

脱炭素社会に向けた長期シナリオ

WWFジャパン 100%自然エネルギーシナリオ



100%自然エネルギー
推進円卓会議

衆議院第一議員会館
多目的会議室

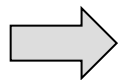
2017年3月10日



システム技術研究所
槌屋 治紀

WWF ジャパン・エネルギーシナリオ

省エネルギー
(効率向上)

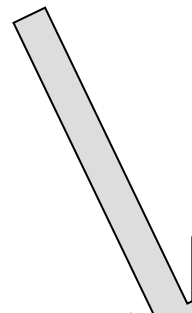
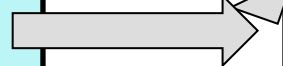


エネルギー
需要の削減

2050年

①100%自然エネルギー
シナリオ

②ブリッジシナリオ
(GHGを80%削減)



CO2排出
量の削減

経済性の高い省エネルギーにより需要を削減すれば、自然エネルギーの供給を行う場合の問題が小さくなり、効果的にCO2削減が実現できる

自然エネルギー大量普及の課題

目標

- 安全性
- セキュリティ向上
- エネルギー自立
- CO2排出なし
- 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供給源である)
- 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省エネルギーシナリオ

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	TV会議	航空機利用の10%がスカイプ会議へ移行するとエネルギー消費が2%に低減、ここへ計上

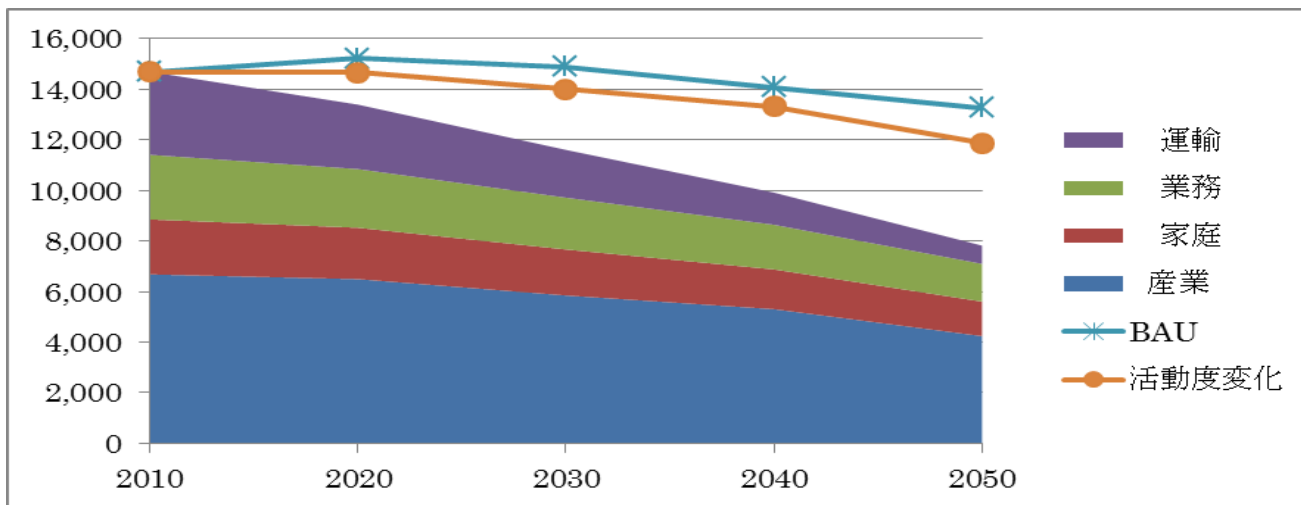
WWF省エネルギーシナリオ

効率向上の可能性：産業部門と運輸部門

	産業部門
鉄鋼業	電炉のエネルギー原単位は高炉の1/4に、リサイクル率は70%になり、エネルギー消費は35%に低減する
化学・窯業・紙パルプ	生産量が減少してゆくが、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
カーシェアリング	5%に普及、自動車を保有するのに比較すると80%の省エネになる
エコドライブ	20～40%に普及、6～15%の省エネ。
軽量化、PHVからEV/FCVへ	自動車が、軽量化され、効率70%以上に向上したEVとFCV（50%づつ）になる
モーダルシフト	貨物自動車の需要の15%が鉄道と海運へモーダルシフト
航空機	CFP軽量化により30%の効率向上、旅客の10%がスカイプ会議へ移行

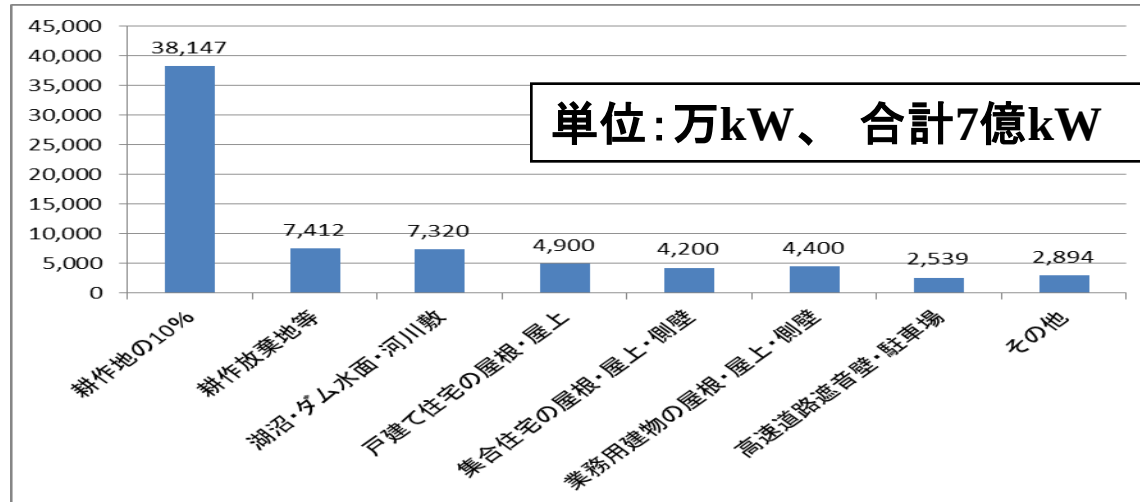
100%自然エネルギーシナリオの最終用途エネルギーの推移



単位: PJ	2010	2020	2030	2040	2050	2050/2010
BAUシナリオ	14,698	15,215	14,892	14,084	13,272	90.3
活動指数の変化	14,698	14,663	14,010	13,314	11,886	80.9
100%シナリオ	14,698	13,398	11,606	9,918	7,822	53.2
産業	6,683	6,497	5,849	5,308	4,241	63.5
家庭	2,174	2,032	1,821	1,571	1,368	62.9
業務	2,556	2,320	2,049	1,767	1,490	58.3
運輸	3,285	2,549	1,887	1,272	724	22.0

