

脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案 ＜中間報告・省エネルギー＞



WWFジャパン
省エネルギーシナリオ発表会
航空会館、東京
2011年7月22日

システム技術研究所
榎屋 治紀
<http://www.systemken.com>

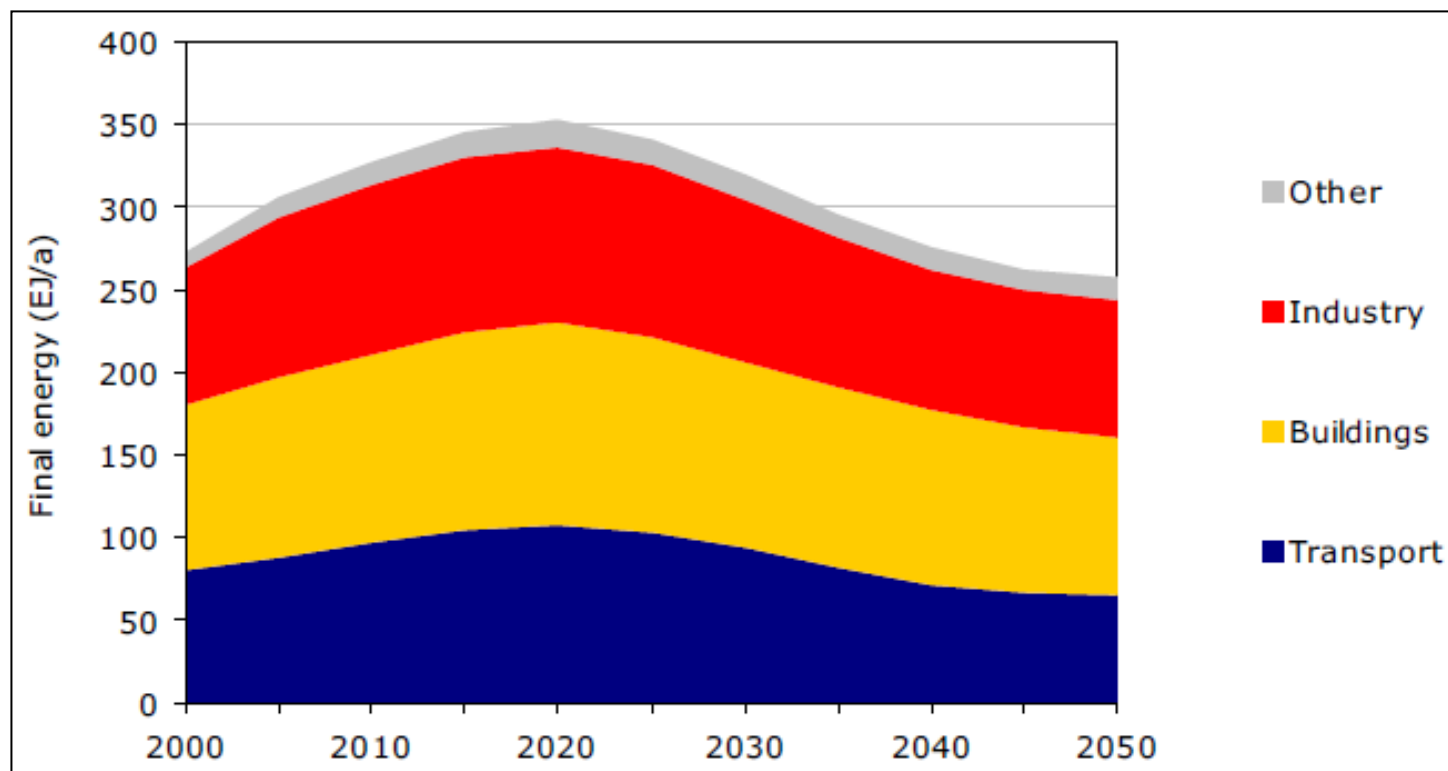
概要：脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案 ＜中間報告・省エネルギー＞

- 最近の節電状況と省エネルギー
- WWF 100% Renewable Report (2011)
- WWF ジャパン シナリオ研究
- 既存の2050年エネルギーシナリオ (BAU)
- WWF 省エネルギーシナリオ
- 民生部門 (家庭、業務、照明、断熱化、エアコンCOP)
- 産業部門 (鉄鋼業、モータのインバータ制御など)
- 輸送部門 (PHV/EV/FCV、カーシェアリング、エコドライブ、TV会議、モーダルシフト)
- 省エネルギーシナリオ比較
- 2050年再生可能エネルギーによる供給
太陽光+風力を含むダイナミックシミュレーション
- エネルギー耕作型文明

最近の節電状況と省エネルギー

- ・ 2011年3月の原子力発電所の事故以来、政府の節電要請が行われ、多くの節電情報が知られるようになった。
- ・ LED電球が急速に価格低下を惹き起こして、オフィスや家庭で利用され始めている。天井照明の代わりに卓上LED電気スタンドを使用する例もある。
- ・ 電車や地下鉄でラッシュアワー以外の20%間引き運転、地下鉄通路やオフィスで間引き照明が行われている。欧米と比較して、日本では照明が強すぎるという意見が昔からある。
- ・ 休日のシフト（自動車産業は木金を土日シフト）や、サマータイム（4時に終業）を実施する企業がある。これはピークシフトに有効。
- ・ すだれの売れ行きが多くなり、エアコンの代わりに扇風機を使う人が増えている。
- ・ 一回限りのことだけでなく、このような節電意識が、人々のライフスタイルの中に浸透すれば、将来のエネルギー消費は大きく変わってくる。

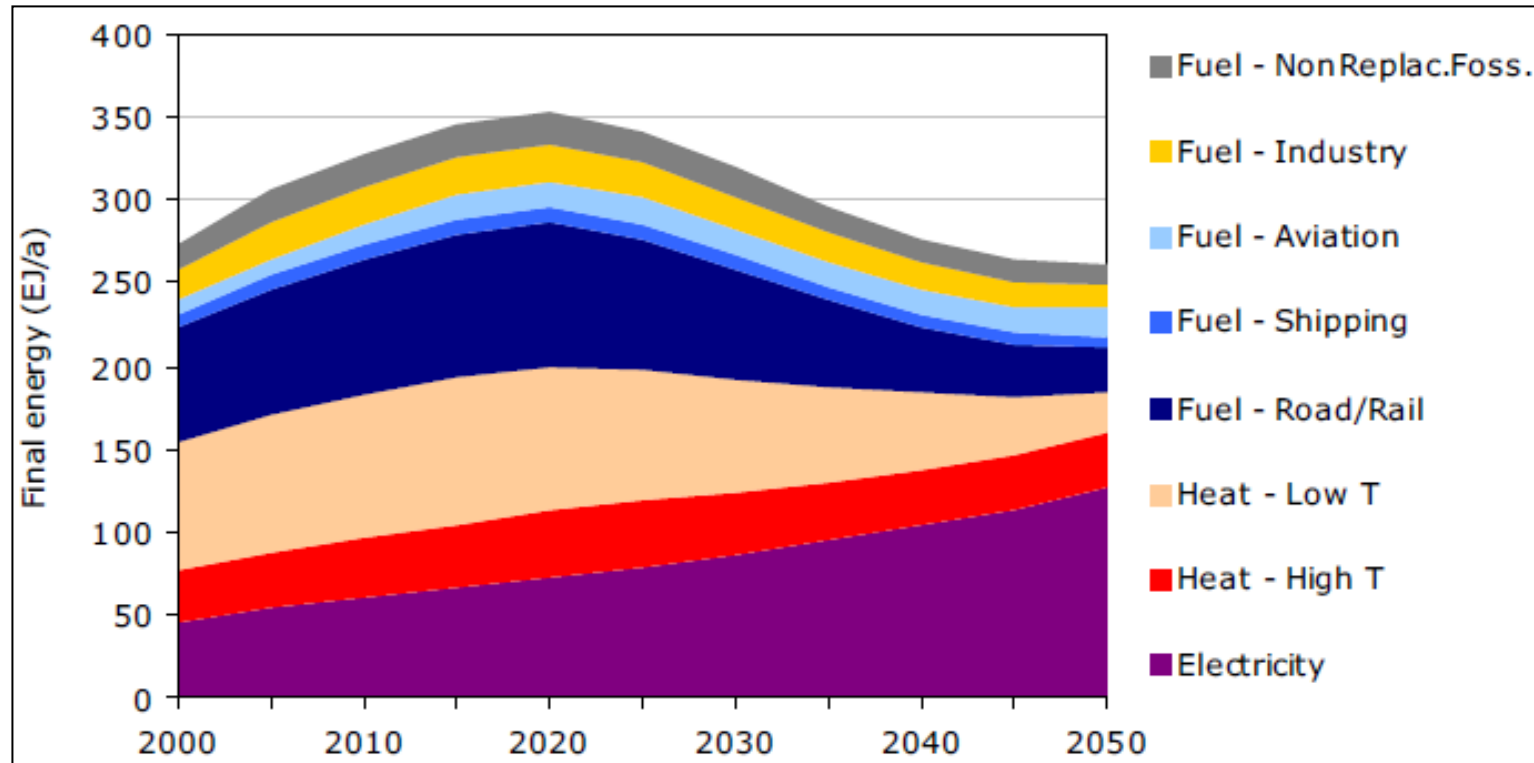
WWF Report 100% Renewable Energy by 2050 グローバルな部門別最終エネルギー需要



