

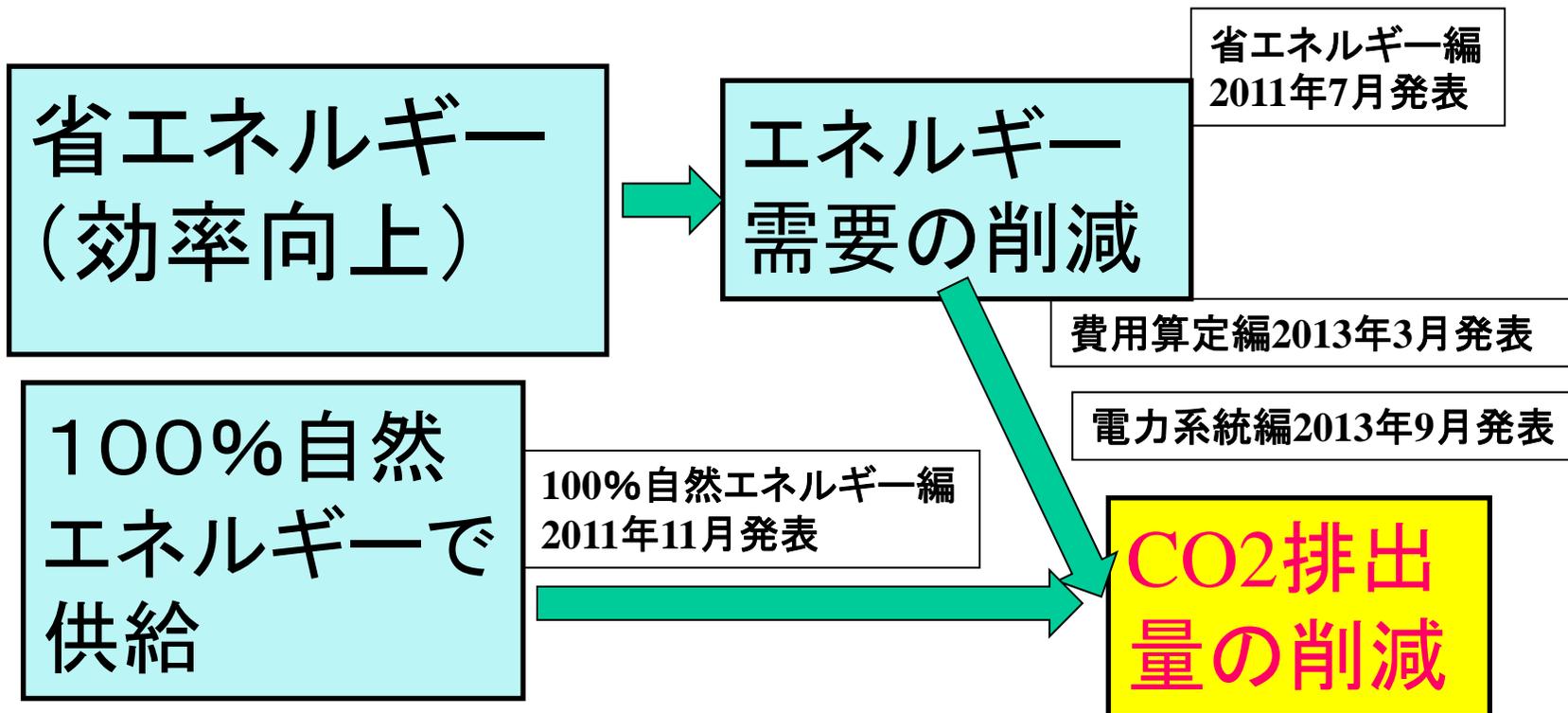
2030~2050年の日本のエネルギーの検討



COP21向け削減目標検討会
東工大 蔵前会館 大岡山
2015年4月8日

槌屋治紀
システム技術研究所

WWF ジャパン・100%自然エネルギーシナリオ



経済的な省エネルギーにより需要を削減して、自然エネルギーの供給を検討すれば、問題は小さくなり、効果的にCO2削減が実現できる

将来の最終エネルギー需要の計算法

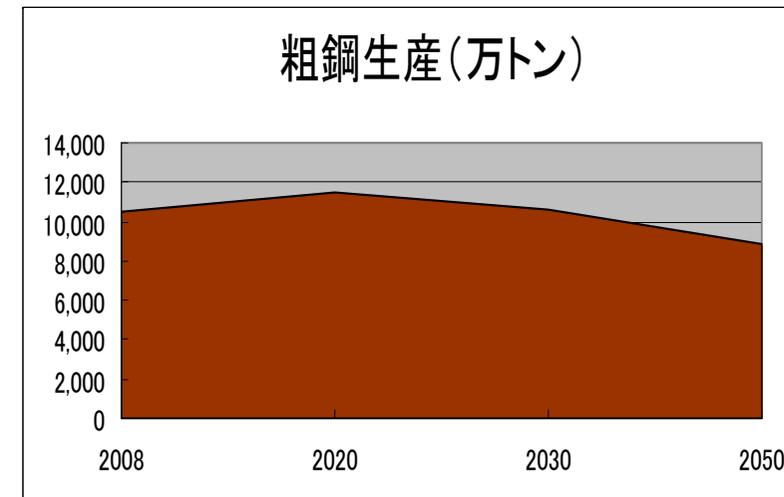
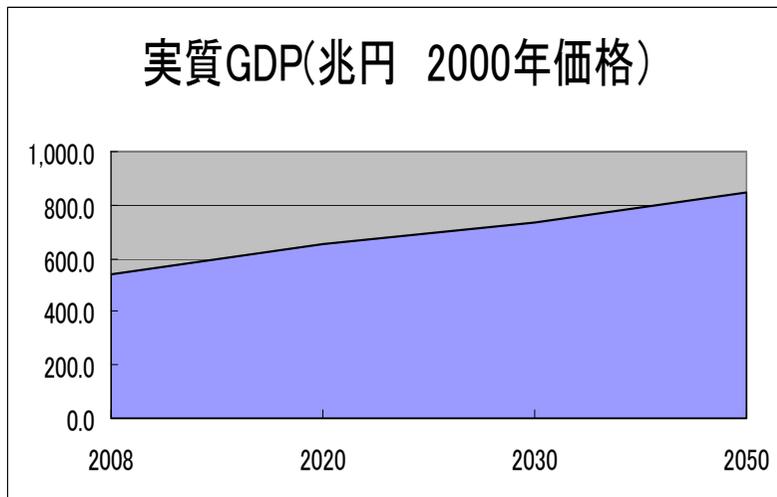
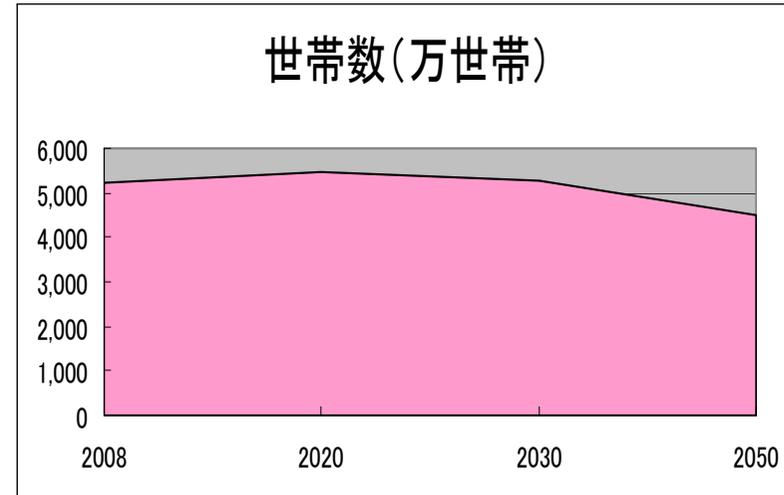
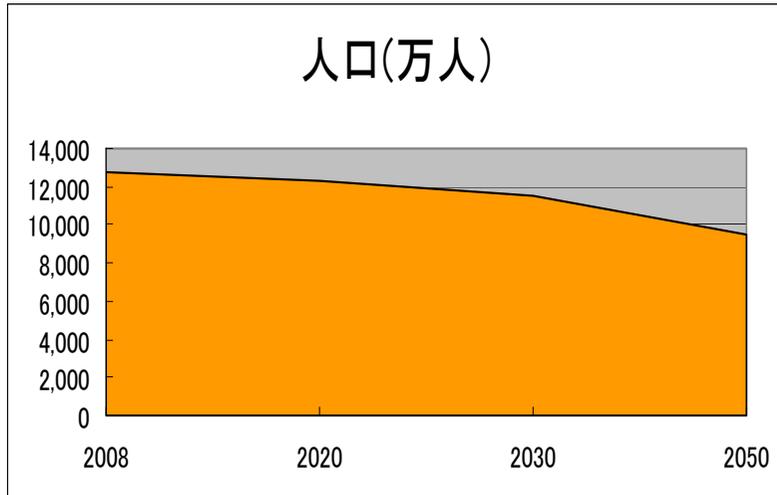
$$\begin{array}{|c|} \hline \text{将来の最終エネルギー需要} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{基準年の最終エネルギー需要} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{活動指数} \\ \hline \text{人口、世帯数、GDP、} \\ \hline \text{主要資源の生産量} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{効率向上} \\ \hline \text{LED照明、ヒートポンプ、電気自動車など} \\ \hline \end{array}$$

将来の最終エネルギー需要は、現在のエネルギー需要、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を利用している。

マクロ数値(人口、世帯、実質GDP、鉱工業生産)

主要数値	2008	2020	2030	2050
人口(万人)	12,769	12,282	11,477	9,520
(2008年比)	1.00	0.96	0.90	0.75
実質GDP(2000年兆円)	544.1	656.8	730.4	850.6
(2008年比)	1.00	1.21	1.34	1.56
世帯数(万世帯)	5,233	5,446	5,269	4,519
(2008年比)	1.00	1.04	1.01	0.86
鉱工業生産(2005年=100)	94.9	123.6	135.9	155.6
粗鋼生産(万トン)	10,550	11,458	10,595	8,870
エチレン生産(万トン)	652	705	687	571
セメント生産(万トン)	6,590	5,564	5,315	4,169
紙・板紙生産(万トン)	2,879	3,085	3,058	2,827

日本の主要マクロ経済指標(～2050)



2050年には、GDPは1.56倍になるが、人口、世帯数が減少し、利用効率が向上するので、エネルギー需要は現状の半分程度になる可能性がある。

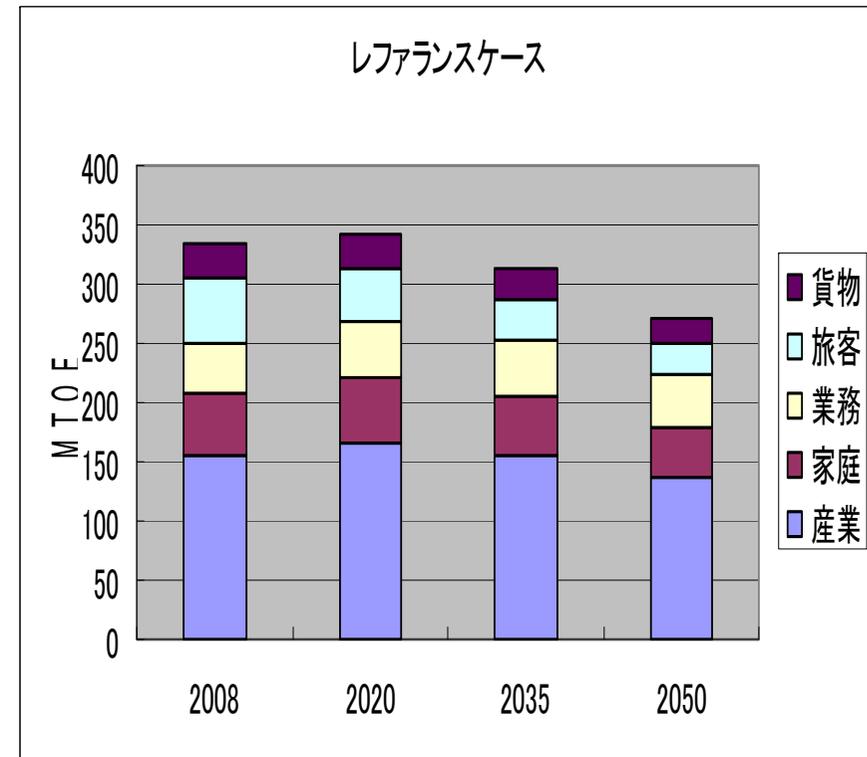
既存の2050年シナリオ研究

アジア/世界エネルギーアウトルック

(日本エネルギー経済研究所、2010)

