

脱炭素社会に向けた長期シナリオ

温室効果ガス削減シナリオ2017



WWFジャパン
エネルギーシナリオ説明会

ベルサール新宿グランドルーム

2017年2月16日

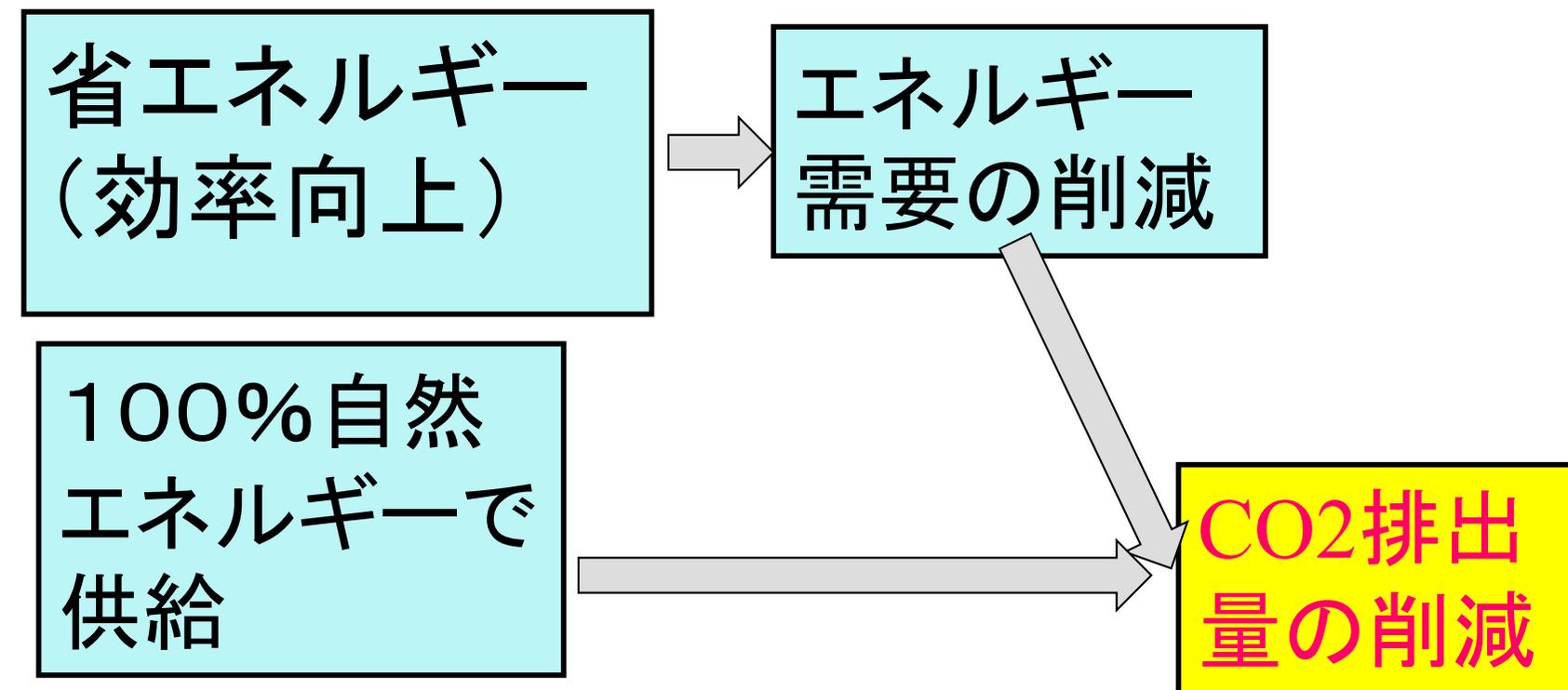


システム技術研究所
槌屋 治紀

温室効果ガス削減シナリオの概要

章	タイトル	概要
1	BAUシナリオ	現状の傾向が続くとした参照シナリオについて説明している
2	省エネルギーの可能性	効率の高い住宅、モータ、自動車などの各種の省エネルギー技術を検討している
3	将来のエネルギー需要	2050年までのエネルギー需要の削減を活動度と効率向上の点から検討している
4	自然エネルギーの可能性	太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなど日本における自然エネルギーの導入見込み量を検討する
5	その他ガスについて	メタンやフロンガスなどCO ₂ 以外の温室効果ガスの排出量を検討している
6	WWFシナリオ	2050年にCO ₂ 排出を80%削減する「ブリッジシナリオ」と「100%自然エネルギーシナリオ」を作成している
7	CO ₂ 削減コストの検討	石油価格の将来、省エネルギーや自然エネルギーの導入のコストを評価するコストカーブについて検討している
8	費用算定	シナリオの実現にかかる費用を計算している
9	政府のエネルギー長期見通しとの比較	なぜ政府シナリオより大きく削減でき、多くの自然エネルギーを導入できるのかを検討
10	WWFジャパンからの提言	シナリオ検討結果を受けてWWFジャパンからの提言を示した

WWF ジャパン・エネルギーシナリオ



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？

BAUシナリオ

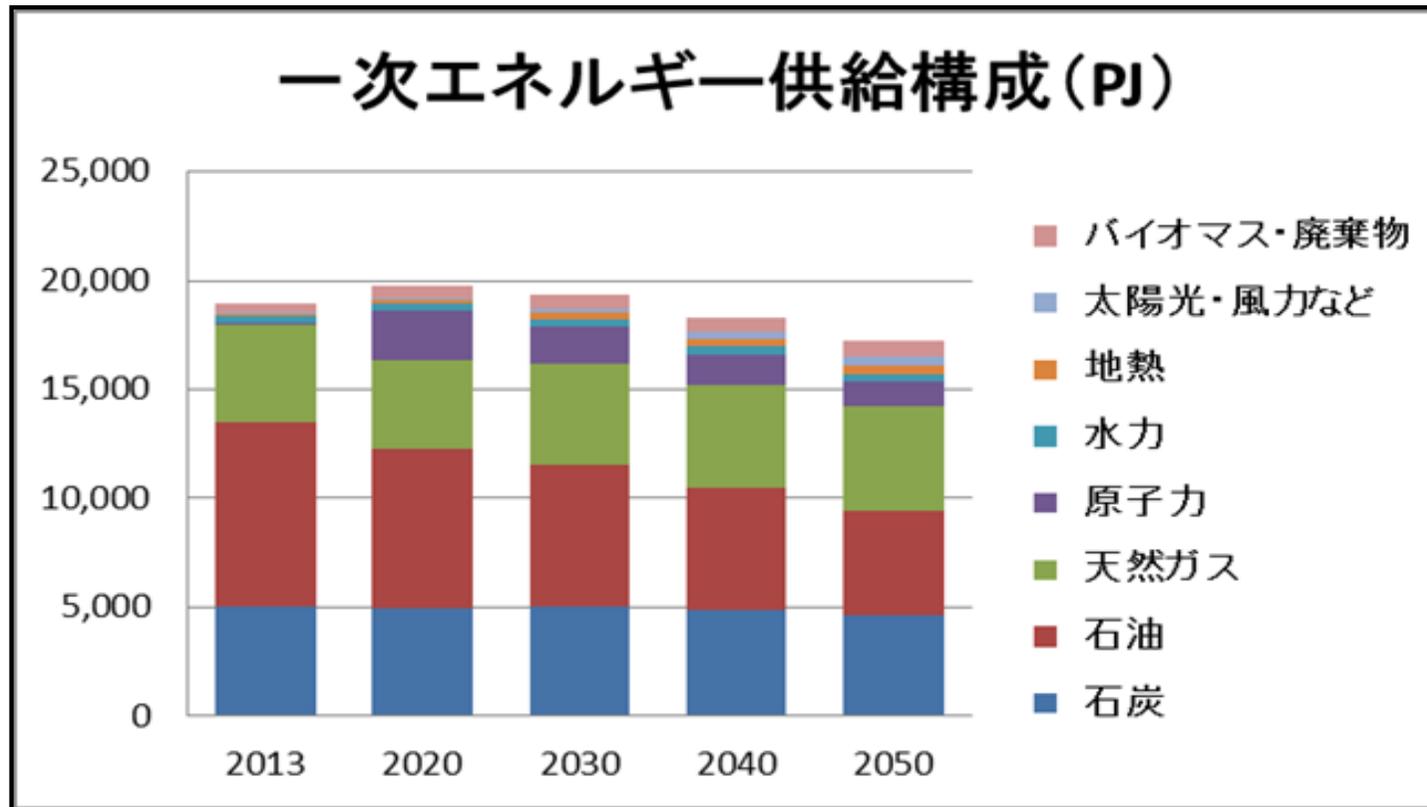
	2013	2020	2030	2040	2050	2050/2013(%)
GDP(2010年価格10億ドル)	5,656	6,547	7,566	8,369	9,172	162.2
人口(100万人)	127	125	120	114	108	85.0
エネルギー起源CO2(100万トン)	1,234	1,120	1,105	1,034	963	78.0
ひとりあたりGDP(1000ドル)	44	52	63	73	83	188.6
ひとりあたり一次エネルギー(toe)	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	105.6
GDPあたり一次エネルギー消費	80	72	61	52	43	53.8
GDPあたりCO2排出量(t/toe)	218	171	146	124	102	46.8
一次エネルギーあたりCO2(t/toe)	2.7	2.4	2.4	2.4	2.4	88.9
自動車保有台数(100万台)	77	77	74	71	68	88.3
1000人あたり自動車保有台数(台)	601	611	613	623	633	105.3

アジア/世界エネルギーアウトルック2015(日本エネルギー経済研究所)

	2010	2013	2020	2030	2040	2050	2050/2013
人口(万人)	12,806	12,729	12,410	11,662	10,728	9,708	76.3

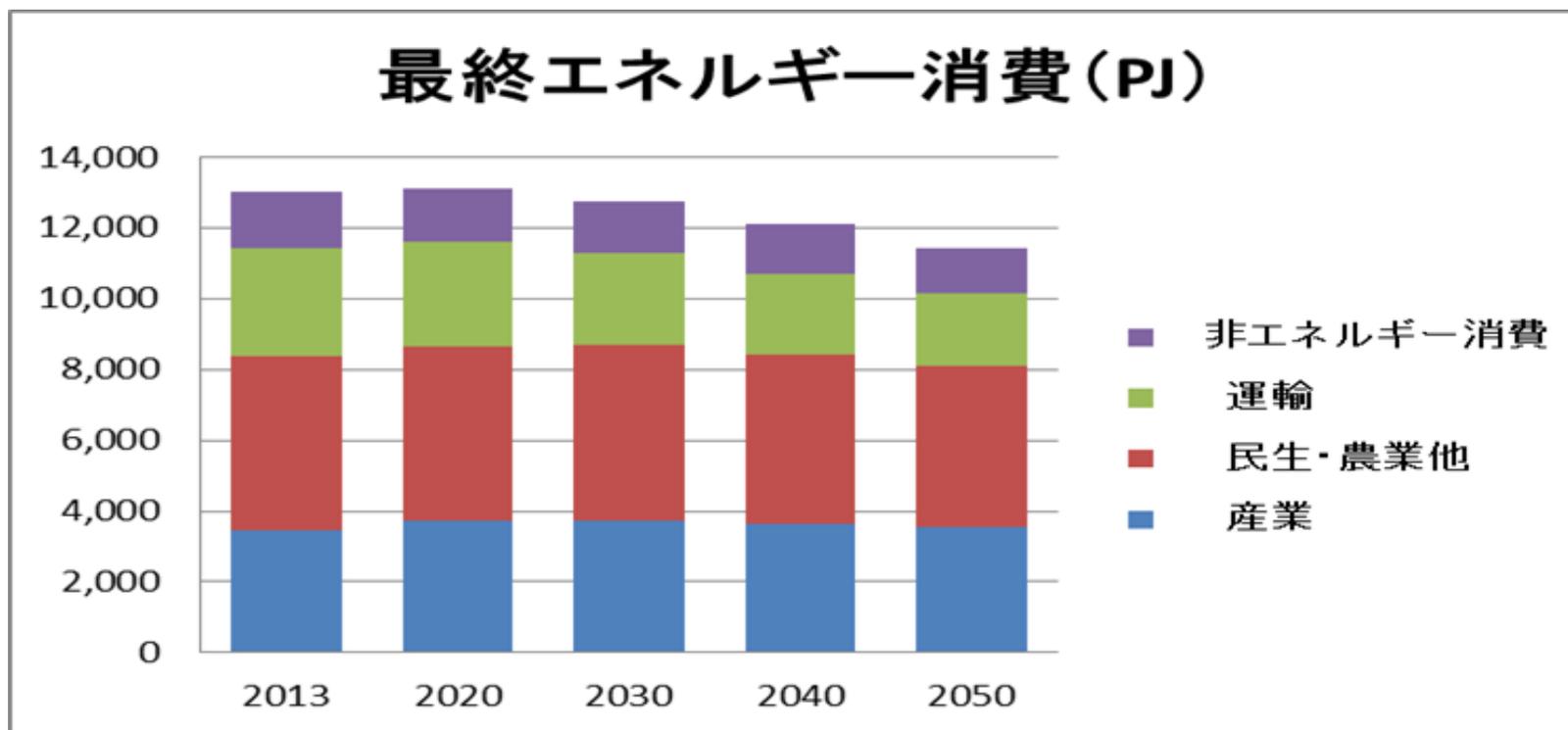
H28 国立社会保障・人口問題研究所

BAUシナリオ 一次エネルギー供給構成



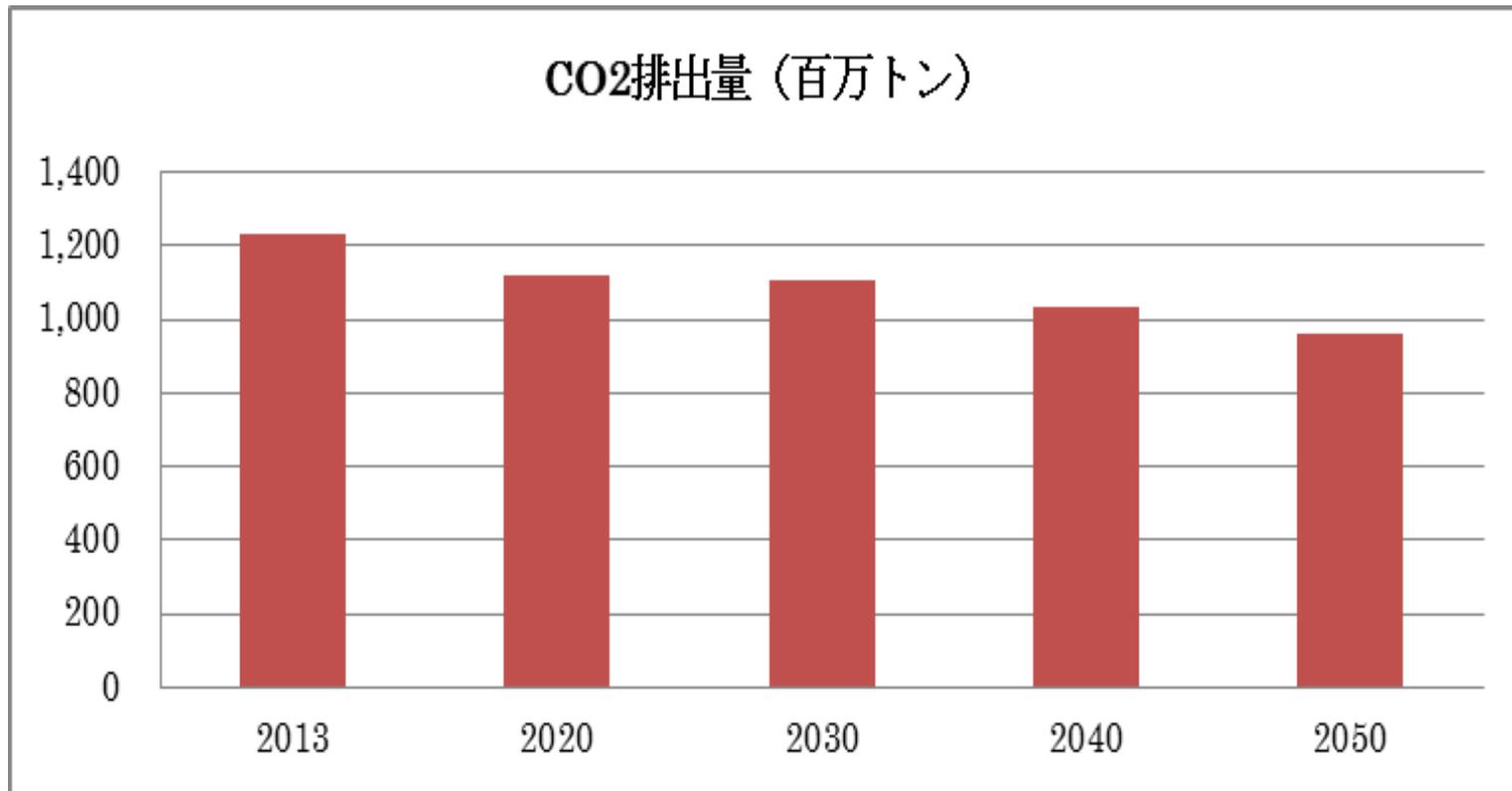
BAUシナリオでは、実質GDPは2013年から2050年までに1.6倍になり、ひとりあたりGDPは1.88倍になる。一次エネルギーは、2020年にむけてすこし増大するが、2030年以降は減少してゆき、2050年には2013年の90.3%になるとしている。