上図は、2050年までのグローバルな最終エネルギー需要構成を部門別に示す。2020年まで増加するが、2050年には現状とほぼ同じ低度になる(2011)

最終エネルギー種別構成

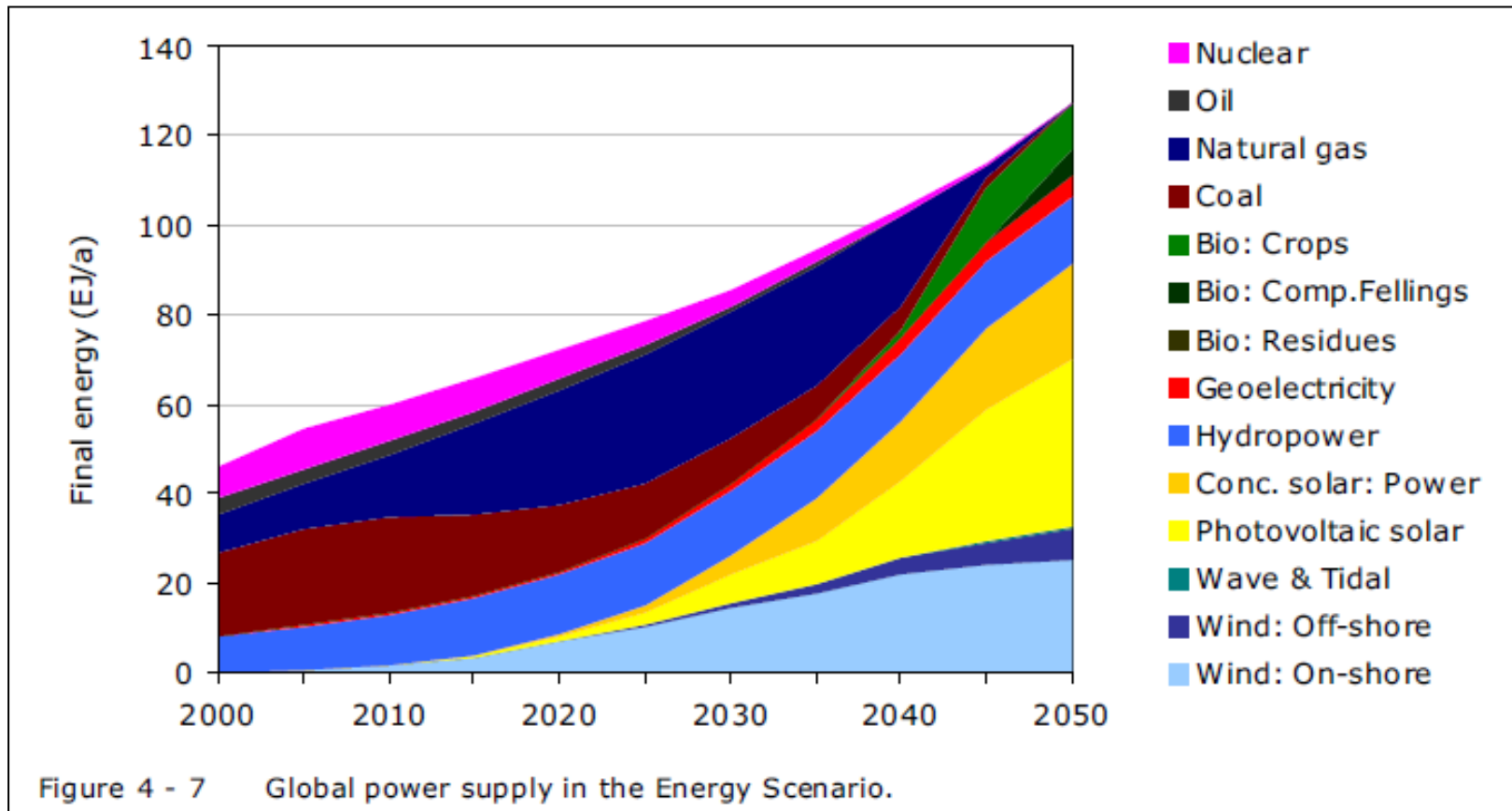
WWF Report 100% Renewable Energy by 2050



上図は、2050年までのグローバルな最終エネルギー種別構成を示す。電力、高温熱、低温熱、燃料(自動車、船、航空、産業用)、化石燃料に区分されている。電力部分のみ増大が見込まれている(2011)

グローバルな電力供給構成

WWF Report 100% Renewable Energy by 2050



上図は、2050年までのグローバルな電力供給構成を示す。全エネルギー需要は増大しないが、電化率が上昇するので、電力は増大して行く。2050年には、風力+太陽でおおよそ70%を占めている(2011)

WWFJapan シナリオ研究

- 省エネルギーシナリオ（本報告）

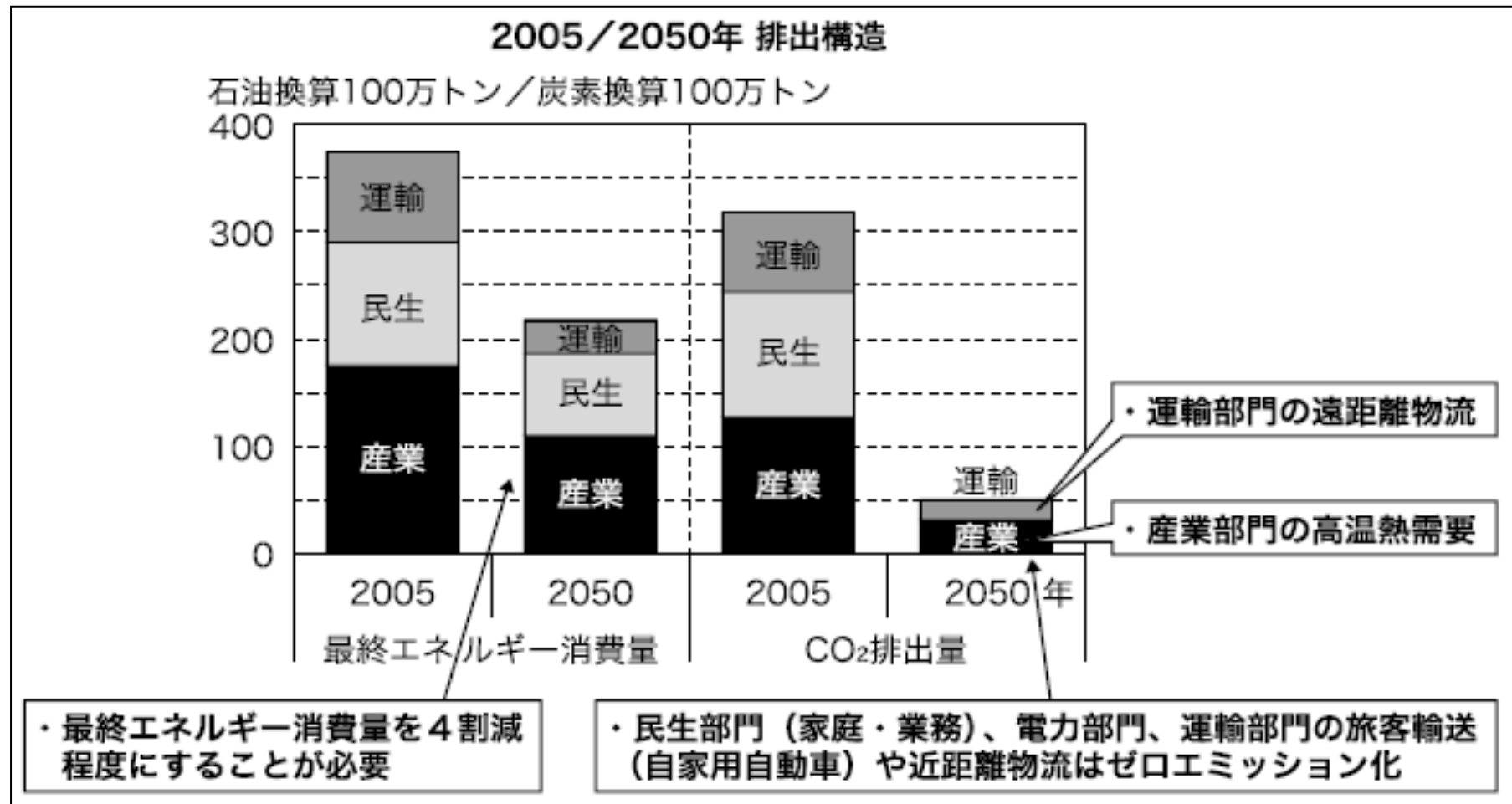
省エネルギーにより、効率を上げて必要なエネルギー需要を小さくするシナリオを研究する。省エネルギーが進めば、環境へ与える影響が小さくなり、再生可能エネルギーによる供給が容易になる。

