



# 『明るく豊かなゼロ炭素社会』に向かう 2050年の姿

2018.12.12

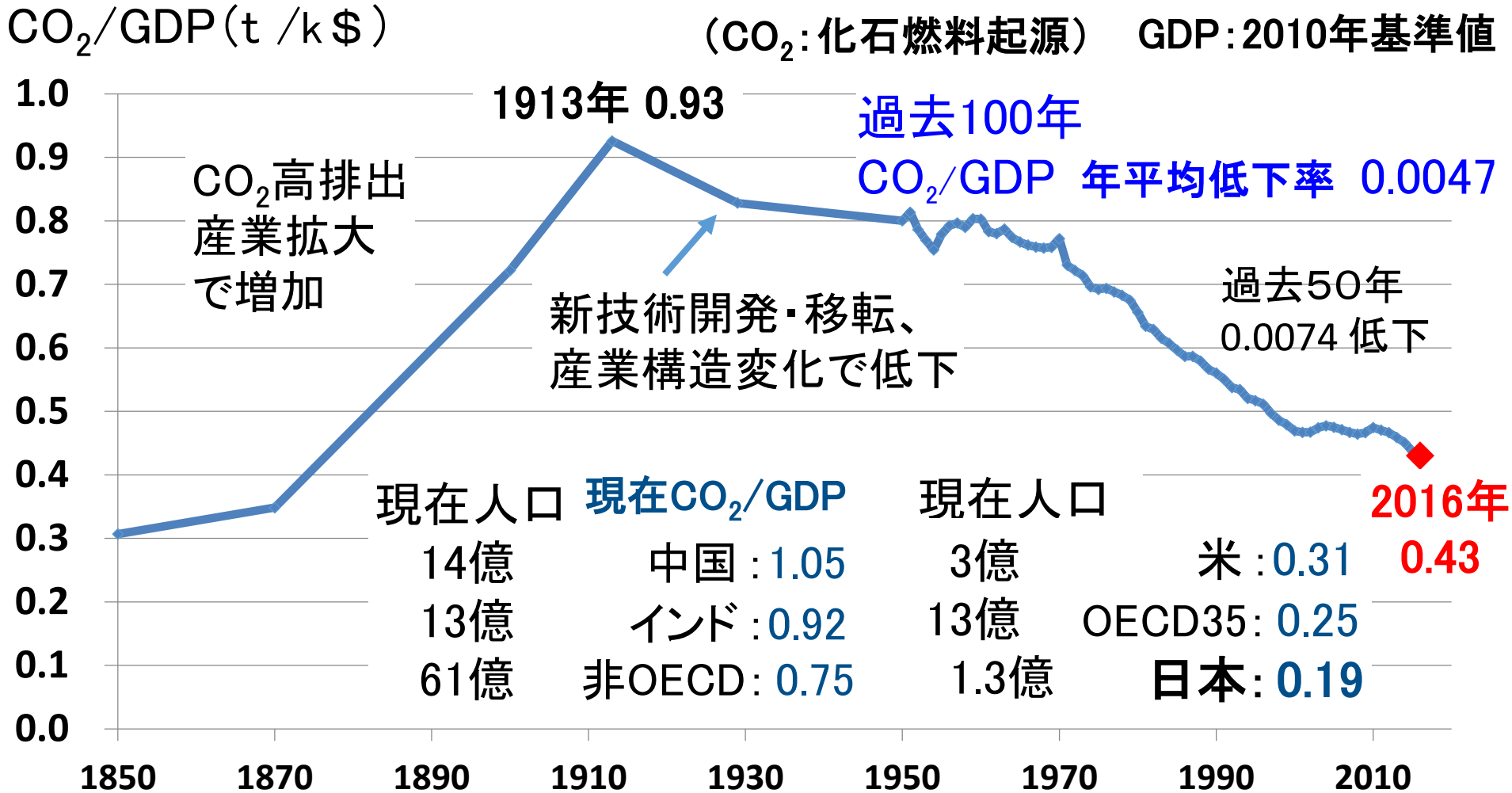
低炭素社会戦略センター  
科学技術振興機構

山田興一

# 内 容

- 1: 気温上昇抑制への[CO<sub>2</sub>排出量/GDP]関数の重要性
- 2: 明るい脱炭素社会へ
- 3: 再生可能エネルギーコスト
- 4: CO<sub>2</sub>排出量80%以上削減電源構成、コスト
- 5: 電源シナリオ比較
- 6: まとめ