BAU最終エネルギー消費構成



BAUシナリオの最終消費エネルギーは、2020年以降は減少してゆき、2050年には2013年の87.8%になるとしている。部門別にみると運輸部門の減少が大きい。

BAUシナリオ CO2排出量



BAUシナリオのCO2排出量は、次第に減少してゆき、2050年には2013年の78%になるとしている。しかし、政府の長期目標の「80%削減」については触れていない。

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

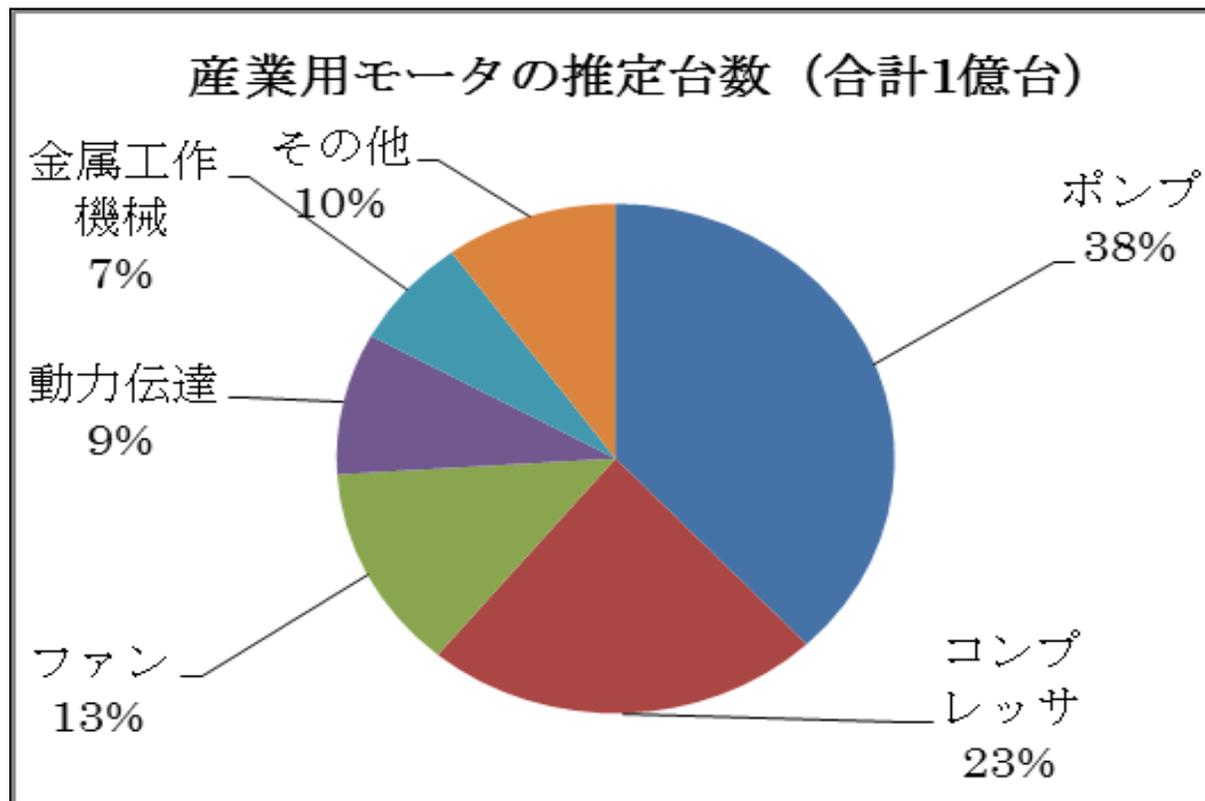
WWF省エネルギーシナリオ

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、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	すべての自動車が、軽量化され、効率70%以上に向上したEVとFCV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

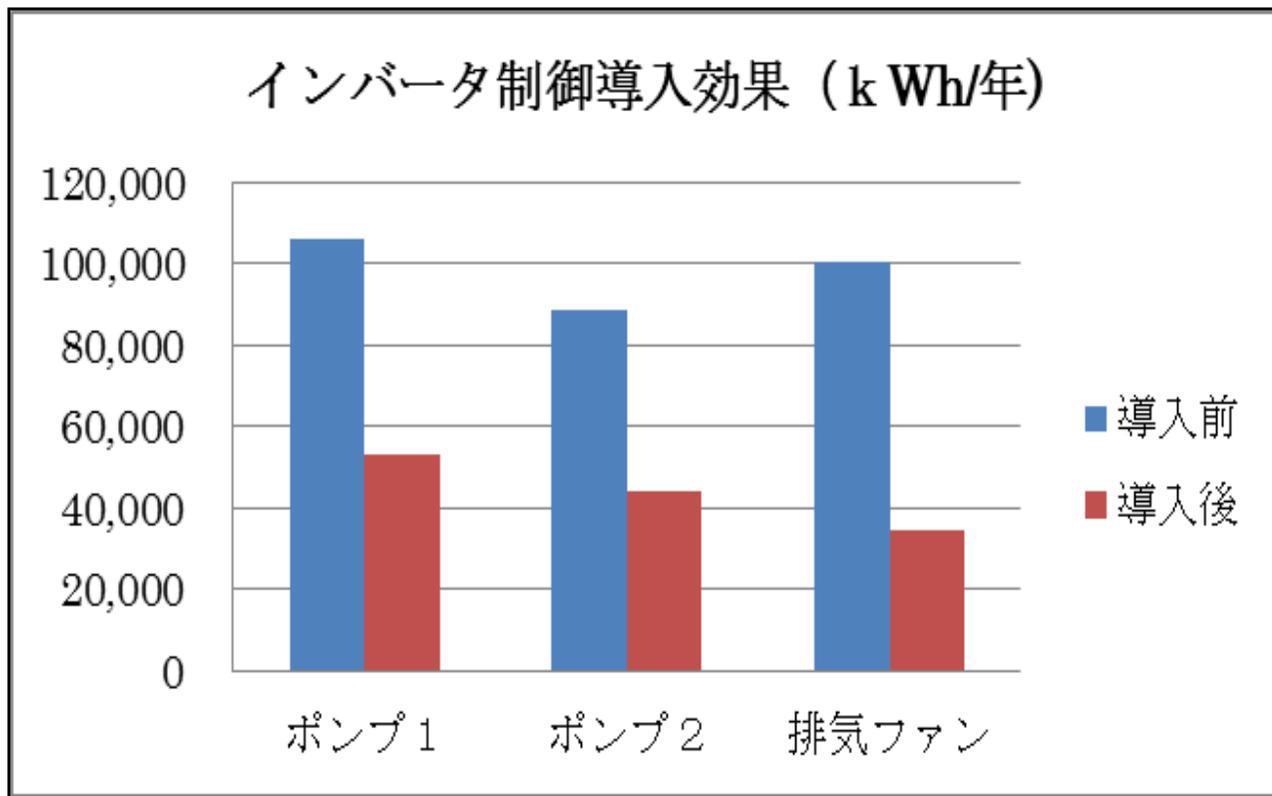
産業用モータの用途と省エネルギー



モータをポンプやファンのような回転機械に利用している場合、インバータを用いて回転数を適切に制御すれば、エネルギー消費は1/2~1/3程度に小さくなることが知られている。投資回収期間は3~5年と言われている。

工場の電力消費の最大の用途は3相誘導モータの使用であり、産業用電力消費の70%を占め、日本の電力需要のおよそ55%を占めている。使用されている3相誘導モータは、推定で1億台あり、その台数の内訳は、ポンプ38%、コンプレッサ23%、ファン13%、動力伝達9%、金属工作機械7%となっている。

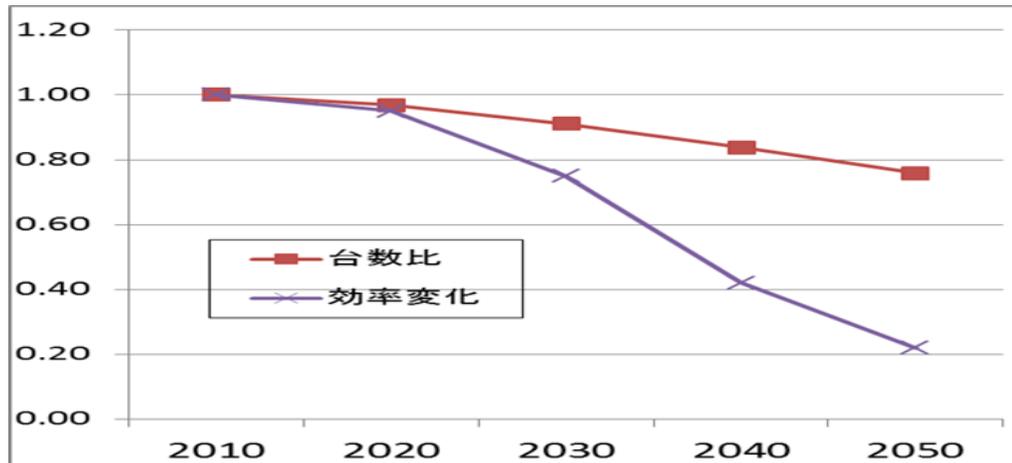
ポンプとファンのモータのインバータ制御



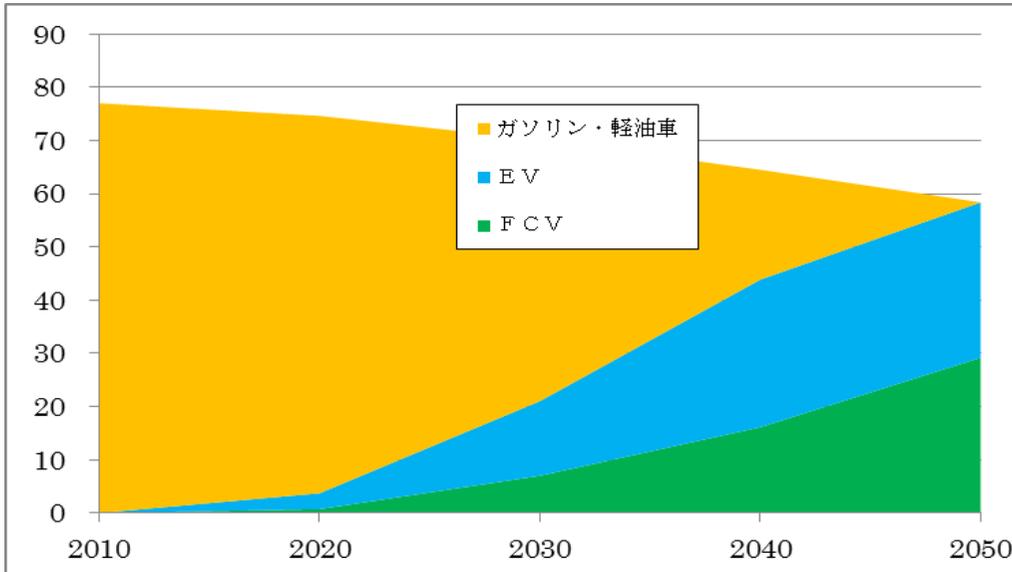
冷却水ポンプは、インバータを用いて常に適切な量に制御することで、50%の省エネルギーを達成している。単純に計算すると、回収期間=4.12年である。

ファンのインバータ制御についても検討が行われている。風量を手動で設定してる排気ファンに、風量をインバータで制御・調整するようにした。その結果、65%の省エネルギーが達成されている。

自動車の変化(2050年にはEVとFCVへ移行)



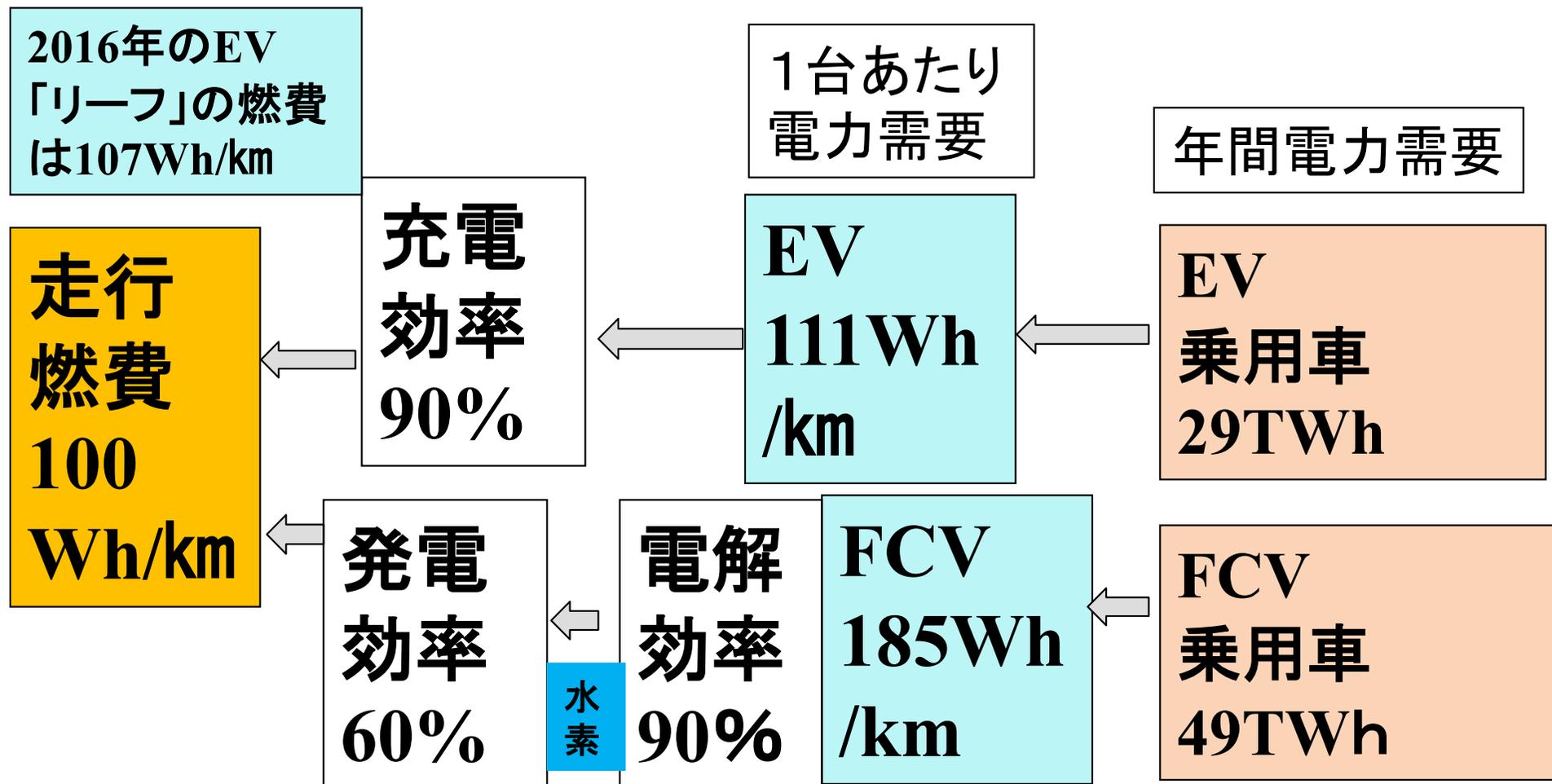
乗用車と貨物車の台数比と効率変化



車両台数の推移 (2010年~2050年)

2050年までに乗用車と貨物自動車は、EV(電気自動車)とFCV(燃料電池車)に移行すると想定した。このときエネルギー効率は4.8倍になる。車両台数は2010年の7700万台から2050年には5840万台になる。乗用車は6600万台から5000万台に、貨物車は1100万台から834万台に減少する。EVとFCVとは1/2ずつと仮定している。