2050年までGDPは増大するが、2050年の活動度は80%に減少し、100%自然エネルギーシナリオの最終エネルギー需要は、人口と材料資源消費の減少＋省エネルギー(効率向上)により2010年比で53%に低下する。BAUシナリオは、アジア/世界エネルギーアウトルック。

太陽光発電のポテンシャルと導入見込み量



太陽光発電の導入ポテンシャル (NEDO自然エネルギー技術白書2014)

発電容量 (万 kW)	2015	2020	2030	2050	2115
太陽光発電	3,440	7,000	10,000	25,000	70,000

PV Outlook 2030 (JPEA, 2015)

太陽光発電見込み量 (万 kW)	2020年高位	2030年高位	2050年高位
戸建住宅	1,702	3,060	16,950
非住宅・集合住宅	2,150	4,400	10,300
メガソーラー	2,460	3,414	
合計	6,312	10,874	27,250

H26年度2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討受託業務(環境省)

太陽光発電のポテンシャルには、限界はなく日射があればどこでもよい。NEDOは耕作地の10%を含めて 7億kWのポテンシャルを示しており、JPEAは2050年に2億5000万kW、100年後の2115年には7億kWとしている。環境省は2050年高位として2億7250万kWを示している。

風力発電の導入見込み量(万kW)

	2020年高位	2030年高位	2050年高位
陸上	1, 100	2, 370	3, 500
洋上（着床）	140	320	800
洋上（浮体）	83	560	2, 700
合計	1, 323	3, 250	7, 000

H26年度2050年自然エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討受託業務(環境省)

風力発電の将来ビジョン(単位:万kW)

年	陸上	洋上（着床）	洋上（浮体）	合計
2010	245	3	0	248
2020	1, 020	60	10	1, 090
2030	2, 660	580	380	3, 620
2040	3, 800	1, 500	1, 290	6, 590
2050	3, 800	1, 900	1, 800	7, 500

日本風力発電協会(JWPA)

いずれも2050年には、陸上と洋上を合計すると7000～7500万kWの規模の数値が示されている

日本の自然エネルギーの実績、ポテンシャル、 WWFシナリオの導入見込み量

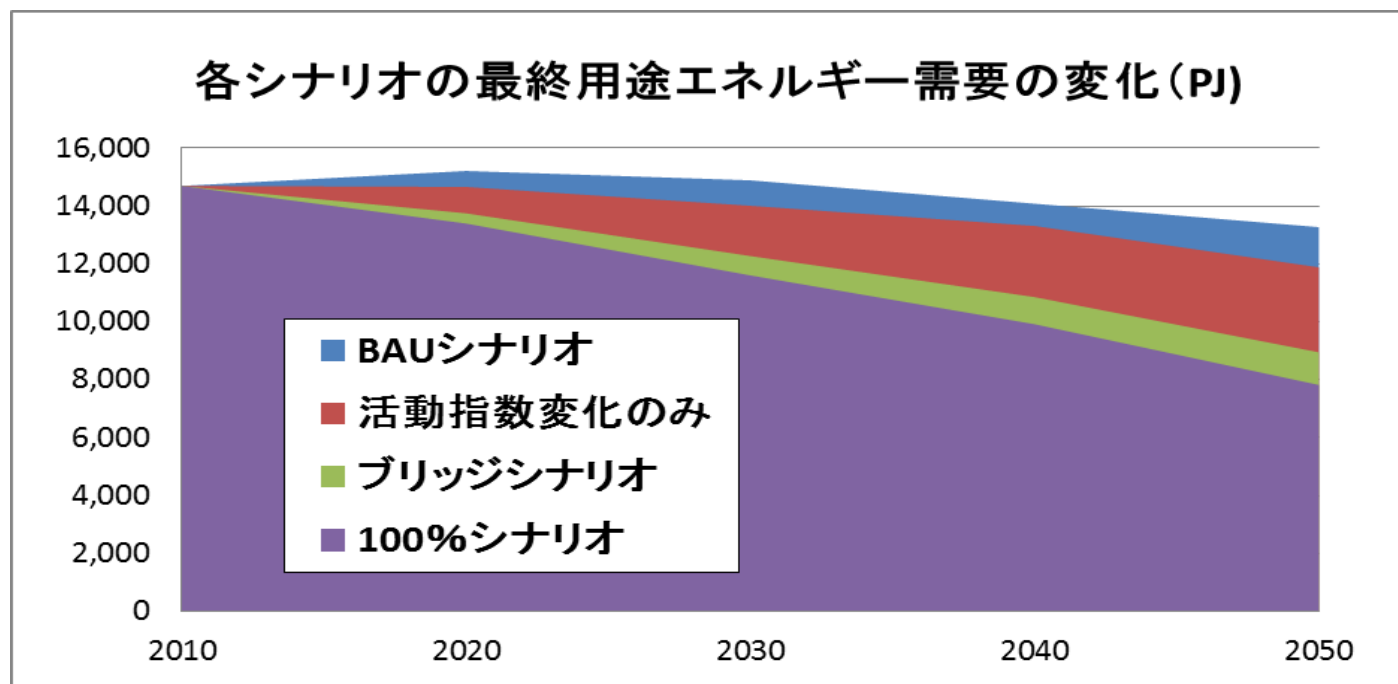
エネルギー源	2013 年(実績)	最大ポテンシャル	WWFシナリオ
水力発電	2073 万 kW	4606 万 kW	4606 万 kW
地熱発電	54 万 kW	3063 万 kW	1000 万 kW
太陽光発電	3340 万 kW	7 億 kW以上	4 億 5000 万 kW
風力発電(陸上・洋上)	317 万 kW	16 億 9800 万 kW	1 億 400 万 kW
波力発電	0	1800 万kW	1000 万kW
バイオマス発電	409 万 kW	738 万 kW	600 万kW
バイオマス熱利用	161 万 TOE	973PJ(※)	2200PJ