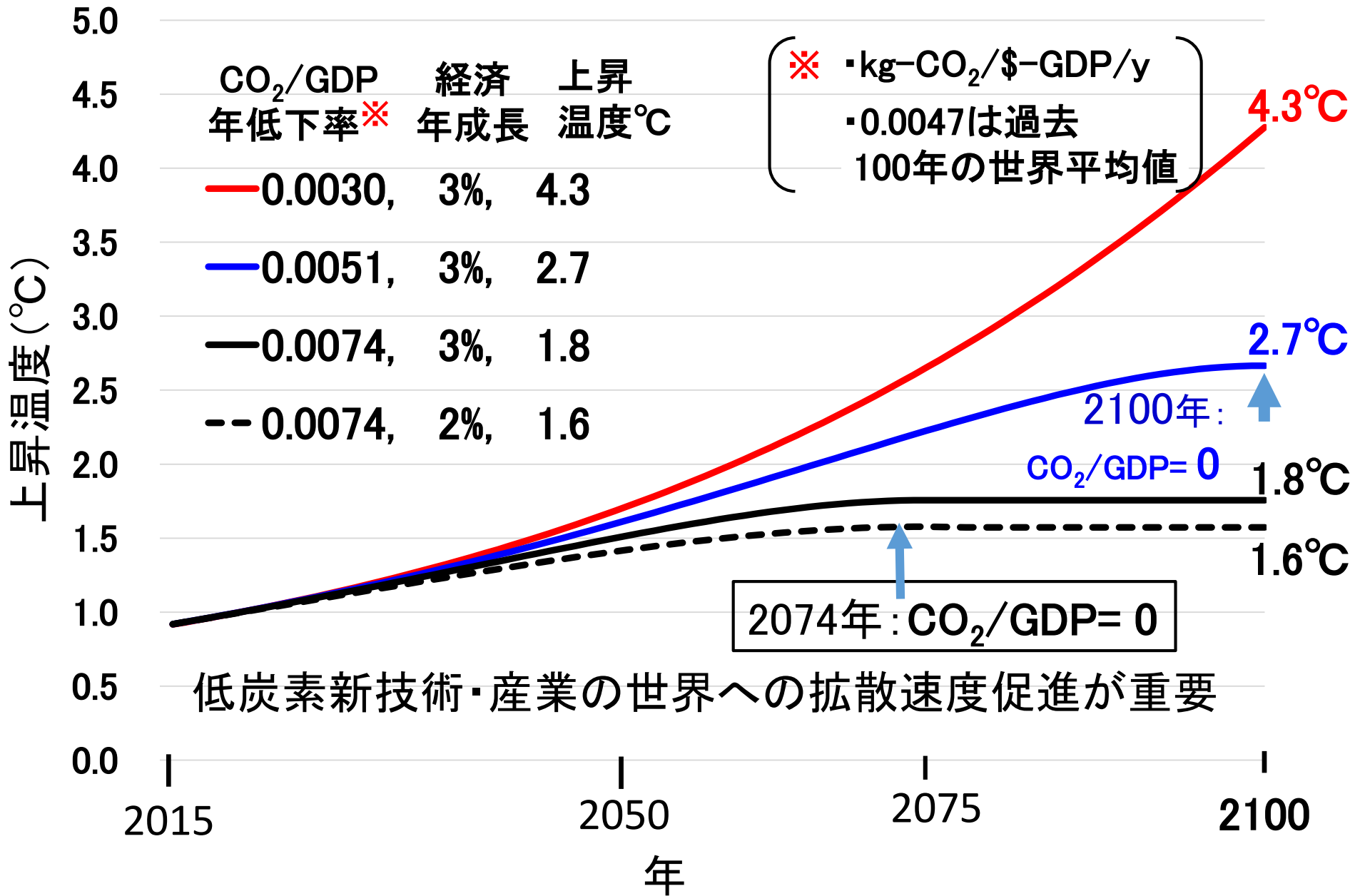
# 世界のCO<sub>2</sub>排出量/GDP比の変遷



世界年経済成長率(%)	1870-2015	1950-2015	1990-2000	2000-2007	2008-2015
	2.7(人口1.2)	3.6(1.7)	3.0(1.4)	3.4(1.3)	2.2(1.2)

【出典】1971-2015年: GDP、CO<sub>2</sub>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』、CO<sub>2</sub>はBoden, T.A., G. Marland, and R. J. Andres, 'Global, Regional, and National Fossil Fuel CO<sub>2</sub> 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/00001\_V2010.等からのデータで計算。なお、1971-2015年のGDPは2010年基準、1970年以前は1990年基準のため、1971年比率でつなげ2010年基準に合わせた。

