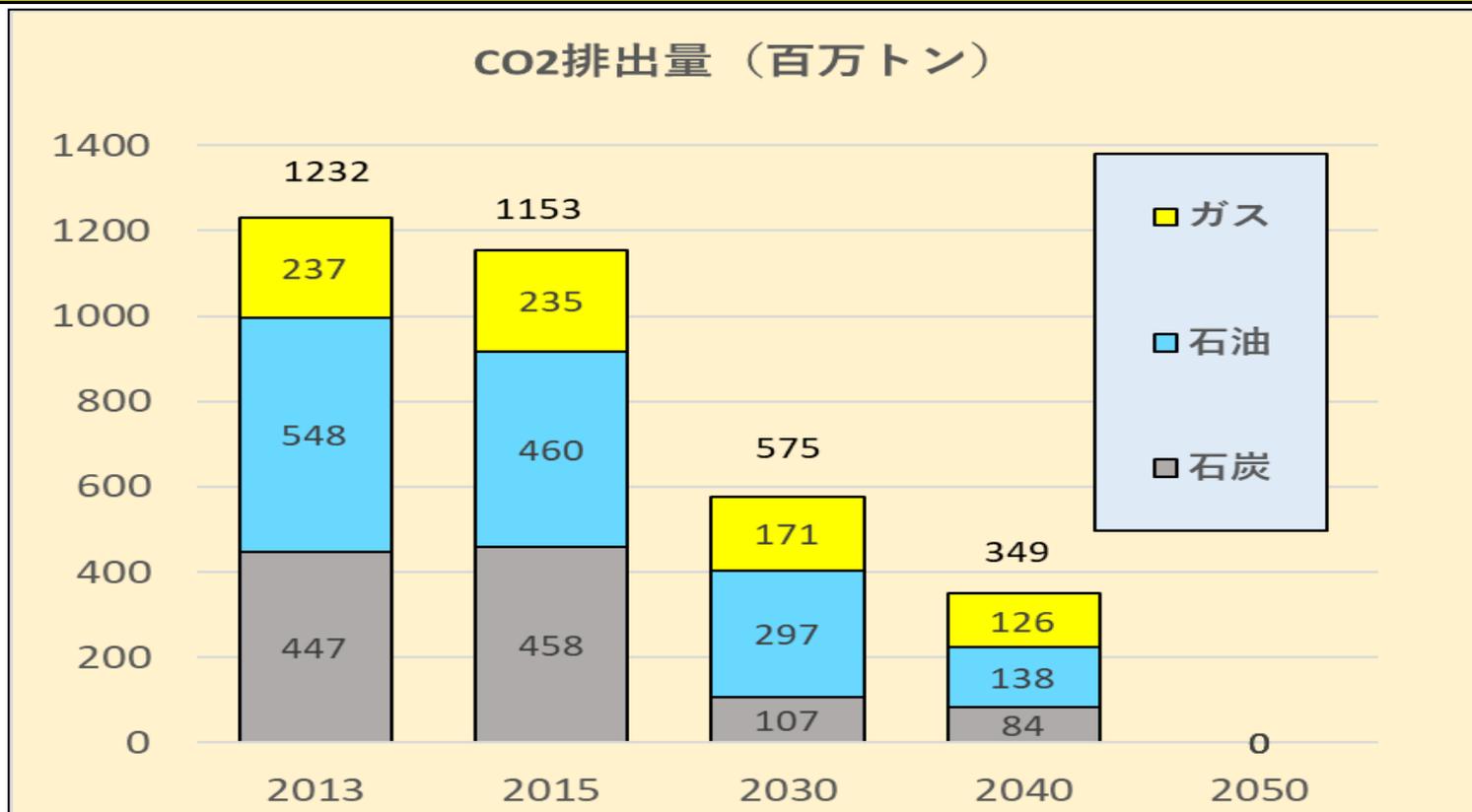
供給源	立地	容量 (GW)	立地密度 (W/m <sup>2</sup> )	国土に占める割合(%)	まとめ割合(%)
住宅PV	戸建て住宅	166	100	0.44	1.06
	共同住宅など	47	83.3	0.15	
公共PV	学校、耕作放棄地など	147	83.3	0.47	
風力	陸上	71	10	1.88	1.88
	洋上	82	8	2.71	2.71