(最大ポテンシャルデータ:再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書(環境省)およびNEDOの「PV2030+」等による。

※バイオマス熱利用の最大ポテンシャルは環境省調査による導入見込み量、WWシナリオではエネルギー作物の開発が行われるとして、その2.26倍を想定した。 TOE=石油換算トン

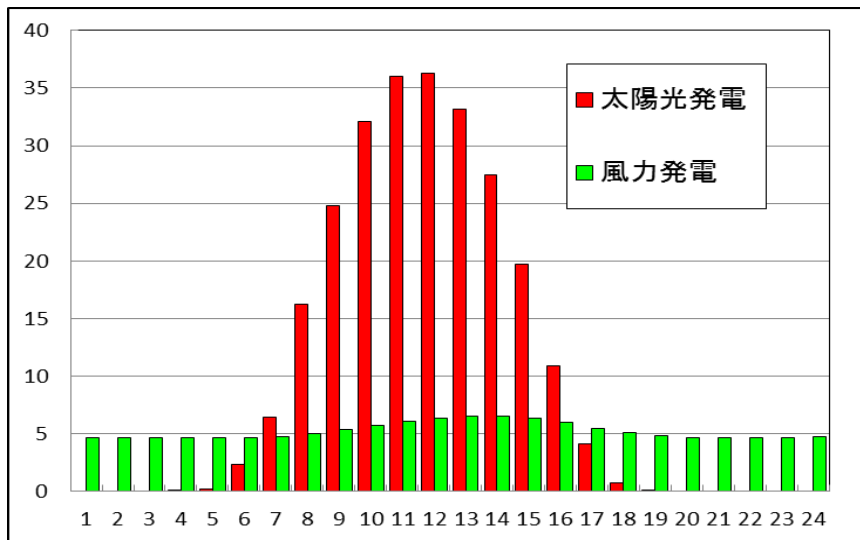
シナリオの最終エネルギー需要

単位: PJ	2010	2020	2030	2040	2050	2050/2010
BAUシナリオ	14,698	15,215	14,892	14,084	13,272	90.3
活動指数変化のみ	14,698	14,663	14,010	13,314	11,886	80.9
ブリッジシナリオ	14,698	13,751	12,275	10,858	8,951	60.9
100%シナリオ	14,698	13,398	11,606	9,918	7,822	53.2

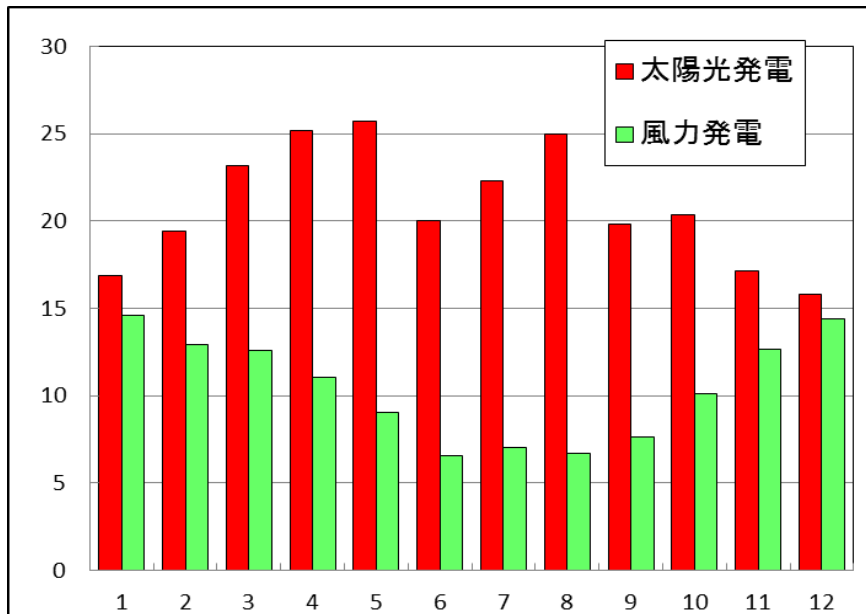


2050年の最終エネルギー需要は、2010年比でBAUは90%、ブリッジシナリオで61%、「100%自然エネルギーシナリオ」では53% になっている。

時刻別発電量(TWh)



月別発電量(TWh)

