

CO2ゼロエミッションの実現に向けて

茅 陽一

(公財)地球環境産業技術研究機構

2016. 12. 7

目次

1. CO₂ゼロエミッションの必要性
2. 非電力需要の非炭素化
3. 発電の非炭素化
4. 将来大規模電力供給への対応
5. まとめ

パリ協定の目標

温室効果ガスのネットゼロエミッションの達成 目標

- 1) 気温上昇を工業化以前に比し 2°C 以下
更に 1.5°C 以下になるよう努力
- 2) ゼロエミッションを今世紀以内に達成

問題点

- 1) 2°C 、 1.5°C という数値目標の実現性
- 2) 今世紀内というきびしい時間制約

図: CO2累積排出量と温度上昇との関係

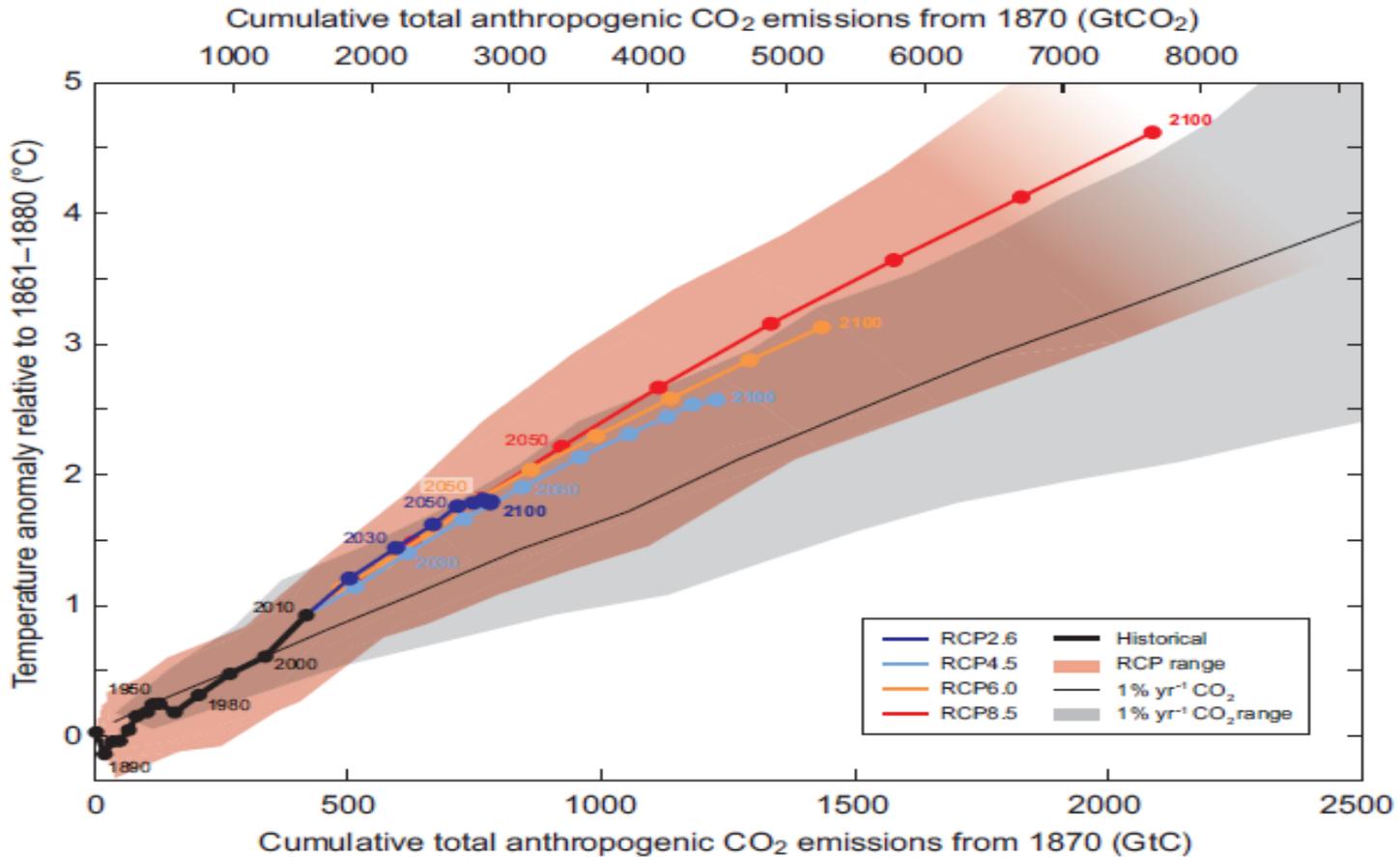


Figure SPM.10 | Global mean surface temperature increase as a function of cumulative total global CO₂ emissions from various lines of evidence. Multi-model results from a hierarchy of climate-carbon cycle models for each RCP until 2100 are shown with coloured lines and decadal means (dots). Some decadal means are labeled for clarity (e.g., 2050 indicating the decade 2040–2049). Model results over the historical period (1860 to 2010) are indicated in black. The coloured plume illustrates the multi-model spread over the four RCP scenarios and fades with the decreasing number of available models in RCP8.5. The multi-model mean and range simulated by CMIP5 models, forced by a CO₂ increase of 1% per year (1% yr⁻¹ CO₂ simulations), is given by the thin black line and grey area. For a specific amount of cumulative CO₂ emissions, the 1% per year CO₂ simulations exhibit lower warming than those driven by RCPs, which include additional non-CO₂ forcings. Temperature values are given relative to the 1861–1880 base period, emissions relative to 1870. Decadal averages are connected by straight lines. For further technical details see the Technical Summary Supplementary Material. (Figure 12.45; TS TFE.8, Figure 1)

