

2050年へ向けた2030年の電源

2013.12.11

自由民主党国家戦略本部勉強会

JST低炭素社会戦略センター

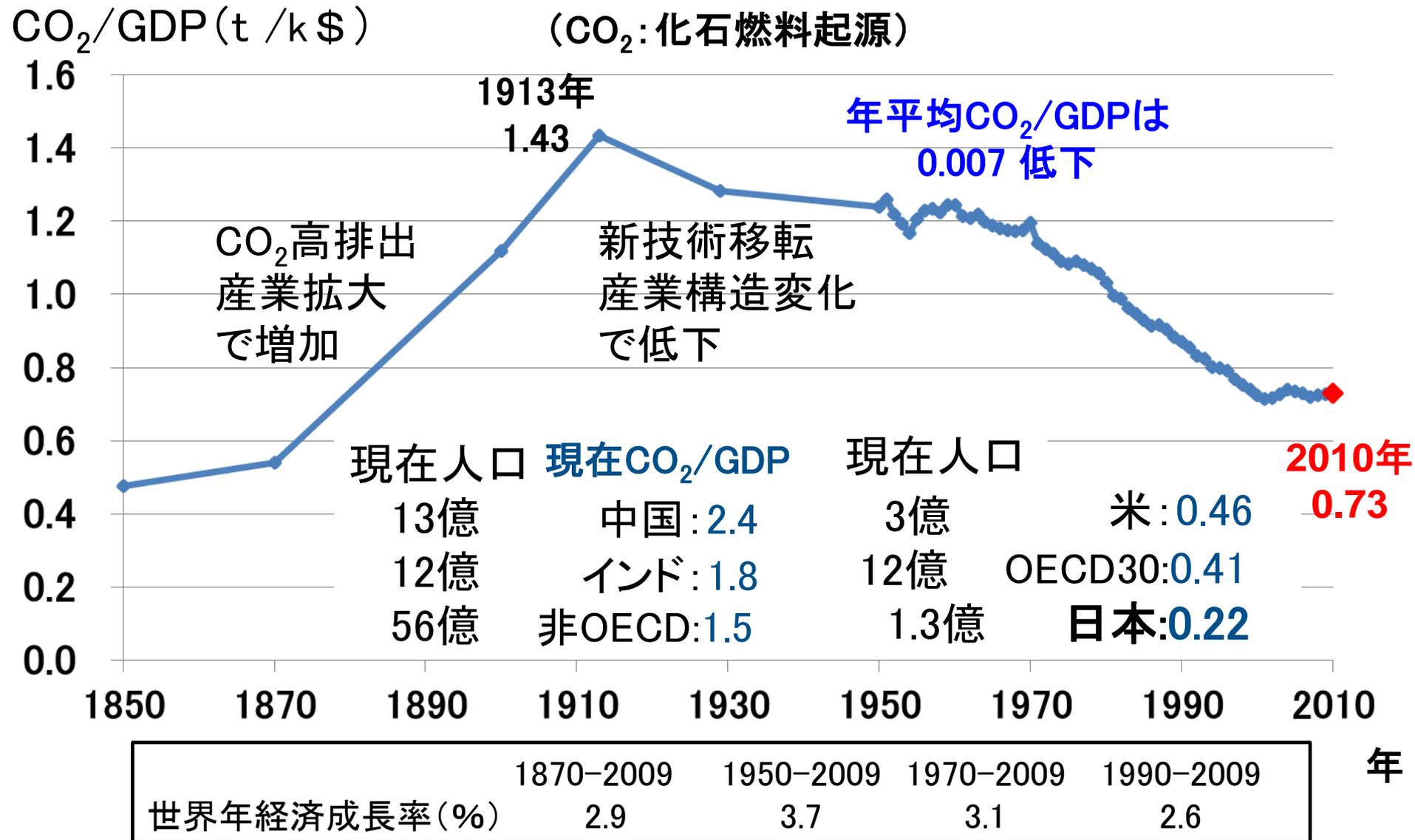
山田興一

発表内容

環境、経済が両立する電源構成構築へ向けて

1. 経済成長、社会構造と温暖化予想
2. 再生エネルギー関連技術の発展
(現在～2030年)
3. 大震災後の電力消費
4. 2030年以降の電源構成とコスト、CO₂排出量
5. 各産業のCO₂排出量/付加価値とGDP

世界のCO₂排出量/GDP比の変遷



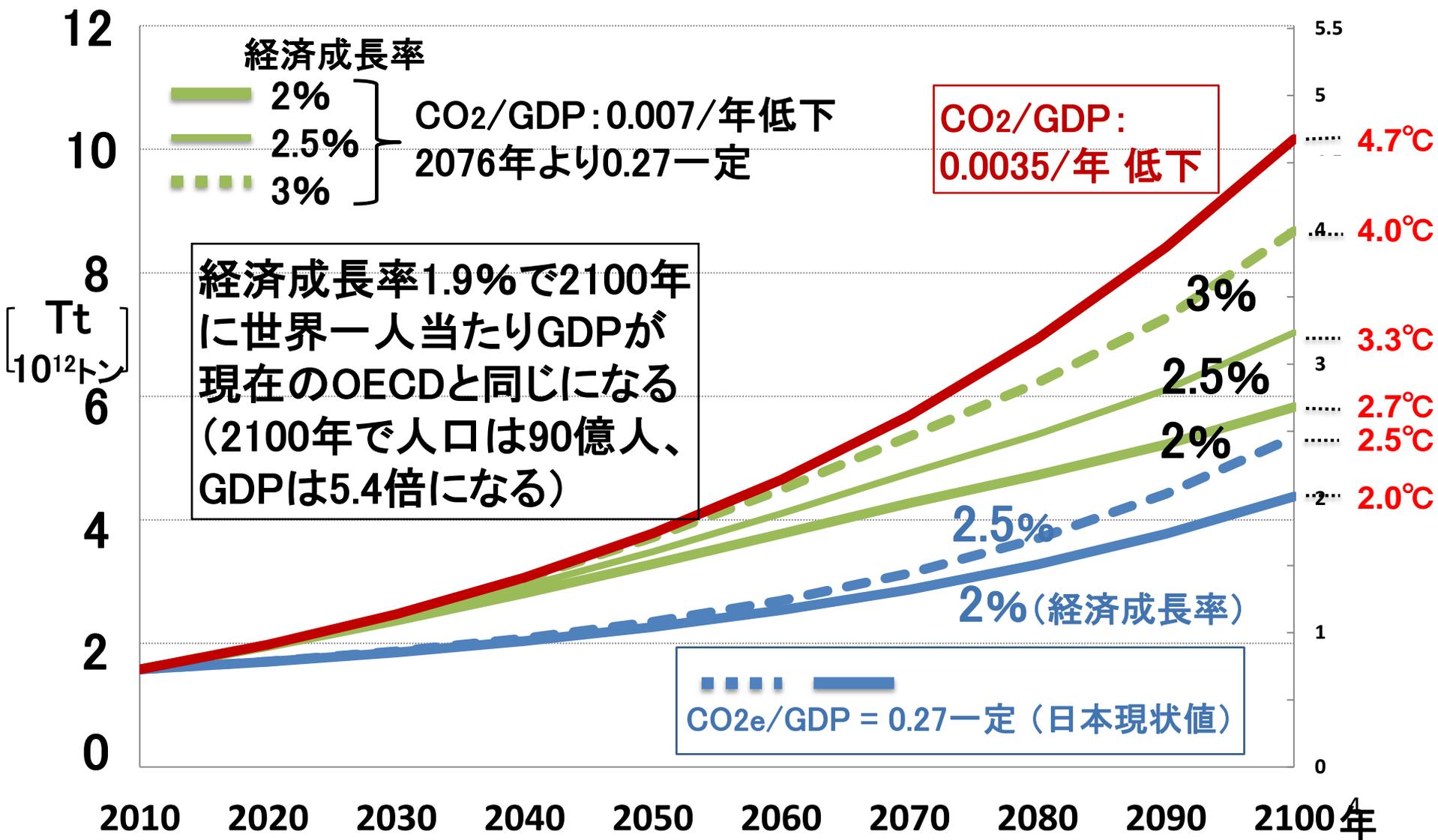
【出典】1971-2010年: GDP、CO₂ともにEDMC(日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット)のデータバンクのデータで計算。1970年以前: GDPはアンガス・マディソン著『世界経済の成長史 1820~1992年』、CO₂はBoden, T.A., G. Marland, and R. J. Andres, 'Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions.' Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/0000P_V2010. 等からのデータで計算。なお、1971-2009年のGDPは2000年基準、1970年以前は1990年基準のため、1971年比率でつなげ2000年基準に合わせた。