# 地球温度上昇と技術進歩、経済成長の関係



# 人口と労働人口者数

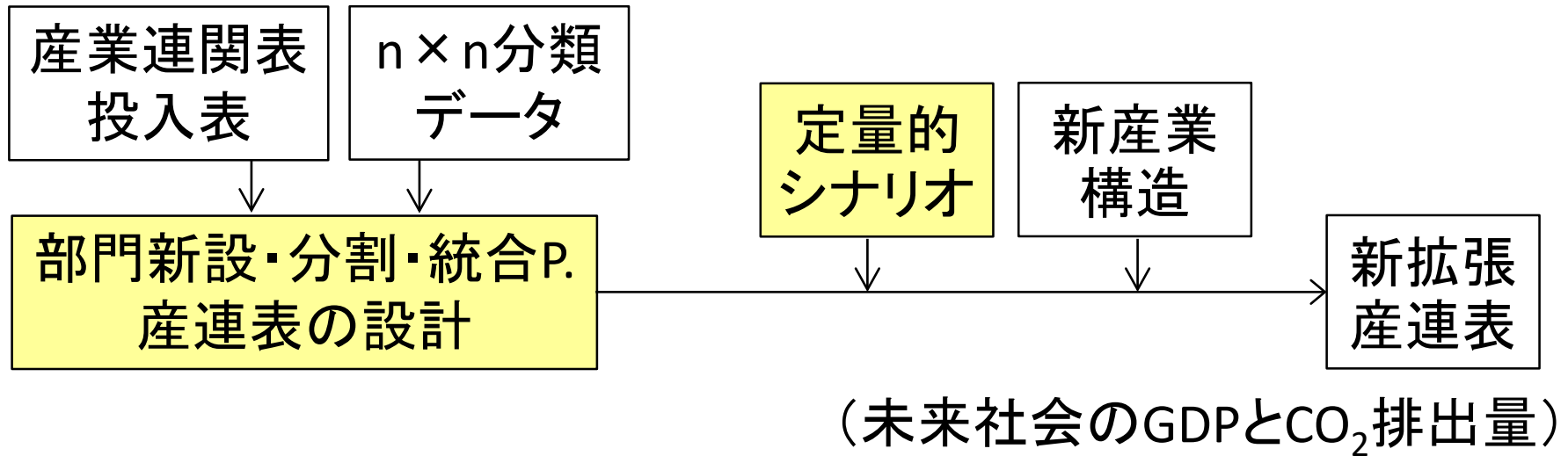
	人口(百万人)		労働人口(百万人)	
	全数	60才以上	全数	60才以上
2017年	126.7	43.0	67.2	13.6
2050年	106.1 (-0.5%/年)	44.6	50.1 (-0.9%/年)※	12.0 (60~69才の非労働人口560万人)

※ 60~69才非労働人口が30%減少すると年低下率は-0.9から-0.8%になる。

1971-2015年の世界、先進国の人口成長率と経済成長率(%/年)

	世界	日本	米国	独	英	仏
人口	1.5	0.4	1.0	0.1	0.3	0.5
GDP	3.0	2.4	2.7	1.9	2.1	2.1

# LCS産業連関プログラム開発



電力需要		800TWh, 98%		2011年 基準値
電力部門CO <sub>2</sub> 削減率		電力のみ	電力+※	
CO <sub>2</sub> 排出量 (Mt-CO <sub>2</sub> )	単純計算	793	559	1,254
	IO分析	791	623	
GDP (兆円)	単純計算	486	564	489
	IO分析	494	561	

※最終需要に  
与えるインパクト例

医療、運輸、宿  
泊、教育など  
74兆円。

鉄鋼、運輸の排  
出係数 × 0.2

# 太陽光発電システム原価の内訳 (円/W)

		2018	2020		2030			
		単Si	単Si	CIGS	単Si	CIGS	CIGS タンデム	ペロブス カイト
モジュール変換効率		20%	22%	18%	25%	22%	30%	20%
ウェハ厚 (μm)		150	100	—	100	—	—	—
切り代 (μm)		120	100	—	100	—	—	—
モジュール (円/W)	原材料費	23	16	22	15	18	19	18
	用役費	4	3	1.4	1.6	1.2	0.9	2
	設備費	12	9	8	6	7	6	8
	人件費	2	1.3	0.2	0.6	0.2	0.2	0.3
	<b>モジュール小計</b>	<b>41</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>28</b>
BOS	架台(工事費含)	29	18	22	8	9	7	11
	パワーコンディショナ	20	20	20	9	9	9	9
<b>システム全体(円/W)</b>		<b>90</b>	<b>67</b>	<b>72</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>48</b>

(2012年市販Siモジュール変換効率 = 17%, 全体コスト = 171円/W)