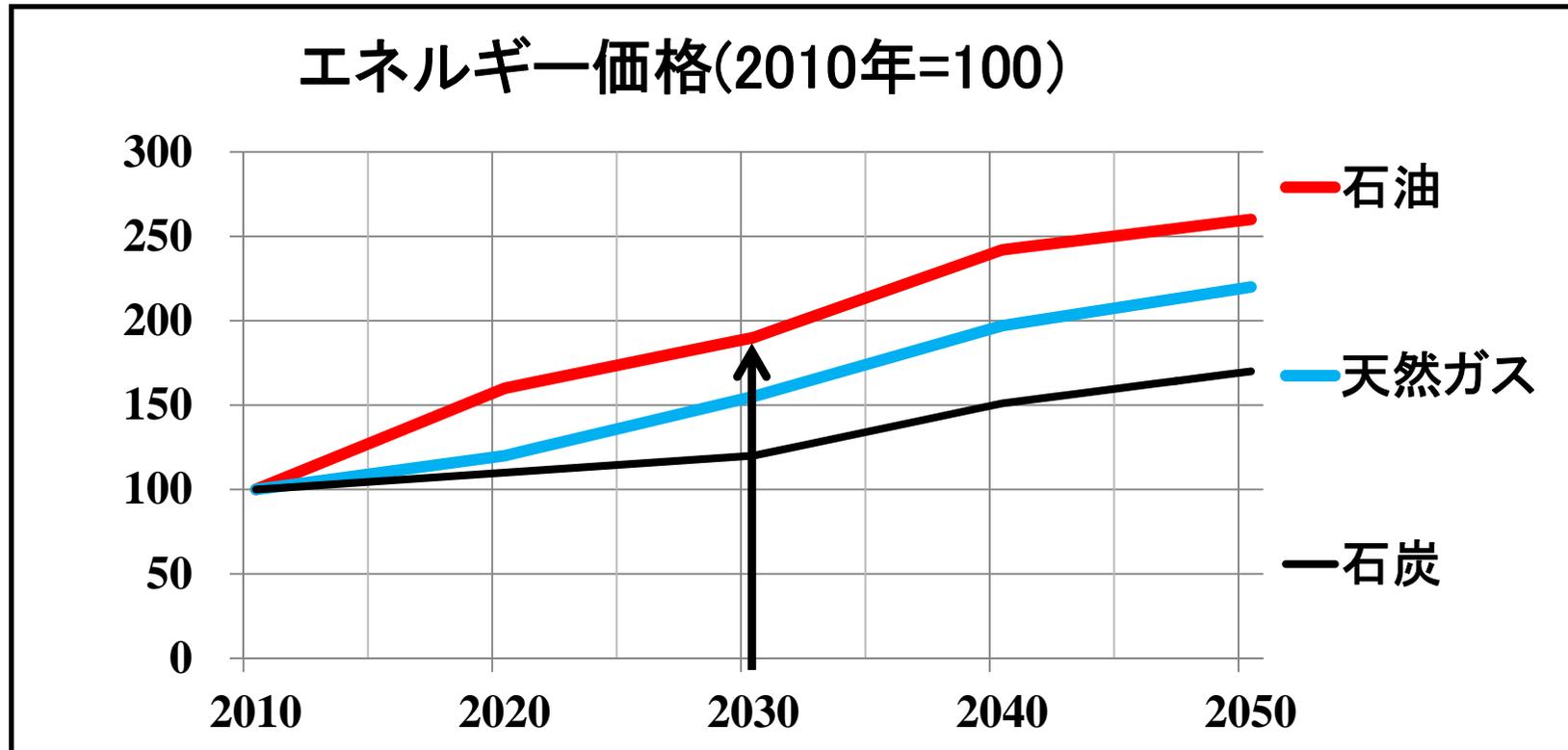
最終用途エネルギー需要(1000トン石油換算)

	2008	2020	2035	2050
産業	156,296	166,309	154,944	136,499
家庭	52,669	54,957	50,380	43,288
業務	41,932	46,823	47,269	43,805
旅客	54,758	45,784	34,389	25,262
貨物	29,445	27,923	25,067	21,654
非エネ	4,466	4,175	3,663	3,074
合計	339,566	345,971	315,712	273,582



このシナリオをWWF省エネルギーシナリオのBAU (Business as Usual)シナリオとして、参照することになっている

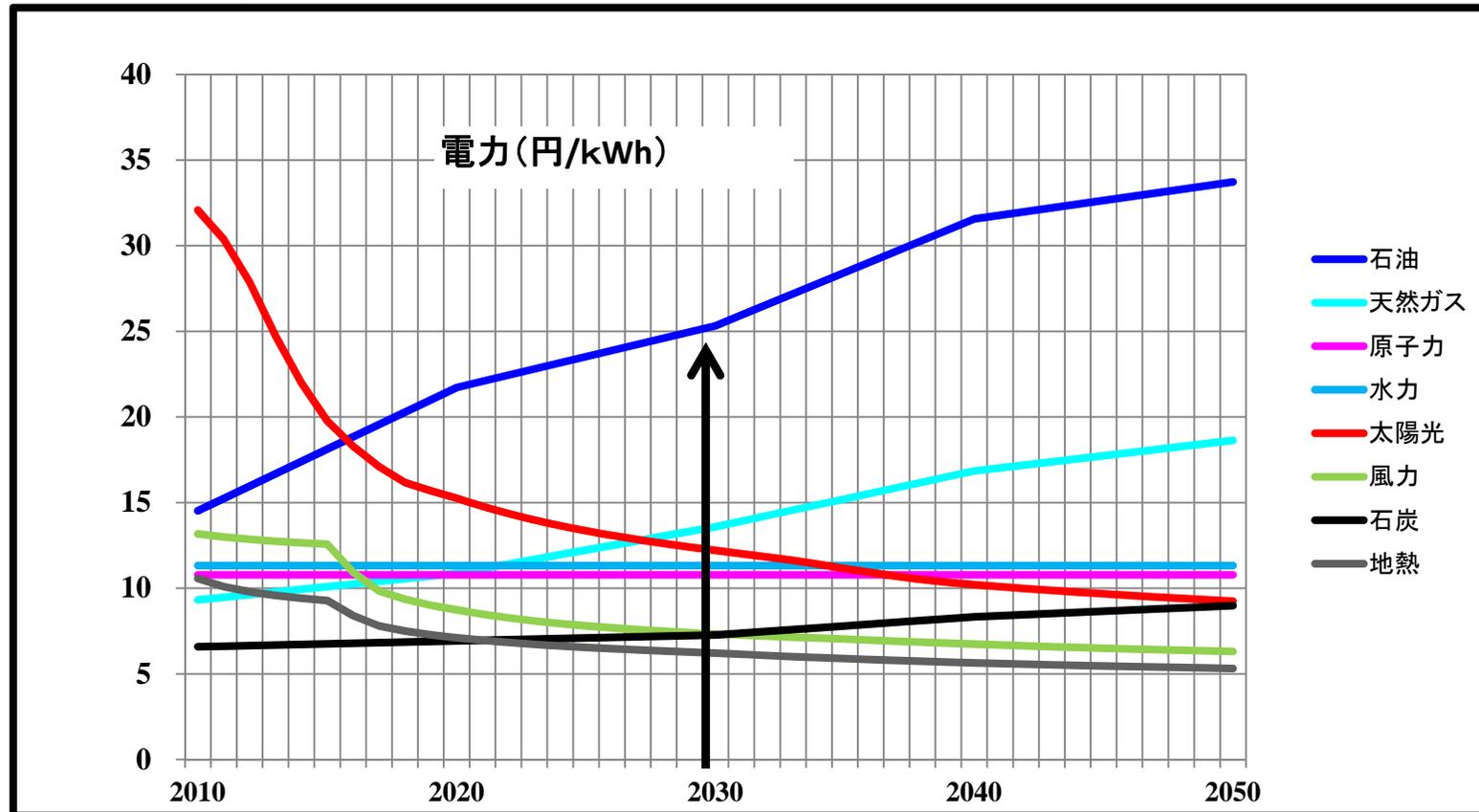
エネルギー価格



いずれのエネルギーも価格が上昇すると予想されている。2040年から2050年にはエネルギー価格をやや穏やかな上昇と推定。

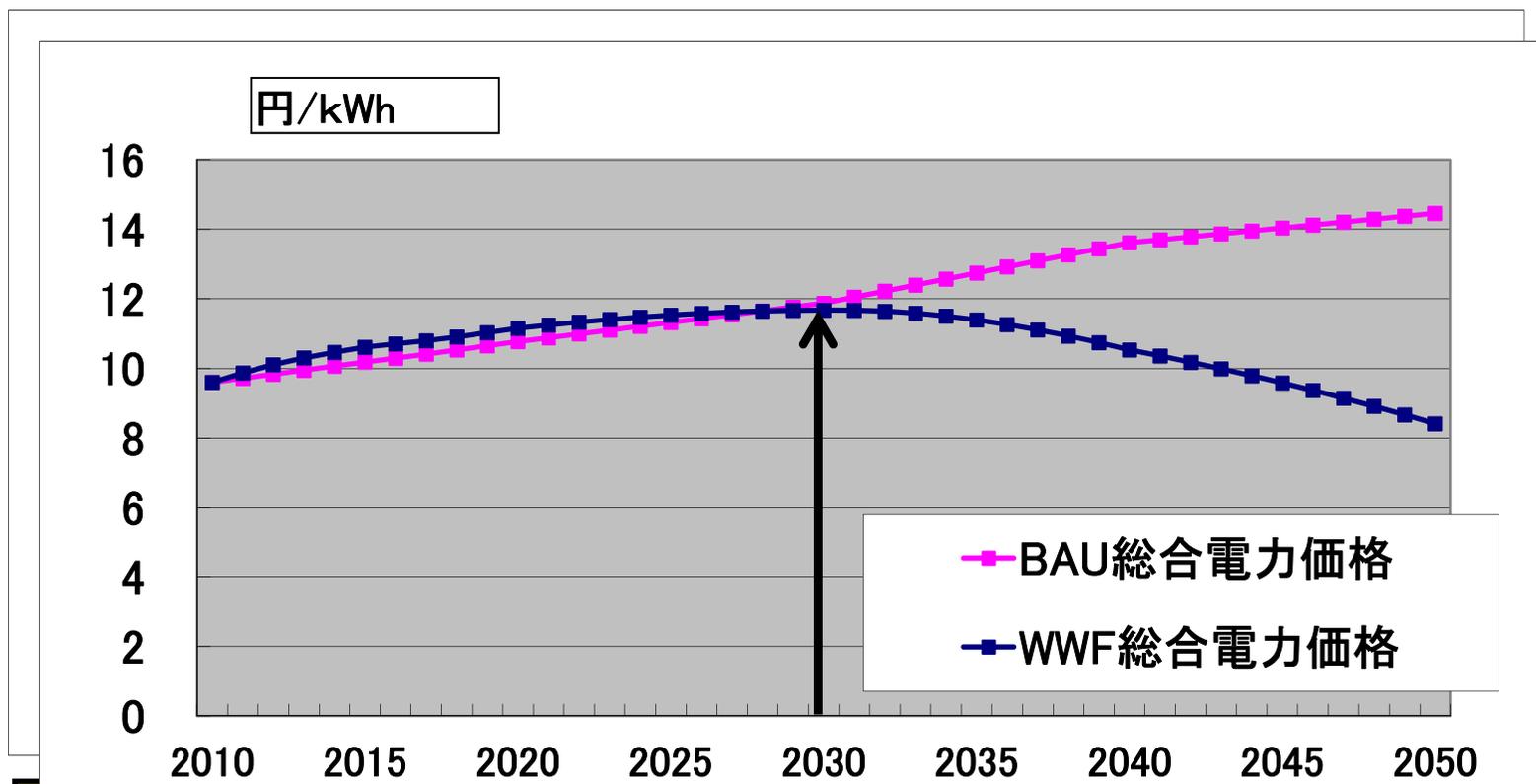
米国エネルギー省エネルギー情報局(EIA)が毎年発行している将来見通し(Annual Energy Outlook 2013)であり、2040年までを示している