累積CO2e排出量と温度上昇

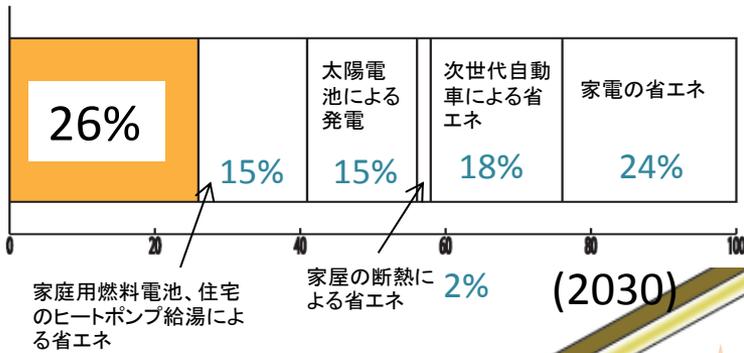
(パラメータ: 経済成長率とCO₂/GDP)

累積CO₂e排出量(Tt) (CO₂e: GHGのCO₂換算量)

温度上昇(°C)



省エネ対策で家庭のエネルギー使用量は1/4になる



LED電球による省エネ
電気代の節約

年収500～550万円世帯の例(12万円/年)

太陽光発電による再生可能エネルギーの利用
電気代の節約

(2030)

※家庭の構成人数や年齢、住んでいる地域や使用する家電製品など、家庭の状況によって変わる。
※「家屋の断熱」については、他の省エネ対策と相補的な関係にある。ここでは他の対策に割り振られていないものを「断熱の効果」としている。

エネルギー効率の良いエアコン
電気代の節約

2010年製のエアコン
年間消費電力量850kWh

家庭用燃料電池、住宅のヒートポンプ給湯等によるエネルギー効率改善

快適な生活、健康

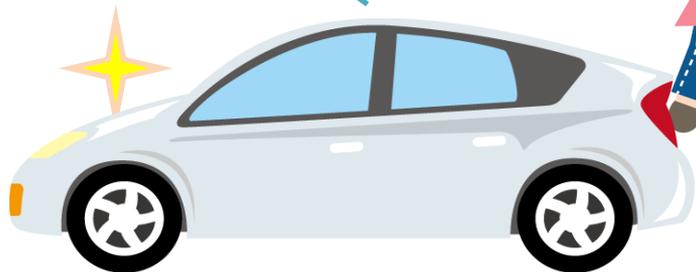
2010年製の冷蔵庫
年間消費電力量220kWh

低燃費車、ハイブリッド車等の利用

断熱材の利用
空調費用の節約

エネルギー効率の良い冷蔵庫
電気代の節約

二重窓による断熱性の向上
空調費用の節約



太陽光発電システム原価の内訳 コスト内訳(円/W)

技術レベル		現状		2020		2030	
太陽電池		単Si 180μm 厚	CIGS	CIGS	新規薄膜	単Si 50μm厚	新CIGS タンデム
モジュール変換効率		17%	13%	18%	15%	20%	30%
年間生産量 (GW/年)		1	1	5	1	5	5
製造 コスト	変動費(原材料費)	76	59	40	34	45	29
	変動費(用役費)	5	2	1	2	2	1
	固定費(設備費・人件費)	22	18	9	12	7	7
モジュール小計(円/W)		103	79	50	48	54	37
S O B	架台 (工事費含む)	33	44	27	32	14	10
	パワーコンディショナ	40	40	20	20	10	10
BOS小計 (円/W)		73	84	47	52	24	20
システム全体 (円/W)		173	163	97	100	78	57
重量当たり (円/g)		1.5	0.7	0.6	0.6	1.0	0.7
CO ₂ ペイバックタイム(年※)		2.5	1.2	0.9	—	1.4	0.5

(G:10⁹)

※年間発電量を1kWh/W、電力源排出量479g-CO₂/kWhとする

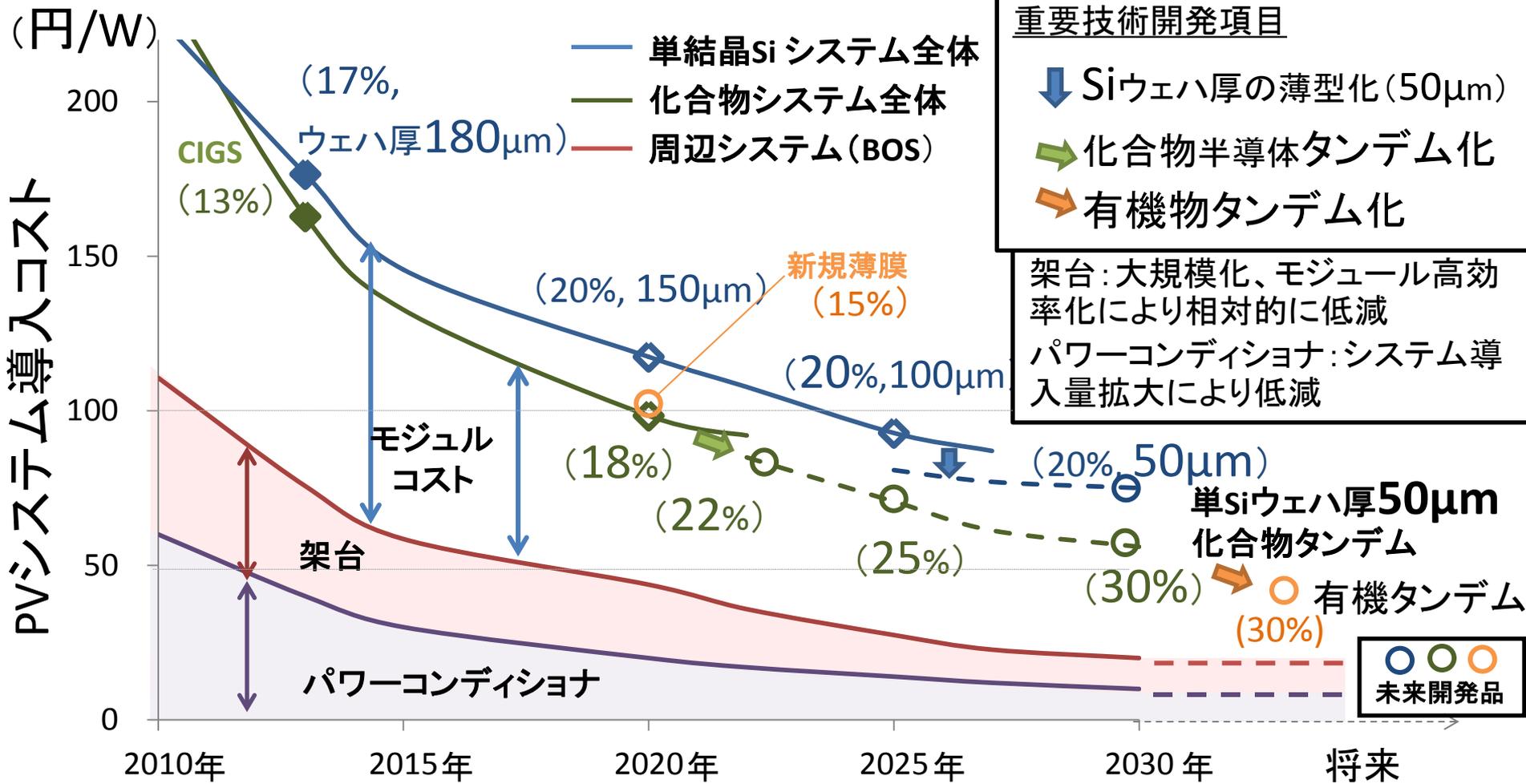
太陽光発電システム原価の内訳 (新PV)