余剰電力による乗用車燃料の生産：電力と水素



2050年に乗用車＋貨物自動車は5840万台になり、EVとFCVは各2920万台を想定した。乗用車の走行燃費100Wh/kmになるが、水素生産の効率の違いから、乗用車の電力需要はEVで29TWh、FCVで49TWhと推定した。

ソーラーアシスト・カー



EVまたはFCVに太陽電池を搭載。捕獲した電力を直接またはバッテリーに貯蔵して利用する。2014年1月フォード社はルーフに太陽電池を搭載するPHVを発表した(左の写真)。2016年8月トヨタも太陽電池搭載型プリウスPHVを発表している(右の写真)

FV,FCVの効率が
高いので、少ない
発電量でも有効
に利用できる。自
動車用燃料は高
価な電力でも経
済性がある。

太陽輻射



ルーフとボンネットに設置した3m²の太陽
光パネルから年間に600kWhを発電する。
年間の太陽依存率は20~30%。

年間走行距離 1万km

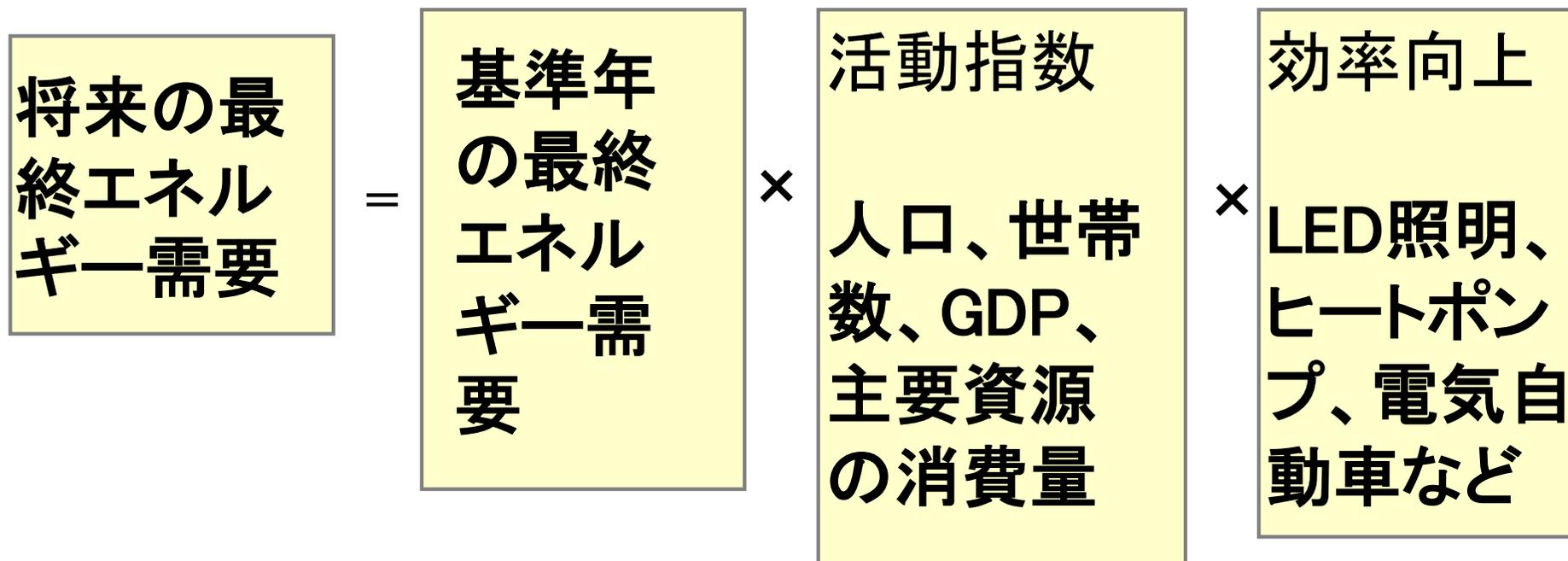
年間走行エネルギー=1200~
1500kWh

参考文献: 榎屋、「ソーラーアシスト・ビークルの設計」、日本太陽エネルギー学会誌、Vol.32, No.3, 2006年
H.Tsuchiya, Innovative Renewable Energy Solution for Hydrogen Vehicles, International
Journal of Energy Research, 2008;32:427-435, Wiley Inter Science, John & Wiley and Sons

活動指数の変化(2010-2050)

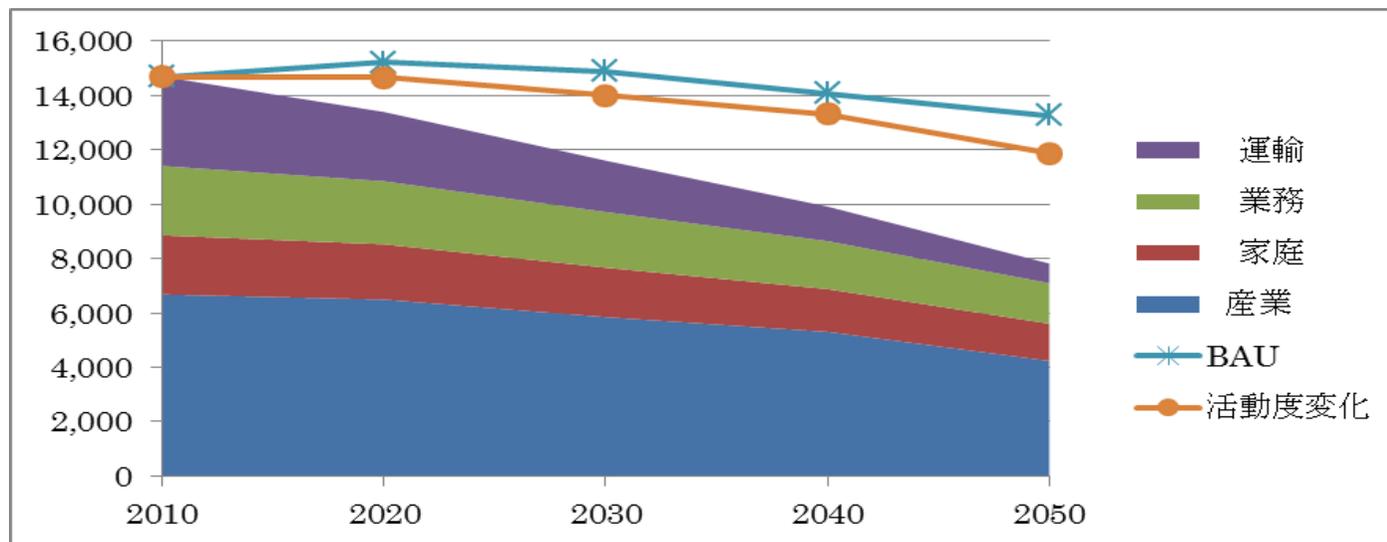
主要数値	2010	2020	2030	2040	2050
人口(万人)	12,806	12,410	11,662	10,728	9,708
人口比(2010年比)	1.000	0.969	0.911	0.838	0.758
実質GDP(2005年価格)	512.7	5298	6133	7087	7839
実質GDP比(2010年比)	1.000	1.033	1.196	1.382	1.529
世帯数(万世帯)	5378	5305	5123	4712.7	4519
世帯数比(2010年比)	1.000	1.023	0.988	0.909	0.872
鉱工業生産指数(2010年=100)	99.4	123.6	135.933	142.1	155.6
粗鋼生産(万トン)	10,550	11,458	10,595	10,164	8,870
生産量比(2010年比)	1.000	1.086	1.004	0.963	0.841
エチレン生産(万トン)	652	705	687	678	571
生産量比(2010年比)	1.000	1.081	1.054	1.040	0.876
セメント生産(万トン)	6590	5564	5314.67	5190	4169
生産量比(2010年比)	1.000	0.844	0.806	0.788	0.633
紙・板紙生産(万トン)	2879	3085	3058.33	3045	2827
生産量比(2010年比)	1.000	1.072	1.062	1.058	0.982
材料資源指数(2010年比)	1.000	1.007	0.951	0.923	0.795
<p>2010年から2050年に人口は76%に、世帯数は87%に低下するが、実質GDPは1.5倍になる。粗鋼生産は84%に、エチレン生産は87%に低下する。資源消費を総合した材料資源指数は79%に低下する。</p>					

WWFシナリオにおける 将来の最終エネルギー需要の推定方法



将来の最終エネルギー需要は、基準年のエネルギー需要、将来の活動指数、効率向上の積でできる。活動指数は最終用途ごとに適切なマクロ経済指標から推定する。

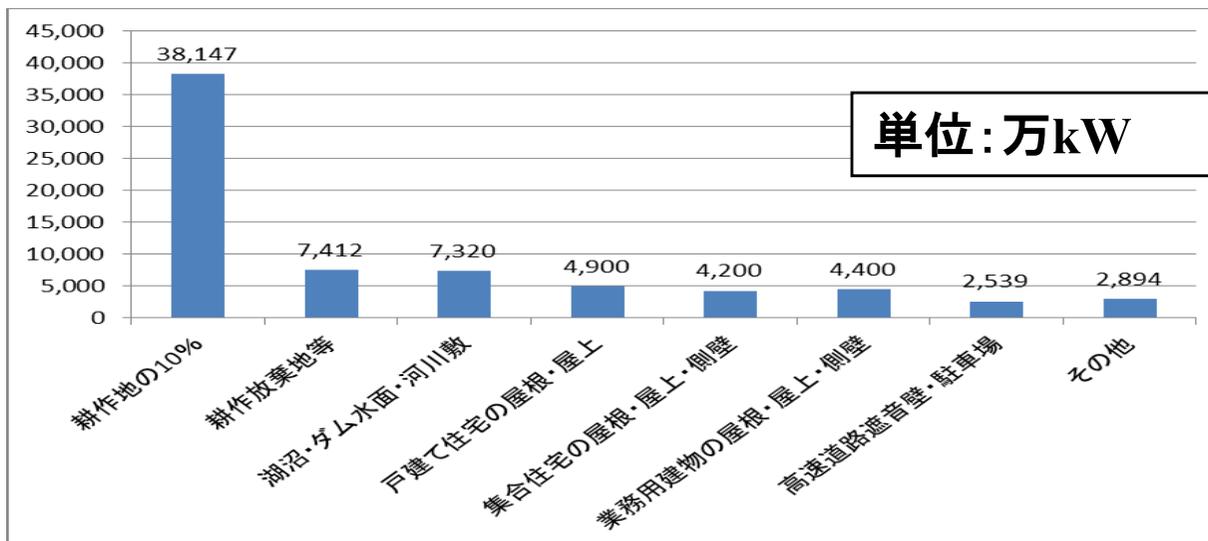
100%自然エネルギーシナリオの最終用途エネルギーの推移



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、100%自然エネルギーシナリオの2050年の最終エネルギー需要は、人口の減少、材料資源消費の減少と省エネルギー(効率向上)により2010年比で53%に低下する。

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)

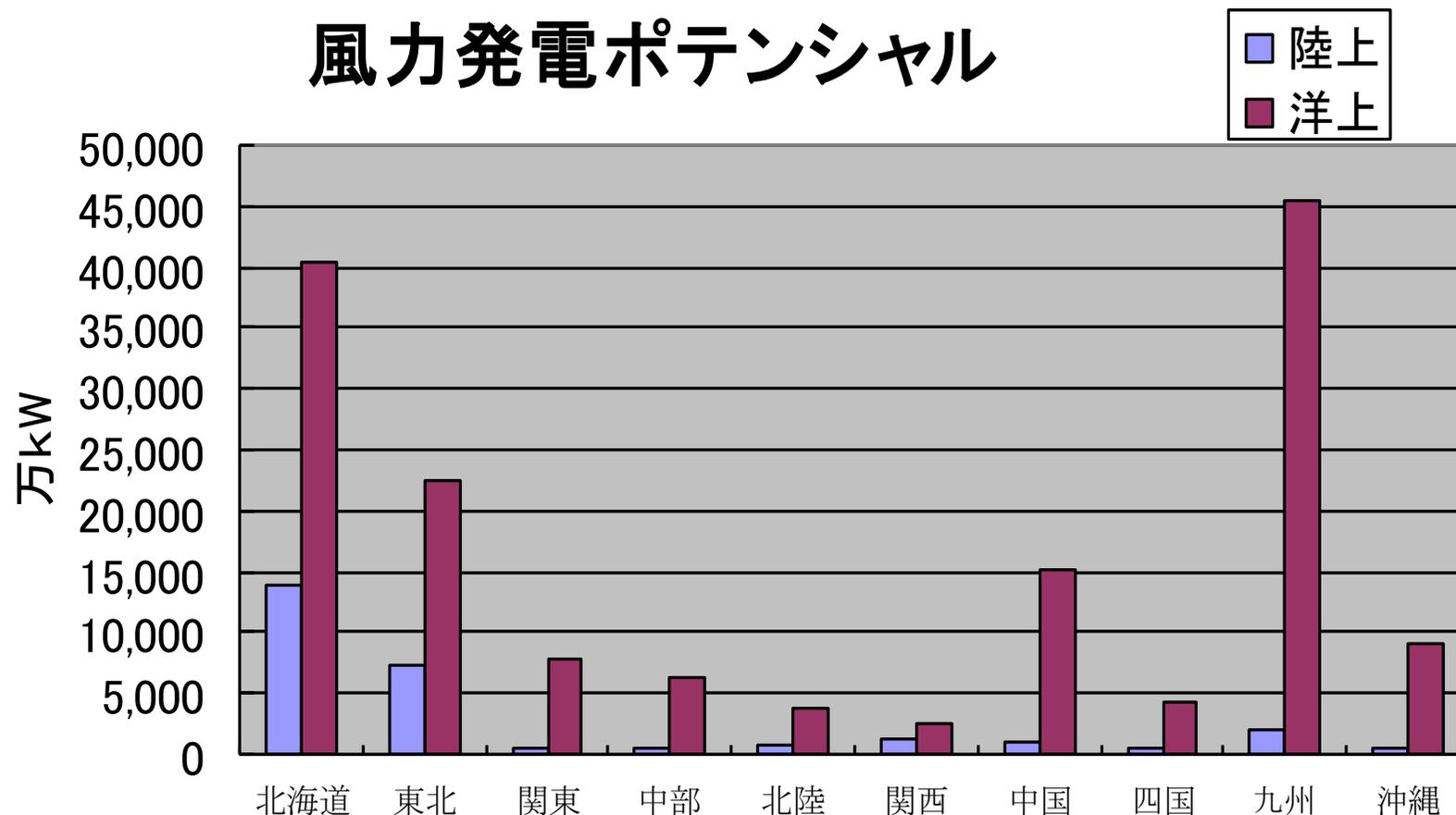
太陽光発電見込み量 (万kW)	2020年高位	2030年高位	2050年高位
戸建住宅	1,702	3,060	16,950
非住宅・集合住宅	2,150	4,400	10,300
メガソーラー	2,460	3,414	
合計	6,312	10,874	27,250

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、限界はないとする見方がある。

NEDOは耕作地の10%を挙げて、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。

風力発電ポテンシャル



陸上計2億8300万kW、洋上計15億7300kWのポテンシャルがある。
H22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査(環境省)

風力発電の導入見込み量

	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

バイオマスの利用可能量

	2020年の利用目標	すべてを利用するとき
条件	カスケード利用、持続可能性基準を考慮せず	未利用分をすべて利用、持続可能性基準を考慮せず
総発熱量 (PJ)	460	720
電力利用量 (億 kWh)	130億 kWh	220億 kWh
世帯の電力消費分	280万世帯分	460万世帯分
熱量換算 (万 kL)	1180万 kL	1850万 kL
自動車台数分	1320万台	2080万台
CO ₂ 削減量 (万トンCO ₂)	4070万トンCO ₂	6340万トンCO ₂
CO ₂ 削減割合 (日本のCO ₂ 排出量に対する割合%)	3.20%	5%

これは電力にすればこれだけ、燃料にすればこれだけという数字であり、両方に同時に使える数字ではない。バイオマス事業化戦略2012年度(農林省)環境省の調査では、2050年の見込み量として973PJを示している。

日本の過去のバイオマス最大利用量

1940年(昭和15年)の薪炭の消費量は石油換算662万トン(270PJ)であり、これが最大利用量である(EDMCエネルギー経済要覧)途上国の例では、薪炭は「非商業的エネルギー」であり、実際の消費量は、統計上の数値よりもはるかに大きいことが知られている。

水力発電

水力発電 万kW	2020年高位	2030年高位	2050年高位
大規模水力	1,146	1,146	1,251
中小規模水力	1,188	1,420	1,884
合計	2,334	2,566	3,135

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)