各種エネルギー源の電力価格



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。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)の価格と国立環境研究所、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。

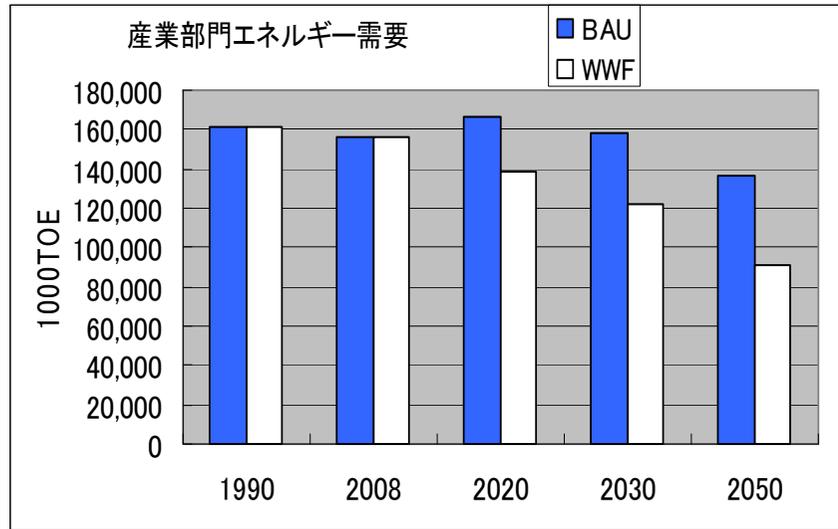
総合電力価格



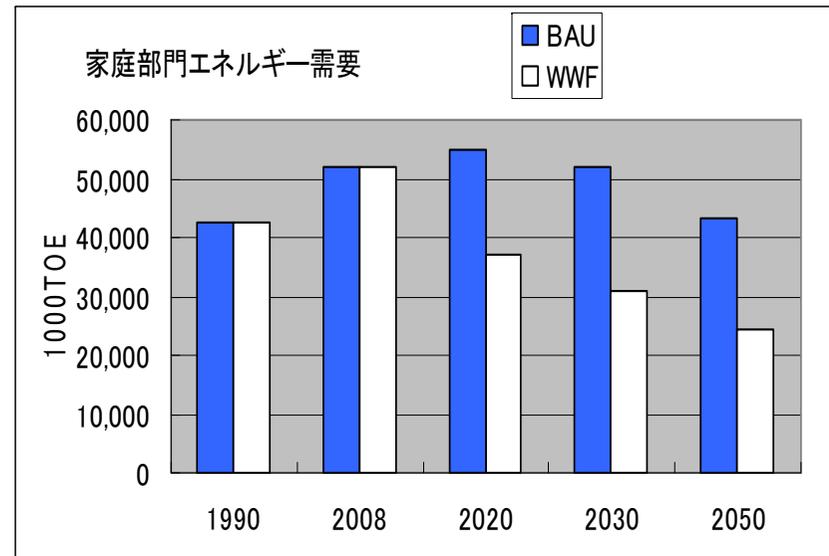
BAU総合電力価格は、2010年の発電燃料構成を固定して将来の発電価格を計算した。WWFシナリオの総合電力価格は石炭・ガス・石油から自然エネルギー中心に移行してゆくときの発電価格を示している。自然エネルギーによる発電価格は2030年ごろに既存電力価格と同程度になる

WWF省エネルギーシナリオ

(産業部門、家庭部門)



	2050年における省エネルギー
鉄鋼業	電炉のエネルギー消費は高炉の1/7、リサイクル率70%になり、エネルギー消費は45%に低減
化学・窯業・紙パルプ	生産量が減少してゆくが、効率が30%向上する。
モーター	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



	2050年における省エネルギー
断熱化	次世代の省エネ基準が100%普及し、戸建+集合住宅の暖冷房需要が現状の36%に
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	LED電球が広く普及。200ルーメン/W以上、現状の4倍の効率になる
電気製品	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

産業部門の省エネルギー投資

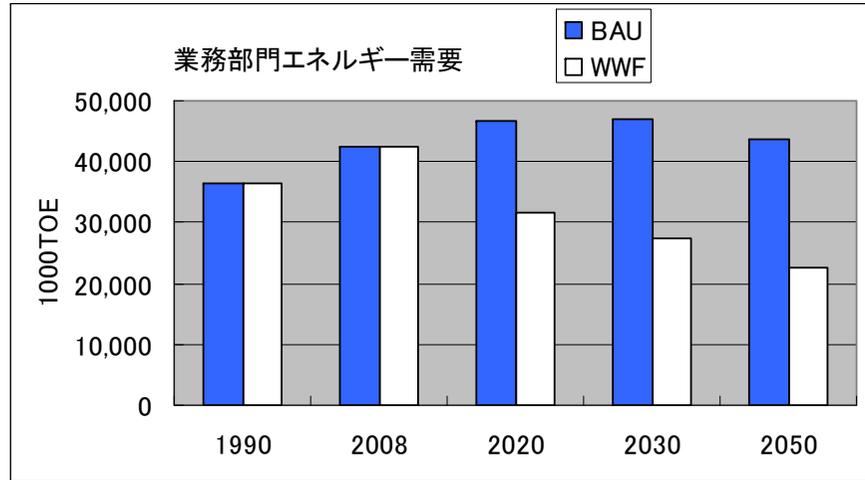
(日本経団連自主行動計画)

産業	累計省エネ投資	省エネ量	投資額/省エネ量	平均エネ価格	回収期間
	合計(億円)	万TOE./年	万円/(TOE/年)	万円/TOE	年
紙・パルプ	2499	201	12.43	5.141	2.42
化学	5084	407	12.49	3.938	3.17
鉄鋼	6182	459	13.47	2.563	5.25
製造業	26990	1697	15.90	5.402	2.94
データ期間は1997-2010、回収期間=省エネ/省エネ量/平均エネ価格					

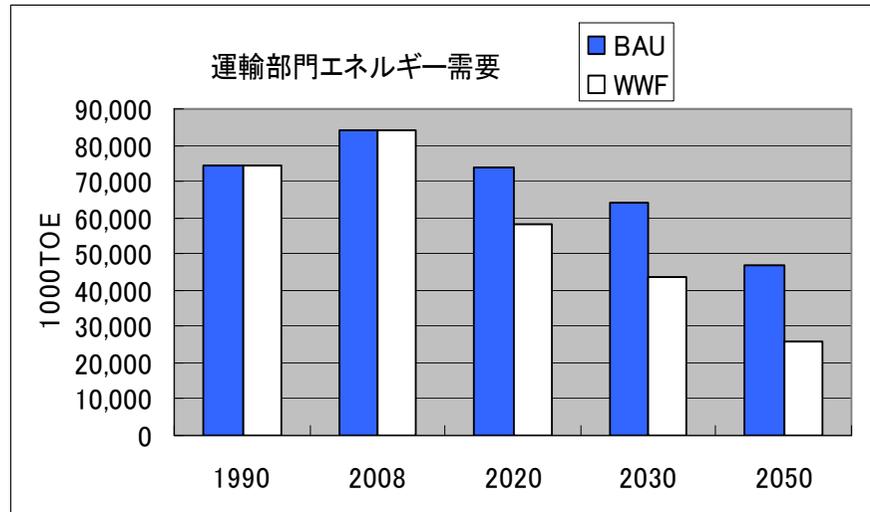
投資回収期間は2~5年であり、これは通常の経営感覚の範囲の設備投資である。適切な政策によっては、投資を2倍程度に誘導できる可能性がある。

WWF省エネルギーシナリオ

(業務部門、運輸部門)



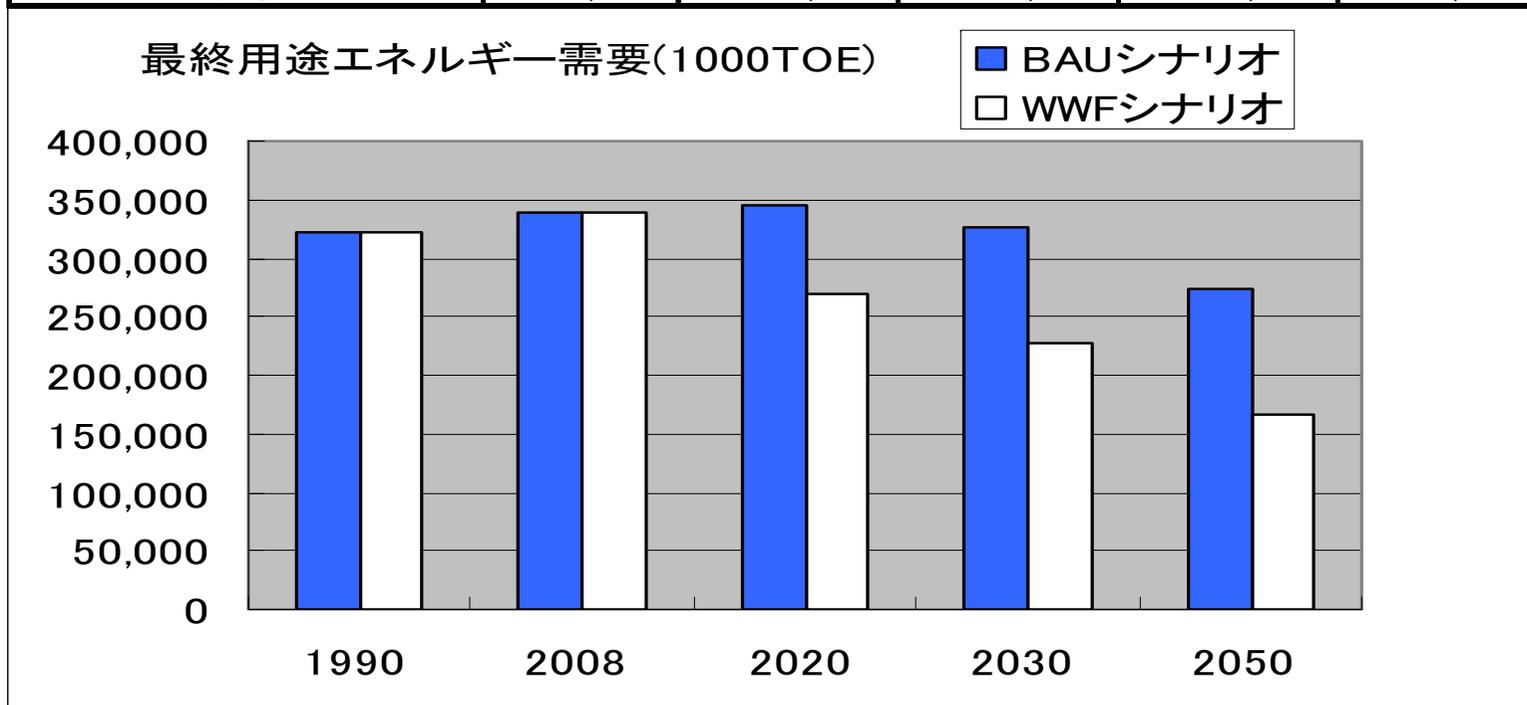
2050年における省エネルギー	
暖冷房	オフィスの断熱化により、現状から75%に低下。エアコンCOPが2倍になり、暖冷房需要は37.5%に低減。さらに都市緑化で5%減、クールビスで8%減少する
照明	暖冷房を除く電力の50%が照明。LEDタスク+アンビエント照明の普及で効率4倍に
OA機器	電力消費が50%に低減
TV会議	航空機利用の10%がTV会議へ移行するとエネルギー消費が2%に低減、ここへ計上



2050年における省エネルギー	
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/EV/FCV	すべての自動車が、効率70%向上したエコカーになる
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	FRP軽量化により30%の効率向上、旅客の10%がTV会議へ移行