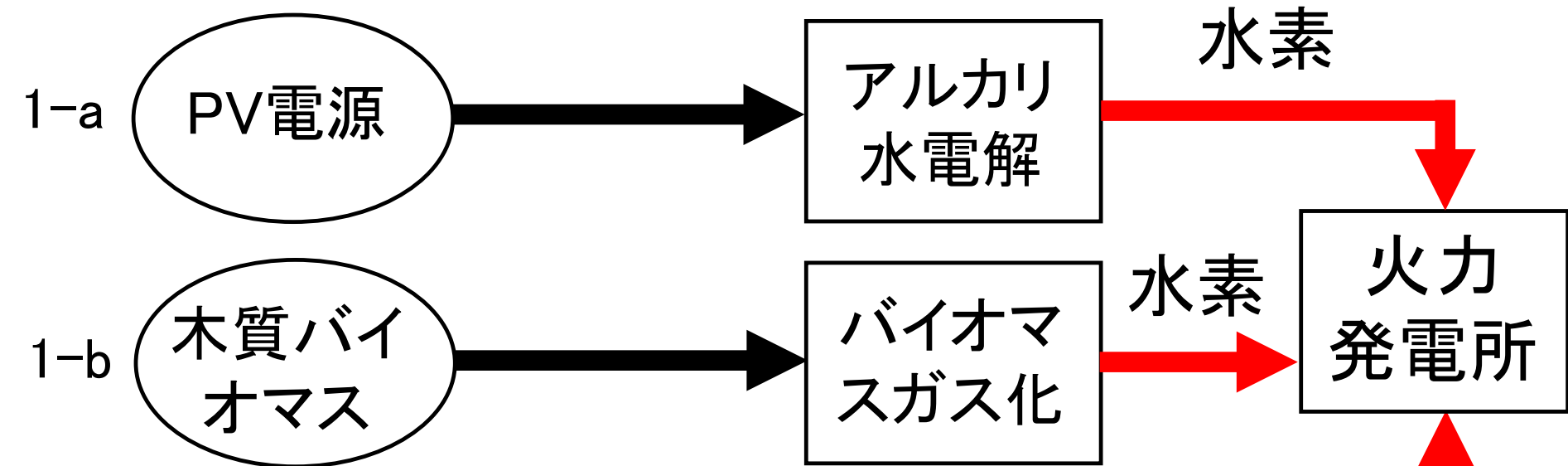
# リチウムイオン電池の現状と将来シナリオ (日本の売価 車輻用20円/Wh)

			現状	2020年	2030年
			Ni系電池	Ni系電池	Li-S系
生産規模[GWh <sub>ST</sub> /y]			1 (10)	10	10
収率 [%]			66 (90)	90	90
エネルギー密度[Wh <sub>ST</sub> /kg]			250	340	530
活物質(正極/負極)			LiNi <sub>0.85</sub> Co <sub>0.12</sub> Al <sub>0.03</sub> O <sub>2</sub> /黒鉛	LiNi <sub>0.85</sub> Co <sub>0.12</sub> Al <sub>0.03</sub> O <sub>2</sub> /黒鉛系	Li-S,C /Li金属
正/負極容量密度 [mAh/g]			200/300	270/370	1500/2900
正/負極の 実容量対理論値の比			0.71/0.81	0.97/0.99	0.9/0.75
製造コ スト	変動	原材料費	10.2 (7.5)	4.8	5.5
	費	用役費	0.5 (0.4)	0.4	0.1
[円	固定費		3.2 (1.7)	1.4	1.0
/Wh <sub>ST</sub> ]	合計		13.9 (9.6)	6.6	6.6