区分	地点数	出力(万kW)	年間発電量(億kWh)
既開発	1,984	2,795	952
工事中	54	37	11
未開発	2,718	1,897	472
合計	4,753	4,606	1,356

包蔵水力 H27年3月31日現在(資源エネルギー庁HPより)(工事にともなって廃止される発電所があるため合計は一致しない)

資源エネルギー庁の包蔵水力によれば1356億kWhあり、これは現状の1.42倍になる

地熱発電

地熱発電 万kW	2020年高位	2030年高位	2050年高位
大規模地熱	59	168	636
温泉	23	73	156
合計	82	241	792

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)

海洋エネルギー

海洋 万kW	2020年高位	2030年高位	2050年高位
海洋エネルギー	0	349	1,395

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)

ここでは、海洋エネルギーとしては波力発電を検討した

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シナリオではその2.26倍を想定した。 TOE=石油換算トン

その他温室効果ガスのCO2換算排出量

M ton CO ₂	基準年	2010年	～	2050年
工業プロセスからのCO ₂	72	42		0
農林水産業 (CH ₄ ,N ₂ O)	32	25		64
HFC 3分野	51	24		
廃棄物分野 (CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O)	37	36		
SF ₆	17	2		
合計	192	127		64

出典:各WGの内容について

(2013年以降の対策・施策に関する検討省委員会、H24環境省)

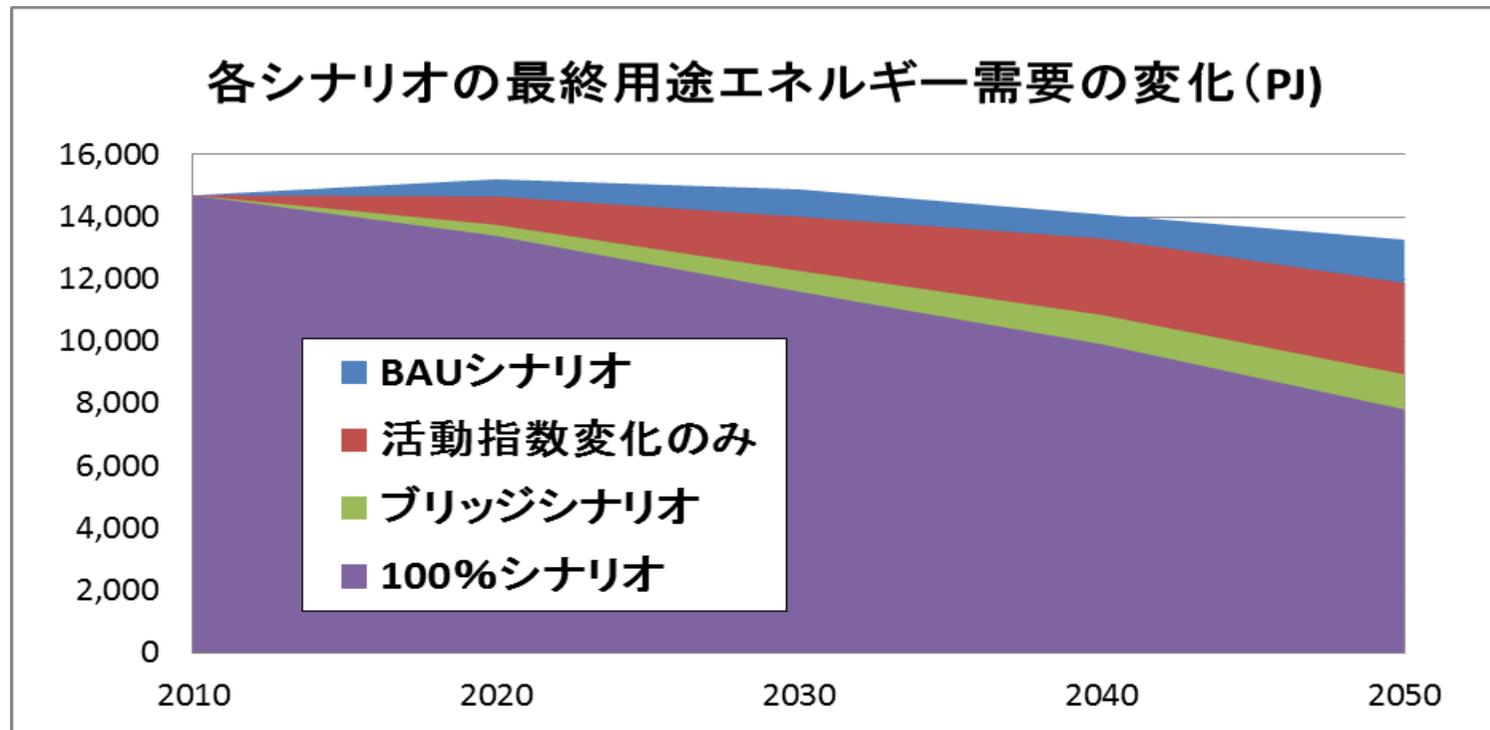
その他のガスを含めた温室効果ガスのCO2換算排出量

M ton CO ₂	1990年	2010年	～	2050年
エネルギー起源CO ₂	1066.8	1138.8		190
工業プロセス起源CO ₂	87.6	72.8		0
その他5ガス+NF ₃	115.8	92.8		64
合計	1270.2	1304.4		254
				Δ80%

ブリッジシナリオとして1990年比で2050年に80%の削減を行う場合、エネルギー起源のCO₂排出量の目標値は1億9000万トン

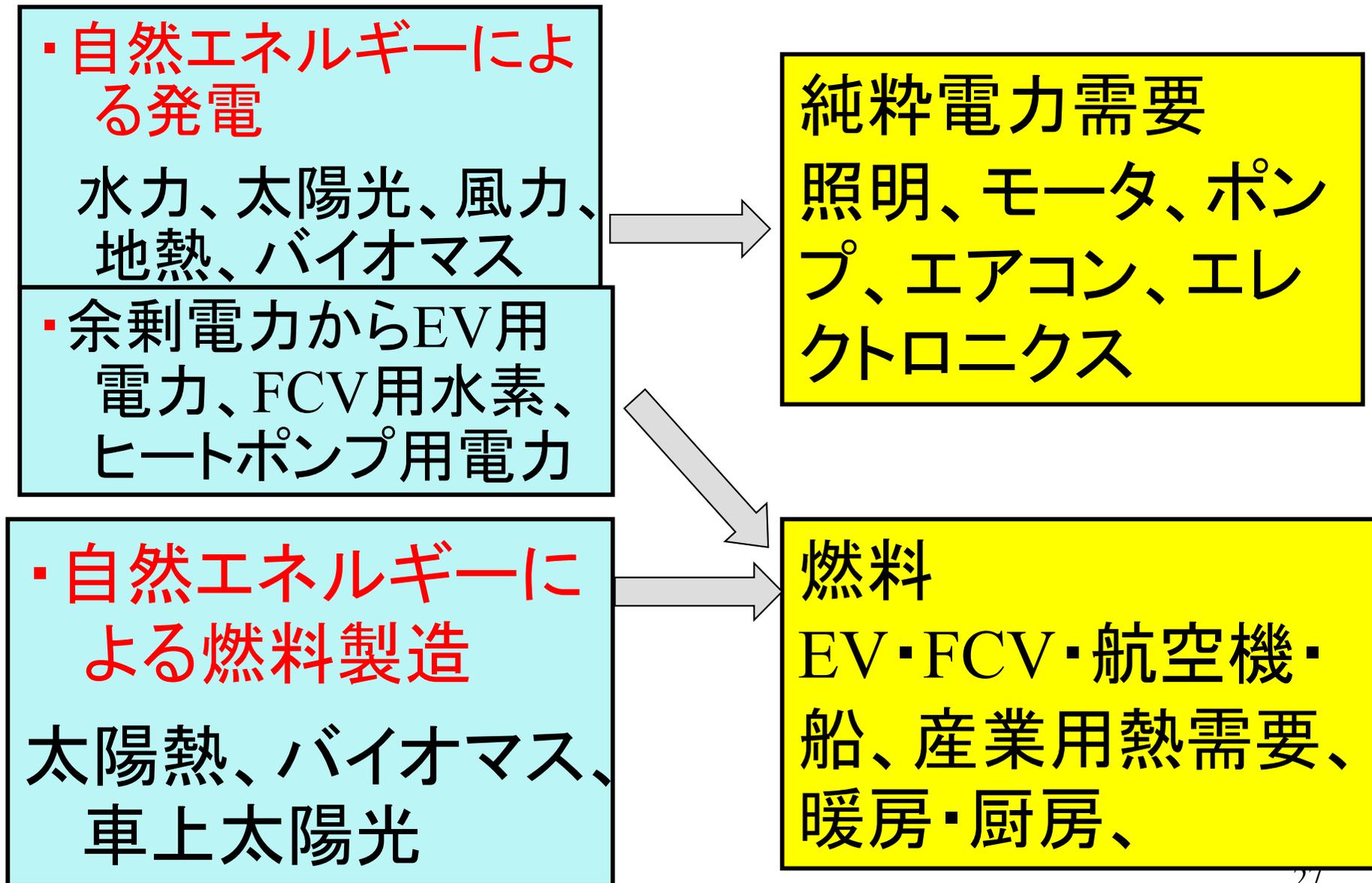
シナリオの最終エネルギー需要

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、BAUの61% (ブリッジシナリオ)、53% (100%自然エネルギーシナリオ) になっている。

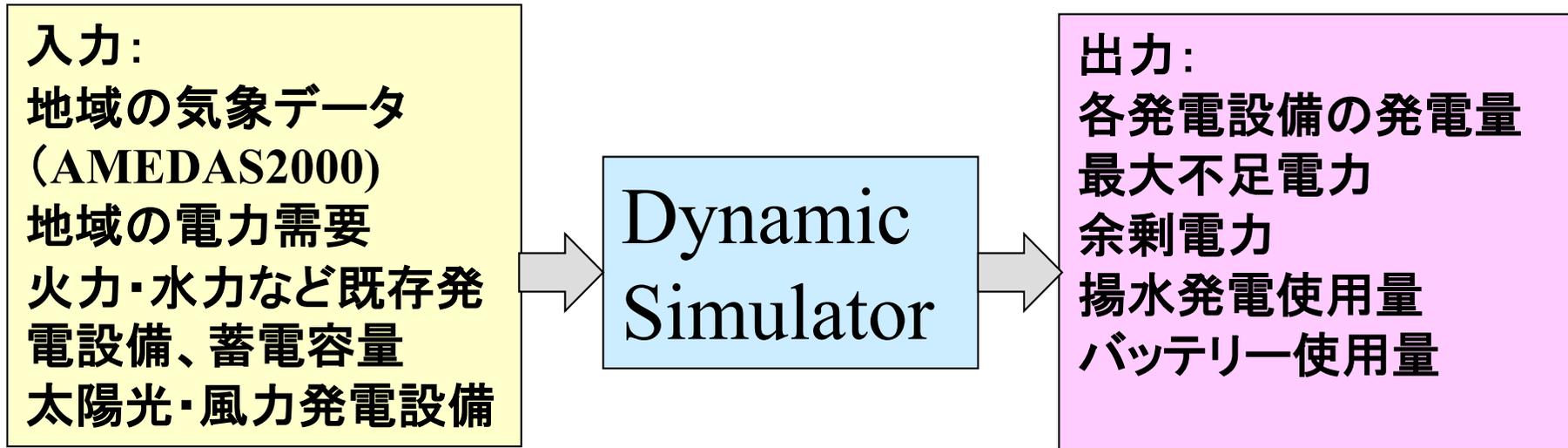
100%自然エネルギーの供給



ダイナミックシミュレータ

地域ごとのエネルギー需給を1時間ごとに1年間計算する

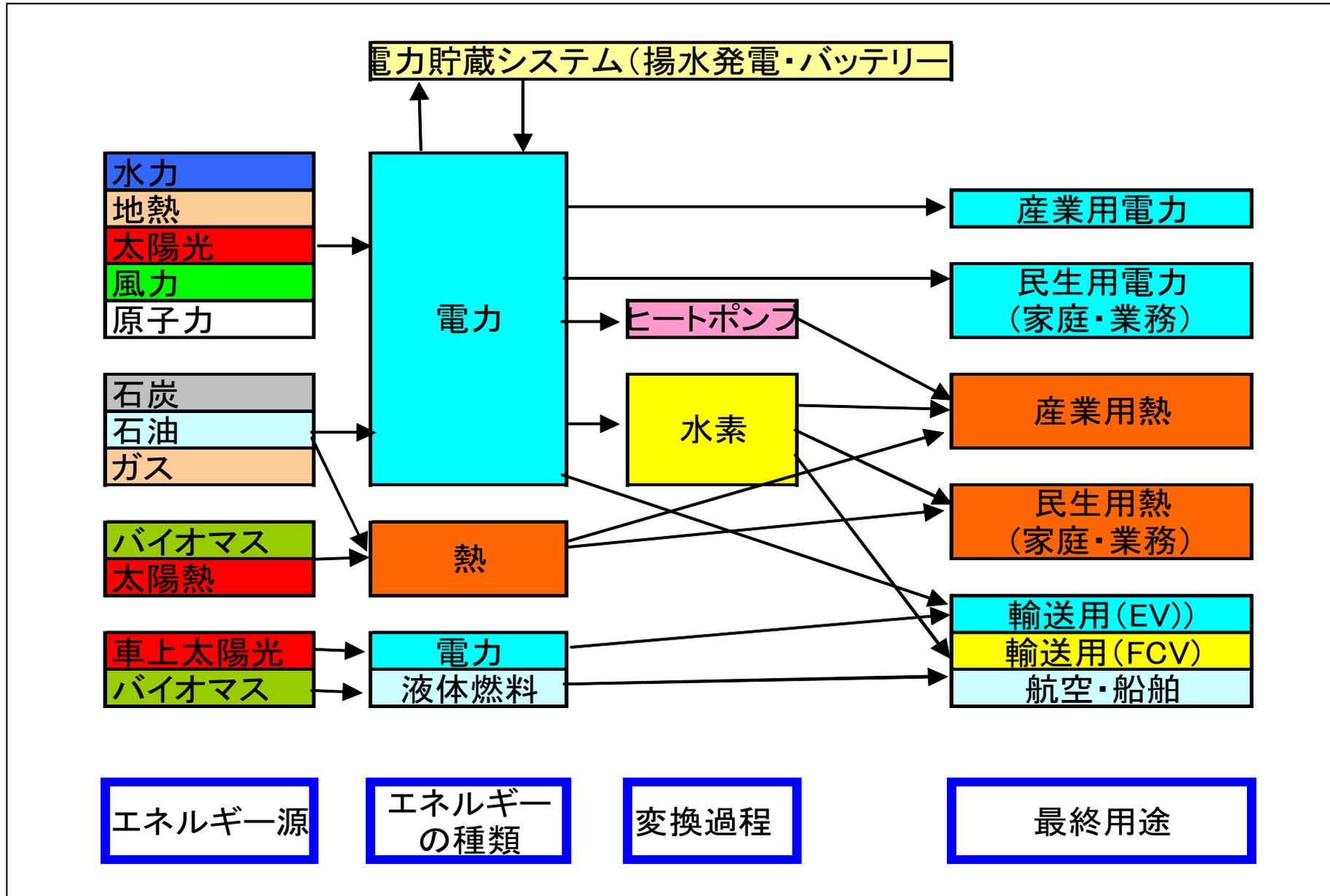
地域として、日本全体あるいは、沖縄以外の9電力地域を設定できる。9電力地域のうちのいくつかのグループを一つの地域として設定して計算できる。



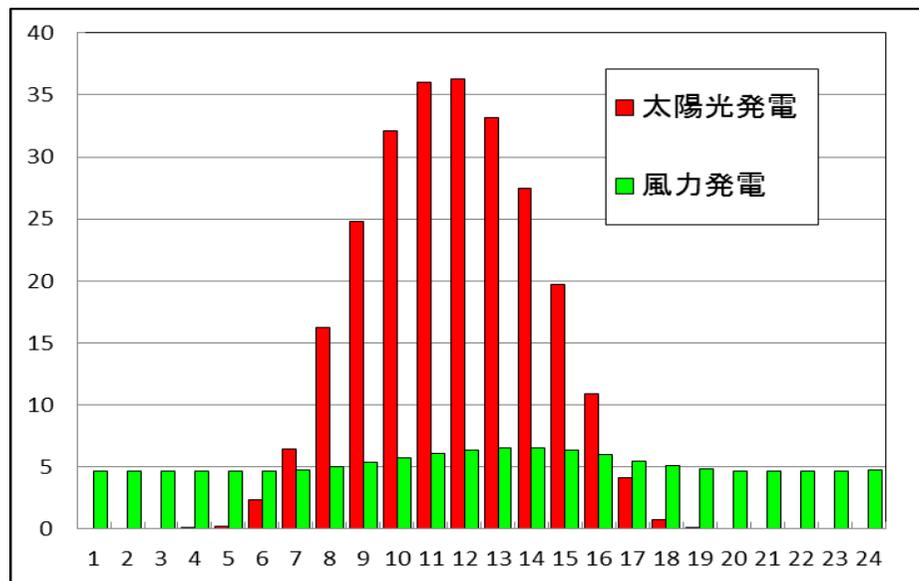
蓄電の想定: 揚水発電2600万kW (蓄電容量260GWh)、バッテリー300GWh