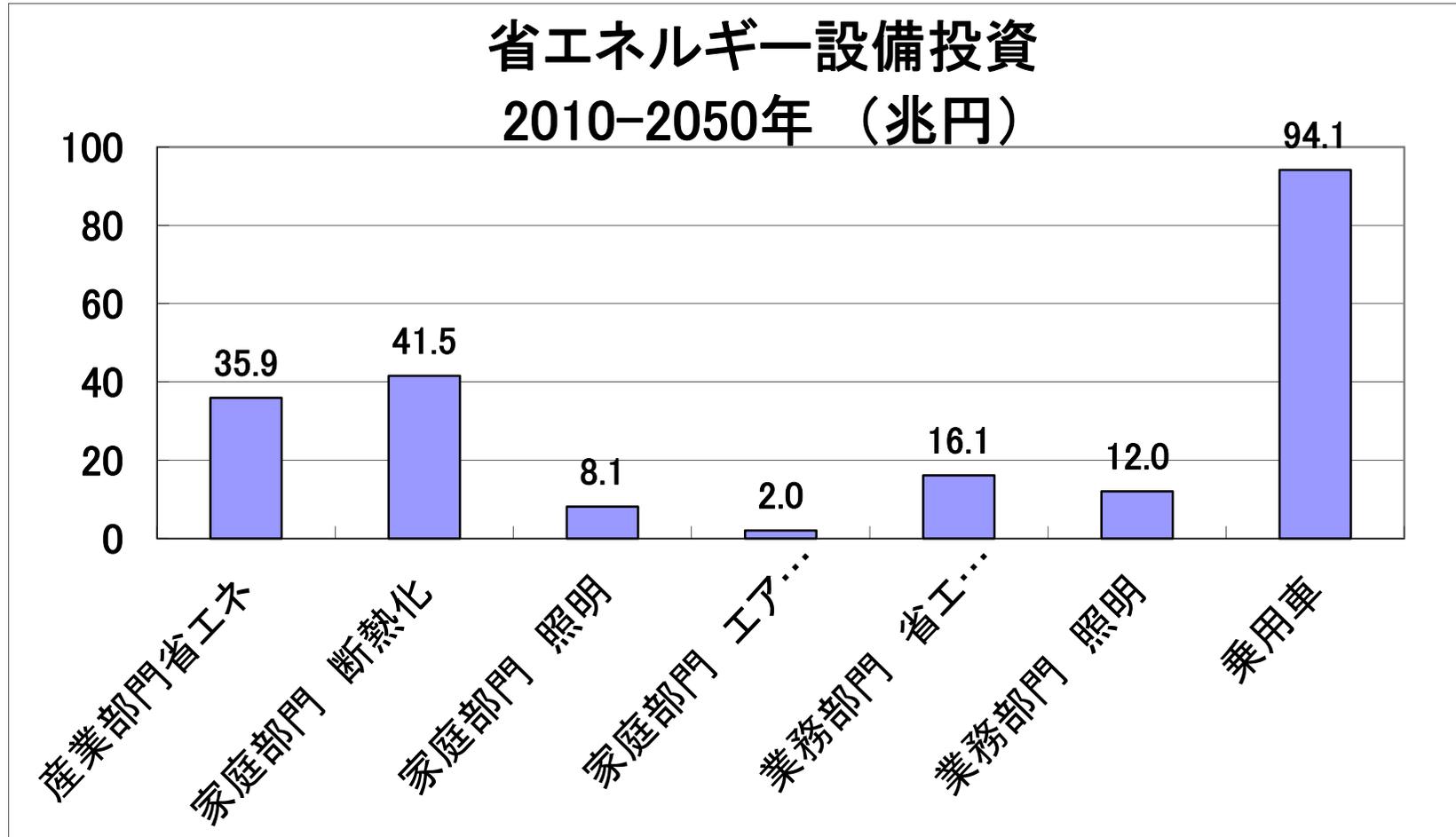
WWF省エネルギーシナリオ 最終エネルギー消費のまとめ

エネルギー(1000TOE)	1990	2008	2020	2030	2050
BAUシナリオ	322,869	338,948	345,971	325,798	273,522
WWFシナリオ	322,869	338,948	269,590	228,078	167,291



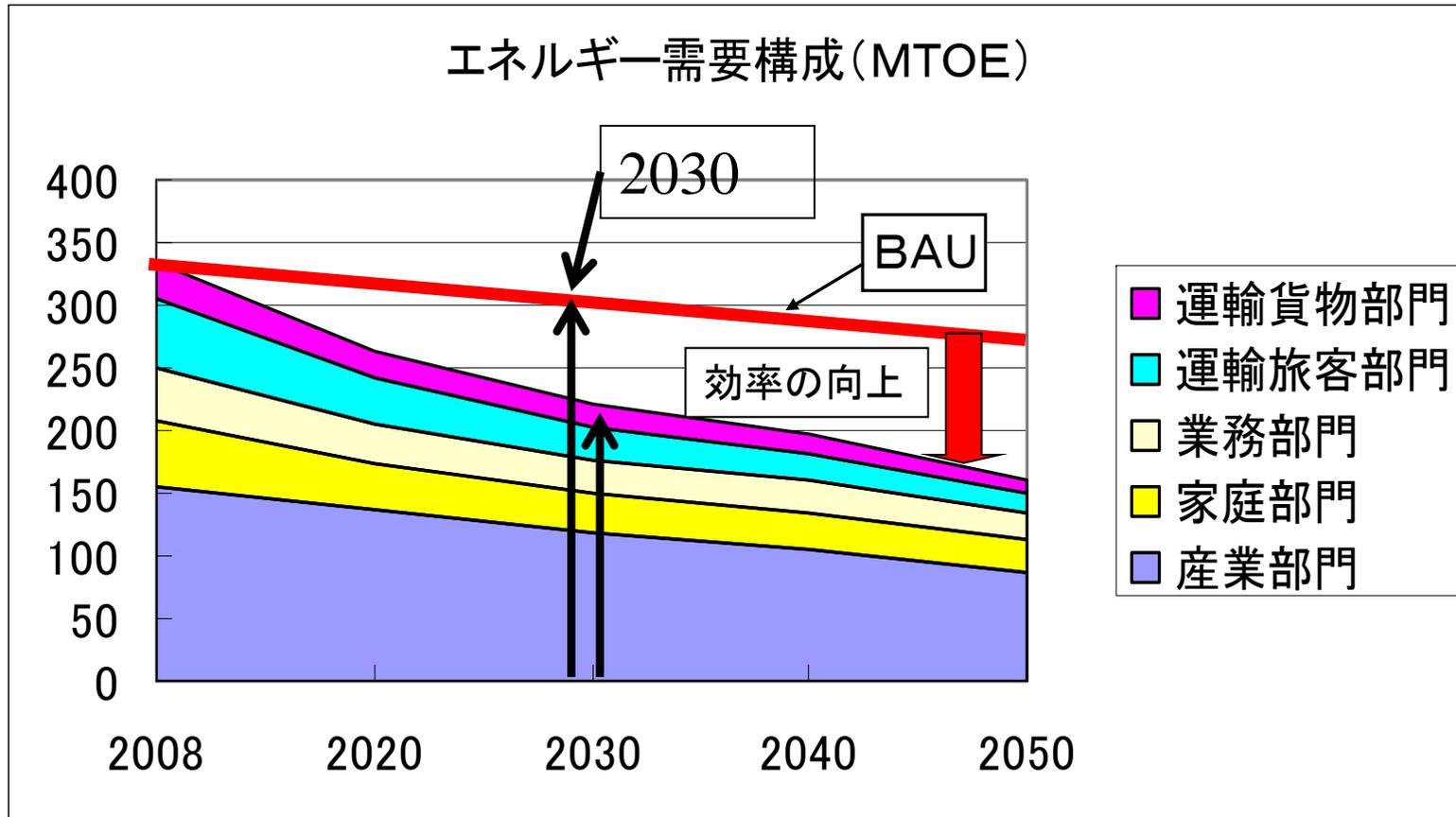
WWFシナリオの最終エネルギー消費は、2008年比で70%(2030年)、50%(2050年)に低下している。

省エネルギー設備投資(40年間)



省エネルギー設備投資の合計は210兆円、正味費用は
-188兆円である。

部門別最終エネルギー需要



2050年までGDPは増大するが、BAUシナリオでも人口の減少、世帯数の減少、材料資源の生産減少があり、エネルギー消費は30%の減少、さらに省エネルギー(効率向上)により、最終エネルギー需要は、2008年比でおよそ70%(2030年)、50%(2050年)に低下する

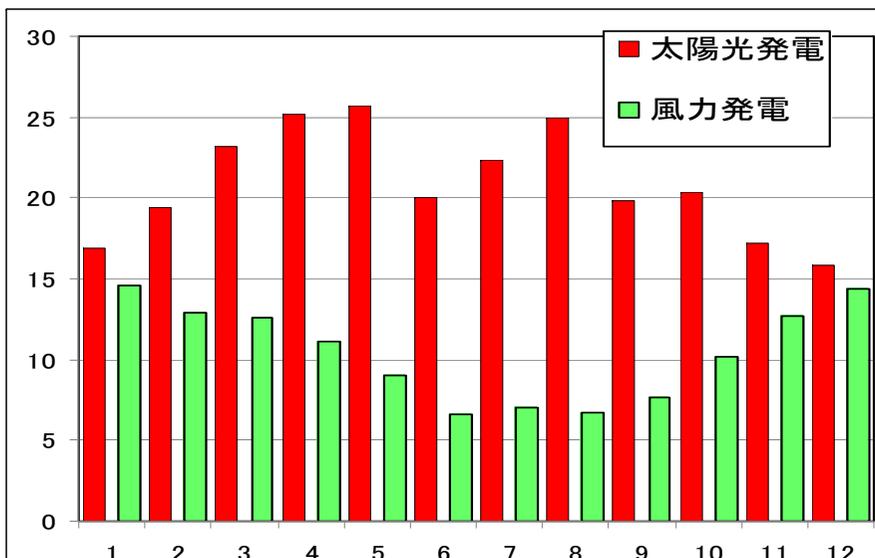
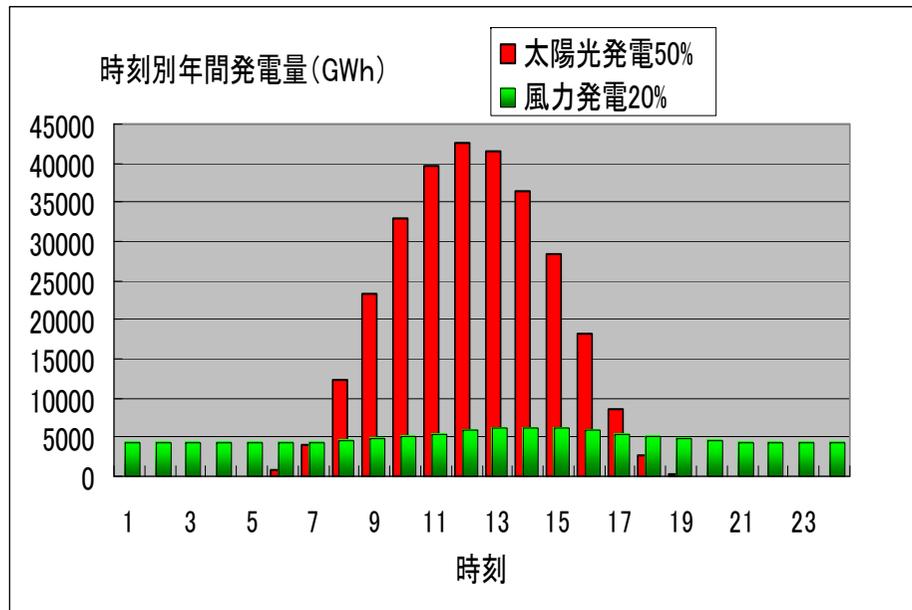
日本の自然エネルギー供給シナリオ

電力のみシナリオ	電力+自動車燃料シナリオ	電力・燃料・熱需要のすべてのエネルギー供給
<p>原発ゼロシナリオ (対策追加後) (国家戦略室2012年) 自然エネルギー 37% 風力3900万kW 太陽光7300万kW</p>	<p>電力と自動車用燃料に自然エネルギーを供給するシナリオ (電力: 130%自然エネルギー発電 太陽光:3.42億kW (60%) 風力:8270万W(30%) 天然ガスバックアップ・揚水発電・バッテリーで変動を吸収 自動車用燃料として余剰電力から水素生産</p>	<p>WWF100%自然エネルギーシナリオ(5) 電力:160%を自然エネルギーで発電 太陽光 4.77億kW(84%) 風力:1.09億kW(42%) 揚水発電・バッテリーで変動を吸収 余剰電力を燃料・熱に供給する。 さらに熱需要にヒートポンプ、太陽熱、バイオマスを利用</p>
<p>90%自然エネルギーによる電力供給シナリオ 水力・地熱 19% 太陽光:2.4億kW(50%) 風力:3800万kW(20%) 天然ガスバックアップ 10% 揚水発電・バッテリー</p>		