コスト内訳(円/W)

技術レベル		新PV			
太陽電池 (モジュール変換効率)		Si 量子ドット (30%)	有機 タンデム (30%)	Ⅲ-V族 (30%)	
変動費	原材料費	セル発電部材	10	1	1,035
		ウェハ切断工程	-	-	
		その他 (電極、ガラス基板等)	2	2	2
		モジュール部材	16	14	16
		小計	28	17	1,053
	用役費	19	1	318	
固定費	設備費	56	5	1,670	
	人件費	12	1	13	
小計 (円/W)		115	24	3,050	
BOS	架台 (工事費含む)	10	10	10	
	インバータ	10	10	10	
小計 (円/W)		20	20	20	
システム全体(円/W)		135	44	3,100	

2030	
単結晶Si 厚 50μm (20%)	新CIGS タンデム (30%)
5	11
8	-
8	2
24	16
45	29
2	1
6	6
1	1
54	37
14	10
10	10
24	20
78	57

PVシステム原価の展望



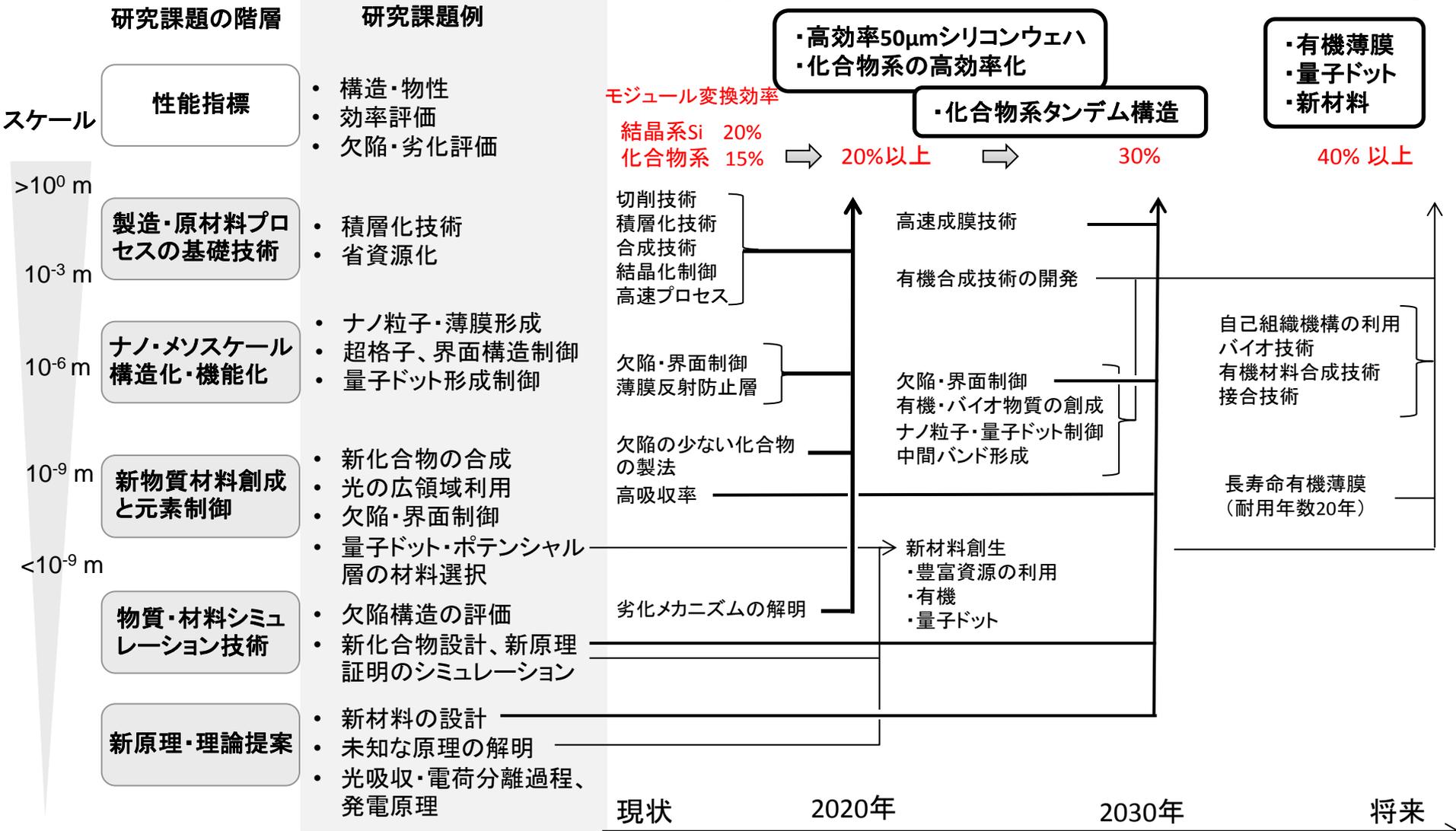
PVシステム原価の展望 (円/W)

	現状	2020年	2030年	新PV
モジュール	80	50	40	20
BOS	80	50	20	20
システム全体	160	100	60	40

太陽電池の科学・技術ロードマップ

国内の太陽光発電システム原価の展望 (円/W)

	現状	2020年	2030年	新PV
モジュール	80	50	40	20
周辺システム (BOS)	80	50	20	20
システム全体	160	100	60	40



円筒型蓄電池の製造コストの展望

		現状(収率向上)	2020年	2030年
生産規模	[GWh _{ST} /y]	10	10	10
収率	[%]	90	90	90
エネルギー密度	[Wh _{ST} /kg]	200	600	1000
活物質(正極/負極)		LiCoO ₂ /黒鉛	Li-O系/Si	Li-O系/Si
製造コスト [円/Wh _{ST}]	変動費			
	原材料費	10.0	2.7	1.6
	用役費	0.4	0.1	0.1
	固定費	2.1	0.9	0.6
合計		12.5	3.7	2.3
重量あたりコスト [円/g]		2.5	2.2	2.3
CO ₂ 負荷量 [g-CO ₂ /Wh _{ST}]		130	30	20

※ 1→10GWh_{ST}/yのスケールアップ効果2円/Wh_{ST} , 収率66→90%で効果3円/Wh_{ST}

創、蓄エネルギー装置性能の現状と目標値

(→後の値は
見込値)