- 100%再生可能エネルギーシナリオ

上記省エネルギーシナリオをベースに2050年ごろを目標に、日本で必要とするエネルギーのすべてを再生可能エネルギーで供給するシナリオを研究する（現在作成中）

既存の2050年シナリオ研究(1)

脱温暖化2050(国立環境研究所)



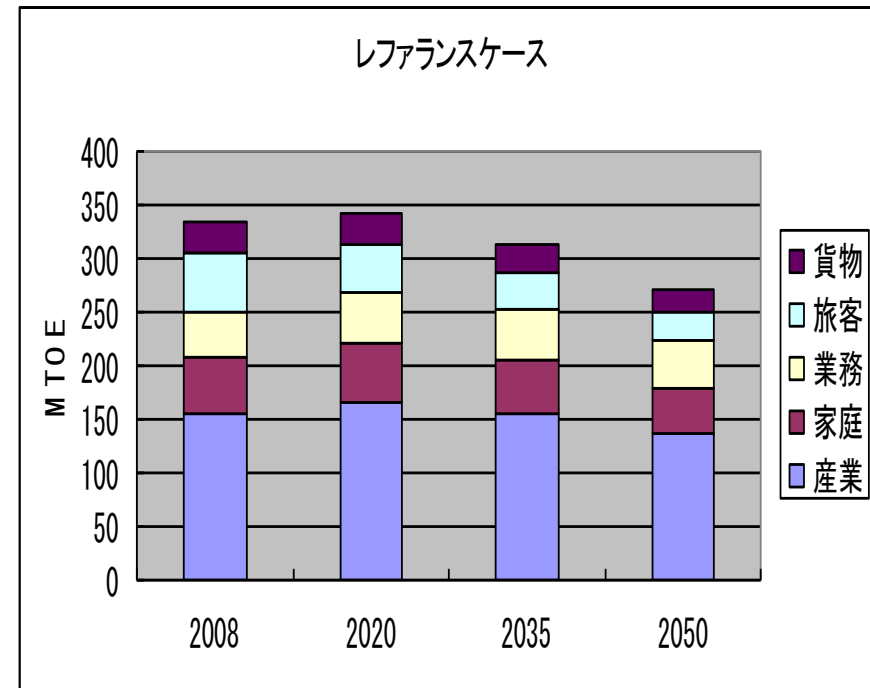
既存の2050年シナリオ研究(2)

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

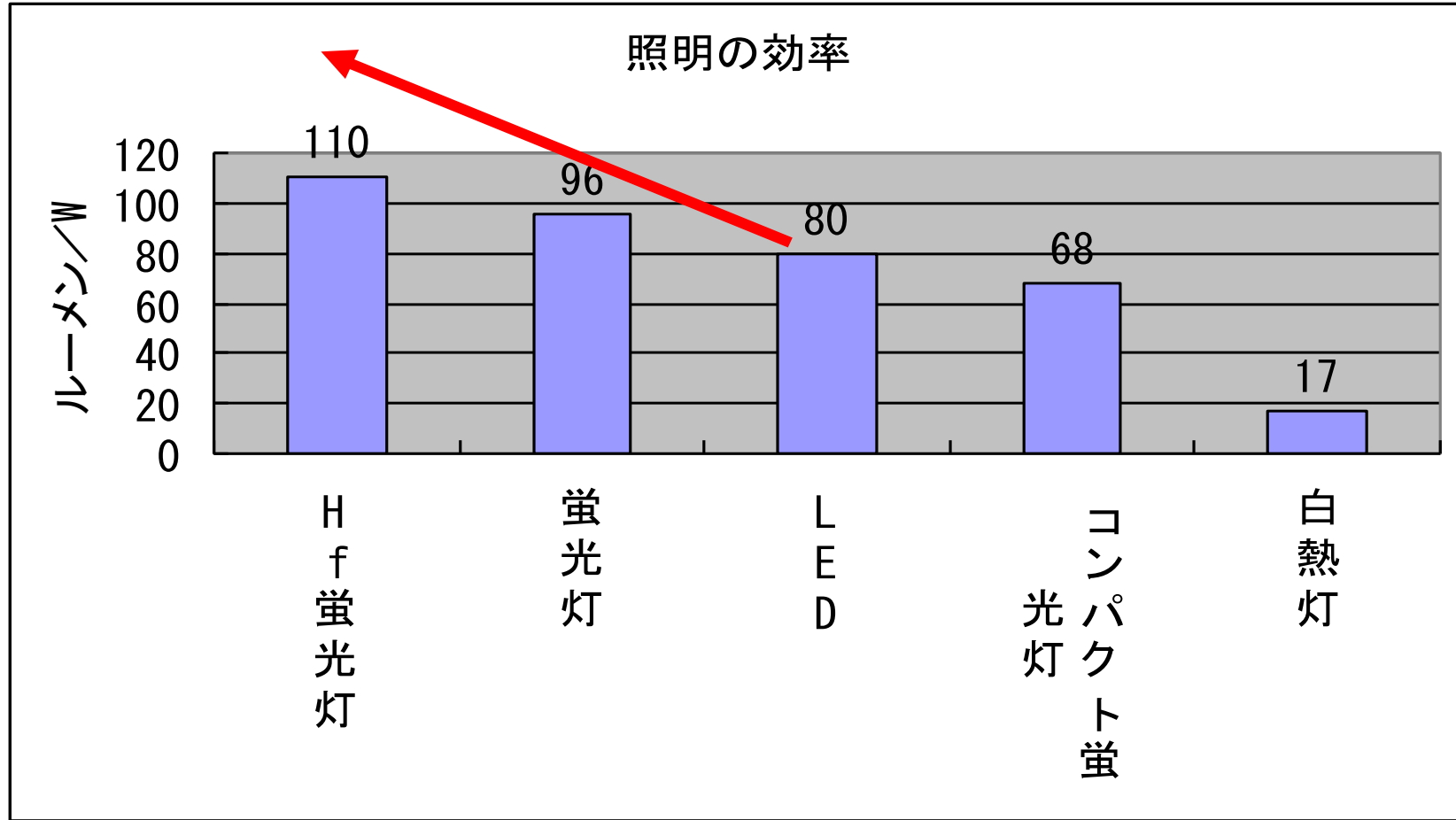


このシナリオをWWF省エネルギーシナリオのBAU (Business as Usual)シナリオとして、参照することにした

WWF省エネルギーシナリオ 効率向上の可能性：家庭部門

	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%になる
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