発電の不足が生じないように電力需要の130~160%を供給可能な発電設備を想定し、太陽光と風力の変動から生じる発電余剰を燃料用に供給する。

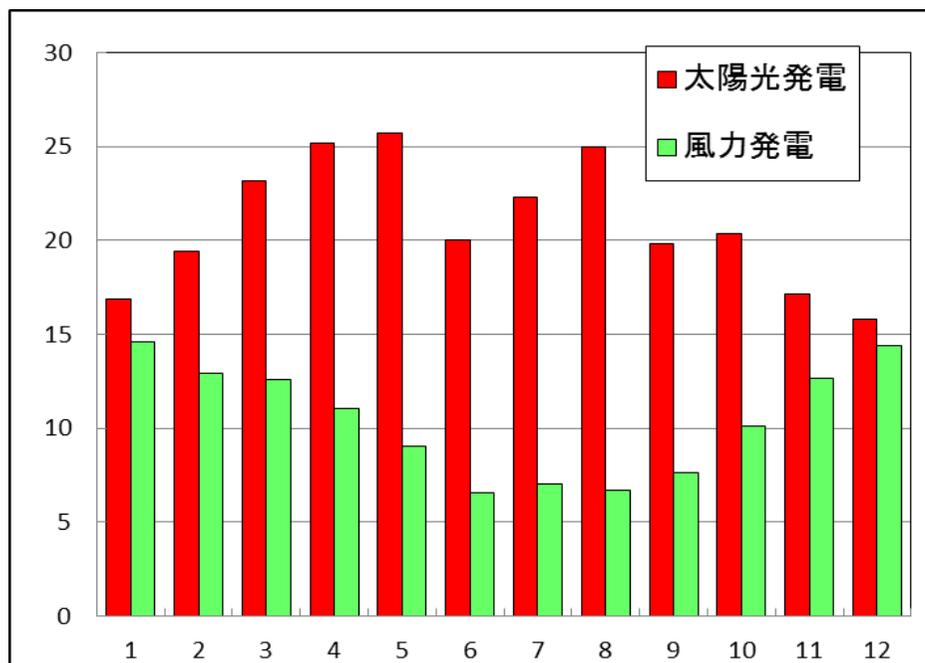
エネルギー計算のフローチャート



時刻別発電量(TWh)



月別発電量(TWh)

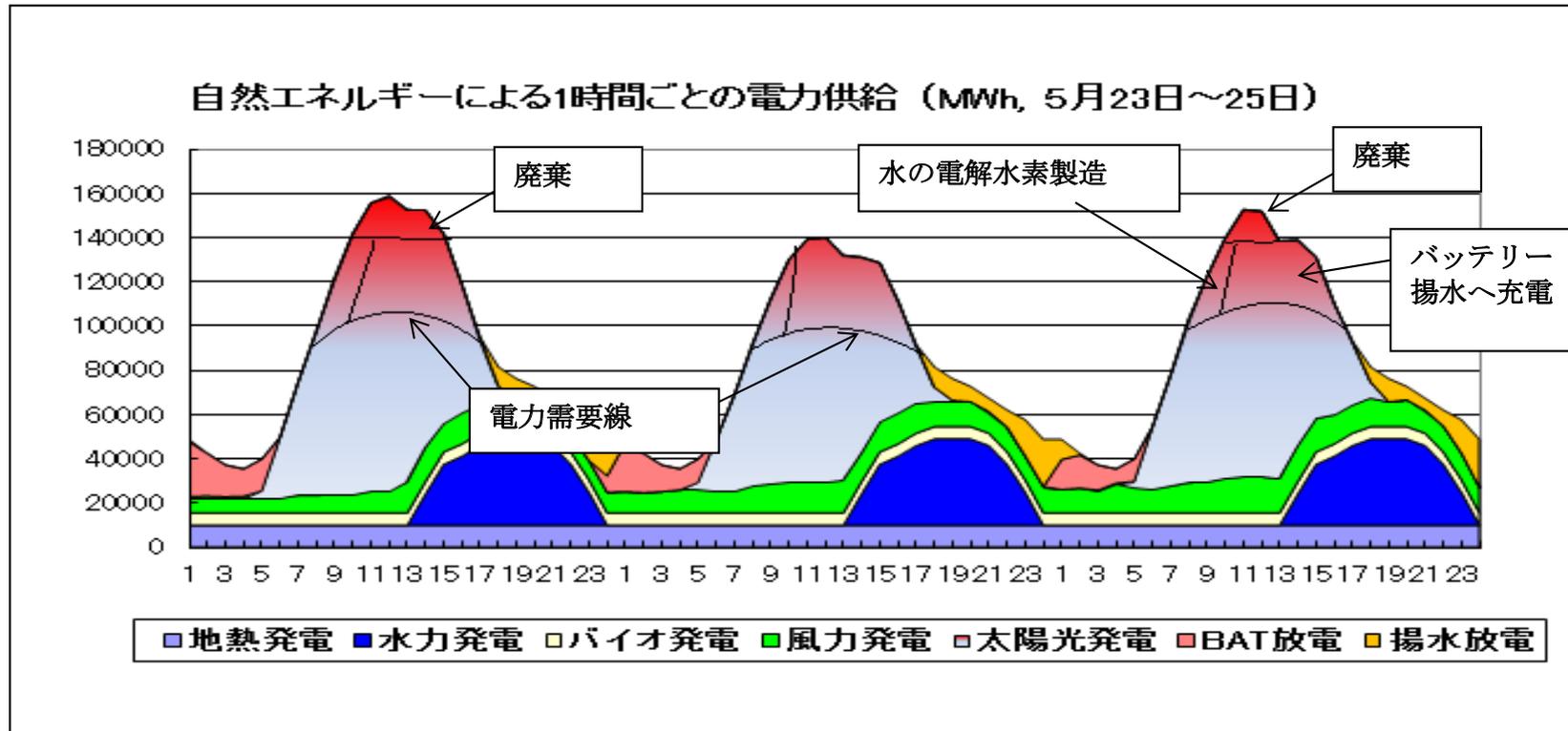


太陽光と風力を組み合わせると効果的

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。

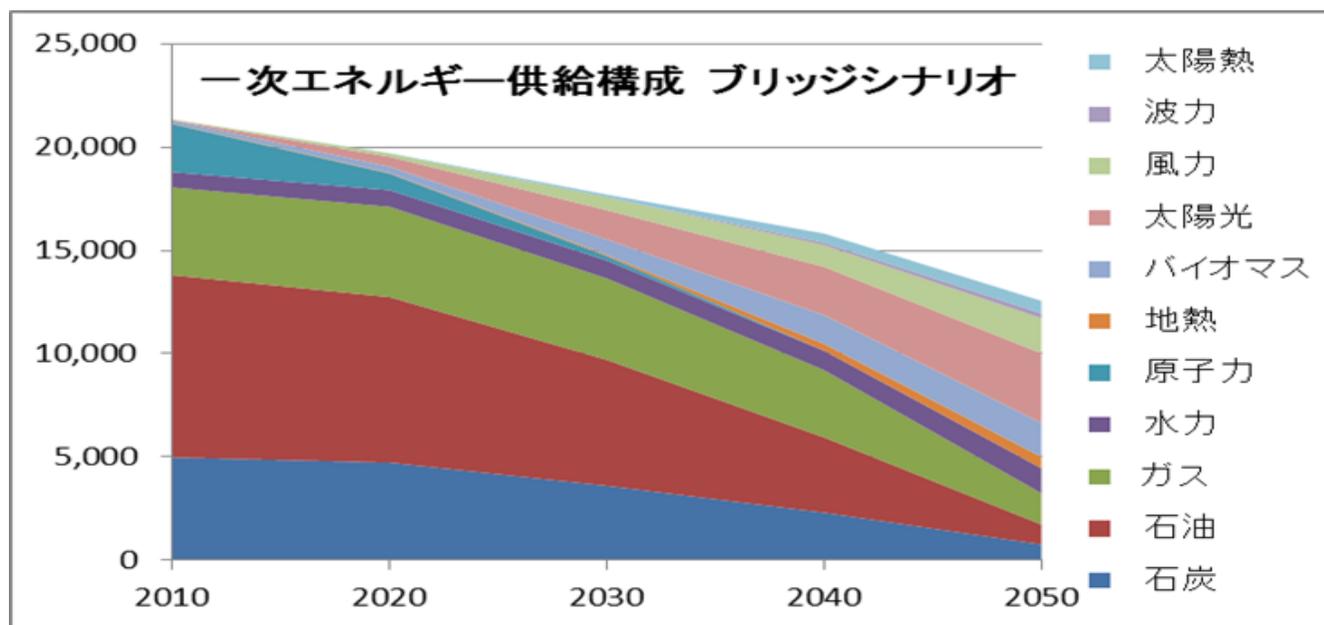
2050年再生可能エネルギーによる電力供給 (日本全国842地点の拡張アメダス2000気象データを使用)



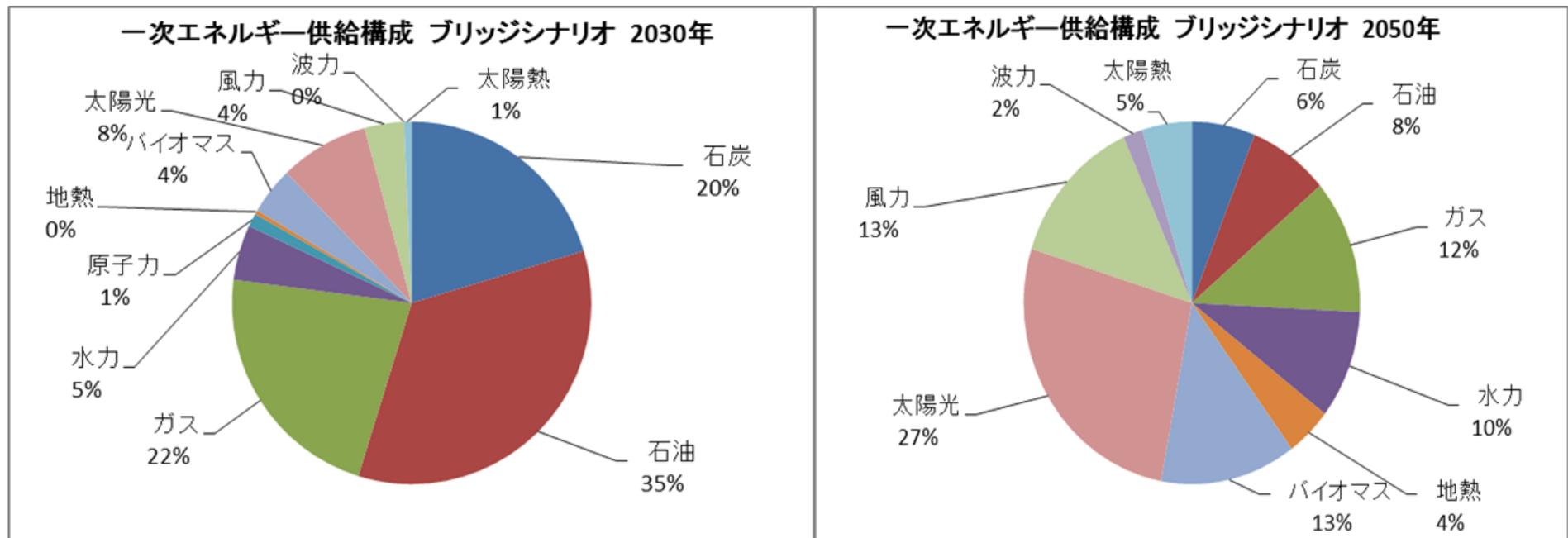
太陽光発電と風力発電の変動を、揚水発電とバッテリーからの放電が補う。水力発電は午後から夜間のピークに当てる。地熱発電は1年中一定の電力を供給する。余剰分はバッテリー／揚水発電への充電、FCV用電解水素の生産、EVの充電に使う

ブリッジシナリオの一次エネルギー供給構成

PJ	ブリッジシナリオ				
	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



ブリッジシナリオの一次エネルギー供給構成

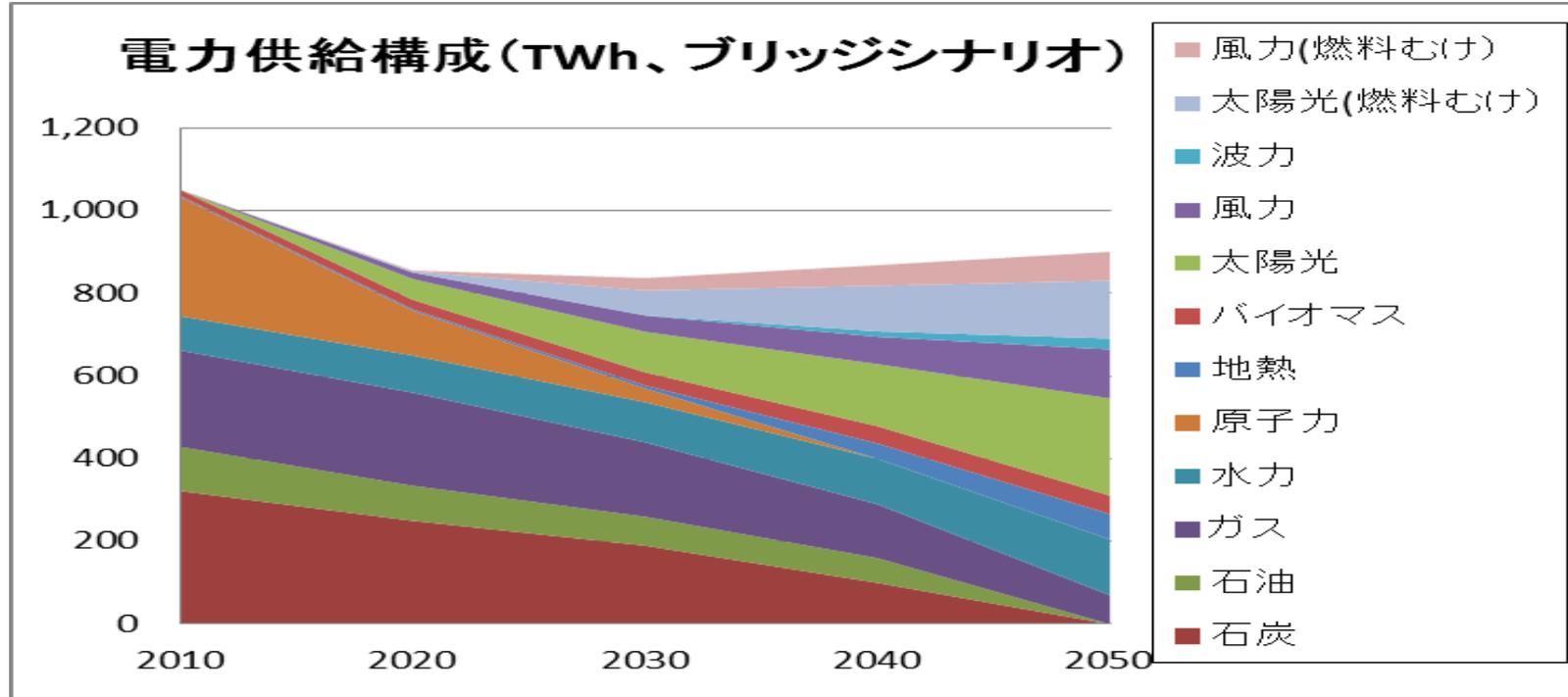


ブリッジシナリオの一次エネルギー供給構成は、2030年には石炭、石油、天然ガスが合計で77%を占めている。太陽光と風力は合計でまだ12%とシェアは大きくない。2050年になると、石炭、石油、天然ガスの化石燃料合計は26%に低下し、代わって太陽光と風力の合計は40%に増加している。

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。



ブリッジシナリオの電力供給容量と発電量(2050年)