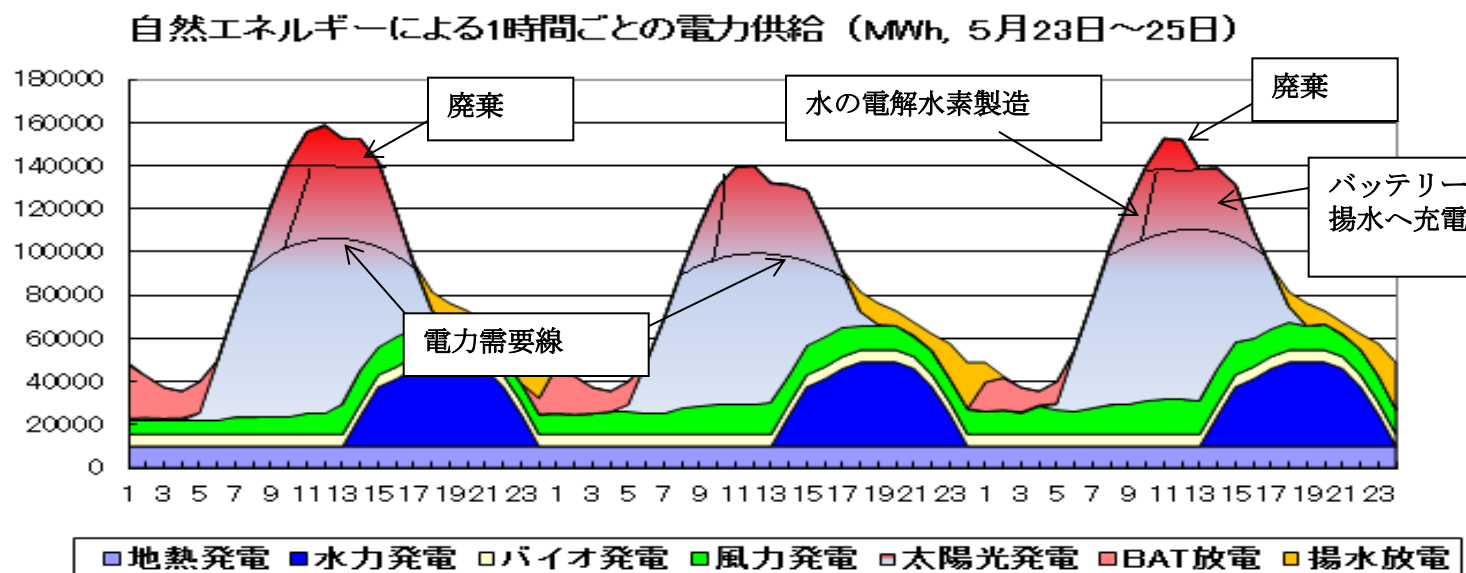


太陽光と風力を組み合わせると効果的

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、夏に小さく冬が大きい。

拡張AMEDAS2000の気象データの太陽光842地点、風力は風況のよい90地点を抽出。電力需要に対して、発電量が太陽光:風力=2:1とした場合を示す。

2050年自然エネルギーによる電力供給 (日本全国842地点の拡張アメダス2000気象データを使用)

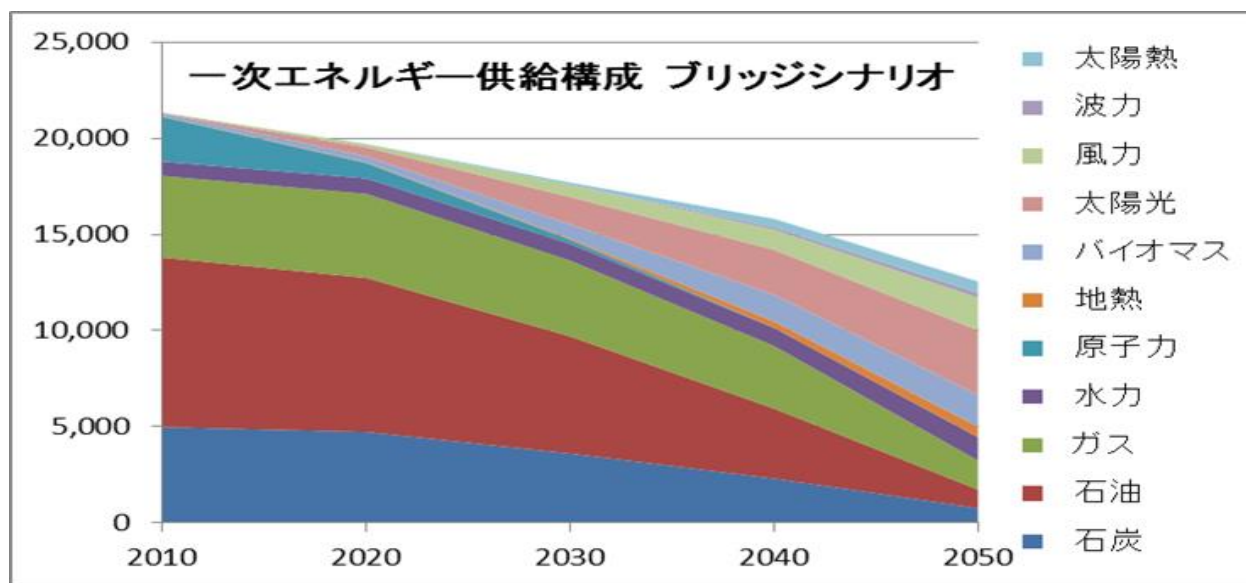


太陽光発電と風力発電の変動を、揚水発電とバッテリーからの放電が補う。水力発電は午後から夜間のピークに当てる。地熱発電は1年中一定の電力を供給する。余剰電力バッテリー／揚水発電への充電、FCV用電解水素の生産、EVの充電、産業用高温熱、ヒートポンプ熱供給に利用する。

ブリッジシナリオの一次エネルギー供給構成

	ブリッジシナリオ				
PJ	2010	2020	2030	2040	2050
石炭	4,981	4,727	3,605	2,302	764
石油	8,819	8,012	6,092	3,641	971
ガス	4,243	4,365	3,937	3,248	1,505
水力	747	810	873	949	1,215
原子力	2,322	801	207	0	0
地熱	28	33	66	331	552
バイオマス	153	300	744	1,391	1,640
太陽光	20	477	1,422	2,340	3,374
風力	30	158	627	1,046	1,696
波力	0	0	2	118	237
太陽熱	0	20	120	444	600
合計	22,157	19,704	17,696	15,811	12,553

ブリッジシナリオは、100%自然エネルギーシナリオの実現にいたるまでの現実的なシナリオを想定したものである。目標は2050年のGHG排出を、1990年の80%削減としている。これは政府の2050年の長期目標として決定されている数値である。このシナリオでは、2050年には、石炭、石油、ガスが残るが、その用途はそれぞれの特徴を生かす分野に限定される。石炭は高炉鉄生産用に、石油は産業用熱用途と航空機燃料に、ガスは業務ビル用、産業の熱利用、家庭用ガスに利用される。