照明技術の比較



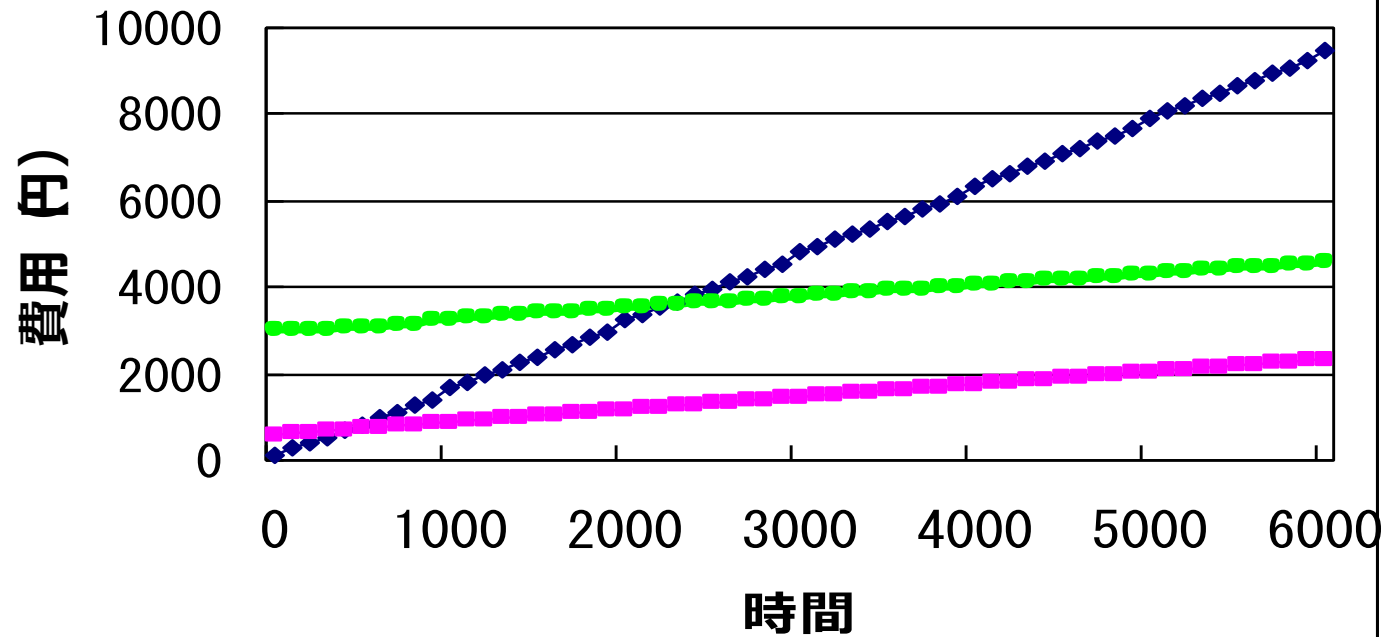
LEDの明るさは、200ルーメン/W以上に改善される見込み。
光が拡散せず、既存電球に比較して効率は4倍以上になる。

照明技術の比較

同じ明るさの白熱灯vs電球型蛍光灯 vsLEDライト

電気代+電球代)
白熱灯=60w、120円、寿命1000時間
電球型蛍光灯=12w、600円、寿命6000時間
LED=7W、3000円、寿命4万時間

◆ 白熱灯
● LED
■ 電球型蛍光灯



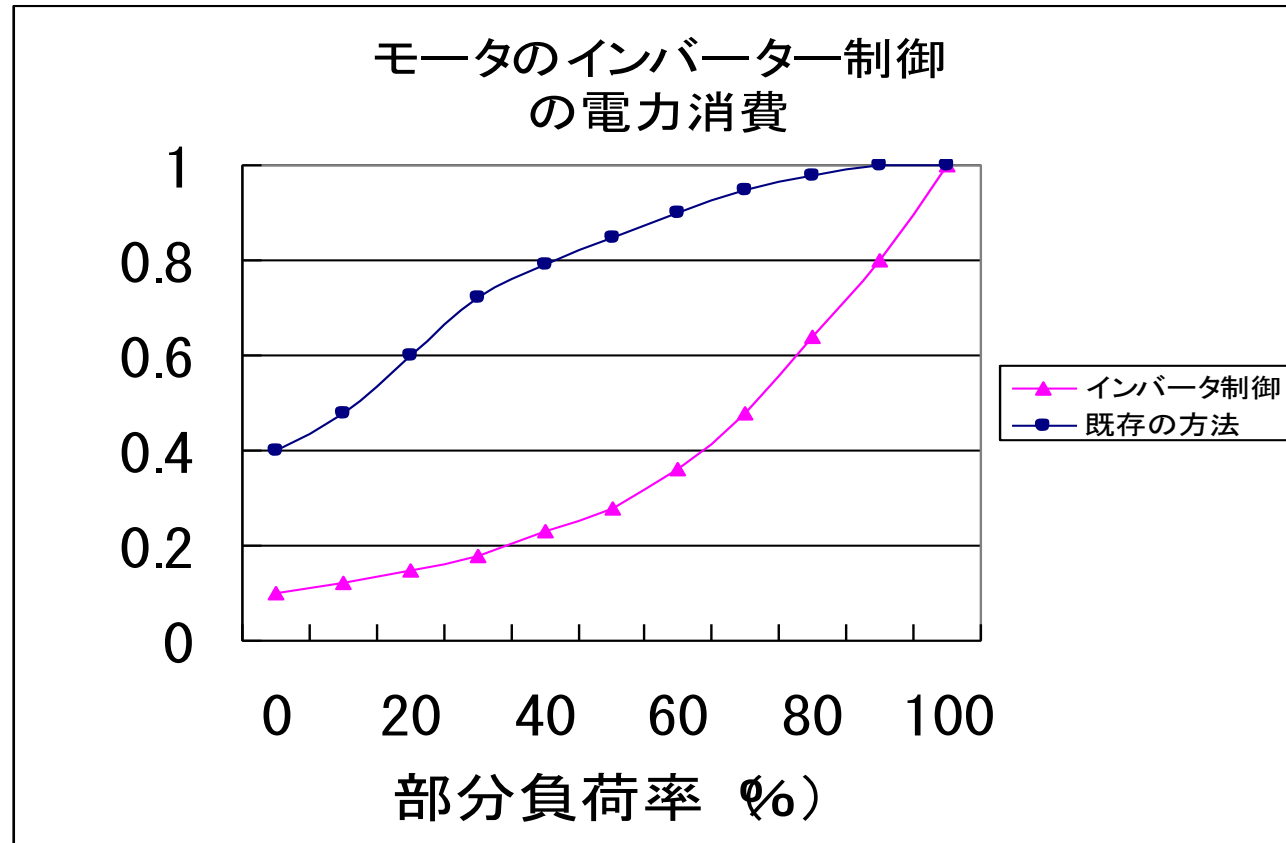
WWF省エネルギーシナリオ 効率向上の可能性：業務部門

	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、クールビズで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

WWF省エネルギーシナリオ 効率向上の可能性：産業部門

	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ーの広範な導入により、効率が30%向上する

モータの効率向上



通常、モータの効率は、部分負荷時には低下する。インバータ制御にすると部分負荷時の電力消費を小さくできる

WWF省エネルギーシナリオ 効率向上の可能性：運輸部門

	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 将来のエネルギー需要の計算方法

将来のエネルギー需要＝

基準年のエネルギー需要×活動指数×効率向上

基準年：2008年

活動指数：人口、世帯数、GDP、主要資源生産量、材料
資源指数

それぞれの最終エネルギー用途別に、最も関係の深い活動指数を用いて将来の値を計算した。活動指数のうちGDPのみが増大する。情報・サービス産業などに関係する最終エネルギー用途（金属機械産業、業務部門など）の活動指数をGDPとした。

WWF省エネルギーシナリオ 主要指標

主要数値	2008	2020	2030	2050
人口(万人)	12,769	12,282	11,477	9,520
人口比(2008年比)		0.96	0.90	0.75
実質GDP(2000年価格)	544.1	656.8	730.4	850.6
実質GDP比(2008年比)		1.21	1.34	1.56
世帯数(万世帯)	5,233	5,446	5,269	4,519
世帯数比(2008年比)		1.04	1.01	0.86
鉱工業生産指数(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
材料資源指数(2008年比)	1.000	1.007	0.951	0.795