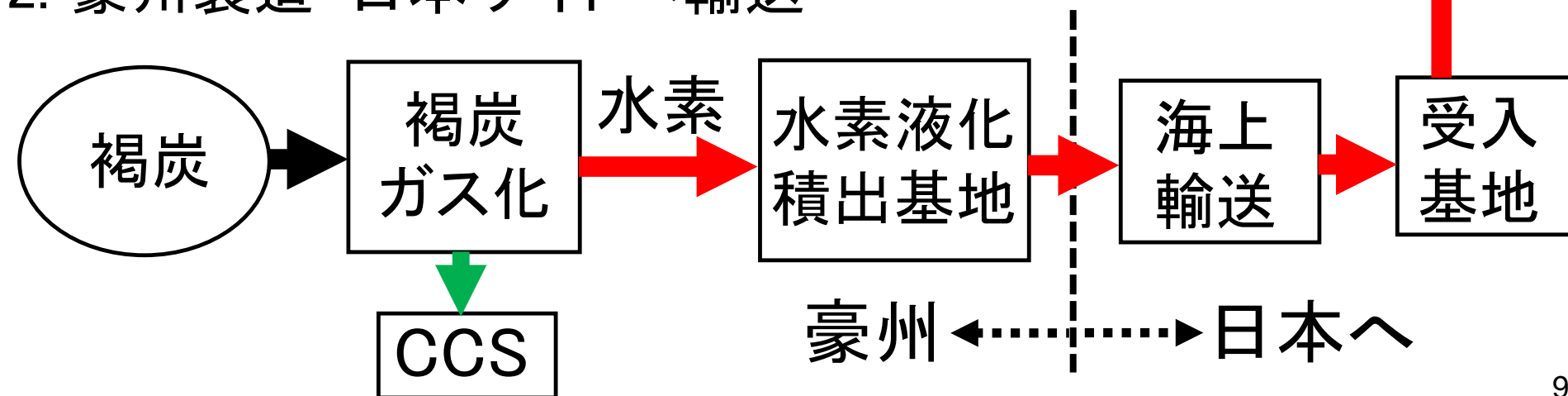


# 低炭素発電用 水素の製造

## 1. 国内オンサイト製造



## 2. 豪州製造・日本サイトへ輸送



# 水素製造コストとCO<sub>2</sub>排出量

## 国内オンサイト製造

## 豪州製造・日本サイトへの輸送

		アルカリ水電解	バイオマスガス化	褐炭ガス化(豪州含CCS)		
		PV電源 (6円/kWh)	バイオマス (3円/kg)	褐炭 (1.2円/kg)		
水素 生産量	kt/年	<b>29.7</b>	<b>46.7</b>	<b>84.6</b>		
	PJ/年	<b>3.6</b>	<b>5.7</b>	<b>10.2</b>		
年間操業率		<b>0.1</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>		
原料単価	円/MJ	—	<b>0.16</b>	<b>0.11</b>		

### 工程内訳

### 製造コスト(発電所入口での水素)

### ガス化 液化・物流

変動費計	円/MJ	<b>2.4</b>	<b>0.5</b>	<b>1.1</b>	0.6	0.5
固定費計	円/MJ	<b>11.7</b>	<b>0.5</b>	<b>3.7</b>	1.8	1.9
合計	円/MJ	<b>14.1</b>	<b>1.0</b>	<b>4.8</b>	2.4	2.4

### CO<sub>2</sub>排出量(発電所入口での水素)

原料・ 用役起源	g/MJ	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>31</b>	24	7
設備起源	g/MJ	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	5	4
合計	g/MJ	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	29	11

# 発電コスト, CO2排出量削減率80% (565 → 113Mt/y, 2050)

電力需要 (TWh)		700	800		1,000		
年間発電電力量 (TWh)	原子力	0	0	0	100	0	100
	水力	130	130	130	130	130	130
	石炭	63	16	61	83	0	0
	LNG	160	277	166	111	317	317
	太陽光	397	327	306	327	524	411
	風力	2	77	60	77	211	86
	地熱	12	12	112	12	12	12
	バイオマス	24	31	31	31	31	31
	合計	786	871	866	871	1,225	1,086
水素発電利用量 (TWh)		0	0	0	0	51	0
蓄電池利用量 (TWh)		172	135	120	175	231	182
蓄電池設備 (GWh)		568	451	400	451	801	600
発電コスト (円/kWh)		10.3	11.5	10.8	11.6	12.8	11.8

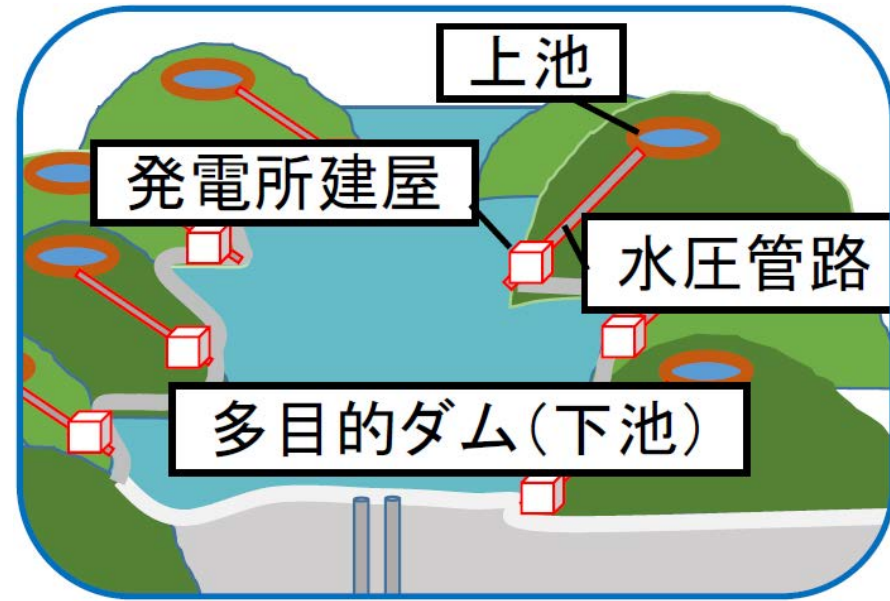
現出力端電力コスト = 12.9円/kWh

# 2050の電源構成とコスト

電力需要 (TWh)		1000	1200	800		
CO <sub>2</sub> 排出量削減率		80 %	80%	80 %	90 %	98 %
年間発電電力量 (TWh)	原子力	0	0	0	0	0
	水力	130	130	130	130	130
	石炭	0	0	16	0	0
	LNG	317	317	277	159	32
	太陽光	524	672	327	502	599
	風力	211	559	77	276	404
	地熱	12	12	12	12	112
	バイオマス	31	31	31	31	31
	合計	1,225	1,722	871	1,109	1,308
水素発電利用量 (TWh)		51	156	0	90	162
蓄電池利用量 (TWh)		231	284	135	211	271
蓄電池設備 (GWh)		801	1,112	451	782	1,003
発電コスト (円 / kWh)		12.8	16.2	11.5	15.9	20.9