風力と太陽光発電のユニットと設置条件

自然エネルギー	地点数 設備利用率	ひとつのユニットの 設置条件
太陽光発電	842地点,設備 利用率12.6%	10kW,南向き,傾斜 角=緯度-5度
風力発電	842地点から設 備利用率18% 以上の90地点 を抽出,設備利 用率27.6%	2MW,直径80m,ハブ 高さ56m,風速毎秒 3mで発電開始,毎秒 25m以上で停止

拡張AMEDAS2000の時刻別気象データは全国842地点あり、太陽輻射と風速データを利用

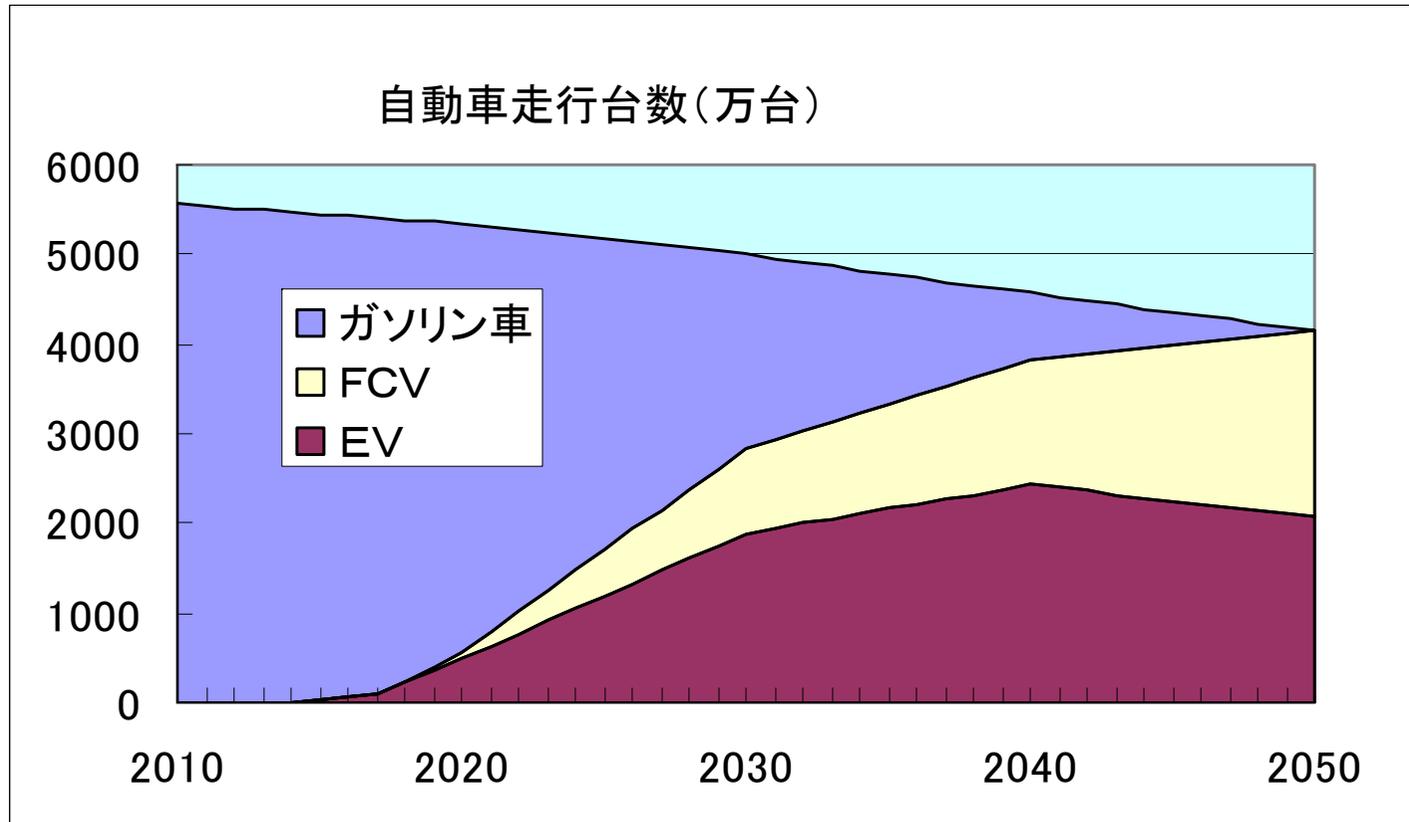


太陽光と風力を組み合わせると効果的

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。

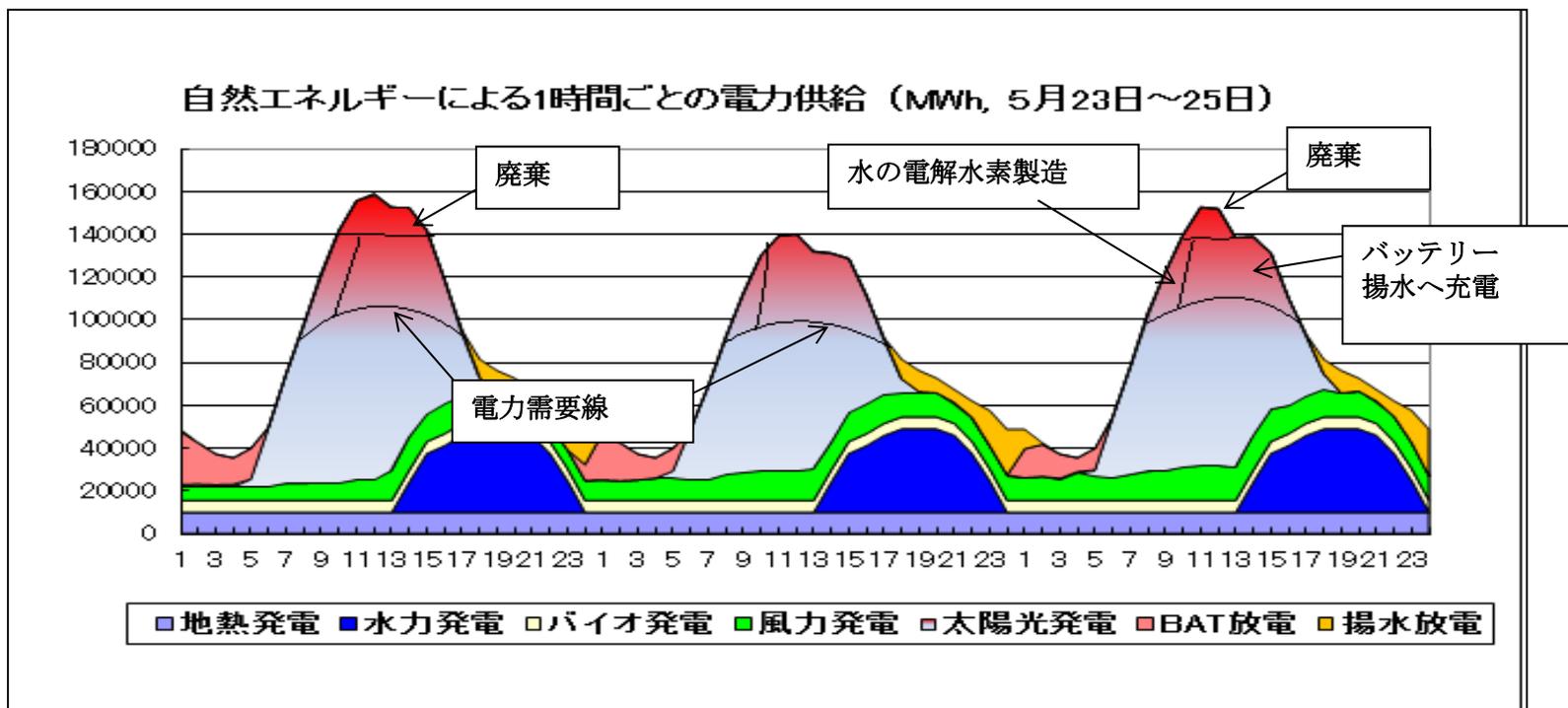
日本各地の多数の太陽光と風力の特徴を組み合わせることで供給の変動を小さくできる。電力需要に対して、発電量が太陽光50%、風力20%とした場合を示す。

2050年の自動車シナリオ



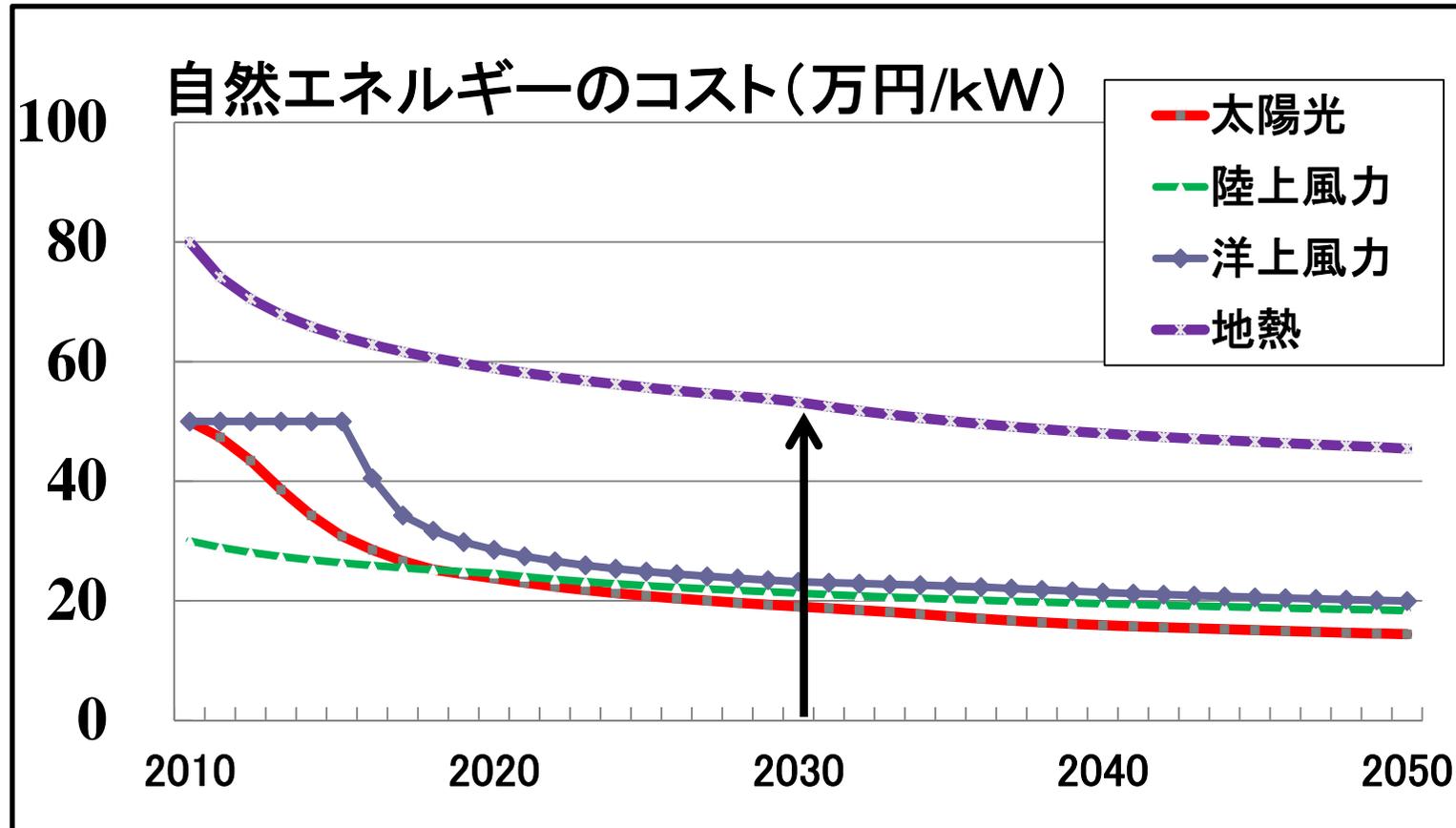
自動車の将来構成は、EV(電気自動車)とFCV(燃料電池車)になると予想される。FCV用の水素は、風力・太陽光発電の余剰電力によって生産される