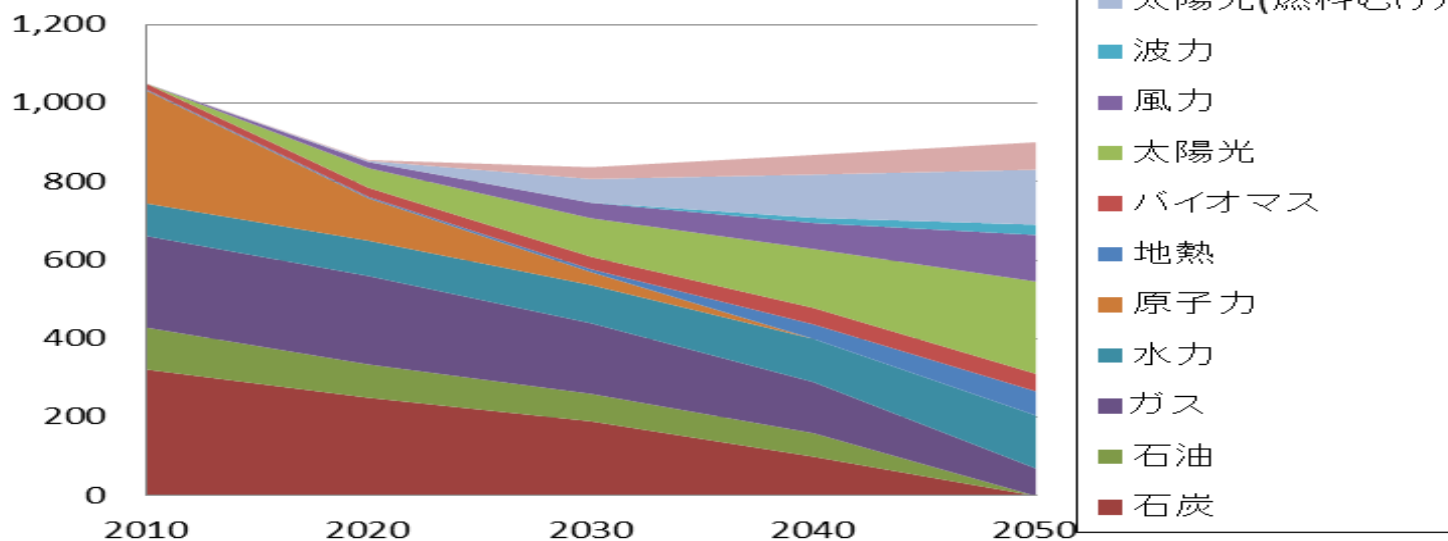


ブリッジシナリオの電力供給構成

発電構成(TWh)	2010	2020	2030	2040	2050
石炭	322	250	190	100	0
石油	107	85	70	60	0
ガス	233	225	180	130	70
水力	83	90	97	110	135
原子力	288	108	33	0	0
地熱	3	4	7	37	61
バイオマス	15	23	32	42	45
太陽光	0	50	98	150	235
風力	0	16	40	66	118
波力	0	0	0	13	26
純粋電力への供給計	1,051	850	747	708	691
太陽光(燃料むけ)	0	3	60	110	140
風力(燃料むけ)	0	2	30	50	70
燃料用を含む電力合計	1,051	855	837	868	901

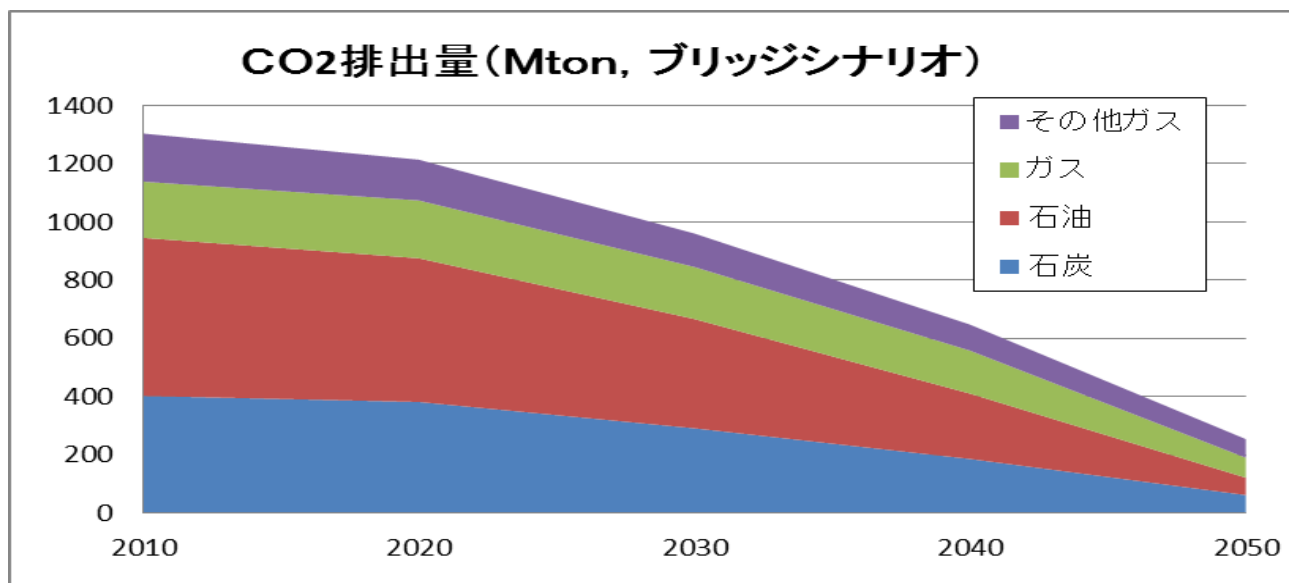
電力供給構成の時間経過を見ると、2030年ごろから、燃料用に供給する電力が増加し始める。変動する太陽光と風力から生じる余剰電力を、EV用電力とFCV用水素へ供給する。さらにヒートポンプにより低温熱供給に向けられる。

電力供給構成(TWh、ブリッジシナリオ)



ブリッジシナリオのCO2排出量

CO2排出量(MtCO2)	2010	2020	2030	2040	2050
ブリッジシナリオ計	1304	1214	961	648	254
石炭	402	382	291	186	62
石油	544	494	376	224	60
ガス	193	199	179	148	68
その他ガス	166	140	115	89	64