**2050年、太陽光360GWに必要な面積は国土の1.06%、風力153GWには4.6% (風車を通過した風が上空からエネルギーをふたたび得るために必要)**

**洋上風力を除くと合計で国土の3%。(1GW=100万kW)**

# 二酸化炭素排出量

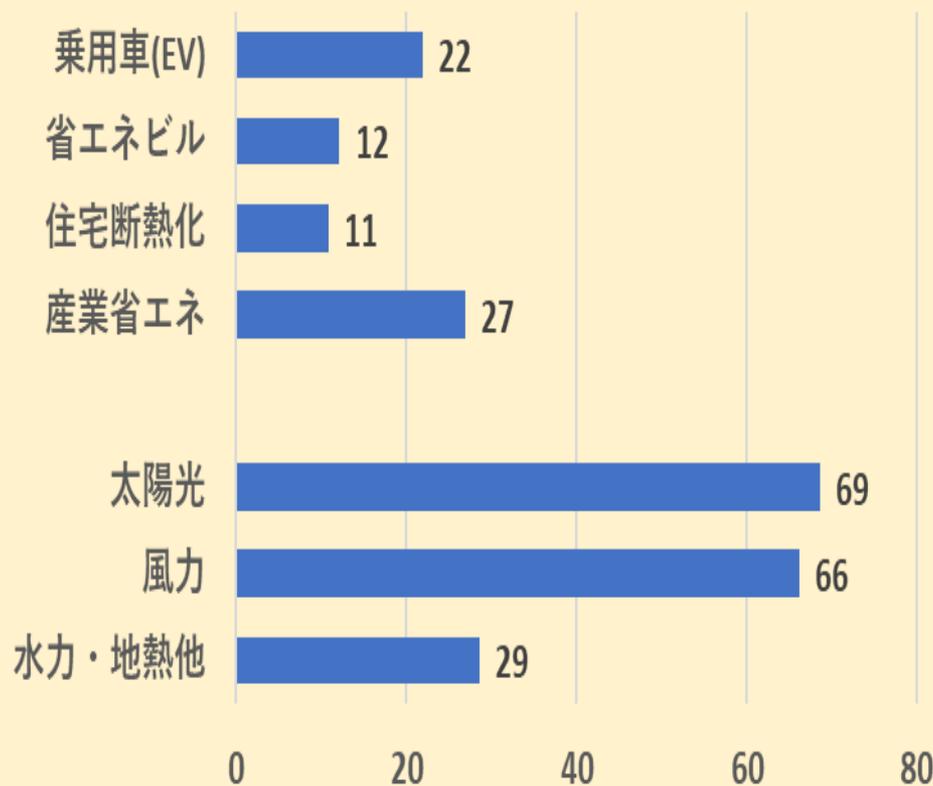


2013年には12.3億トン、2030年には5.8億トン、2040年には3.5億トン、2050年にはゼロ。2030年にはマイナス53%、2040年にはマイナス72%になる。

# 投資費用の推定

(省エネ+再生可能エネルギー、2020~2050年)

主要な設備投資額 (兆円、2020-2050年)



省エネルギーの設備投資：  
産業の省エネ設備投資は27兆円  
乗用車は2050年まで人口減少に  
比例して減少し3690万台、EVへ  
の設備投資は22兆円になる。

再生可能エネルギーの設備投資：  
太陽光が3.6億kW、69兆円、陸上  
風力が7100万kW、29兆円、洋上  
風力が8200万kW、38兆円。

30年間の合計投資額は254兆円、  
年間8.5兆円、GDPのおよそ1%  
で、経済性のある投資になる。化  
石燃料を輸入し続ければ年間10  
~15兆円が必要。

## おわりに

エネルギー狩猟型文明からエネルギー耕作型文明への転換は可能であり、世界はその方向へ動いている。太陽光と風力のコストは低下しており、経済性のある投資になっている。

しかし、温暖化の進展は急速で切迫している。

カーボンバジェットを消費して、2°Cを超える温度上昇になる可能性があり、転換を急ぐ必要がある。

過剰な消費社会からの転換が重要。化石燃料消費への課税、ライフスタイルの変化など、産業構造や社会の仕組み全体に大きな変化が必要になる。

# Thank you