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

自然エネルギー設備コスト



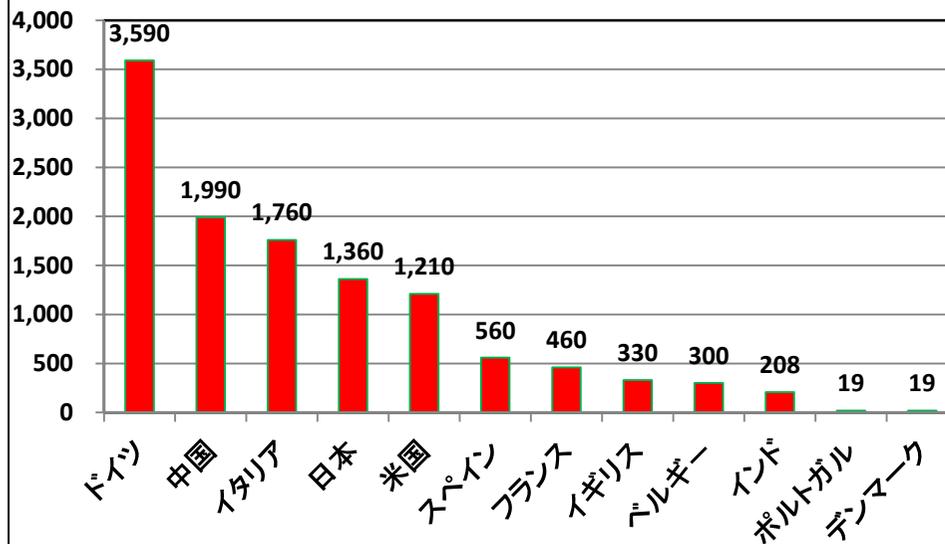
自然エネルギーの設備コストは学習曲線上にある。学習曲線の進歩指数は、累積生産量が2倍になるときのコスト低下割合を示す。太陽光82%、陸上・洋上風力90%、地熱90%と想定している。

日本の太陽光発電 累積合計1360万kW (2014年7月末運転開始まで)

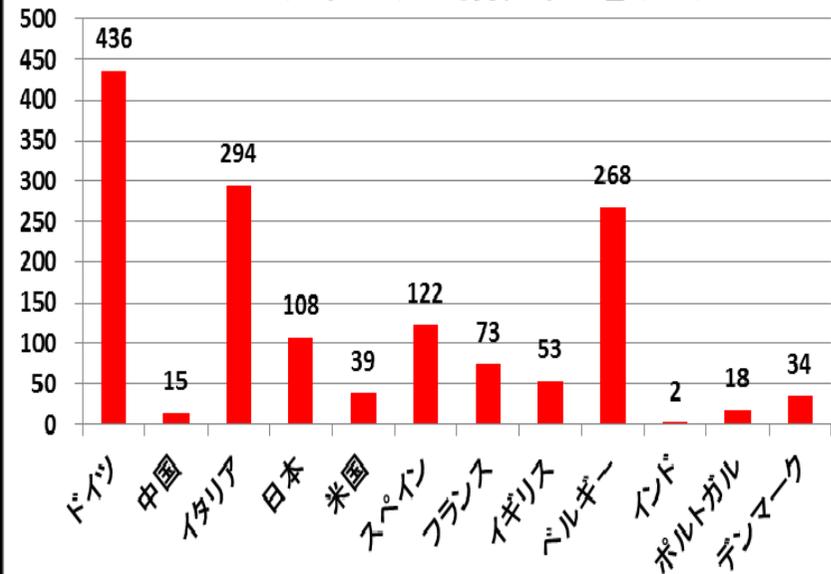
全世界の設置容量は1億3900kWになっている。FIT導入後、日本でも急速に増大している。しかし、設置容量、ひとりあたり容量のいずれでもドイツやスペインには及ばない。



太陽光発電容量 万 kW



人口ひとりあたり太陽光発電 (W)



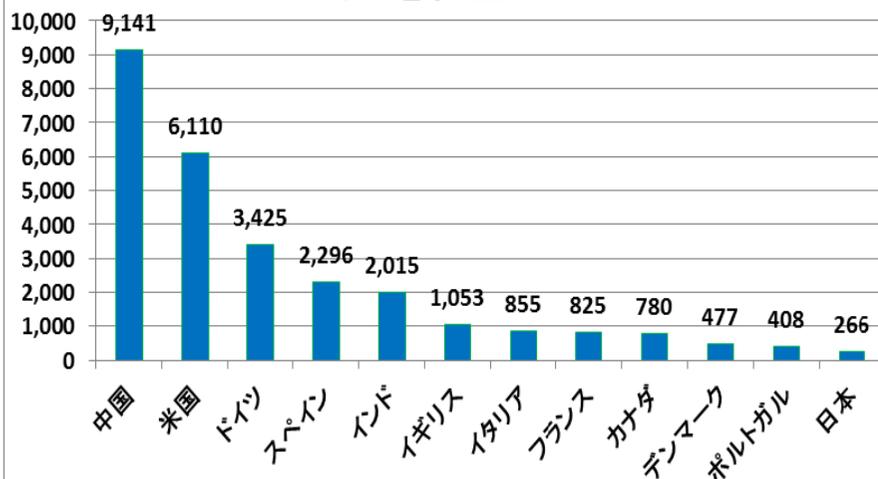
風力発電



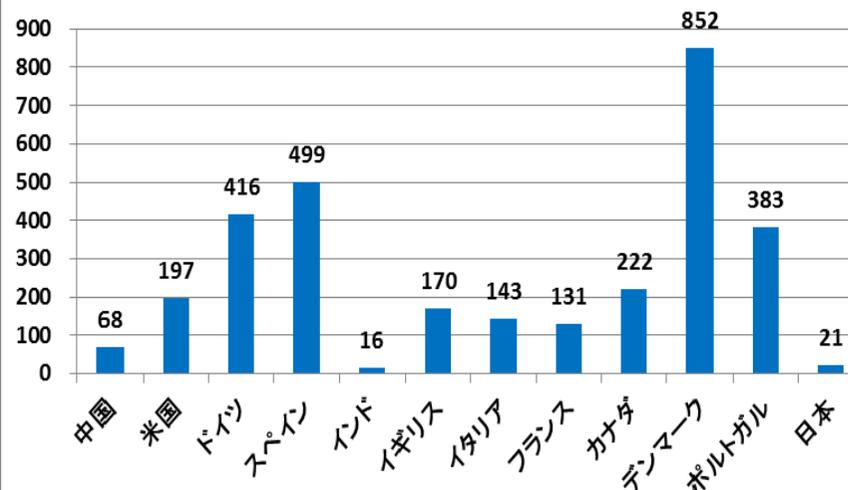
茨城県神栖(鹿島灘)の沖合50mに建設された2MWx7基。4km先まで深度25mあり、着床型で50万kWの計画進行中。

福島沖の洋上浮体風車2MW(直径80m)、東京湾を輸送中の様子

風力発電容量 万 kW



人口ひとりあたり風力発電 (W)



世界の風力発電規模は現在およそ3億2000万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266万 kW。ドイツは国土面積は日本より小さいのに3425万 kWもある

太陽光と風力の将来規模

	出典	2020年	2030年	2050年	最大ポテンシャル
太陽光発電	日本太陽光発電協会 2015	6600万kW(7%)	1億kW(11%)	—	
	WWFシナリオ	7990万kW	2億5360万kW	4億7460万kW	7億kW (システム技術研究所)
風力発電	日本風力発電協会	1090万kW	3620万kW	7500万kW(20%)	6億kW
	WWFシナリオ	1830万kW	5800万kW	1億850万kW	18億kW 環境省調査