	発電容量	発電量	シェア(%)
発電構成	GW	GWh/年	%
太陽光発電	359.3	393,235	57.0
風力発電	83.6	194,268	28.2
水力発電	46	135,241	19.6
地熱発電	14	60,997	8.8
波力発電	10	25,999	3.8
ガス火力発電	20	71,341	10.3
バイオマス発電	10	49,053	7.1
合計		930,134	134.8

ブリッジシナリオでは、2050年には、太陽光3億5930万kW、風力8360万kWの規模になる。

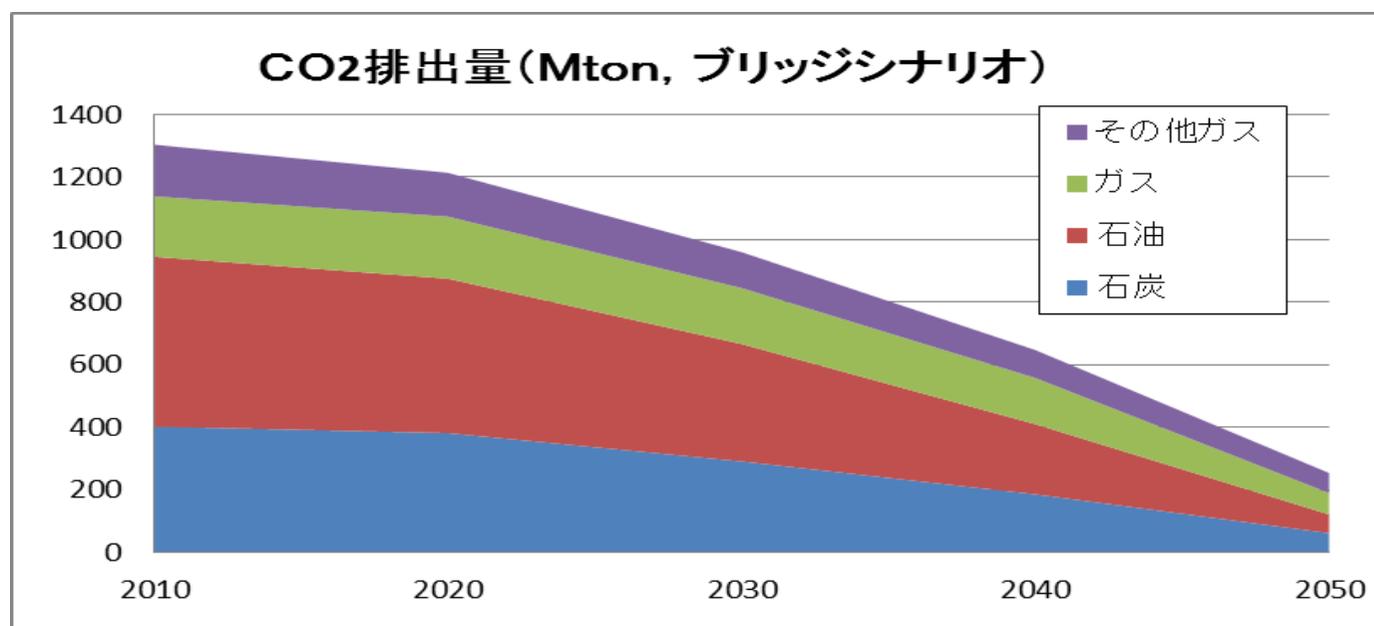
ブリッジシナリオの電力供給、蓄電量、余剰電力(2050年)

年間電力需要	GWh/年	689,931
年間平均電力	MW	78,759
ピーク電力需要	MW	121,013
揚水発電/バッテリー容量	GWh	260/ 300
充電量	GWh/年	83,367
放電量	GWh/年	66,338
貯蔵損失	GWh/年	17,519
貯蔵損失/電力需要	%	2.54
最大揚水充電レベル	%	100
平均揚水充電レベル	%	61.05
余剰電力量	GWh/年	223169
余剰電力量/電力需要	%	32.35
最大余剰電力	MW	221890

ブリッジシナリオでは、2050年には、年間電力需要は689TWhになる。揚水発電とバッテリーにより充放電損失が生じる。余剰電力は、電力需要の32%に達している。

ブリッジシナリオのCO2排出量

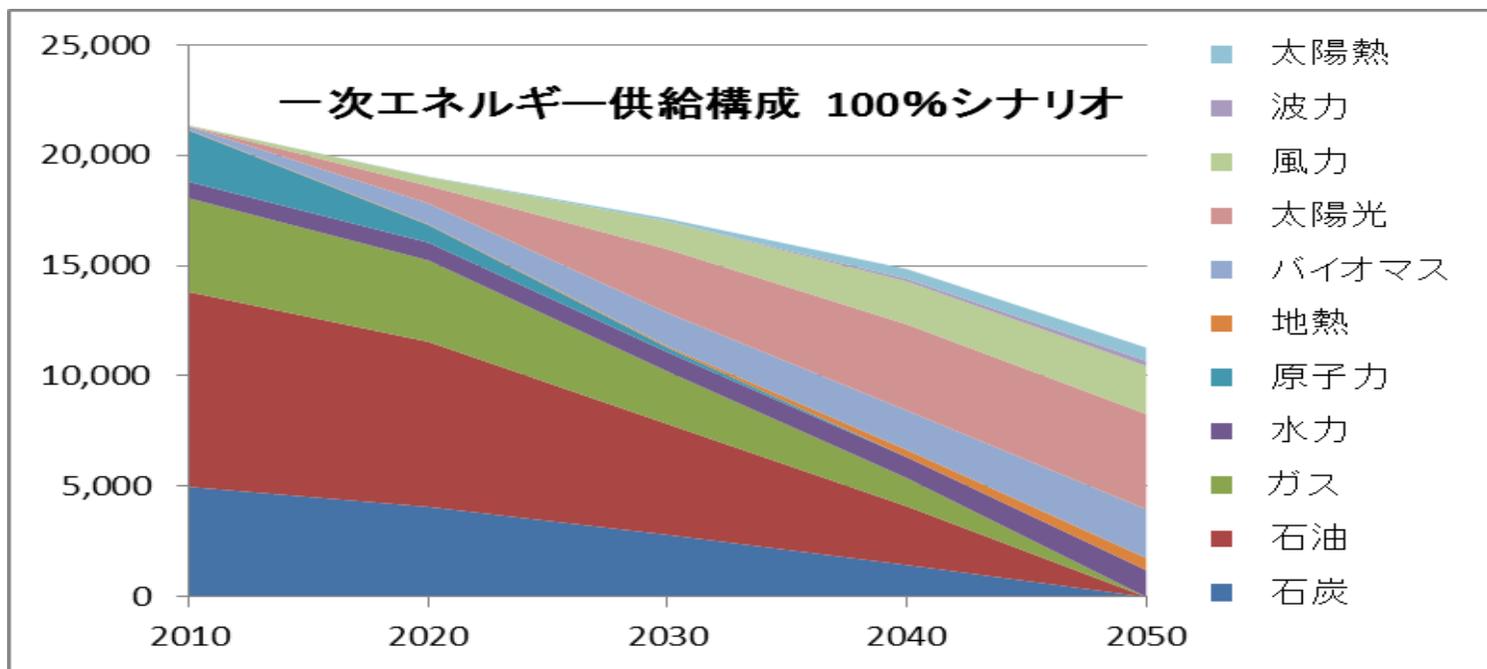
CO2排出量(MtCO2)	2010	2020	2030	2040	2050
ブリッジシナリオ計	1304	1214	961	648	254
石炭	402	382	291	186	62
石油	544	494	376	224	60
ガス	193	199	179	148	68
その他ガス	166	140	115	89	64



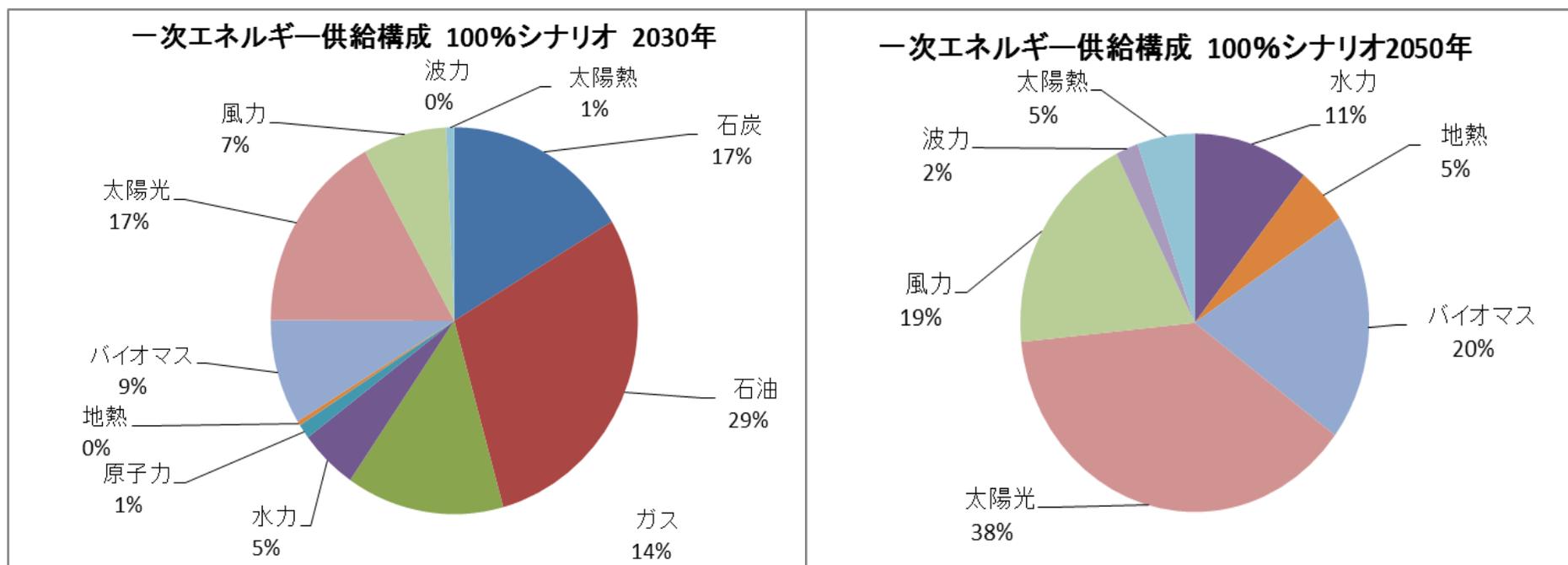
ブリッジシナリオにおける2050年のCO2排出量は、石炭から6200万トン、石油から6000万トン、天然ガスから6800万トン。合計は1億9000万トンであり、「その他ガス」からの6400万トンを加えると、2億5400万トンになる。これは、1990年のCO2排出量の20%に相当する。

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の一次エネルギー供給構成

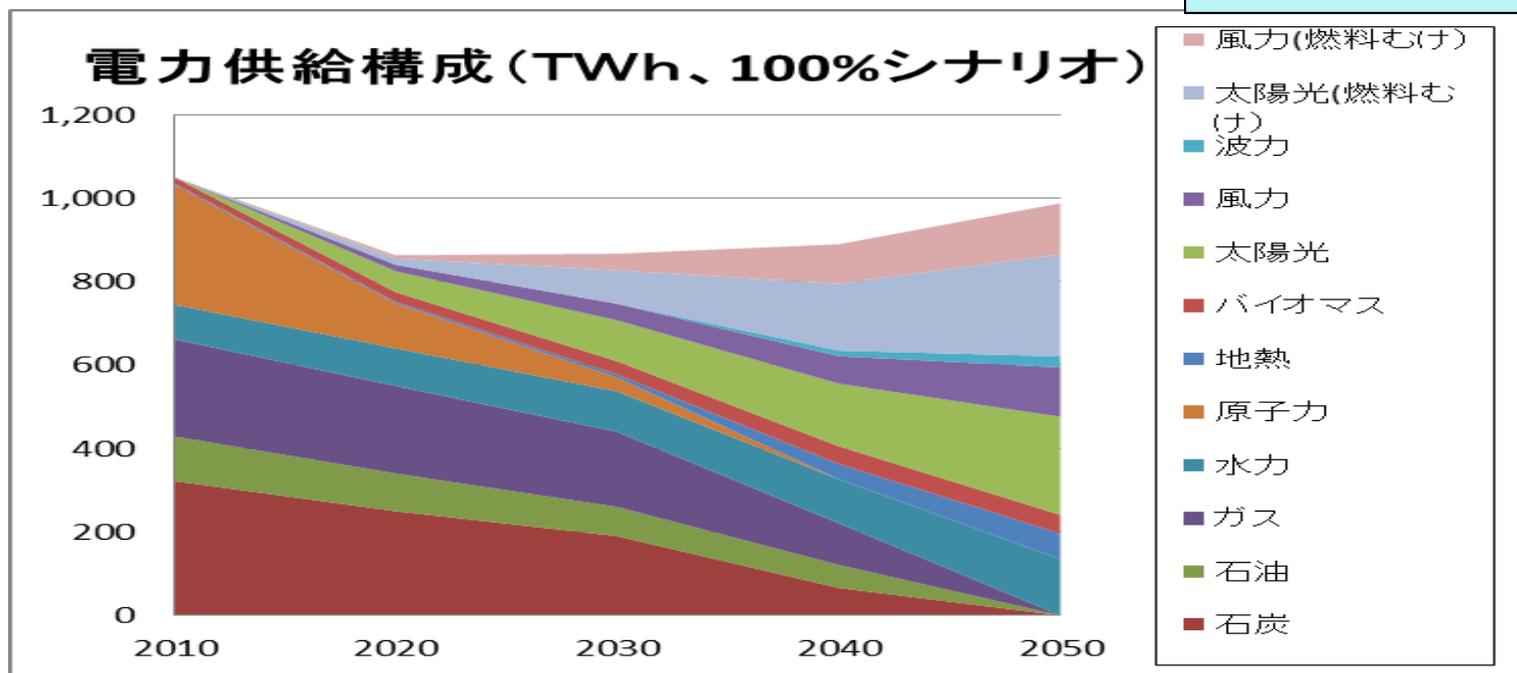


100%自然エネルギーシナリオの一次エネルギー供給構成は、2030年には石炭、石油、天然ガスが合計で60%を占めている。太陽光と風力は合計でまだ24%とシェアは大きくない。2050年になると、化石燃料はゼロとなり、太陽光38%、風力19%、バイオマス20%、地熱が5%となっている。

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電力供給容量と発電量(2050年)

	発電容量	発電量	シェア(%)
発電構成	GW	GWh/年	%
太陽光発電	444.7	486,696	79.3
風力発電	104	242,027	39.04
水力発電	46	135,241	21.81
地熱発電	10	60,997	14.03
波力発電	10	25,999	4.19
ガス火力発電	0	0	0
バイオマス発電	10	49,056	7.91
合計		1,000,016	166.28

100%自然エネルギーシナリオでは、2050年には、太陽光4億4400万kW、風力1億400万kWの規模になる。

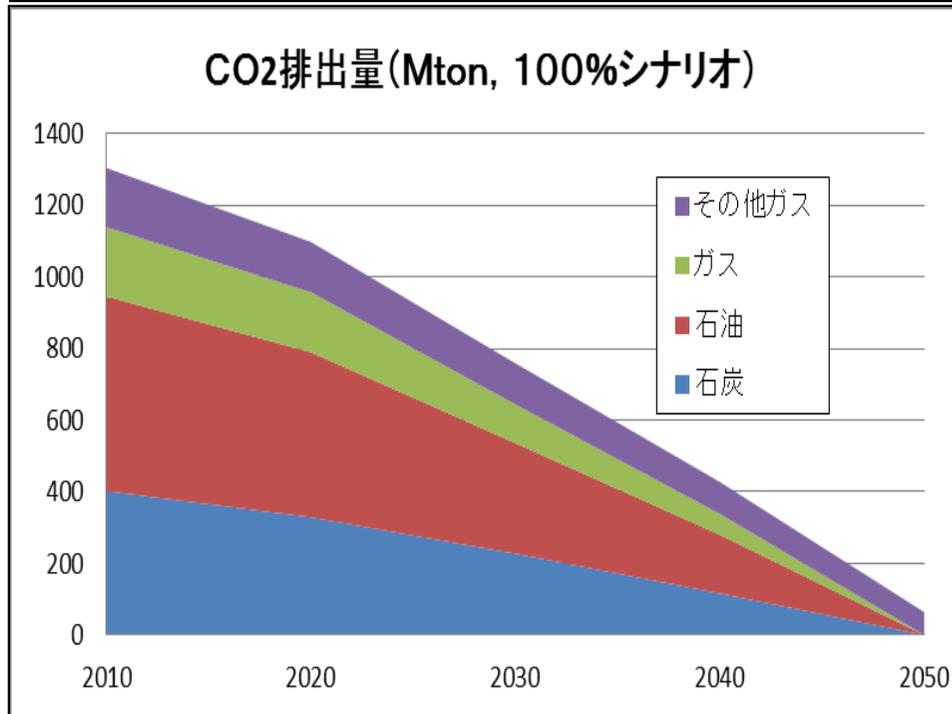
100%自然エネルギーシナリオの電力供給、蓄電量、余剰電力(2050年)