	太陽電池 (モジュール)	燃料電池 (SOFCスタック)	蓄電池 (LiB)
効率(%)	20→30	45→60	>90
寿命	20年以上	50,000→100,000h	3500→10000回
エネルギー密度	70→40 (kg/kW)	小型 50→20 大型160→5(kg/kW)	5→2 (kg/kWh)
製造コスト	80→40 (円/W)	小型3,000→200 (円/W)	20→5 (円/Wh)
単位重量コスト	1→1円/g	60→10円/g	4→3円/g

扇風機:0.7円/g, 冷蔵庫:1, テレビ:3, 自動車:1-8, 護衛艦:6, LNG火力:10,
パソコン:30~, B787:100, 鋼材、アルミ、樹脂:0.1-0.2, 銅:0.8円/g

日本では単位重量コストが原材料の10倍以上のものが主になっていくと思われる。

木質バイオマスエネルギー

表1. 木材需給の現在と将来(自給率70%)

	現在 [百万t]	2030~2050年 [百万t]
木材需要量	36	36
国内生産量	10	25
木材チップ	3.6	6.5
間伐材		22

2030~2050年の
木質バイオマスエネルギー

発熱量 = 5.7×10^{11} [MJ /y]

電力量 = 40 [TWh/y]

(日本の電力消費量の4%)



表2. 下川町の林業(現在)

	生産量 [t/ha]	収入 [円/t]	コスト [円/t]
主伐	75	17,000	34,000
間伐	65	8,000	8,000

<目標>

主伐のコストを1/2: 17,000円/t

間伐のコストを1/2: 4,000円/t

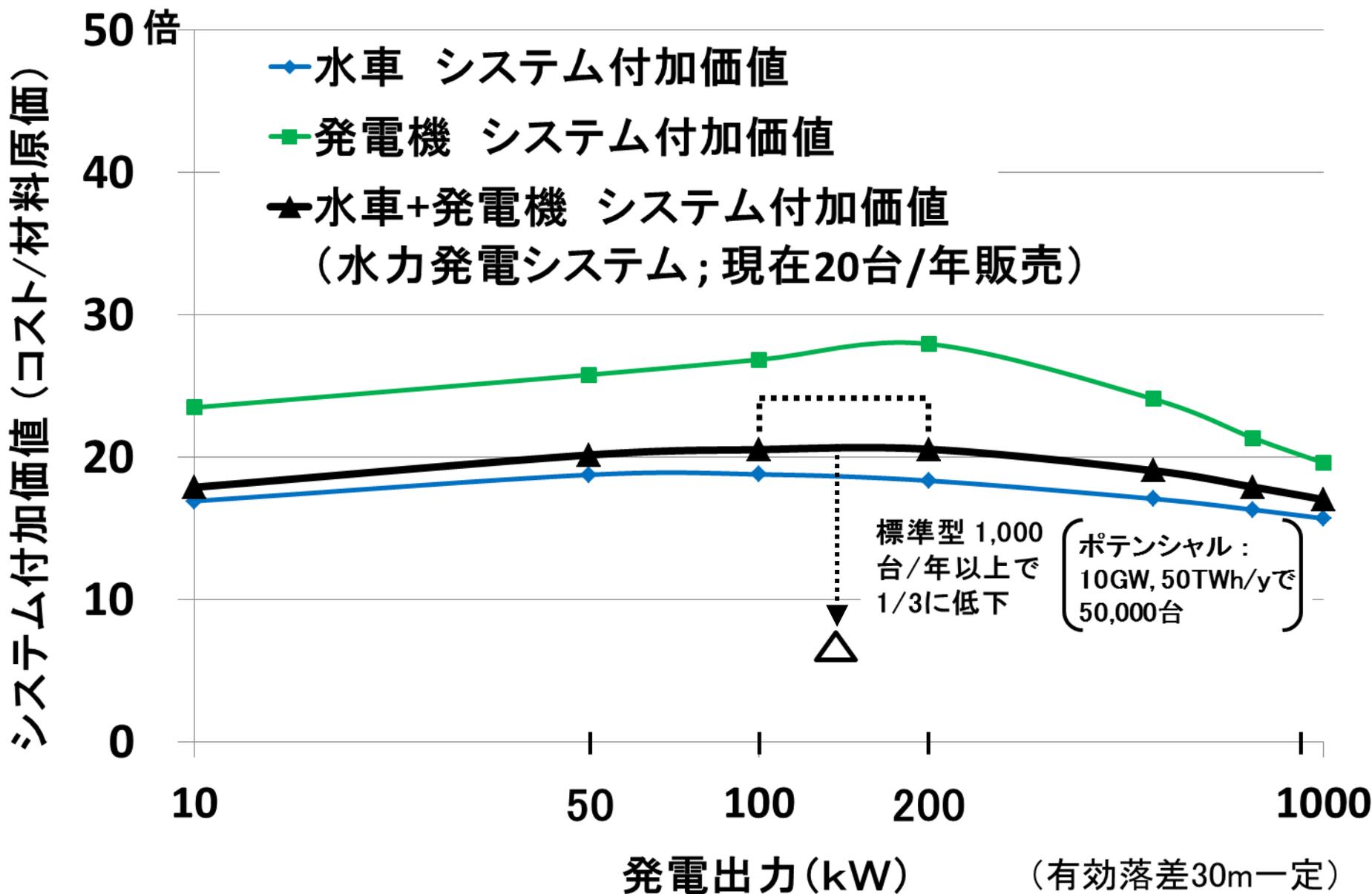
主伐コスト1/2達成を木質
バイオマスの価格1/2につ
なげる。

木質バイオマス価格は石炭
の価格の80% (0.26円/MJ)
になる。

表3. 価格(現在)

	単価 [円/t]	発熱量 [MJ/kg]	発熱量当たりの 価格[円/MJ]
石炭	8,800	26.6	0.33
木質バイオマス	8,000	15.6	0.51

水力発電システムの付加価値と最大出力の関係



再生可能エネルギーによる発電コストとポテンシャル

	コスト(円/kWh)		発電ポテンシャル (TWh/y)
	現在	2030年	
太陽光	24	6	>400
風力(陸上)	16	8	>500
地熱	25	<25	60
小水力	30	15	70
バイオガス※	16(13)	13(10)	35
バイオマス(樹木)	31(8)	12(4)	40