材料資源指数＝粗鋼＋エチレン＋セメント＋紙・板紙

WWF省エネルギー シナリオ 活動指数

家庭部門	活動指数
冷房・暖房・給湯・厨房	世帯数
動力他	GDP

運輸部門	活動指数
旅客輸送	人口
貨物自動車	材料資源
航空貨物	GDP

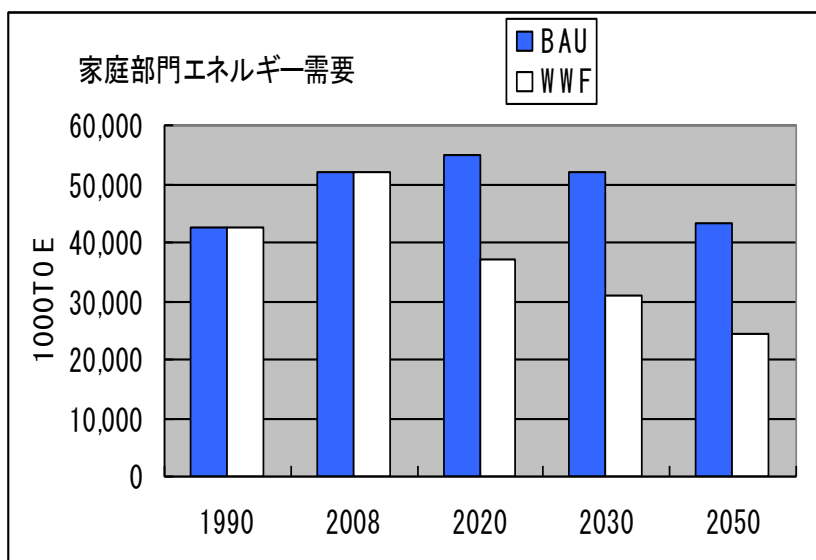
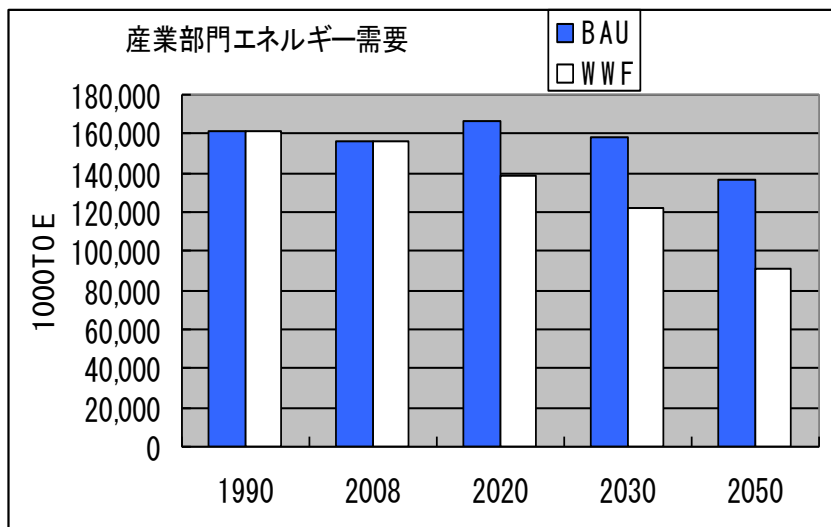
産業部門	活動指数
鉄鋼・化学・窯業・紙パルプ	生産量
食品・繊維	人口
非鉄金属	材料資源
金属機械	GDP

業務部門	活動指数
冷房・暖房・動力他	GDP (情報サービス化)
給湯・厨房	人口

WWF省エネルギーシナリオ

結果まとめ(産業部門、家庭部門)

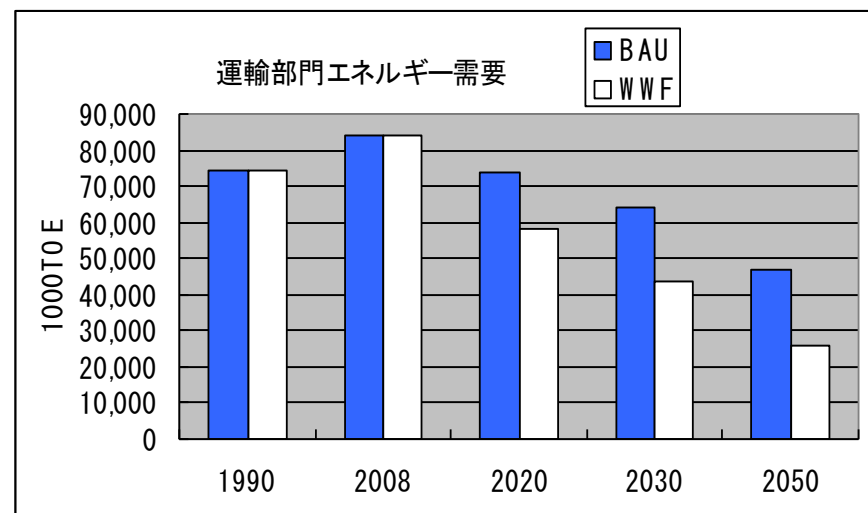
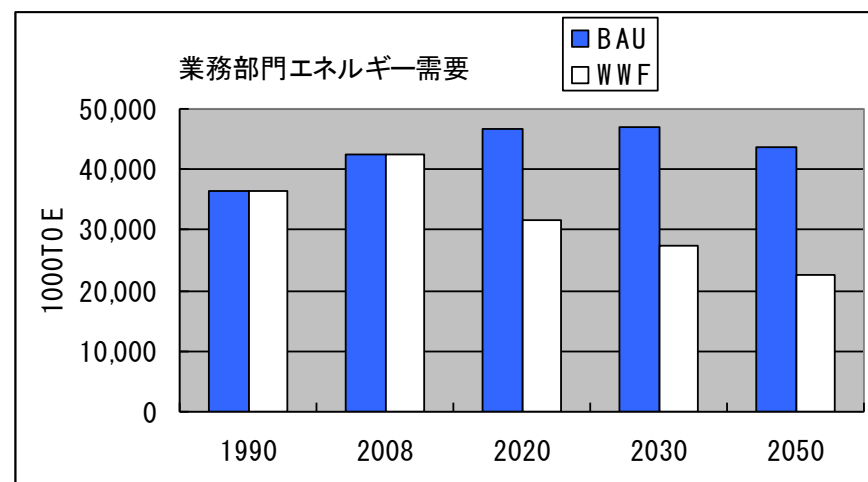
エネルギー (100 TOE)	2008	2020	2030	2050
産業部門計 (BAU)	155,988	166,309	158,732	136,499
産業部門計 (WWF)	155,988	138,384	122,114	91,543
非製造業	9,123	8,336	7,380	5,441
製造業	146,865	130,048	114,734	86,101
素材系	103,928	92,936	80,590	56,478
鉄鋼	37,801	36,238	29,115	16,945
化学	48,056	42,609	38,483	29,460
窯業・土石	9,604	6,649	5,886	4,253
紙パルプ	8,467	7,440	7,106	5,820
非素材系	42,937	37,112	34,144	29,623
食品・タバコ	5,827	4,596	3,980	3,041
繊維	2,073	1,635	1,416	1,082
非鉄金属	3,377	2,992	2,697	2,148
金属機械	10,656	10,548	10,872	11,661
その他	21,004	17,341	15,179	11,691
民生部門計 (BAU)	92,117	101,780	99,025	87,093
民生部門計 (WWF)	92,117	68,759	58,307	46,854
家庭計 (BAU)	51,902	54,957	51,906	43,228
家庭計 (WWF)	51,902	37,211	30,940	24,262
冷房	1,132	615	376	176
暖房	12,739	6,920	4,233	1,980
給湯	15,014	10,938	9,071	6,483
厨房用	4,267	3,641	3,265	2,579
動力他	18,750	15,097	13,995	13,044