年間電力需要	GWh/年	619,946
年間平均電力	MW	70,770
ピーク電力需要	MW	108,738
揚水発電/バッテリー容量	GWh	260/ 300
充電量	GWh/年	63,809
放電量	GWh/年	49,968
貯蔵損失	GWh/年	13,908
貯蔵損失/電力需要	%	2.24
最大揚水充電レベル	%	100
平均揚水充電レベル	%	71.17
余剰電力量	GWh/年	366,226
余剰電力量/電力需要	%	59.07
最大余剰電力	MW	289,381

2050年には、年間電力需要は620TWhになる。揚水発電とバッテリーにより充放電損失が生じる。余剰電力は、電力需要の59%に達している。

100%自然エネルギーシナリオのCO2排出量

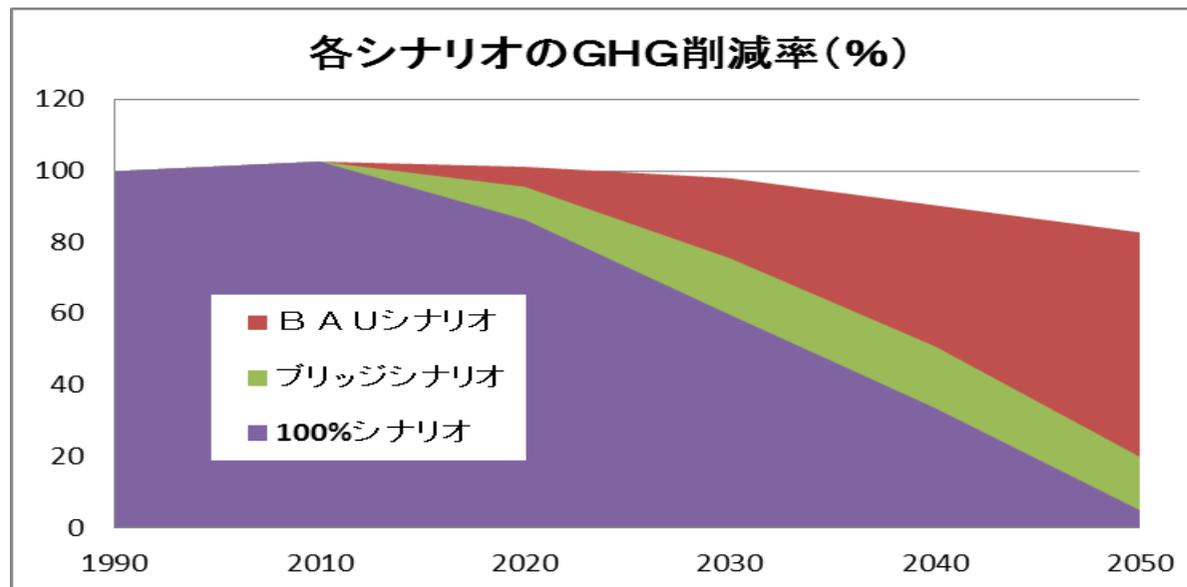
CO2排出量(MtCO2)	2010	2020	2030	2040	2050
100%シナリオ計	1304	1098	759	428	64
石炭	402	329	227	117	0
石油	544	461	309	164	0
ガス	193	167	108	58	0
その他ガス	166	140	115	89	64



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、「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。

各シナリオのGHG排出量とGHG削減率

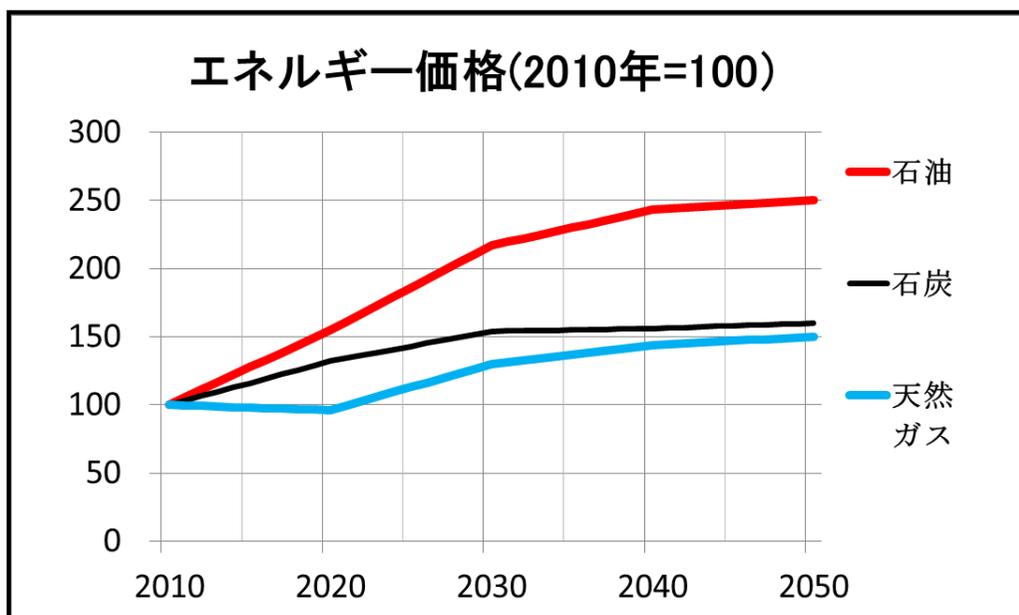
GHG排出量(MtCO2)	1990	2010	2020	2030	2040	2050
BAUシナリオ	1,270	1,304	1,286	1,245	1,149	1,052
ブリッジシナリオ	1,270	1,304	1,214	961	648	254
100%シナリオ	1,270	1,304	1,098	759	428	64
削減率(%)	1990	2010	2020	2030	2040	2050
BAUシナリオ	100	102.7	101.2	98.0	90.5	82.9
ブリッジシナリオ	100	102.7	95.6	75.6	51.0	20.0
100%シナリオ	100	102.7	86.4	59.8	33.7	5.0



1990年から2050年の期間に、BAUシナリオでは17%の削減(90年の83%に)、ブリッジシナリオでは80%の削減、100%シナリオでは95%の削減という結果になっている。

代表的な石油価格の予測(石油バレル/ドル)

①US/DOE EIA 2016	2012	2020	2030	2040	2040/2012 (%)
参照ケース	113	79	106	141	125
低位ケース	113	58	69	76	67
高位ケース	113	149	194	252	223
②アジア世界エネルギーアウトルック	2015	2020	2030	2040	2040/2015 (%)
参照ケース	60		100	125	208
低位ケース	60		75	80	133
③World Energy Outlook IEA 2016	2015	2020	2030	2040	2040/2015 (%)
新政策シナリオ	51	79	111	124	243
現行政策シナリオ	51	82	127	146	286
450シナリオ	51	73	85	78	153

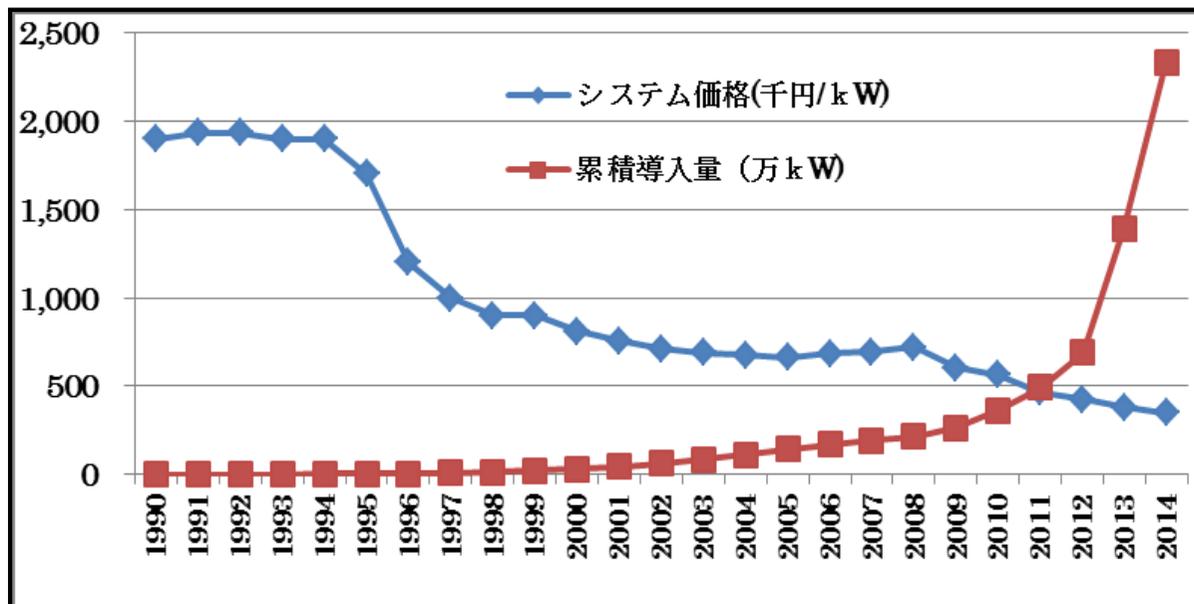


③World Energy Outlook (IEA)の新政策シナリオを参照している。

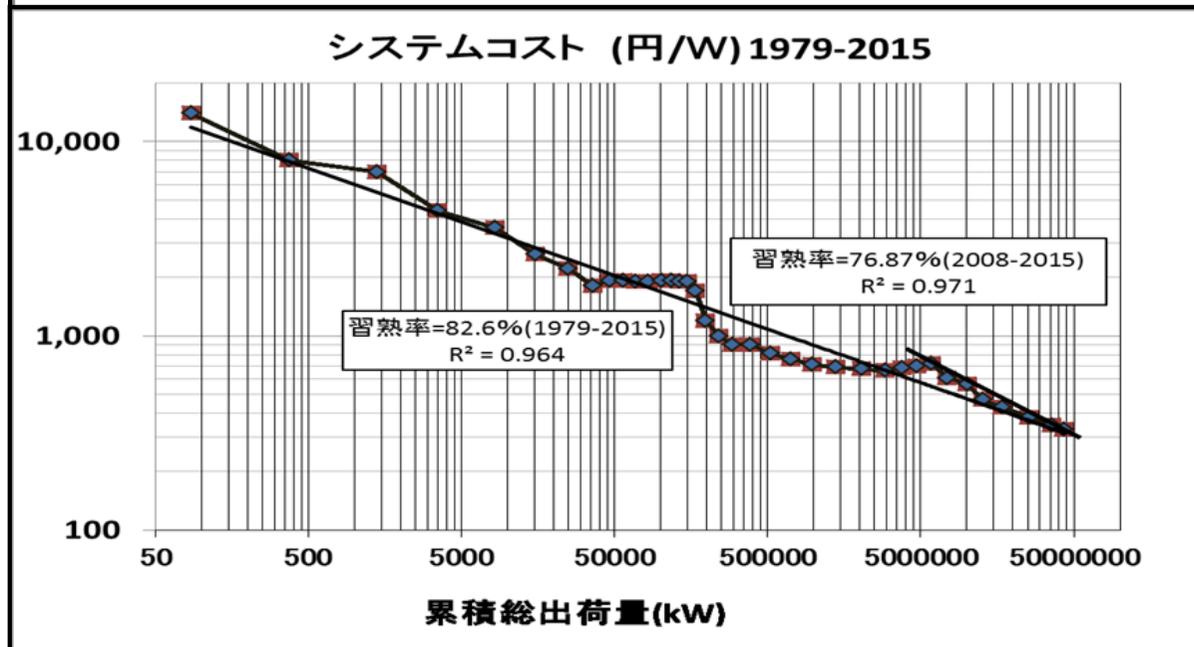
石油価格は2040年に2015年の2.43倍になる。

2050年については傾向を外挿して石油価格は現状のおよそ2.5倍になるものと推定した。

太陽光発電システムのコスト低下



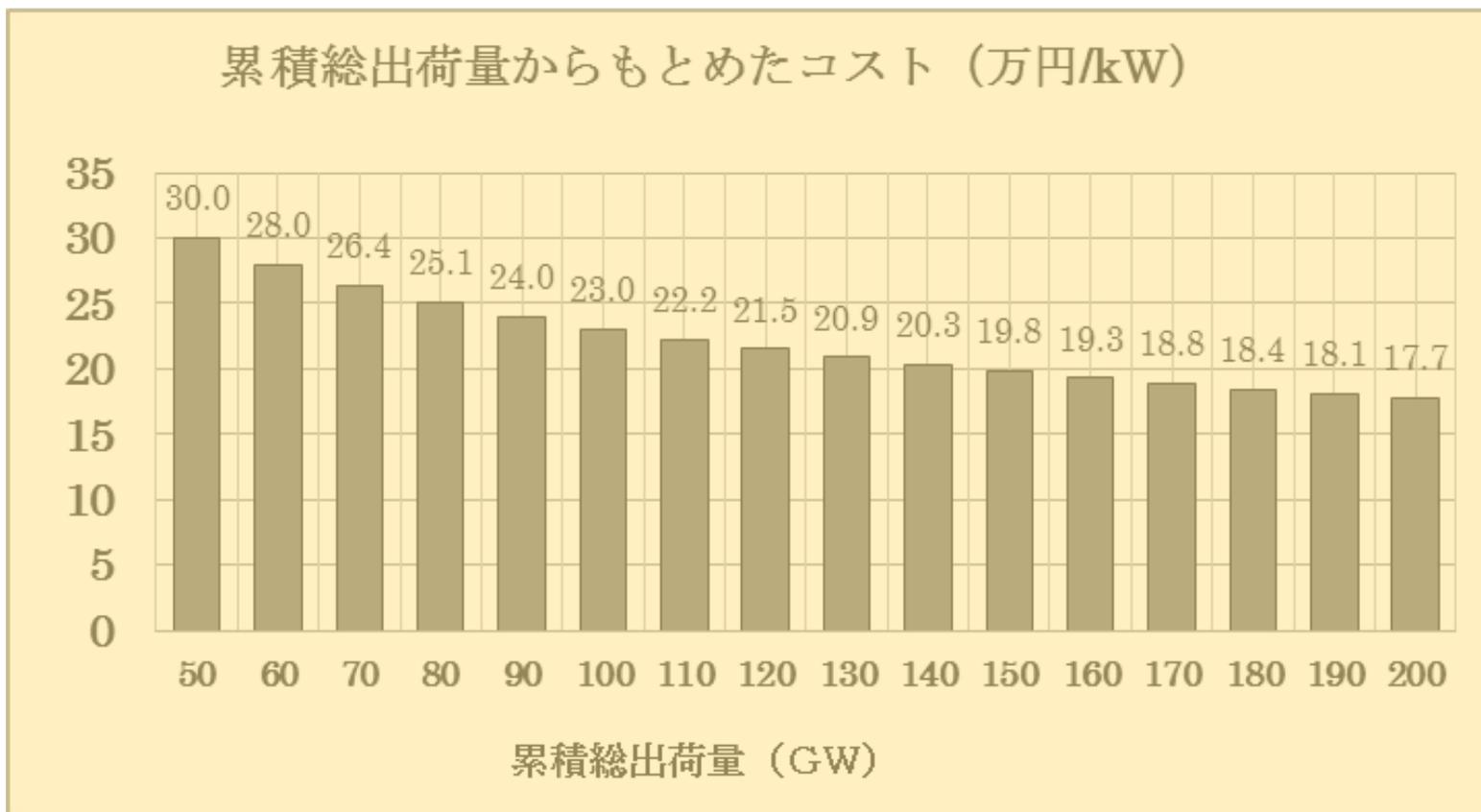
太陽光発電システムの価格と累積導入量 (1990～2015)