() 数値は燃料費

年間電力消費: 1000TWh

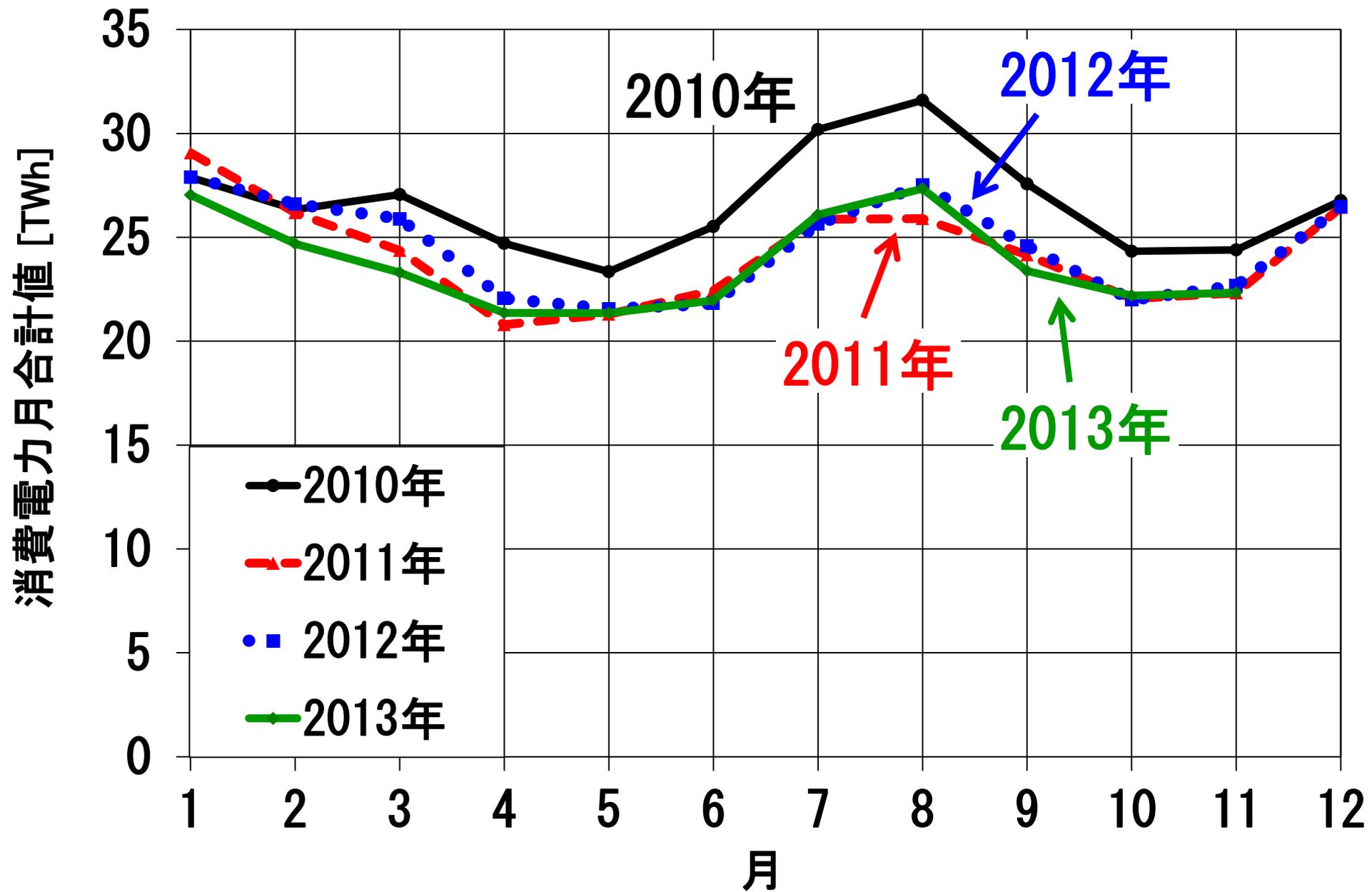
バイオガス※: 下水処理・食品残渣からのメタン($5 \times 10^9 \text{m}^3/\text{y}$)
(0.1, 0.05 t-乾体/人・y)

最近の電力使用状況

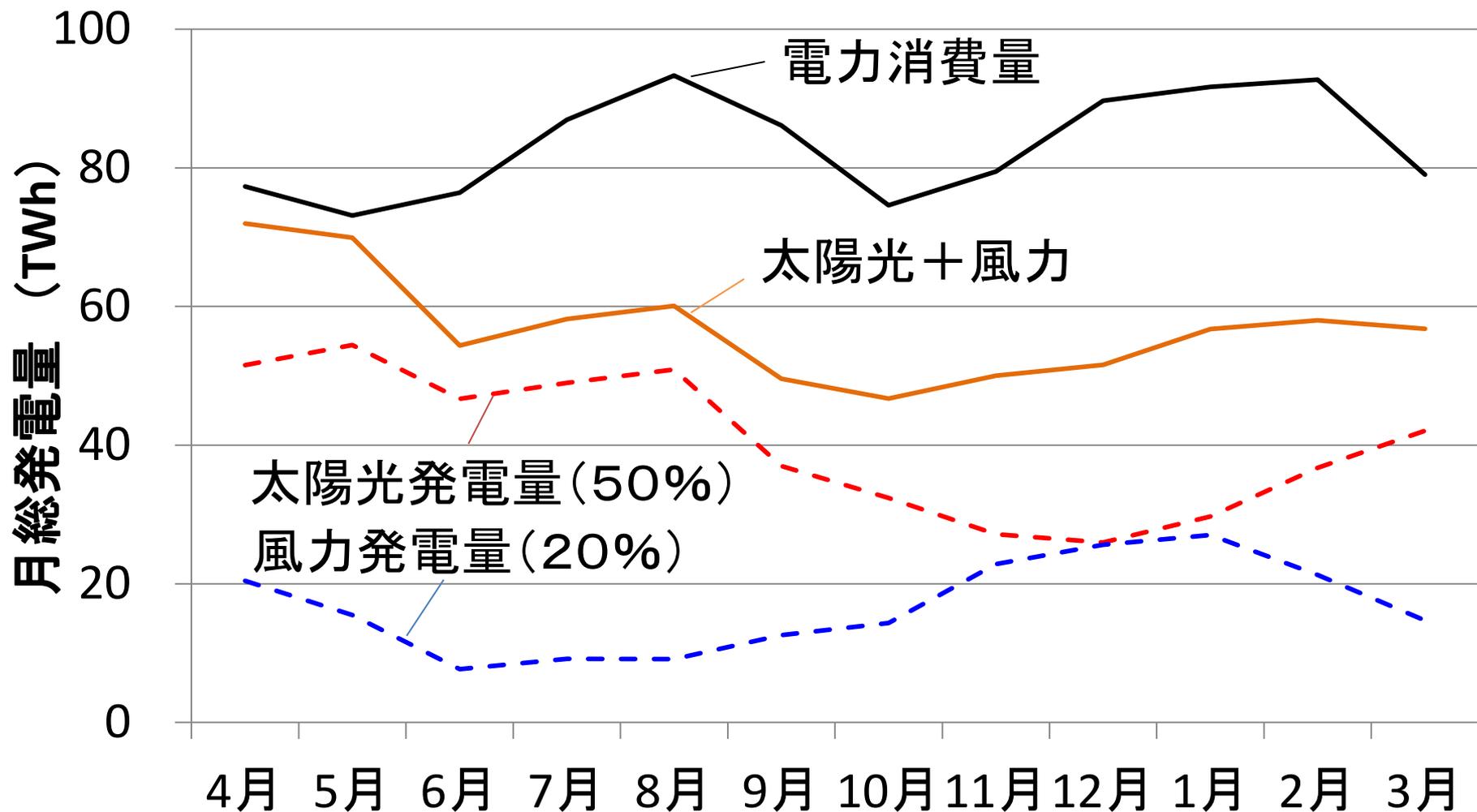
(GW = 10億W, TWh = 1兆Wh)

年度	ピーク電力 (GW)				発電電力量 (TWh)
	夏季 最大	冬季 最大	平日 最小	年間 最小	
2010	176 (8/23)	156 (1/31)	115 (5/13)	95 (5/2)	979
2011	155 (8/10)	154 (2/2)	107 (5/31)	90 (5/4)	925
2012	154 (7/27)	144 (1/18)	107 (5/11)	91 (5/4)	916
2013	158 (8/9)		106 (5/17)	89 (5/5)	
<u>2012</u> 2010	0.87	0.92	0.93	0.96	0.94