# 2050年90%削減シナリオ（電力需要1000TWh）と 新揚水発電所の導入例

		基準	新揚水追加
年間発電 電力量 (TWh)	LNG	159	159
	太陽光,風力	1294	1080
	他 再エネ	173	173
	合計	1583	1368
利用量 (TWh)	水素	193	68
	揚水	78	206
	蓄電池	206	281
備蓄 容量 (GWh)	揚水	130	287
	蓄電池	902	1005
発電コスト(円/ kWh)		18.9	15.9



既存ダムを下池として利用した  
揚水発電所 (高度差 200m)

新揚水設備容量ポテンシャル  
1000～1700GWh  
(既設揚水 130GWh)

新揚水追加シナリオの蓄電システムの発電単価  
蓄電池 22、揚水 25、水素 50 [円/kWh]

# 情報化社会の電力消費

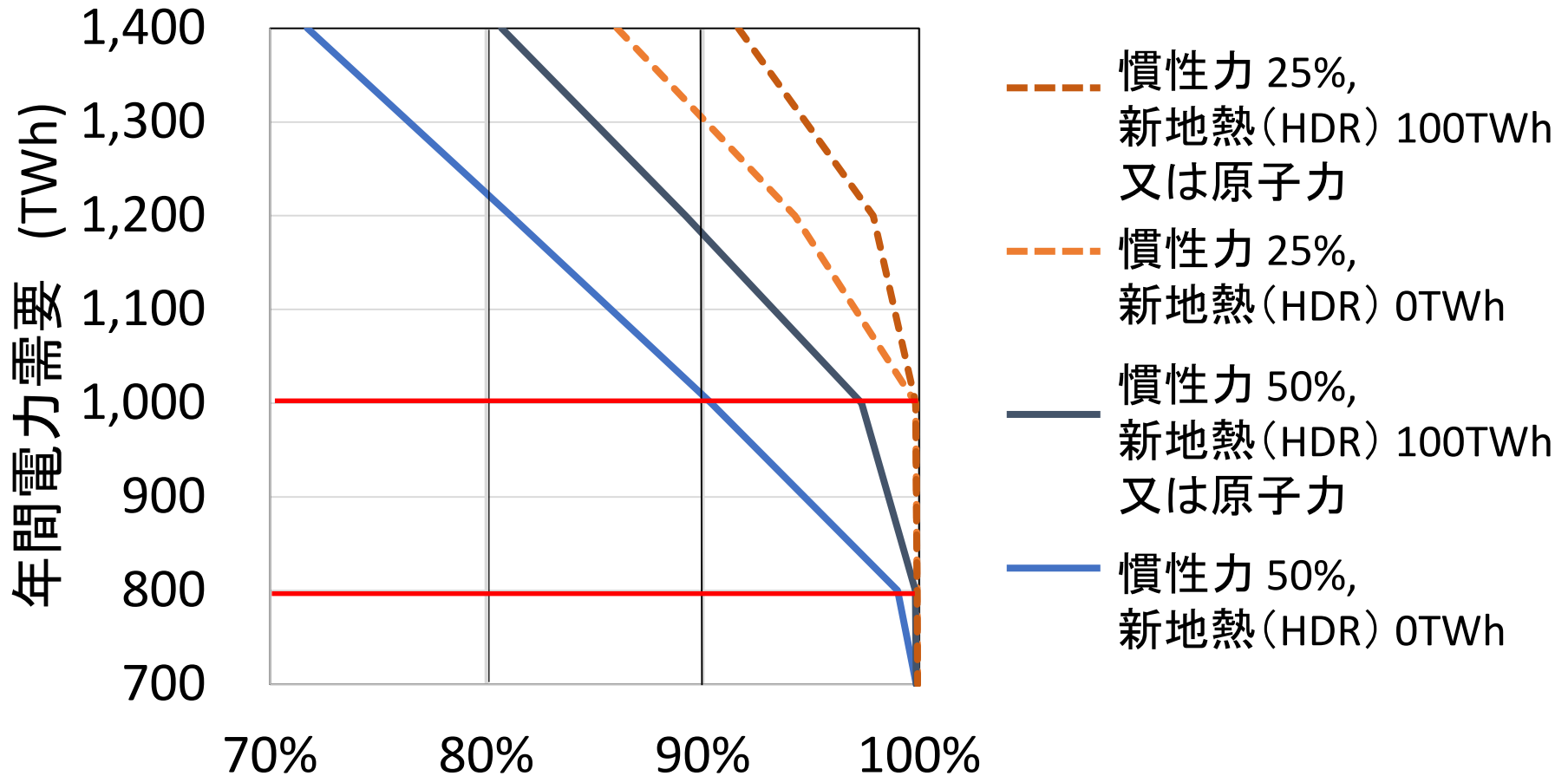
(データ処理量増加によるIT機器、データセンターでの増加)