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

将来の太陽光発電システムコストの予測

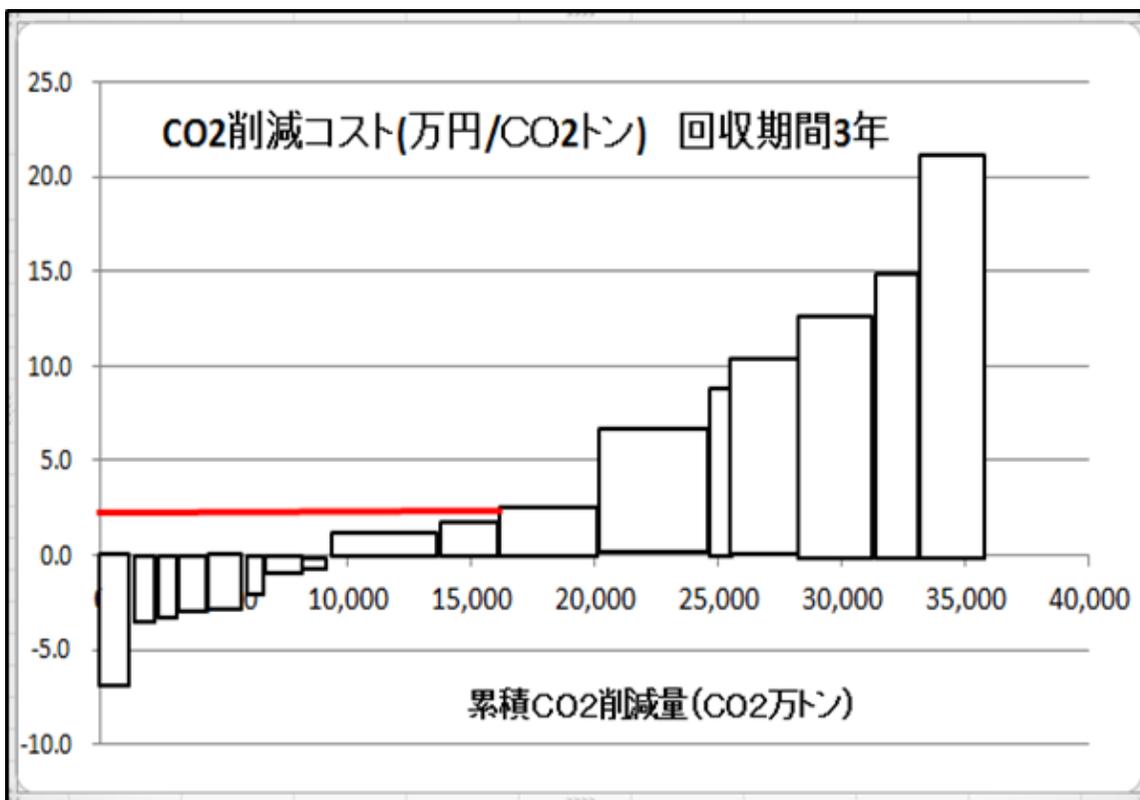


学習曲線による分析：2008－2015年には累積生産量が2倍になるとコストが76.87%に低下している。この低下傾向を延長すると累積生産量が200GW(2億kW)になるとき、17.7万円/kWに低下する。

CO2削減コストカーブ

削減コスト(A)

= (初期投資額の差 / 回収年数(N) - 省エネ後の年間費用の差) / 1年間に削減されるCO2



(回収年数3年)

左から順に

カーシェアリング

家庭-LED v s 白熱灯

業務-LED v s 白熱灯

家庭-LED v s 蛍光灯

業務-LED v s 蛍光灯

エコドライブ

ファン+インバータ

高効率家電製品

ポンプ+インバータ

高効率オフィス機器

風力発電

ハイブリッドカー

太陽熱

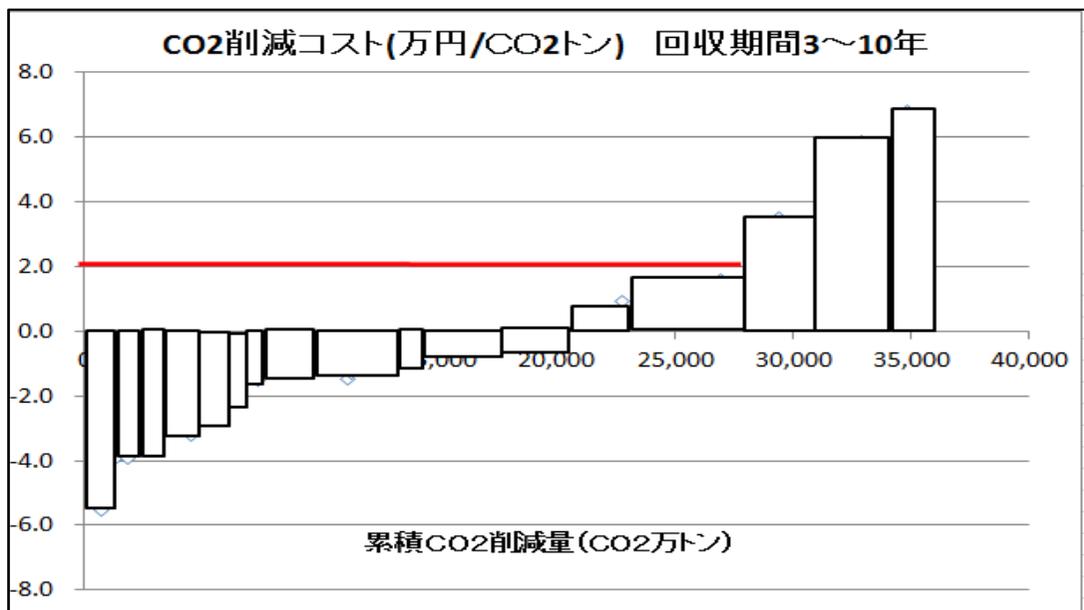
メガソーラー

太陽光発電

電気自動車

ZEH/Nealy ZEH

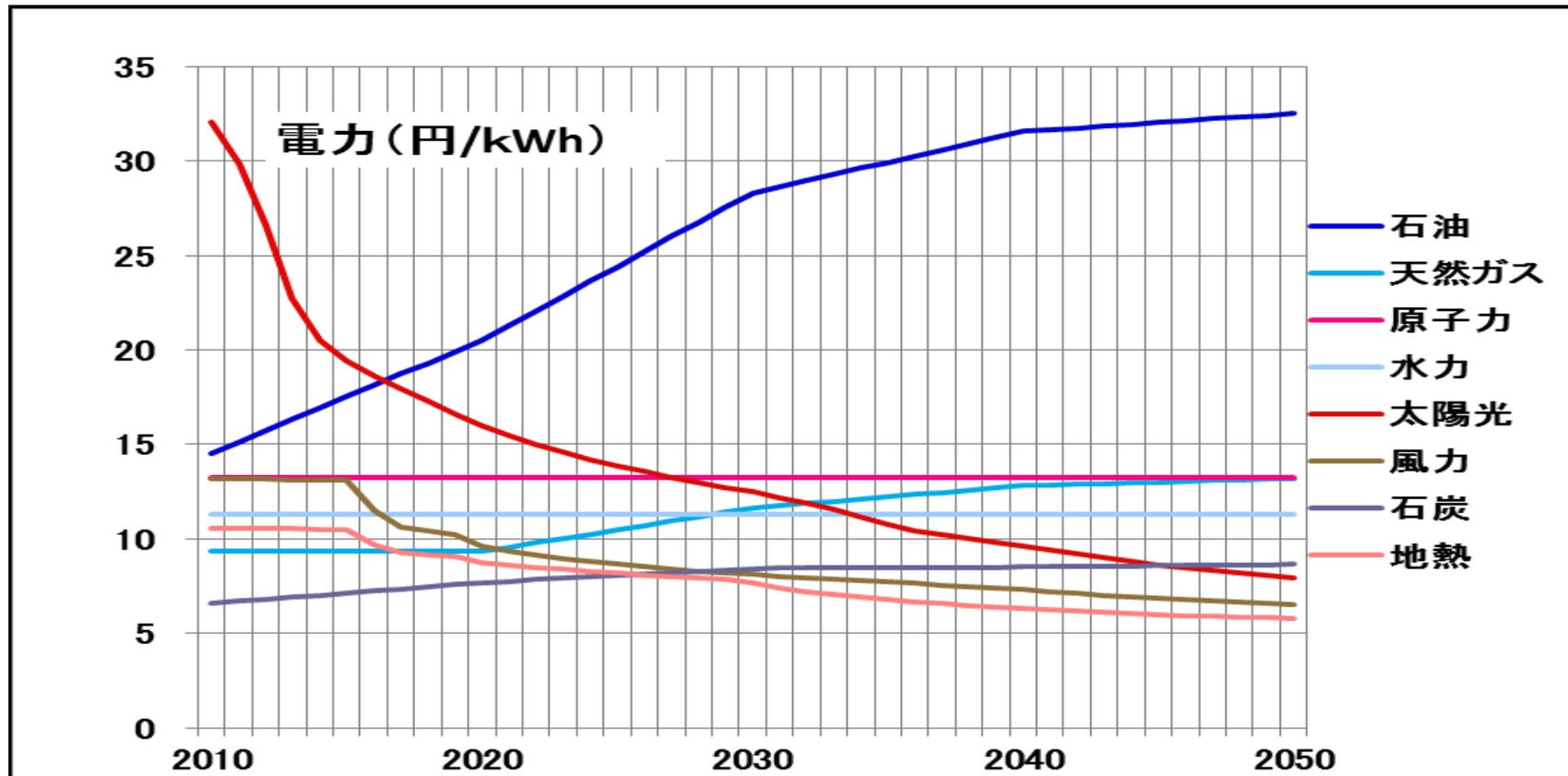
CO2削減コストカーブ



上の図は、回収年数が ZEH 10年、機器類 5年、自然エネルギー10年、その他 3年であり、すべてを3年とした前ページの図よりもコストは小さくなる。削減コストカーブの計算において、回収年数の想定は結果を左右する。回収期間を短くすれば、コストは大きくなり、長くすればコストは小さくなる。しかし、実際には技術に応じて製品の寿命に関する回収期間がある。

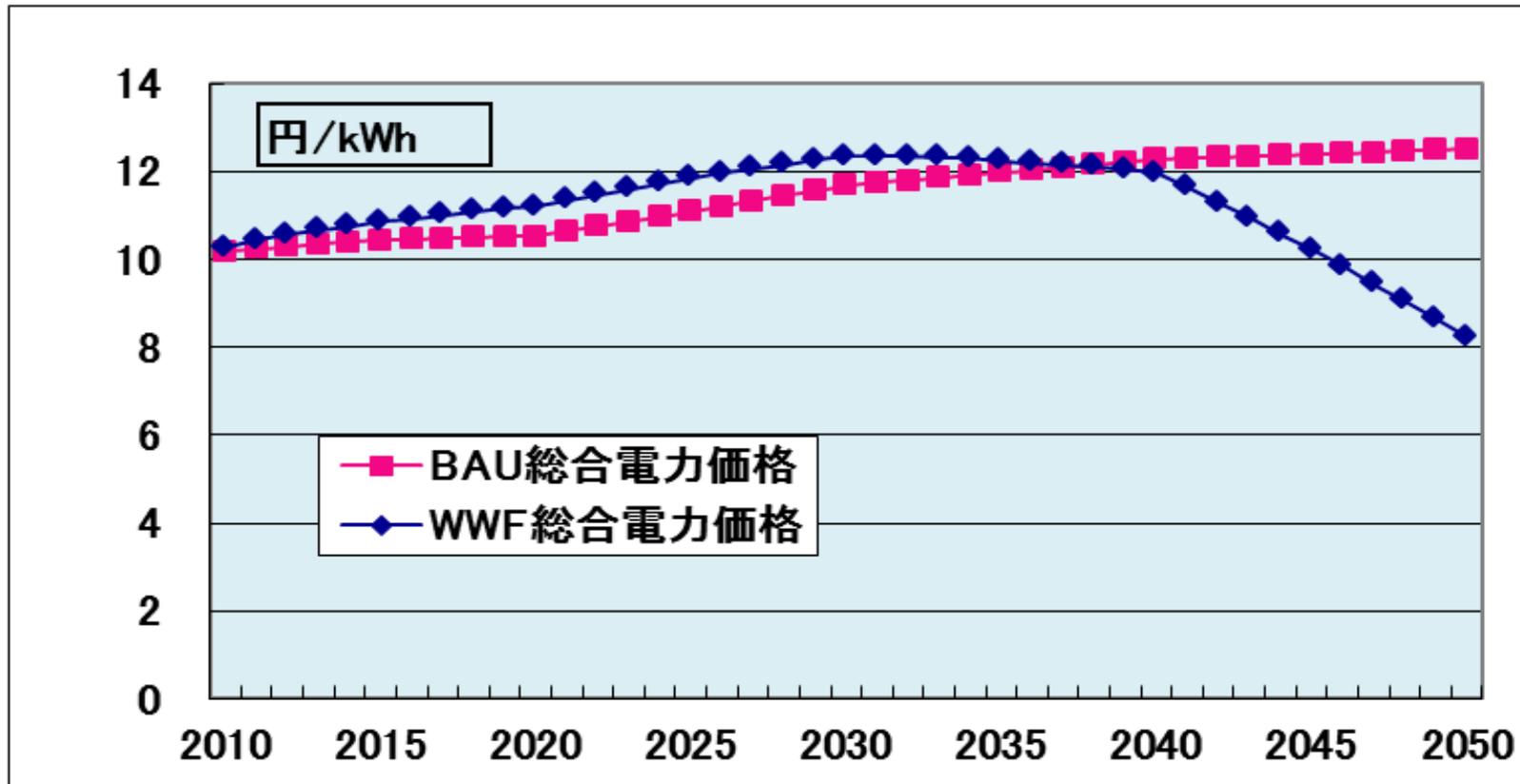
左から順に
カーシェアリング
家庭-LEDvs白熱灯
業務-LEDvs白熱灯
家庭-LEDvs蛍光灯
業務-LEDvs蛍光灯
エコドライブ
高効率家電製品
ファン+インバータ
風力発電
太陽熱
ポンプ+インバータ
高効率オフィス機器
メガソーラー
ハイブリッドカー
ZEH
太陽光発電
電気自動車

各種エネルギー源の電力価格



本報告では、2050年までに自然エネルギーが大量に普及してゆくことを想定している。将来のWWFシナリオの自然エネルギーの将来価格は、固定価格買取制度(2012年7月開始)の価格とコスト等検証委員会を参考にして、学習曲線を利用して計算している。

総合電力価格

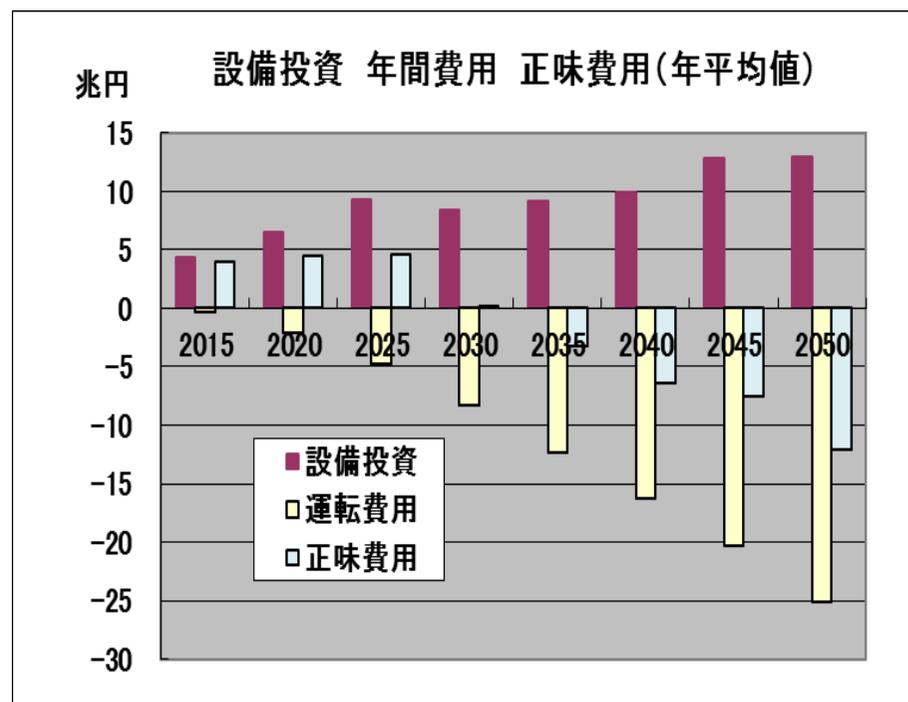


BAU総合電力価格は、BAUの発電燃料構成から将来の発電価格を計算した。WWFシナリオ総合電力価格は石炭・ガス・石油中心から自然エネルギー主体に移行してゆくときの発電価格を示している。自然エネルギーによる発電の代替コストを評価するとき、BAU総合電力価格を使用している。

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。



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)