東電管内月消費電力合計値



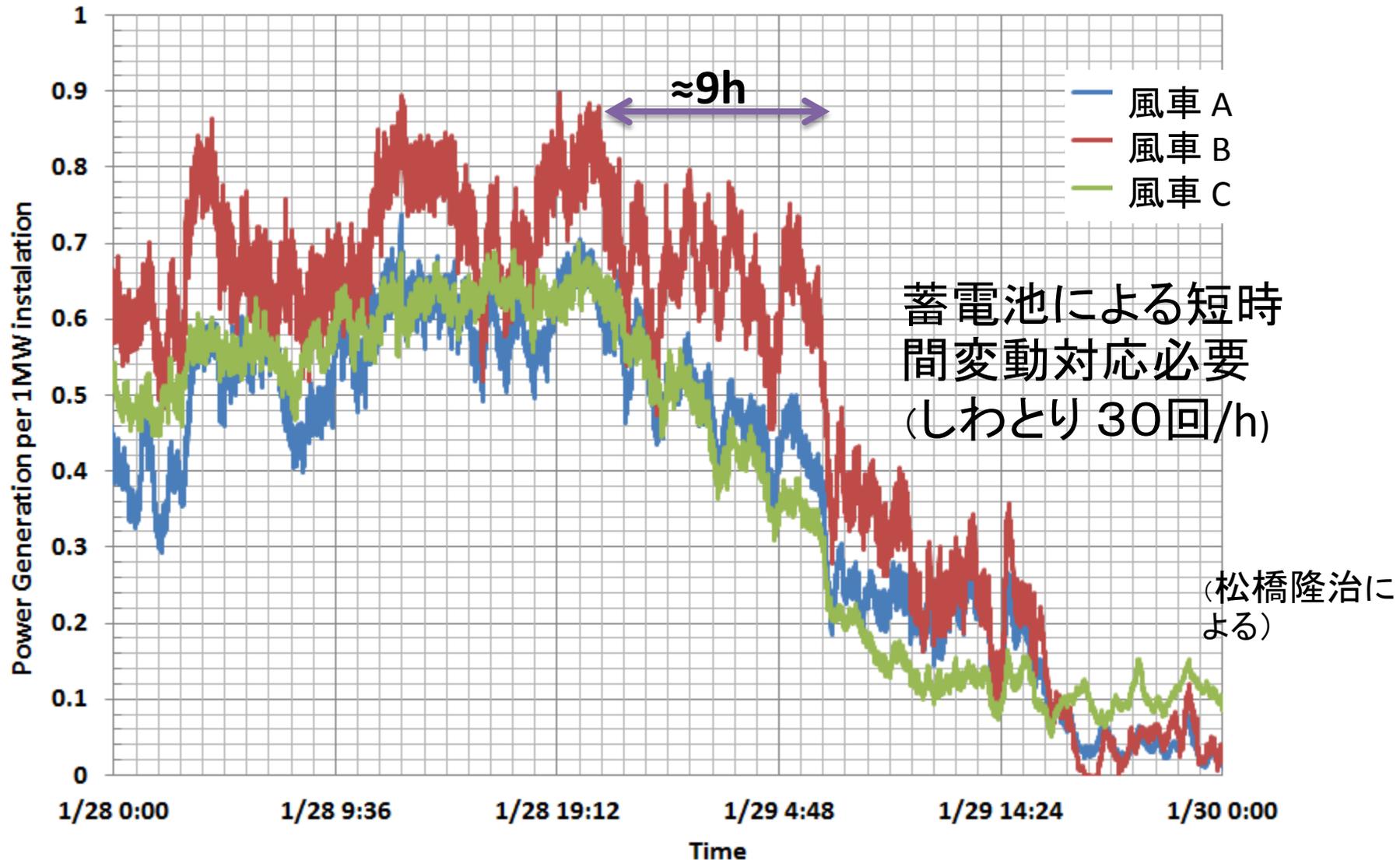
ケース「将来②」 太陽光50%・風力20% 導入における長期変動



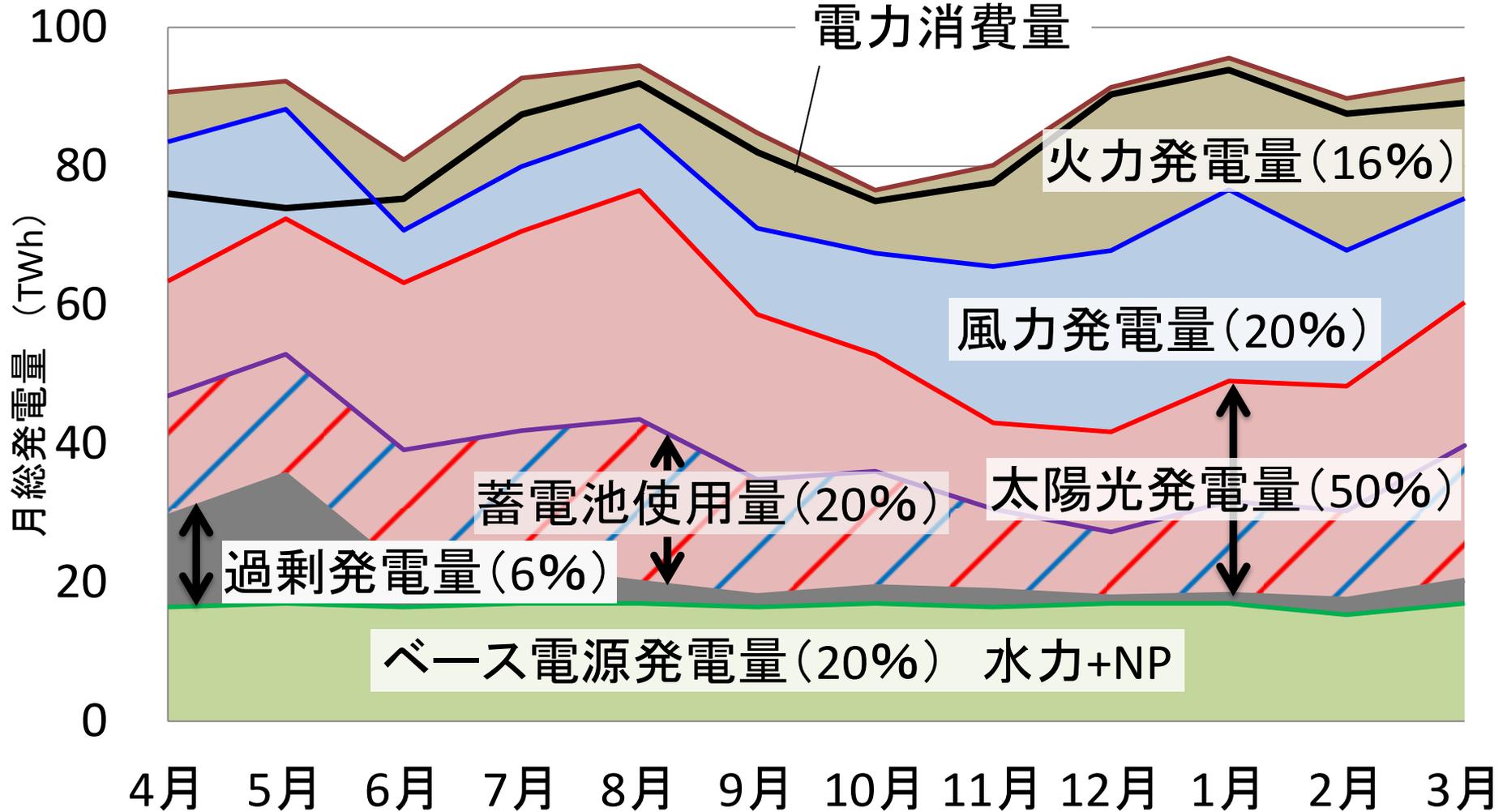
ケース「将来②」ではRE導入ポテンシャルの最大まで導入を仮定。太陽光発電量(50%)、風力発電量(20%)の時間変動を考慮。(カッコ内は年間総発電量比)