WWF省エネルギーシナリオ

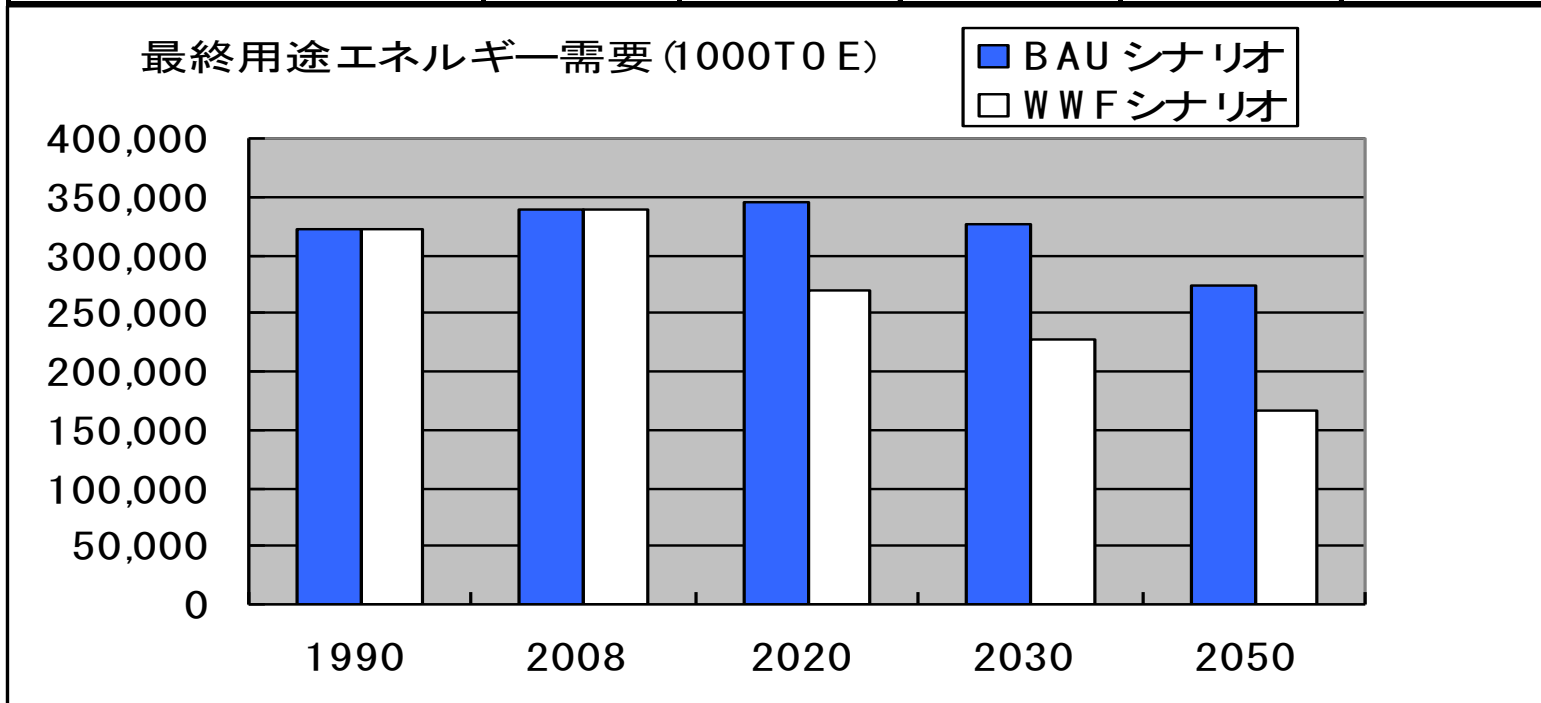
結果まとめ(業務部門、運輸部門)

エネルギー (000TOE)	2008	2020	2030	2050
業務計 (BAU)	42,338	46,823	47,120	43,805
業務計 (WWF)	42,338	31,548	27,367	22,592
冷房	5,068	3,650	3,144	2,597
暖房	6,765	4,957	4,323	3,649
給湯	6,451	5,274	4,343	3,102
厨房用	3,761	2,966	2,749	2,532
動力他	20,294	14,700	12,807	10,712
運輸部門計 (BAU)	84,255	73,707	64,206	46,916
運輸部門計 (WWF)	84,255	58,271	43,824	25,820
旅客計 (BAU)	54,771	45,784	38,187	25,262
旅客計 (WWF)	54,771	35,474	26,511	16,624
自家用乗用車	45,447	28,414	20,545	12,196
営業用乗用車	1,376	860	622	369
バス	1,447	1,141	988	755
鉄道	1,905	1,612	1,438	1,136
海運	166	131	113	87
航空	4,430	3,315	2,803	2,081
貨物計 (BAU)	29,485	27,923	26,019	21,654
貨物計 (WWF)	29,485	22,798	17,313	9,196
貨物自動車	25,040	19,110	14,072	6,670
鉄道	128	124	122	122
海運	3,771	3,113	2,725	2,099
航空	546	451	395	304



WWF省エネルギーシナリオ 最終エネルギー消費

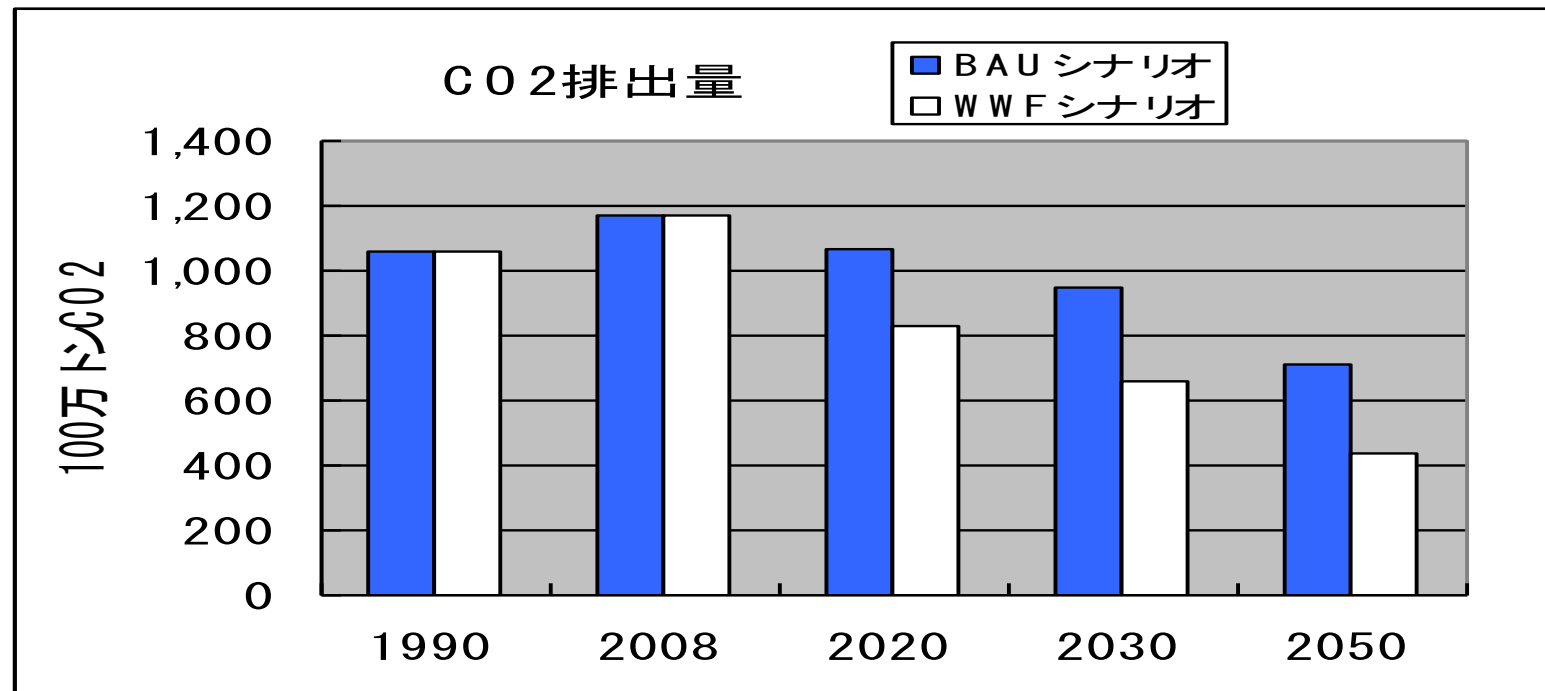
エネルギー (1000TOE)	1990	2008	2020	2030	2050
BAUシナリオ	322,869	338,948	345,971	325,798	273,522
WWFシナリオ	322,869	338,948	269,590	228,078	167,291



WWFシナリオの2050年の最終エネルギー消費は、1990年比で51.8%に低下した

WWF省エネルギーシナリオ CO₂排出量

CO ₂ (100万トンCO ₂)	1990	2008	2020	2030	2050
BAUシナリオ	1,059	1,168	1,067	946	712
WWFシナリオ	1,059	1,168	831	662	435



WWFシナリオの2050年のCO₂排出量は、1990年比で41%に低下した。これは、BAUのCO₂排出係数を利用した計算であり、再生可能エネルギーの供給増加によってさらに低減する。

WWF Japan 2050年 100%再生可能エネルギーシナリオ

(現在検討中)

- ・再生可能な資源からの電力の供給
水力、太陽光、風力、地熱、バイオマスを利用して、1時間ごとのダイナミックシミュレーションにより電力需要とのバランスをとり、余剰電力、必要な蓄電容量を計算する
- ・電力以外：太陽熱、バイオマスの利用、ソーラーアシストカーなど。さらに再生可能な電力供給の余剰部分から水素を生産して、高温熱需要や燃料電池車に利用する