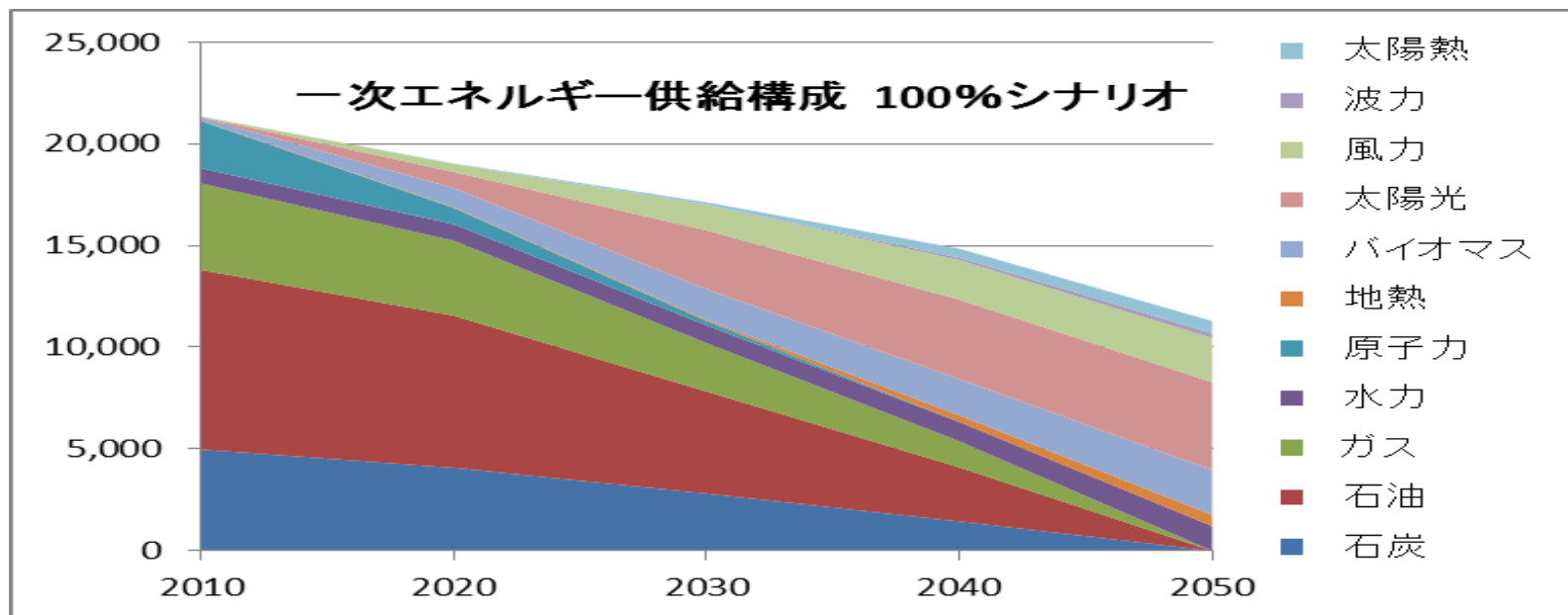


ブリッジシナリオにおける2050年のCO2排出量は、石炭から6200万トン、石油から6000万トン、天然ガスから6800万トン。合計は1億9000万トンであり、「その他ガス＝メタン・HFC・PFC・NO2・SF6」からの6400万トンを加えると、2億5400万トンになる。これは、1990年のCO2排出量の20%に相当する。

100%自然エネルギーシナリオの一次エネルギー供給構成

PJ	100%シナリオ				
	2010	2020	2030	2040	2050
石炭	4,981	4,076	2,814	1,443	0
石油	8,819	7,474	5,009	2,657	0
ガス	4,243	3,682	2,380	1,278	0
水力	747	810	873	949	1,215
原子力	2,322	801	207	0	0
地熱	28	33	66	331	552
バイオマス	153	938	1,500	1,778	2,200
太陽光	20	794	2,890	3,900	4,316
風力	29	397	1,260	1,946	2,167
波力	0	0	2	118	237
太陽熱	0	20	120	444	600
合計	22,157	19,025	17,122	14,844	11,287

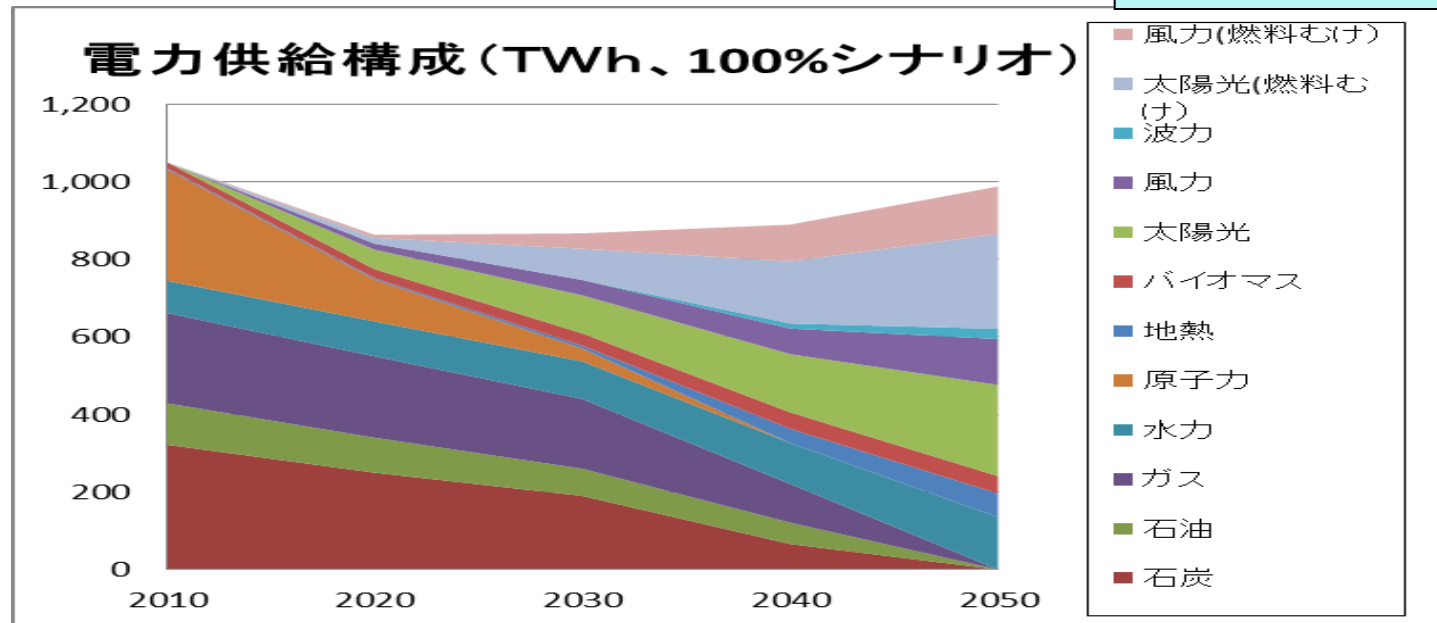
100%自然エネルギーシナリオは、2050年のエネルギーを100%自然エネルギーで供給することを想定している。
このシナリオでは、2050年には、石炭、石油、ガスはゼロになる。