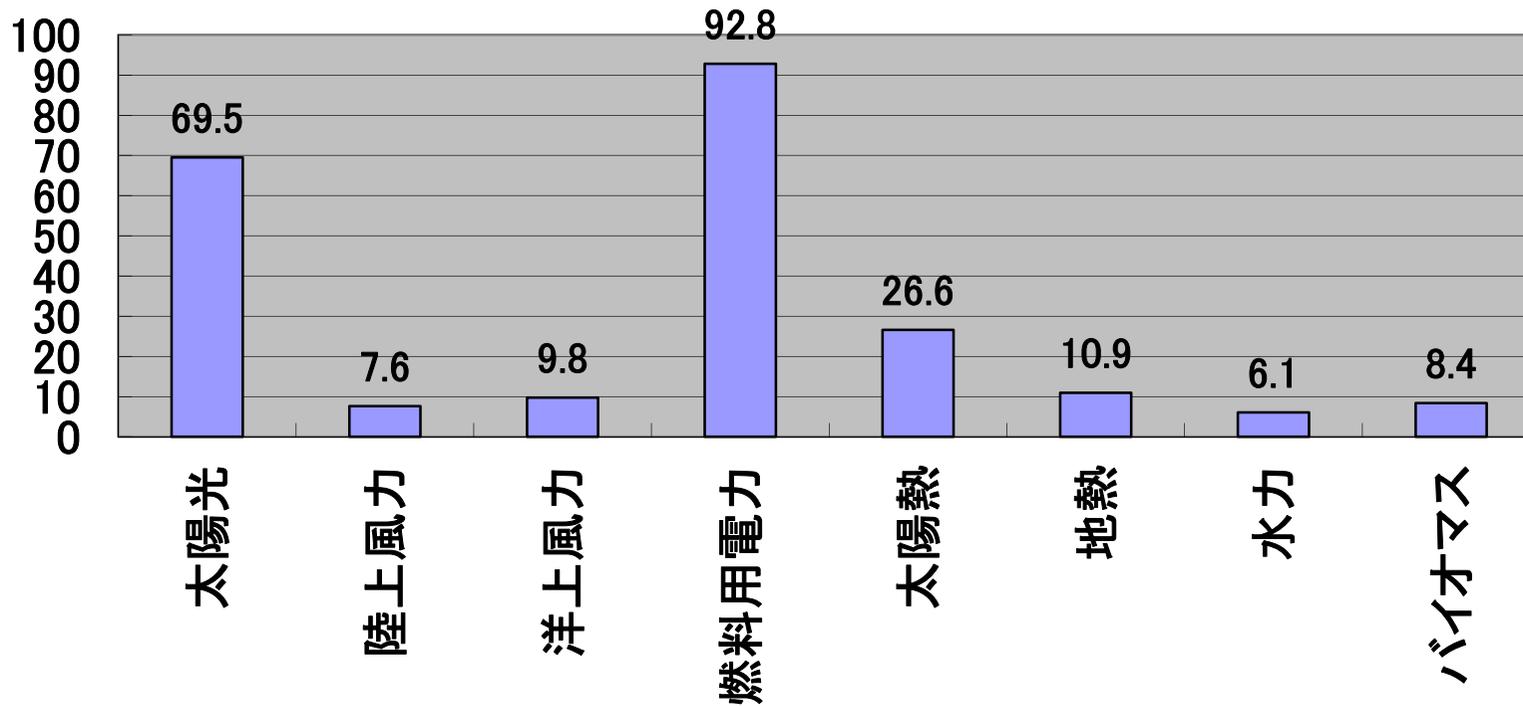
()は電力供給量に占める割合

風力は陸上＋洋上(固定、浮体)を含む。

WWFシナリオは、電力＋熱への供給を含む。

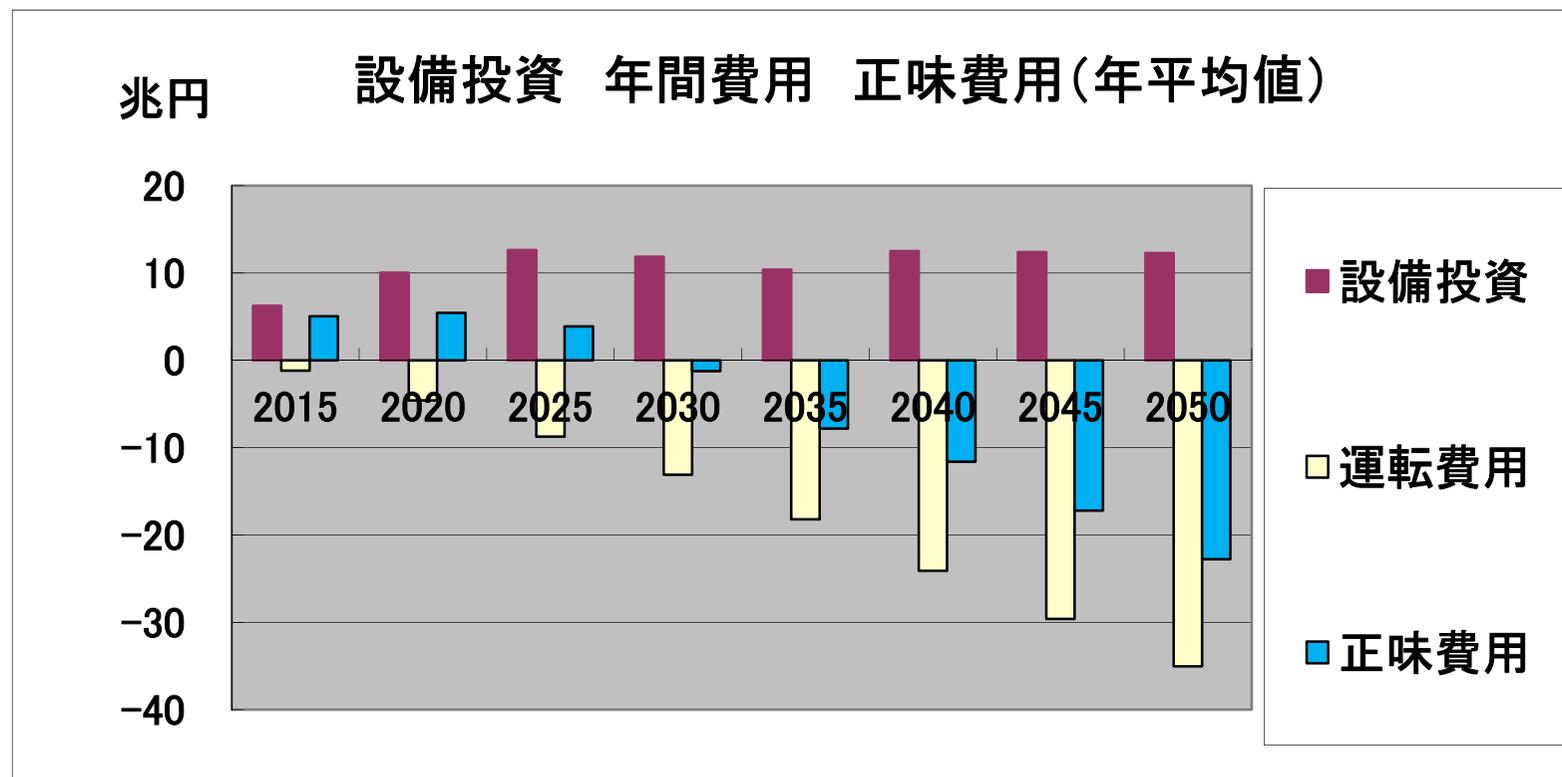
自然エネルギー投資(40年間)

自然エネルギー設備投資 2010-2050年(兆円)



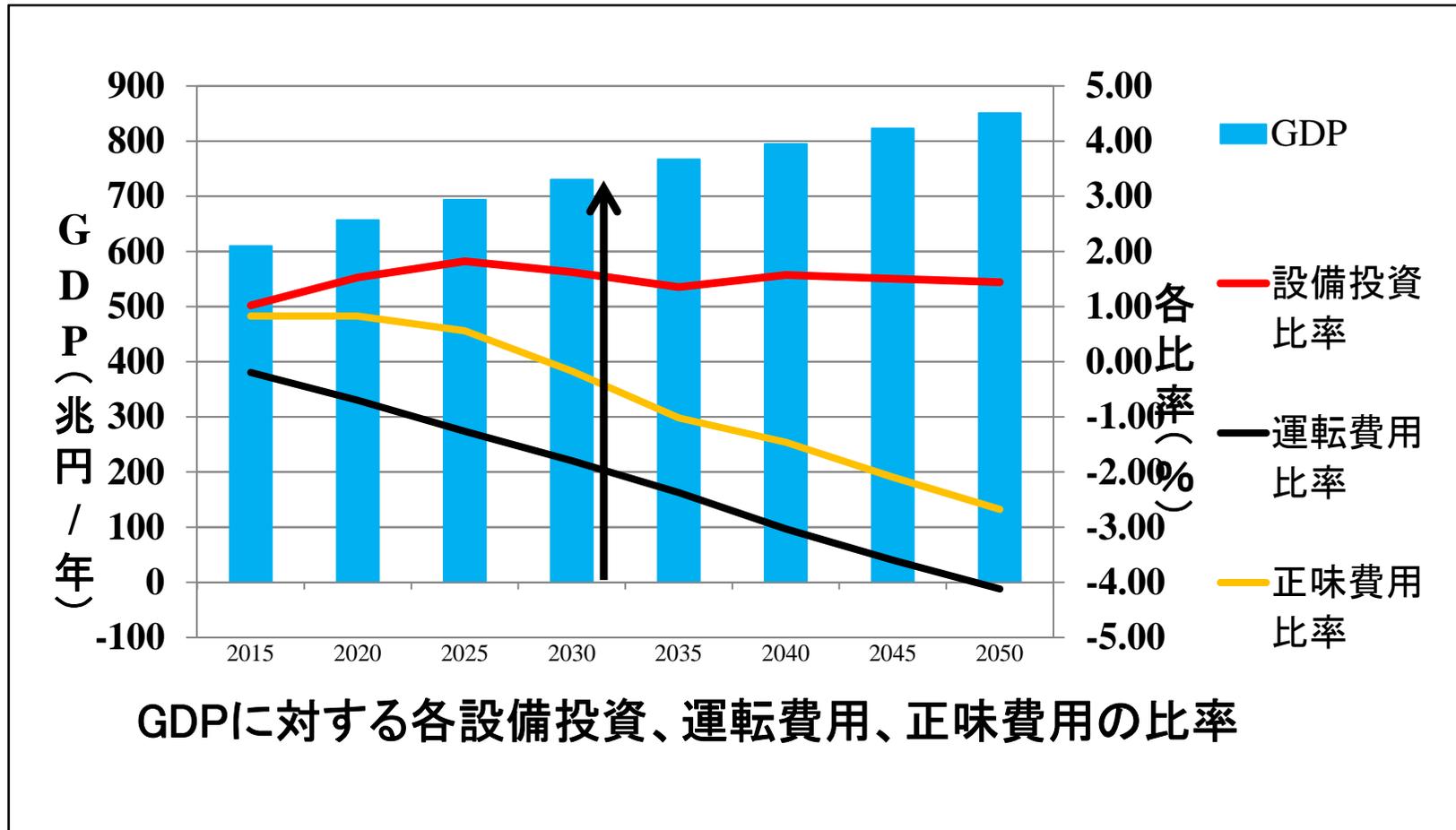
自然エネルギーの合計設備投資は231兆円、正味費用は-43兆円である。省エネルギーに比較すると正味費用が大きい。

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



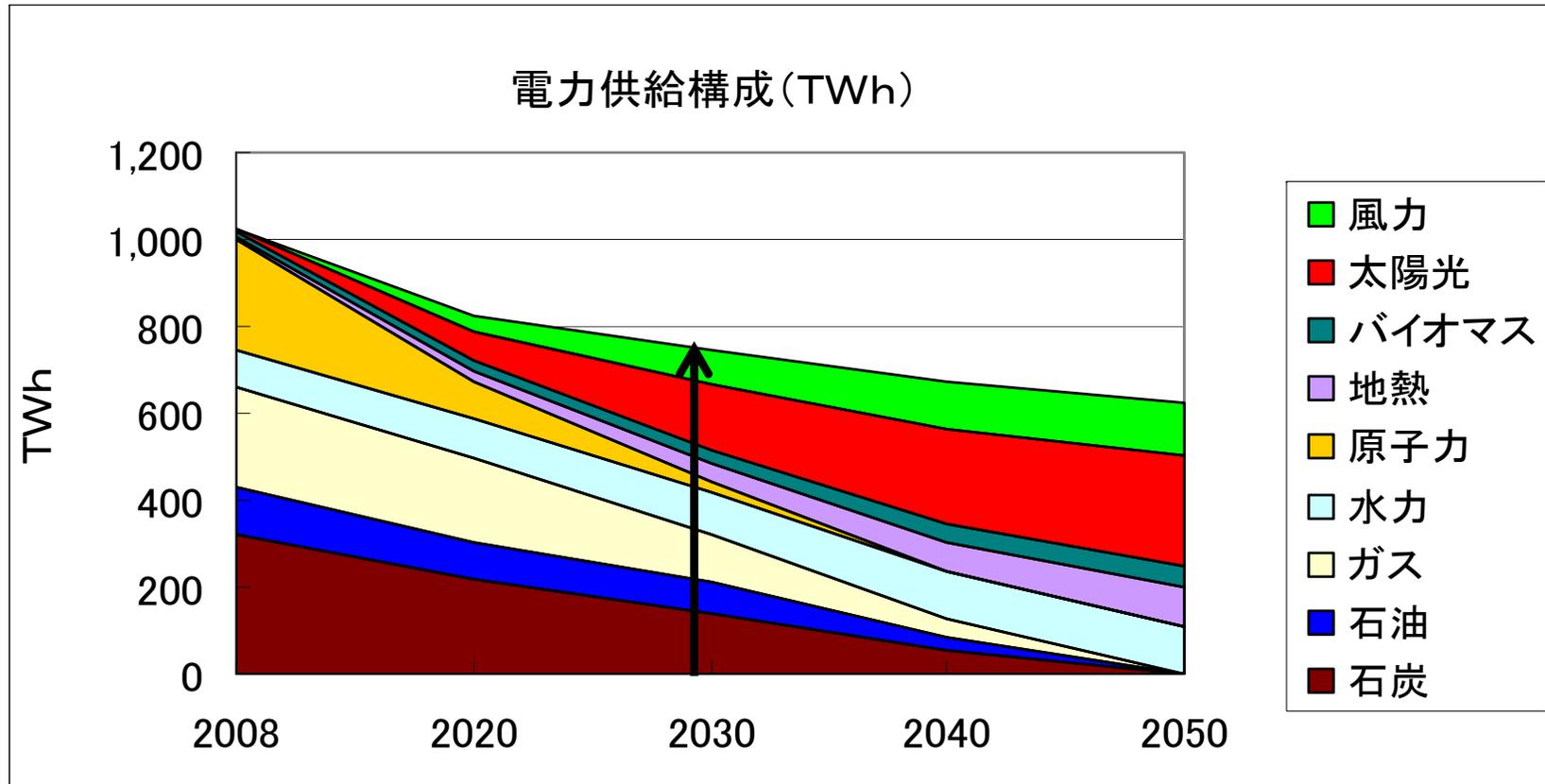
40年間の省エネルギーと自然エネルギーの合計投資は442兆円、正味費用はマイナス232兆円であり、十分な投資効果がある。