再生可能な電力供給の可能性

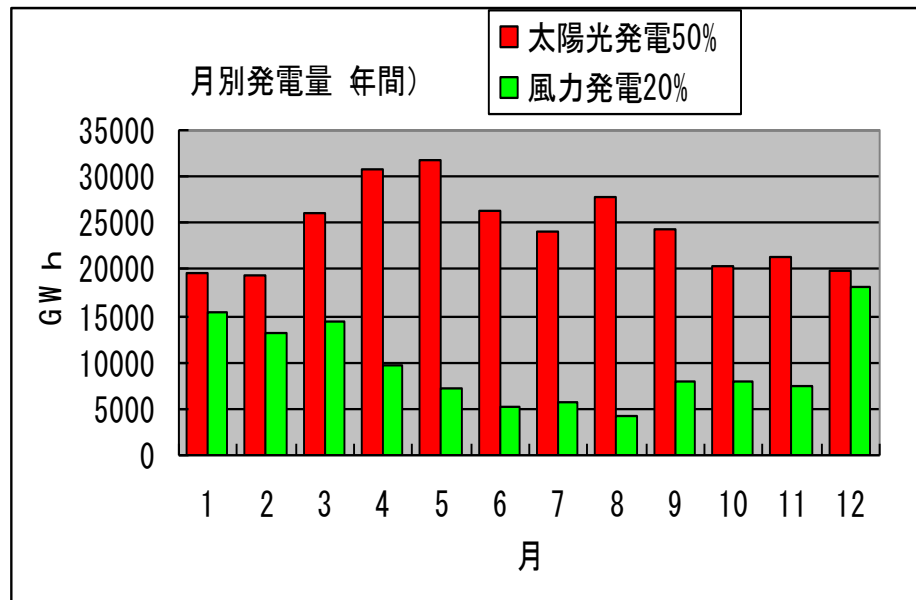
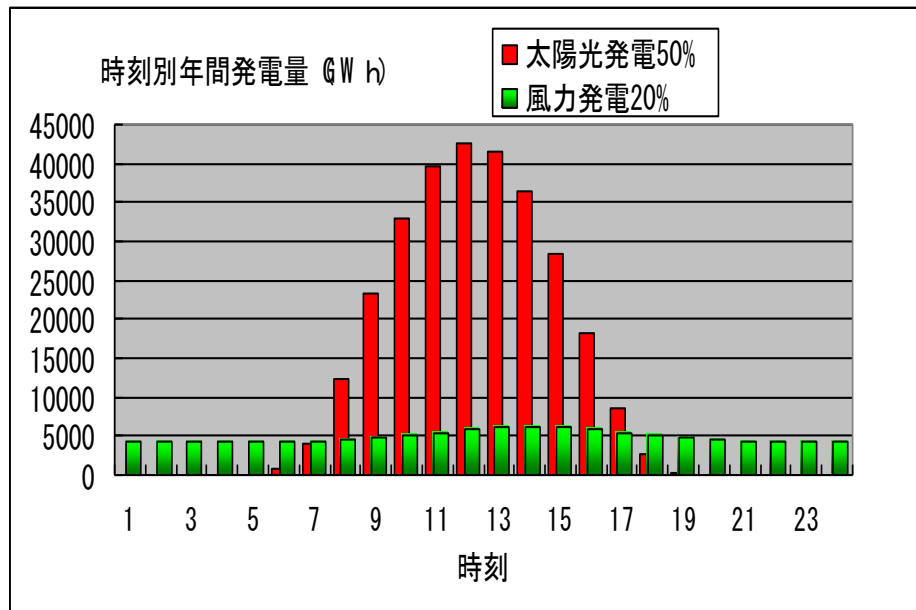
エネルギー源	現状の規模	現状電力量 (億 kWh)	2050年の可能 性規模(万kW)	2050年の電力量 (億 kWh)
	万 kW (2008)			
水力発電	2,000	576	2,760	1,117
太陽光発電	280	28	70,000	7,600
風力発電	216	47	30,000	4,600
バイオマス発電	10	11	1,588	1,182
地熱発電	50	33	1,178	826
合計	2,556	695	105,526	15,325

太陽光発電の発電量

日本国内の60サイトの緯度・経度、方位角(真南)、最適パネル傾斜角(=緯度-5度)を入力して、1時間ごとの気象データの水平面輻射量を直達光と散乱光に分解してパネル面上の輻射量を計算し、これより1年間の発電量をもとめる

風力発電の発電量

日本国内の150サイトの1時間ごとの風速データから、2MW機のハブ高さの風速を求め、有効風速範囲(カットイン3m/s、カットアウト25m/s)を指定して発電量をもとめる

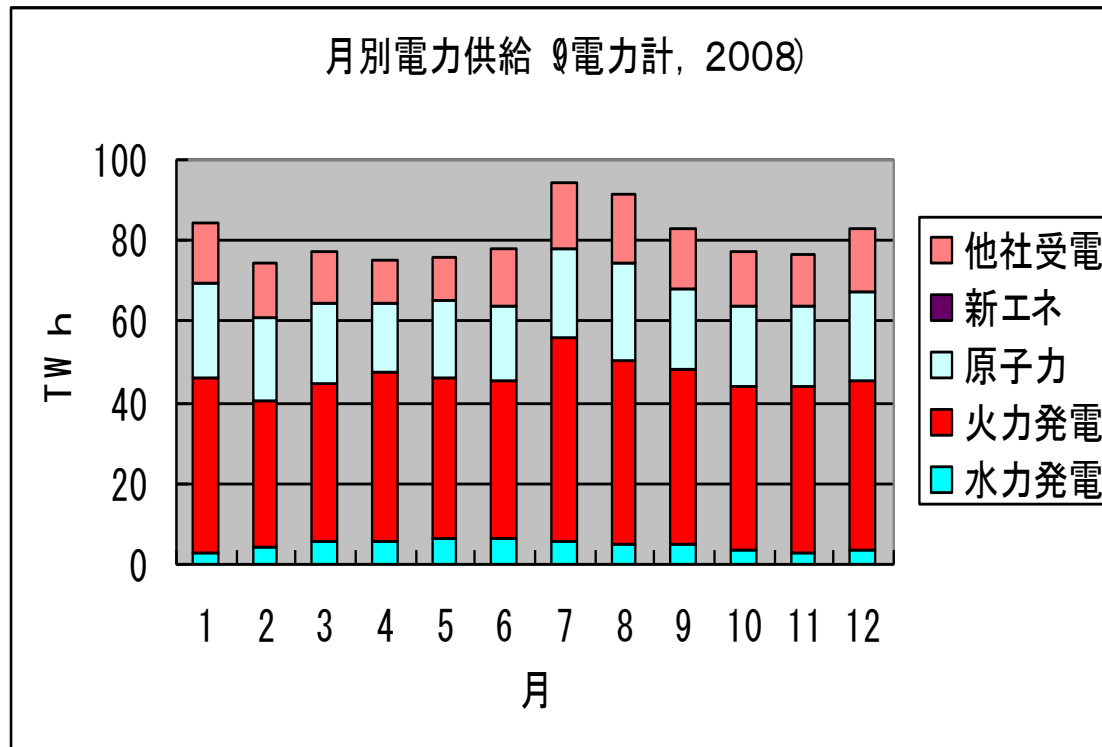


全国のサイトの 太陽光と風力の集計

太陽光は当然、昼間のみ。
風力発電は24時間どの時間
でも発電しているが、季節的
にみると夏が小さく冬が大き
い。

図は電力需要に対して、太
陽光50%、風力20%の供給
構成にした場合を示している。

日本の月別電力供給構成 (沖縄を除く9電力計、2008)