100%自然エネルギーシナリオの電力供給構成

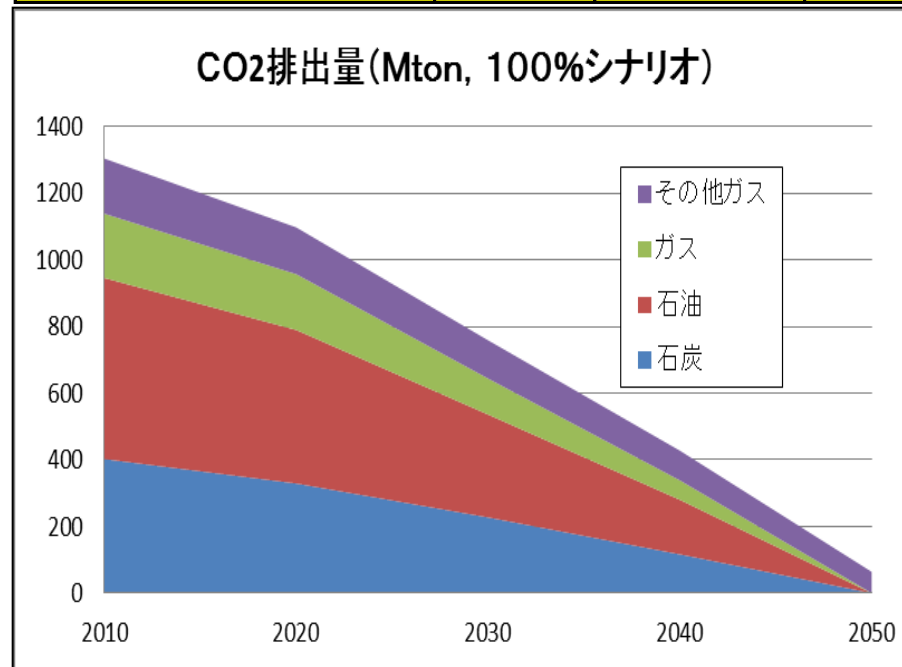
発電量構成(TWh)	2010	2020	2030	2040	2050
石炭	322	250	190	66	0
石油	107	90	70	55	0
ガス	233	210	180	100	0
水力	83	90	97	105	135
原子力	288	108	33	0	0
地熱	3	4	7	37	61
バイオマス	15	23	32	42	45
太陽光	0.0	50	98	150	235
風力	0	16	40	66	118
波力	0	0	0	13	26
純粋電力への供給計	1,051	840	747	635	621
太陽光(燃料むけ)	0	15	80	160	245
風力(燃料むけ)	0	8	40	95	122
燃料用を含む電力合計	1,051	863	867	889	988

ブリッジシナリオと同様に、2030年ごろから、燃料用に供給する電力が増加し始める。この電力は、変動する太陽光と風力から生じる余剰電力を、EVの電力とFCVなどの水素を供給するもので、さらに、ヒートポンプによる低温熱供給に向けられる。



100%自然エネルギーシナリオのCO2排出量

CO2排出量(MtCO2)	2010	2020	2030	2040	2050
100%シナリオ計	1304	1098	759	428	64
石炭	402	329	227	117	0
石油	544	461	309	164	0
ガス	193	167	108	58	0
その他ガス	166	140	115	89	64



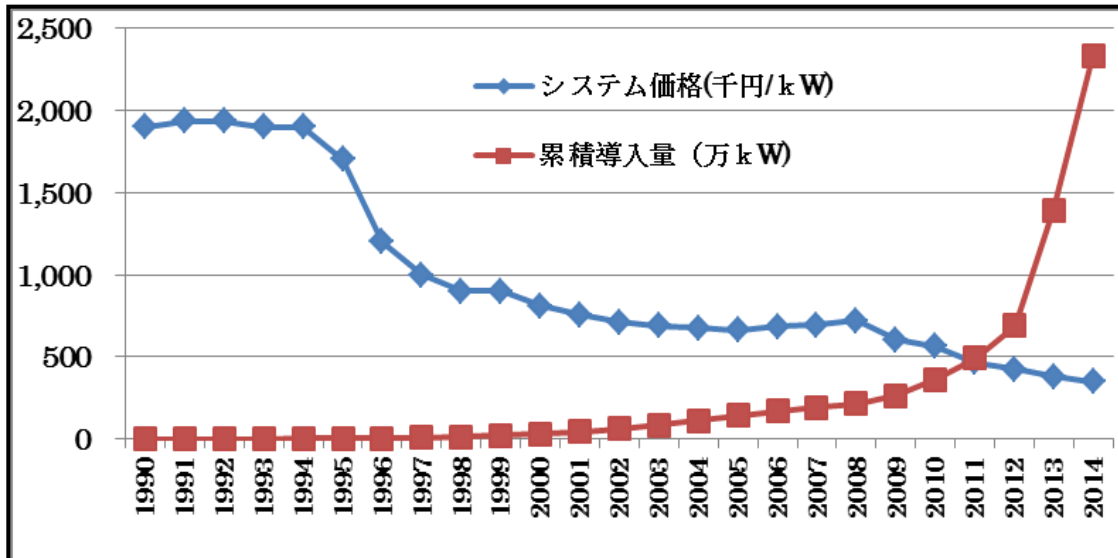
100%自然エネルギーシナリオにおける2050年のCO2排出量は、化石燃料からの排出はゼロに、「メタンなどその他ガス」からの排出6400万トンのみになり、1990年のCO2排出量の5%に相当する。ただし、2050年に鉄鋼業の石炭を水素に代替する技術は未知であり、実用化されなければ約5%は残るかもしれない。しかし電炉比が70%になるので石炭の需要は小さくなる。