		2017年	2030年		2050年	
		年間成長 (%)	10	27 <sup>※</sup>	5	10
電力消費 (TWh)	日本	55	190	1,200	290	14,000
	世界	1,600	5,500	36,000	8,400	41,000

※過去数年の世界年間成長率は27% (CISCO)  
(日本乗用車登録台数1966-2000年の年成長率は9%)

# CO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルと電力需要

— 慣性力制約の電力需要とCO<sub>2</sub>削減量に与える影響 —



CO<sub>2</sub>排出量削減率の最大削減ポテンシャル  
(2013年比)

HDR: 高温岩体地熱  
(Hot Dry Rock)

# 80%削減低炭素電源の累積総経費 LCSシナリオ例 原子力0で2050年にCO<sub>2</sub>を80%削減

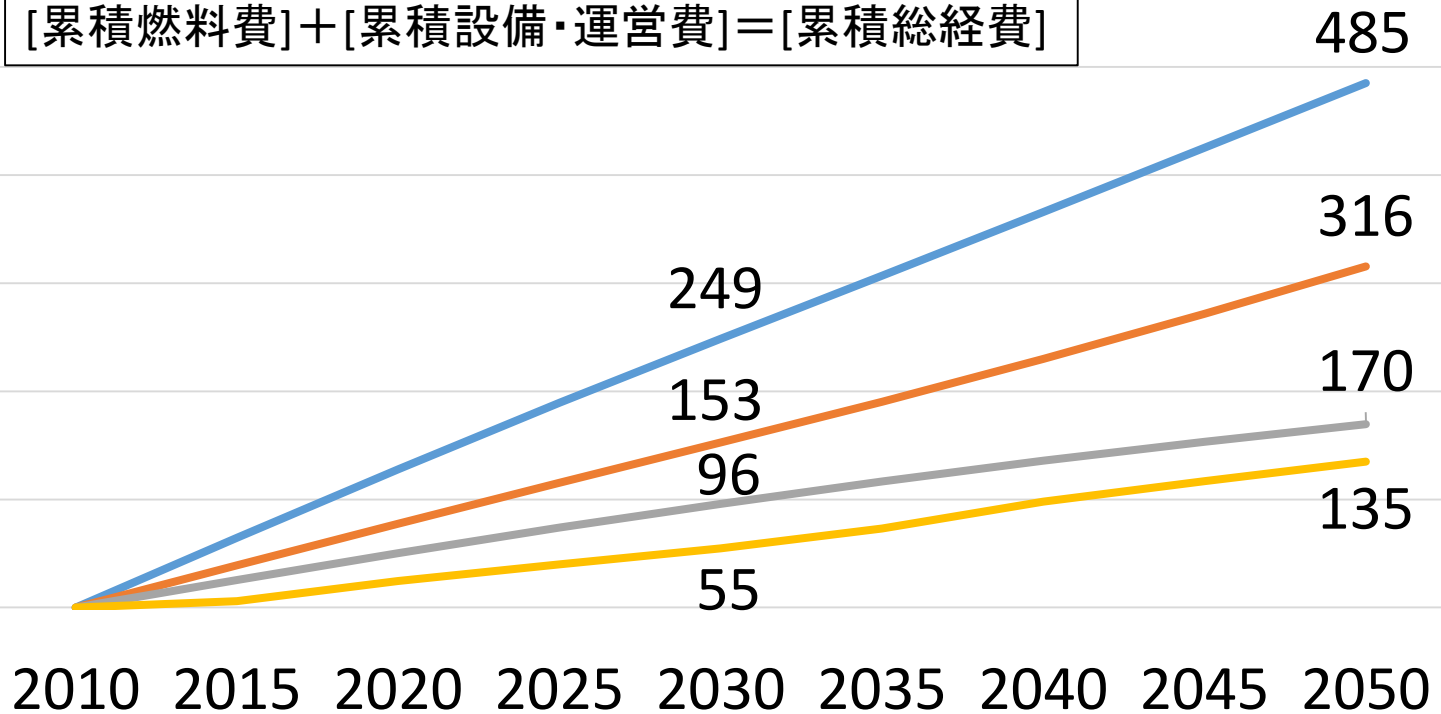
2030年1000TWh  
34%削減  
原子力0

2050年1000TWh  
80%削減  
原子力0

[兆円]