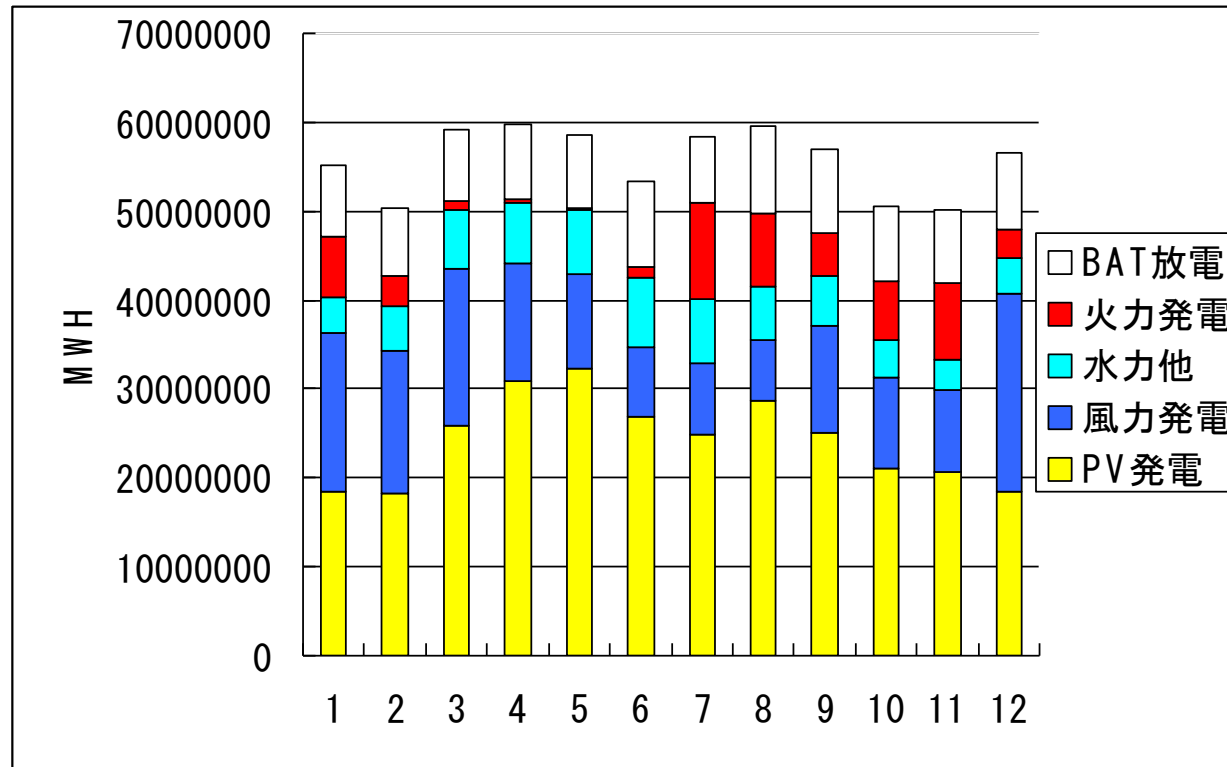


1日の時刻別電力 需要パターン (最大値を100)



9電力各社の月別供給構成と、1日の時刻別24時間の電力需要パターンから、1時間ごとの電力需要を再構成した。

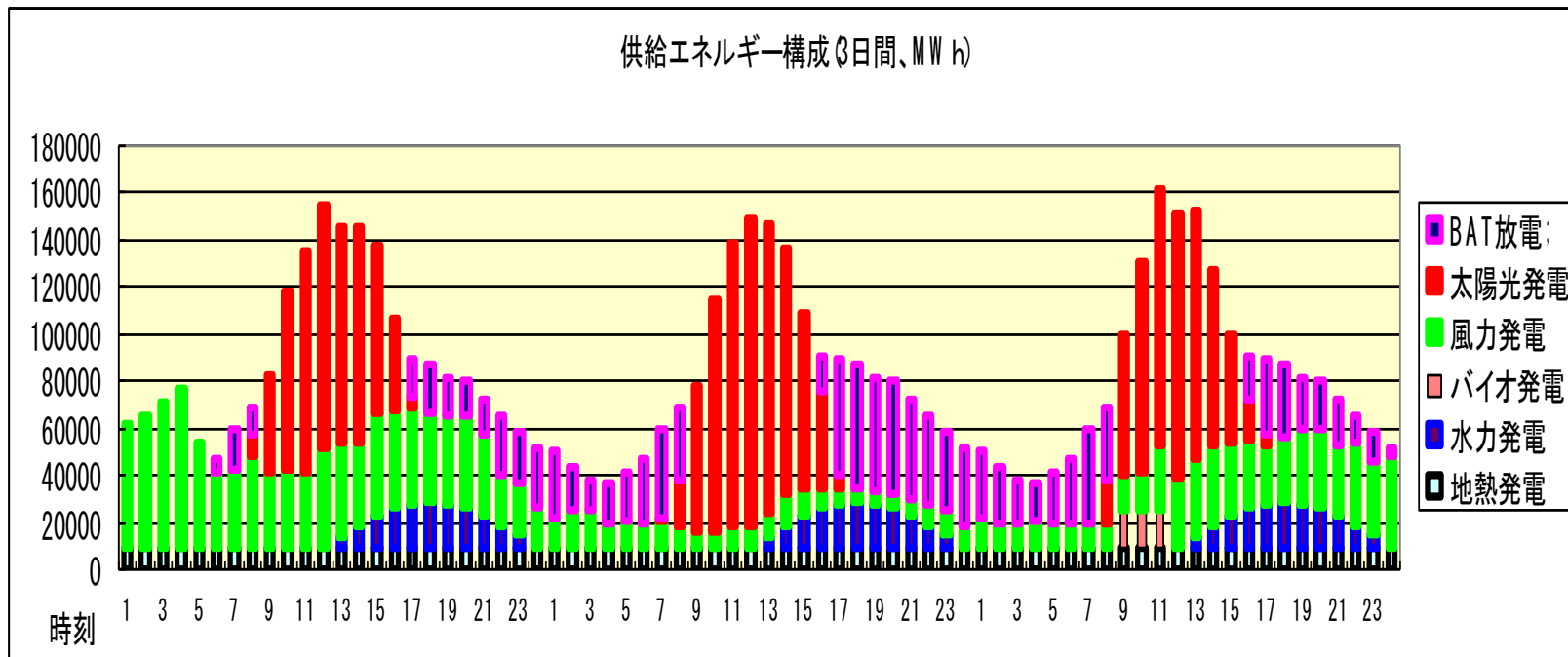
再生可能エネルギーによる電力供給(例)



太陽光発電50%、風力発電20%、水力+地熱+バイオマスで25%程度、10%がバックアップ

日本の再生可能電力供給パターン

気象データによる3日間のシミュレーション



昼間の太陽光発電から供給し、これを風力発電が補う。水力発電は午後から夜間のピークに当てる。バッテリーからの放電が不足を補う。地熱発電は1年中一定の電力を供給する。

太陽光50%+風力20%:日本の再生可能電力供給2050 (構成例)

年間電力需要	578,097GWh	(100%)
年間電力需要は、2008年の60%と想定 (沖縄を除く9電力社地域)		
発電量合計	613,641GWh	(106.15%)
太陽光発電	2億4000万kW	(50%)
風力発電	2,879万kW	(20%)
水力発電	2,760万kW	(13.64%)
地熱発電	482万kW	(5.11%)
バイオマス	518万kW	(6.66%)
バックアップ電力 (ガス火力)	10.73%	
余剰電力	4.63%	
バッテリー損失	1.49%	
(%は、年間電力需要に対する割合)		

項目	単位	9電力計
太陽光発電容量	MW	241,847
風力発電容量	MW	28,796
バッテリー容量	GWh	533
年間電力需要	GWh/年	578,097
年間平均電力	MW	65,993
ピーク電力需要	MW	101,300
発電量合計	GWh/年	613,641
発電シェア合計	%	106.15
太陽光発電シェア	%	50
風力発電シェア	%	20
水力発電シェア	%	13.64
地熱発電シェア	%	5.11
バイオマス発電シェア	%	6.66
ガス火力発電シェア	%	10.73
ガス火力発電最大出力	MW	49,173
BAT充電量	GWh/年	86,424
BAT放電量	GWh/年	82,206
BAT損失電力量	GWh/年	8,641
BAT損失電力量/電力需要	%	1.49
最大BAT充電レベル	%	100
平均BAT充電レベル	%	35.31
余剰電力量	GWh/年	26,777
余剰電力量/電力需要	%	4.63

エネルギー文明の転換

エネルギー狩猟型文明

地下から化石燃料(石油、石炭、天然ガス)を掘り出す。
二酸化炭素を排出し、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、太陽光発電、太陽熱、
バイオマス、風力などを農業のように永続的に利用する。
およそ1万年前に、人類は食料に関して「狩猟」から「耕作」へ
の転換を行っている。エネルギーについても同じことが生じる

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁、2030年のエネルギー需給展望、総合資源エネルギー調査会需給部会、2010年6月
- 2) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編、エネルギー・経済統計要覧、発行・省エネルギーセンター、2011年
- 3) 西岡秀三編著、日本低炭素社会のシナリオ、二酸化炭素70%削減の道筋、日刊工業新聞社、2008年
2010年12月に改定された80%削減シナリオは、以下のサイトから入手できる。
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-92/ref01-4.pdf>
- 4) 超長期エネルギー技術ロードマップ、エネルギー総合工学研究所、2006年
- 5) 東京大学RCAST脱温暖化IT社会チーム、電通・消費者研究センター編、2050年脱温暖化社会のライフスタイル、電通、2007年
- 6) 総務省、「地球温暖化問題への対応にむけたICT政策に関する研究会」報告書、(H20年4月)
- 7) 榎屋、エネルギー耕作型文明、東洋経済新報社、1980
- 8) 榎屋、エネルギーのいま・未来、岩波ジュニア新書、2003