風力発電の出力変動例 (実績値)

Wind output 2006/1/28~2006/1/30

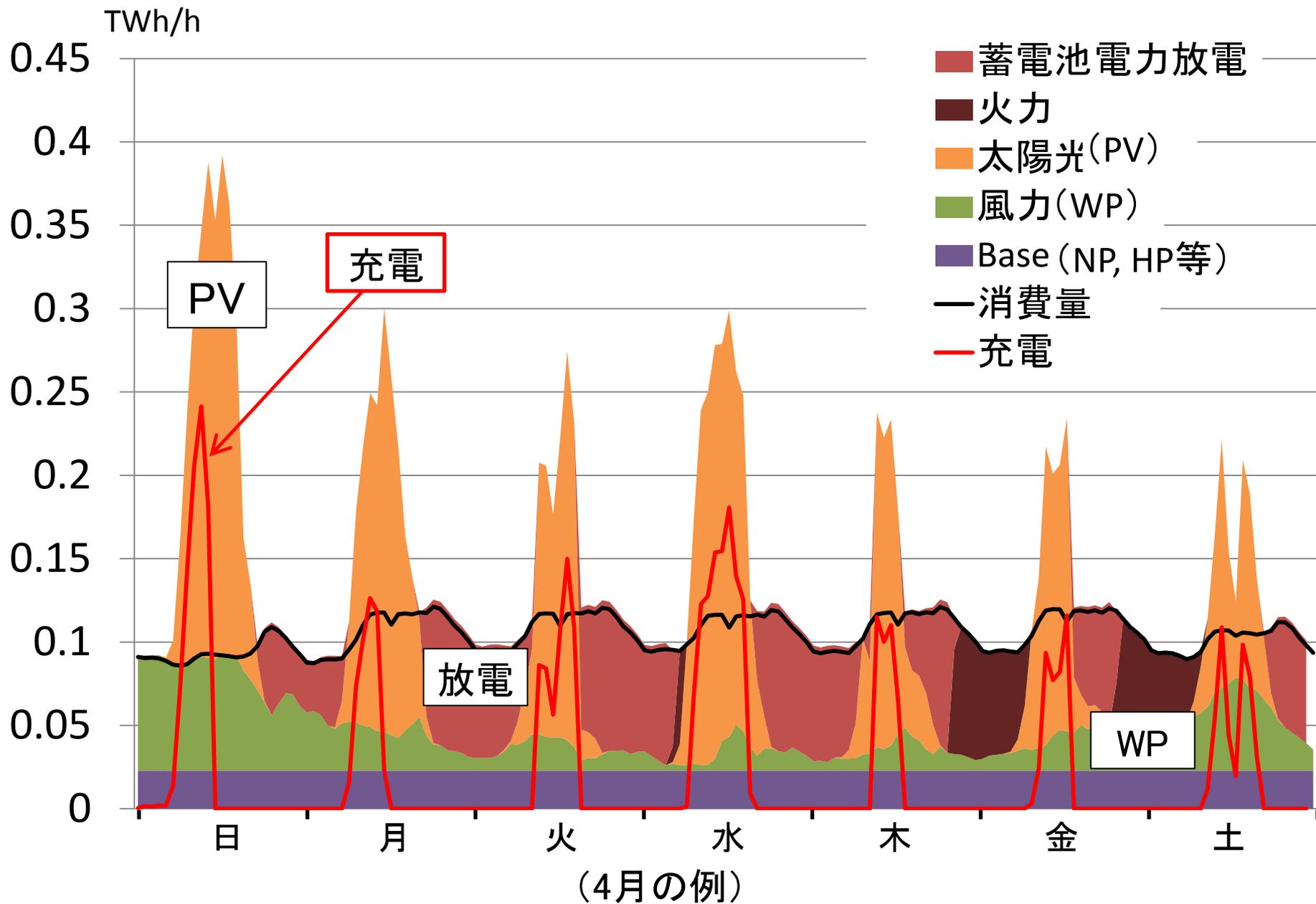


ケース「将来②」太陽光50%・風力20% 導入における全国の発電量



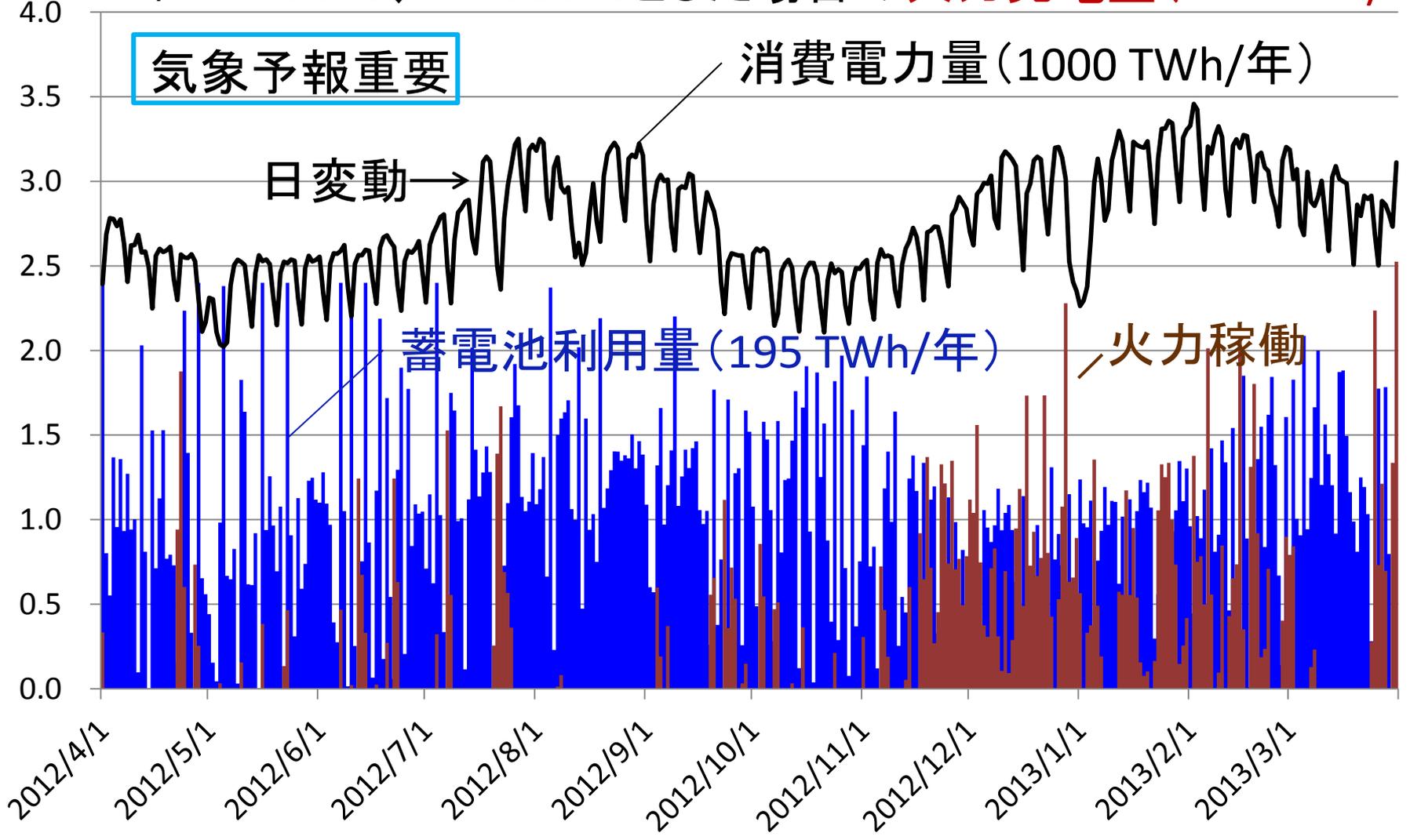
ケース「将来②」ではRE導入ポテンシャルの最大まで導入を仮定。太陽光発電量(50%)、風力発電量(20%)の時間変動を考慮。(カッコ内は年間総発電量比)