600  
500  
400  
300  
200  
100  
0

[累積燃料費] + [累積設備・運営費] = [累積総経費]



— 総経費 — 設備関連 — 燃料 — 設備投資

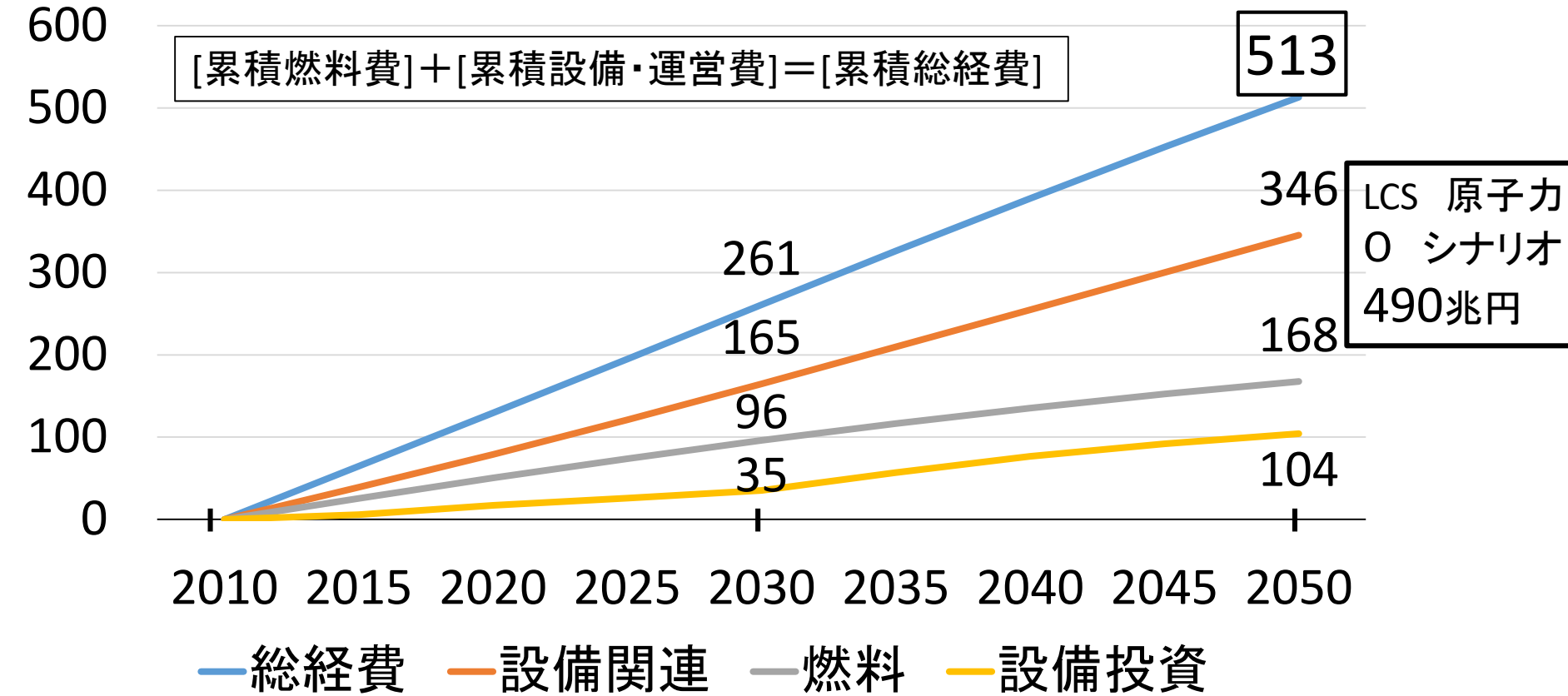


# 80%削減低炭素電源の累積総経費 (2030政府シナリオ経由し2050年80%削減へ)

※ Gov. 1000TWh  
34%削減  
原子力 217

1000TWh  
80%削減  
原子力100

[兆円]



※政府案では2030迄にNP14機新設必要(40年寿命)

# まとめ

脱炭素社会になることは必然と考えて行動している国、組織、個人が増えている。

現在、先進国でも2050年までにCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減する具体策は未だ明確になっていない。それはエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量は条件を決めれば算出できるが、未来の産業構造を明確にすることは困難なためである。その打破のために定量的な多くのシナリオを作成し、未来を見通すことが重要である。

今後、新しい技術、システムが次々と実装されることは確実である。日本は世界の先頭に立って「明るいゼロ炭素社会づくり」に向かって進むことにより、発展する可能性がある。