GDPに対する費用の割合



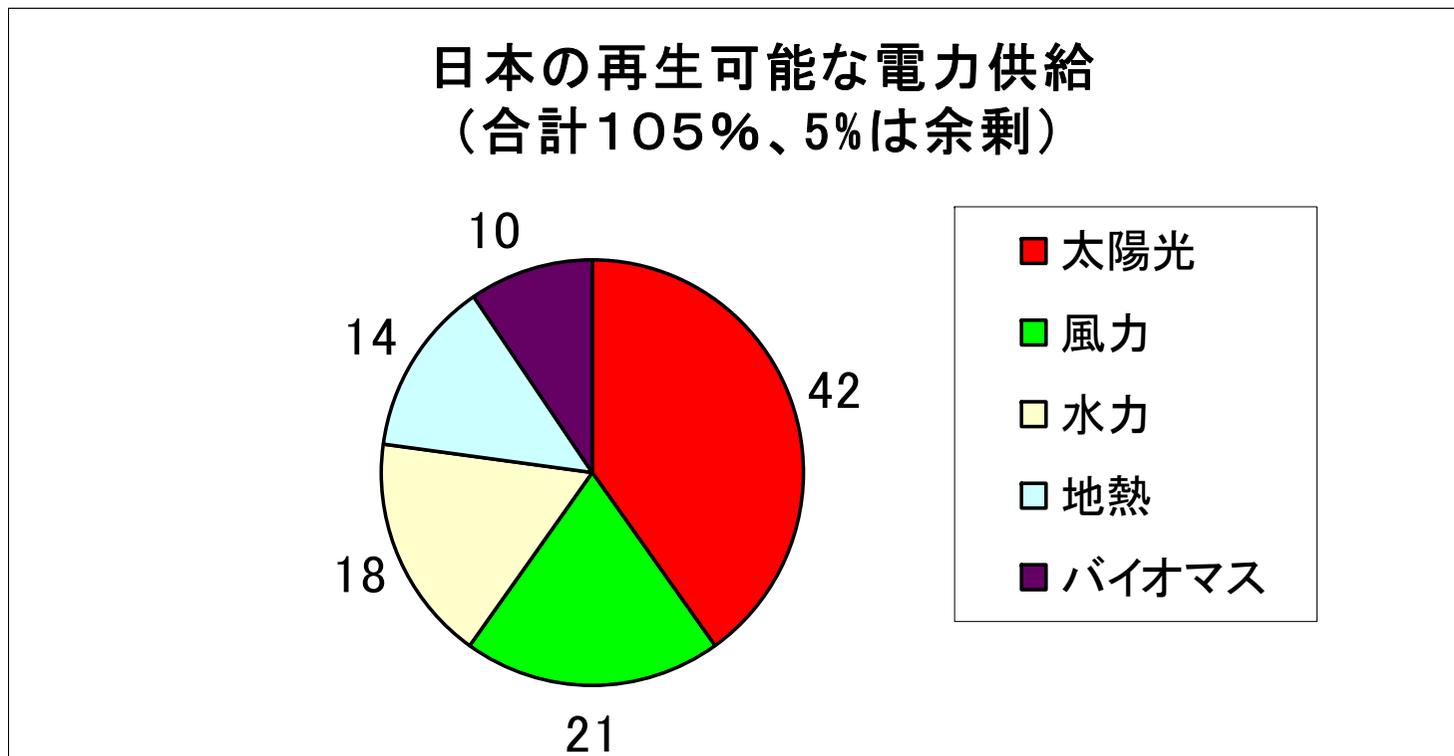
計算の対象とした毎年の設備投資は平均11兆円であり、平均GDP 697兆円に対する割合は、およそ1.6%である

純粹電力需要への供給



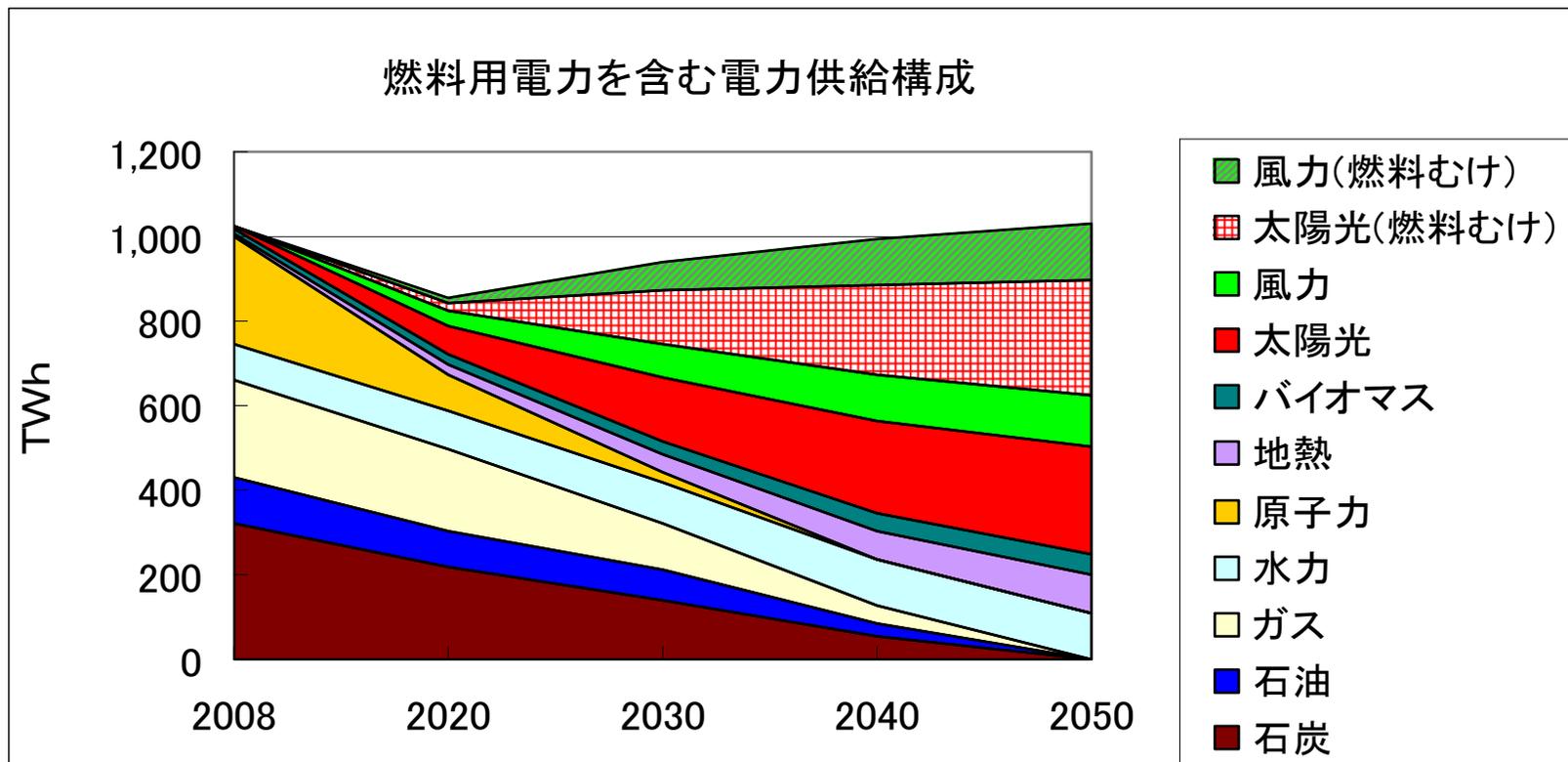
これは純粹電力需要についての供給構成を示している。太陽40%、風力20% (両者の比は2:1と想定) で供給する。2030年には太陽光1億3700万kW, 風力3140万kWになる

日本の再生可能な資源による電力供給の可能性



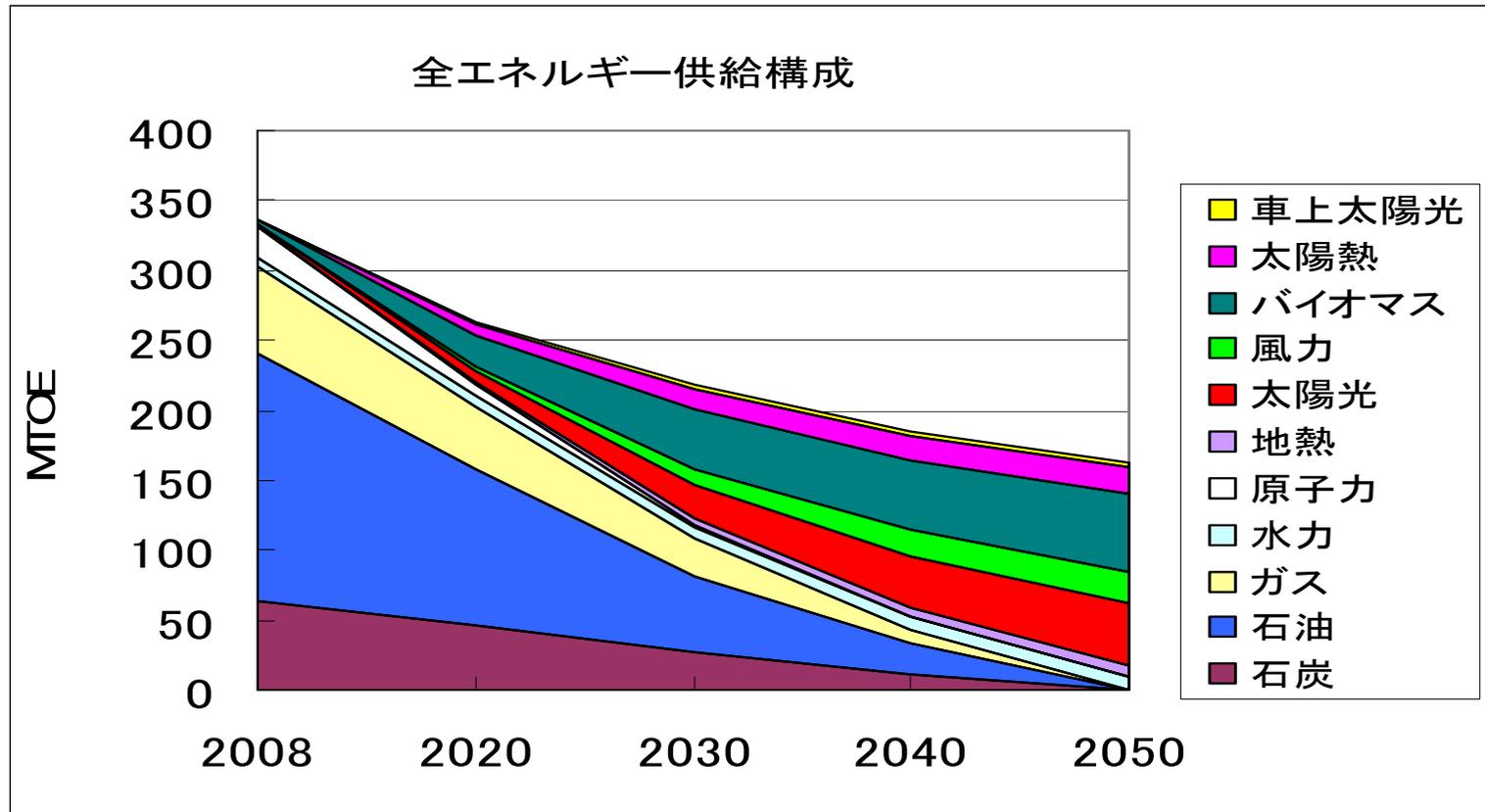
2050年には、電力需要を再生可能エネルギー100%により供給。この構成例では、太陽光発電 2億3000万kW、風力発電 5000万kW、水力発電 2700万kW。5%の余剰が発生する。需要と供給の変動を吸収するのに必要な電力貯蔵システムは、現状の揚水発電の3~4倍程度である。

燃料用電力を含む電力供給の構成



純粹電力需要を100%とするとき、燃料用電力も供給するため、2050年には、右上に示すように、太陽光(40→84%)、風力(20→42%)は増加する。このとき燃料用に供給する余剰電力は64%になる。

全エネルギー供給構成



2050年に向かって化石燃料に代わってバイオマス、太陽光、太陽熱、地熱、水力が増大してゆく。

100%自然エネルギーシナリオの概要

- 1) 人口減少と省エネルギー技術の適用によって2030年のエネルギー需要は2008年のおよそ70%に減少する
- 2) 太陽光と風力は1年間の供給量に不足が生じないように十分な容量を設定し、発生する余剰電力を燃料用に供給する。
- 3) 2050年の電力用には太陽光発電2.3億kW,風力発電5000万kWの規模になる。燃料用を含めると太陽光発電4.7億kW、風力発電1.1億kWの規模になる。
- 5) 供給変動には揚水発電とバッテリーを利用して対応する。
- 6) 1年間の1時間ごとのダイナミック・シミュレーションにより9電力会社の地域の不足電力をもとめ、送電容量を推定した。
- 7) 自動車用には、太陽光と風力の余剰電力を利用して、電気自動車(EV)に電力を、燃料電池車(FCV)に水素を供給する。