4月中旬の電力消費量と電源別発電量の例 (PV50%、Wind20%)



1日の消費電力量と火力発電量、蓄電池利用量の推移

(TWh/Day) PV50%、Wind20%とした場合の**火力発電量(155 TWh/年)**



電源別 受電端発電単価

単位：円/kWh

	太陽光	風力	その他 RE	一般水力	揚水	原子力	石炭	LNG	石油等
2010年 コスト検討委員会	16.0	15.0		4.6	51.9	7.3 (1.4)	8.3 (4.4)	10.2 (7.8)	25.3 (13.7)
2030年 LCS	6.0	8.2	13.0	4.9		7.1 (1.4)		26.3 (6.7)	

() 内数値は燃料費

電源別 CO₂排出原単位

単位：g-CO₂/kWh

	水力	石油	LNG	石炭	原子力
現状	11	740	490	940	20

【出典】 20120116電源評価より（石油を除く）

次ページの試算では、2005年の全発電コスト 11円/kWh、CO₂排出量 516Mt/yを用いた

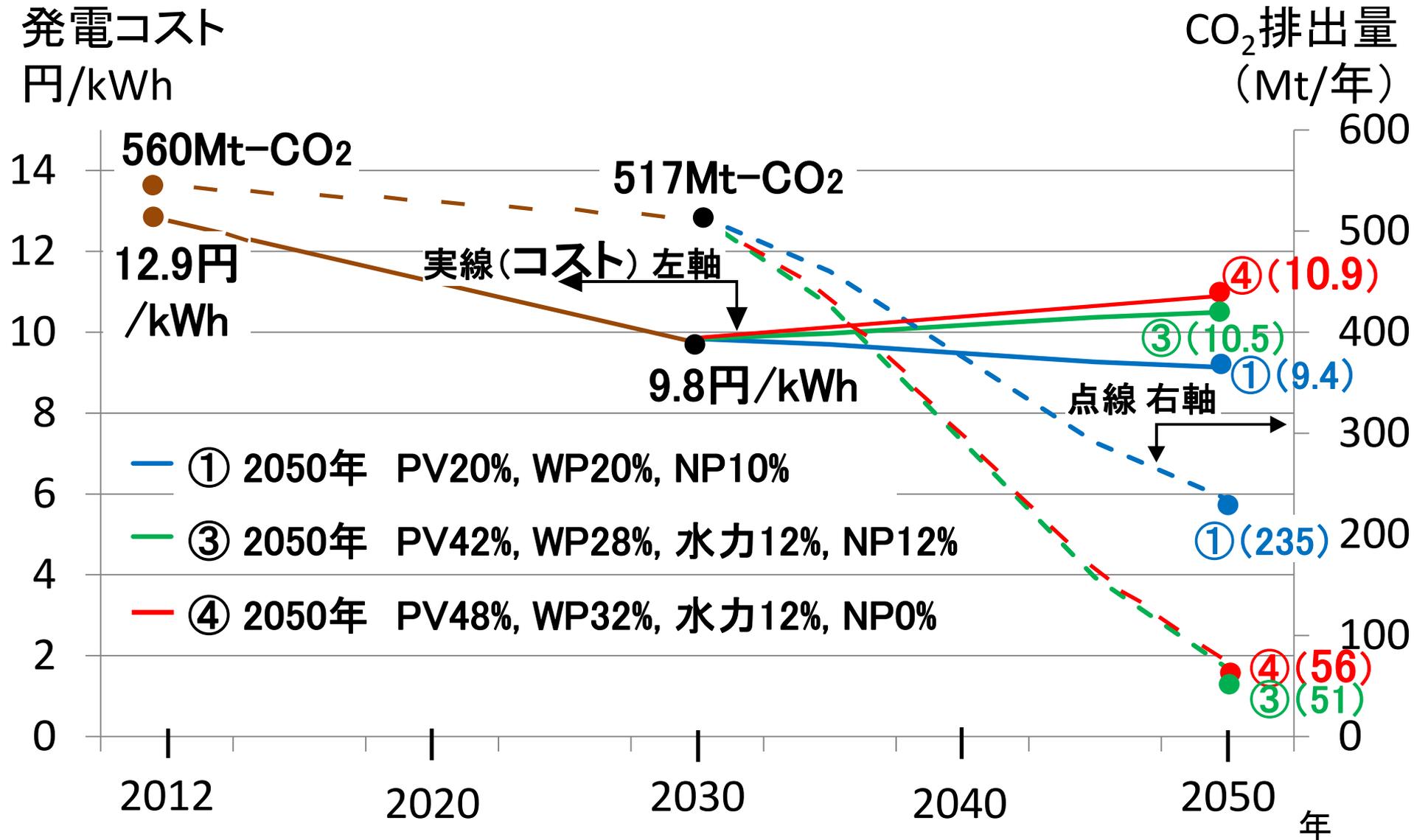
再生可能エネルギー大規模導入例

電源構成		ケース	2030年 PV+WP 9% NP 10%	2050年① PV+WP40% NP 10%	2050年② PV+WP74% NP 9%	2050年③ PV+WP70% NP12%	2050年④ PV+WP81% NP 0%
		電力需要量 (TWh/年)	1000	1000	1000	800	800
発電量 (TWh/年) (受電端)	太陽光 (PV)	47	200	480	360	420	
	風力 (WP)	44	200	320	240	280	
	水力	90	100	100	100	100	
	原子力	100	100	100	100	0	
	火力 [稼働率]	720 [57%]	406 [38%]	76 [7%]	58 [7%]	66 [7%]	
	合計	1001	1006	1076	858	866	
蓄電池 (GWh _{ST})	9	280	2400	1800	2100		
発電コスト (円/kWh) (蓄電池コスト)	9.8 (蓄 0.01)	9.4 (蓄 0.1)	10.6 (蓄 1.2)	10.5 (蓄 1.1)	10.9 (蓄 1.3)		
CO ₂ 排出量 (Mt/y) (2005年比)	517 (100%)	235 (45%)	66 (13%)	51 (10%)	56 (11%)		

北海道・東北 ⇄ 東京の 1600 km に 56～70 GW 送電線を追加したケースでは、送電追加費用 1.7円/kWh (単価1.5億円/km/GW)が必要となる。

* REは導入ポテンシャルの最大まで導入を仮定、コストは2030年試算値を用いた。蓄電池の寿命 10年、蓄電ロス 10%。
蓄電池は2030年はLFCに、2050年では負荷平準用にも用いた。②、③、④はPV+WPの年間発電量の0.3%の蓄電容量となった。

発電コストとCO₂排出量の推移



(化石燃料コストは現状と同じと仮定)

今後の明るい低炭素社会の経済構造