ふたつのシナリオの比較

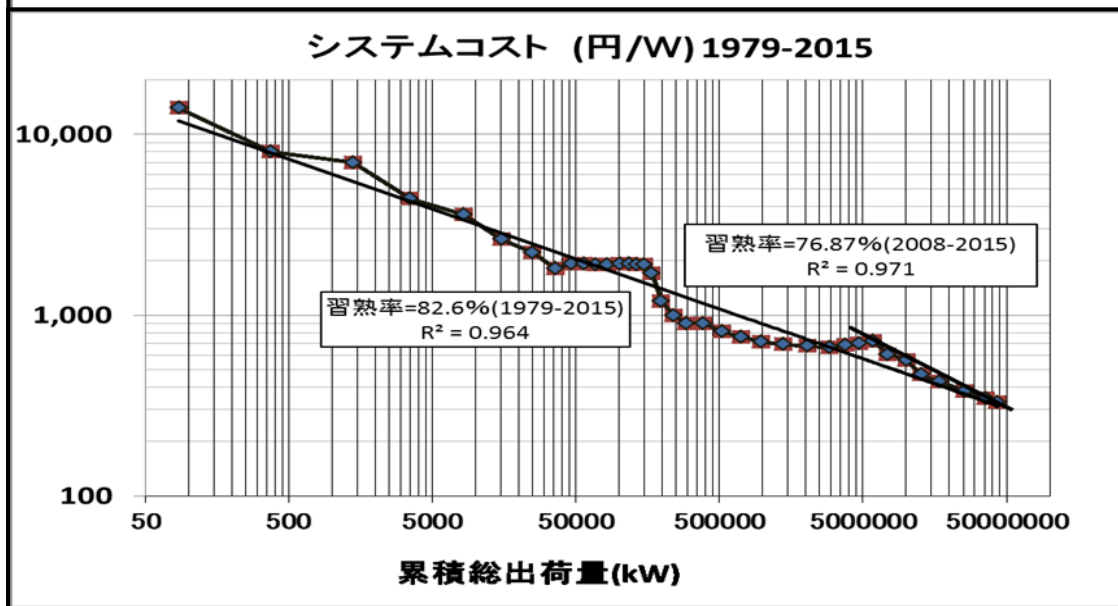
	ブリッジシナリオ	100%自然エネルギーシナリオ
目標	2050年に温室効果ガスを80%削減	2050年にすべてのエネルギーを自然エネルギーで供給する
最終用途エネルギー	8951PJ (2010年比61%)	7822PJ (2010年比53%)
一次エネルギー	12553PJ (2010年比57%)	11287PJ (2010年比51%)
純粋電力需要	691TWh	621TWh
燃料用電力需要	210TWh	367TWh
太陽光発電	3億5930万kW	4億4470万kW
風力発電	8360万kW	1億400万kW
2050年の温室効果ガス(CO2換算)	2億5400万トン	6400万トン
2050年の化石燃料起源CO2	1億9000万トン	ゼロ

ブリッジシナリオでは、100%自然エネルギーシナリオに比べて、最終用途エネルギー需要が13%小さく、純粋電力需要は10%小さく、太陽光発電と風力発電は20%小さくなっている。ブリッジシナリオでは2050年に化石燃料を目的に応じて柔軟に利用する。

太陽光発電システムのコスト低下



太陽光発電システムの価格と累積導入量 (1990～2015)



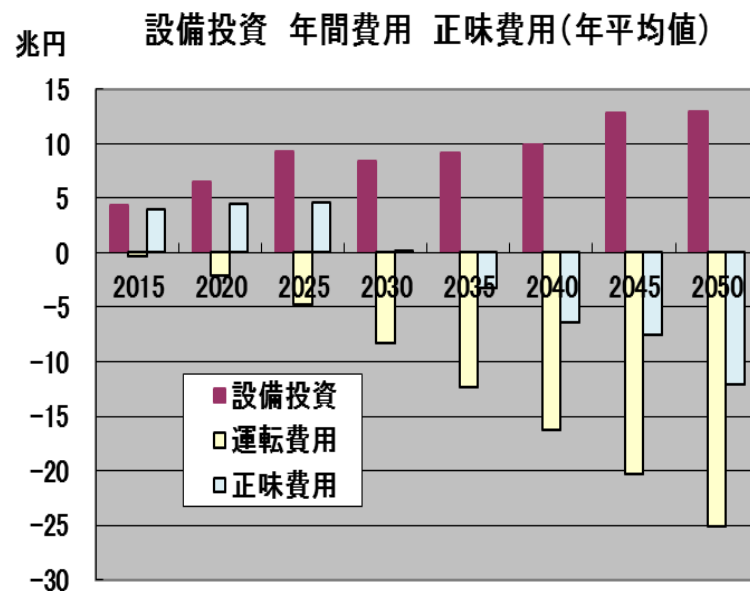
太陽光発電システムの価格と累積導入量 (1979～2015)

回帰分析結果は学習曲線に乗っている

100%自然エネルギーシナリオの 省エネルギーと自然エネルギーの設備投資、年間費用、正味費用

項目	A	B	C
	設備投資 CapEX(兆円)	運転費用 OpEX(兆円)	正味費用 Net(兆円)
産業部門省エネ	26.3	-88.9	-62.6
家庭部門 断熱化	41.5	-39.6	1.9
照明	2.6	-9.6	-7.1
エアコン	2.1	-5.9	-3.7
業務部門 省エネビル	16.1	-14.6	1.5
照明	5.1	-4.4	0.7
乗用車	97.4	-117.6	-20.2
省エネ合計	191.1	-280.5	-89.5
純電力用 太陽光	53.4	-31.7	21.7
陸上風力	6.1	-9.2	-3.2
洋上風力	8.0	-8.7	-0.7
燃料用電力	76.7	-52.6	24.1
太陽熱	8.9	-40.2	-31.3
地熱	6.2	-7.4	-1.2
水力	15.1	-18.5	-3.4
自然エネルギー合計	174.4	-168.4	5.9
合計	365.4	-449.0	-83.5
年間平均	9.1	-11.2	-2.1

40年間の省エネルギーと自然エネルギーは、設備投資365兆円、運転費用は-449兆円、正味費用-84兆円であり、十分な投資効果がある。



正味費用＝設備投資＋運転費用

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

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

地上で太陽のエネルギーを受けとめ、農業のように太陽光、風力、太陽熱、バイオマスなどを利用する。エネルギー利用効率を高めてエネルギー需要を減少する。天候に依存するが、気候に影響を与えない。



(東洋経済1980)