Source:IPCC AR5 WG1, SPM、2013

IPCCの図の示唆すること

地球表面気温 \propto 人為的CO₂累積排出量

→ 地球気温安定化のためには
人為的CO₂排出 \Rightarrow ゼロエミッション
・・前記の基本条件の達成

CH₄,N₂Oの影響は相対的に少ない

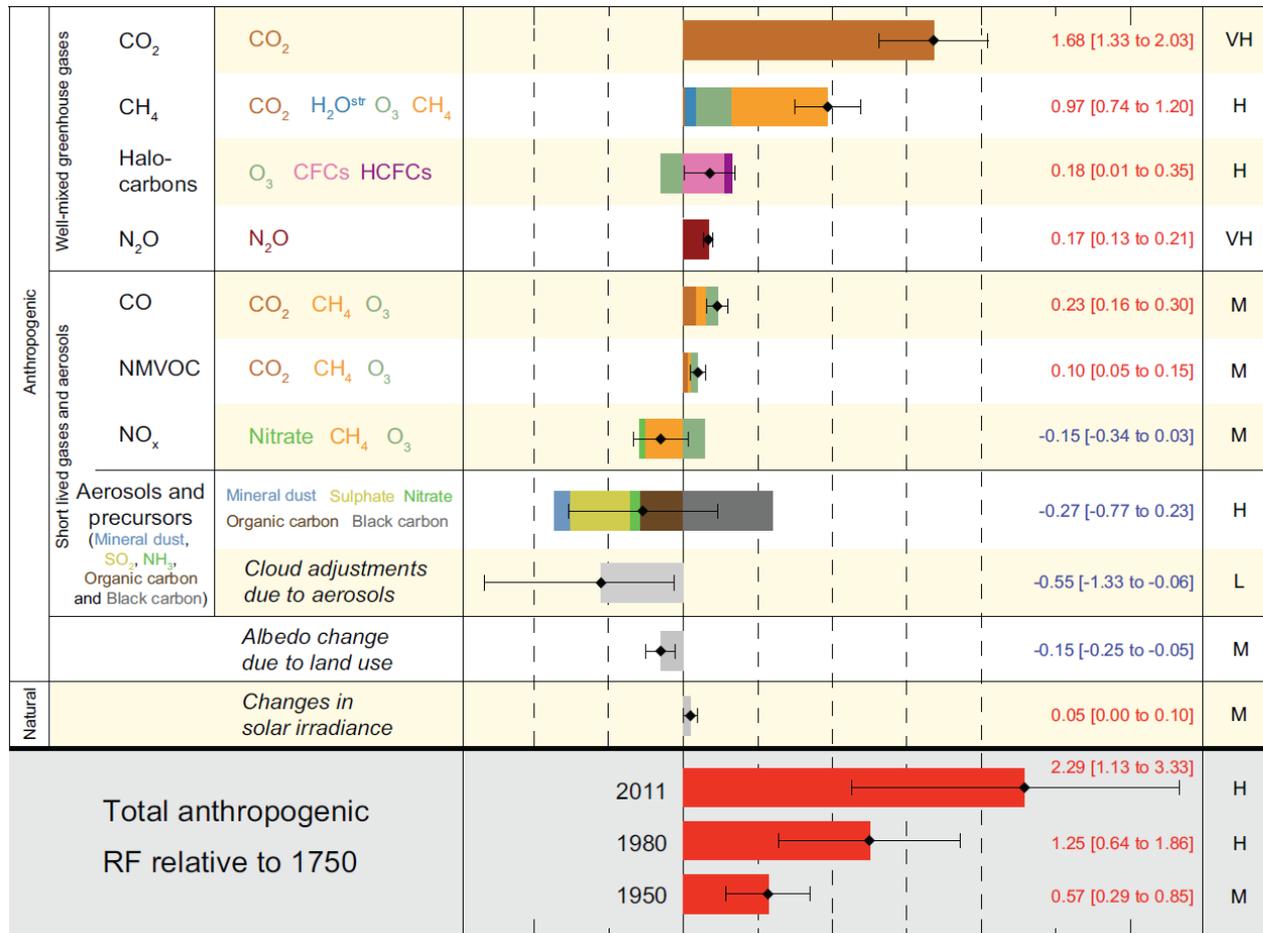
理由1:大気中寿命がCO₂にくらべ短い

CO₂: 20~30%は数千年 CH₄:10年 N₂O:110年

理由2:近年の他のGHGの放射強制力の増加が
相対的に小さいこと

2000~2011 CO₂:20% 他のGHG:7%

温室効果ガスとその放射強制力変化



2011:CO2が7全放射強制力の73%を占める

満たすべき基本の目標

気候変動の安定化

⇒ 地球気温の安定化

その実現時期が何時であれ

実現温度上昇が何度であれ

最終的には上記の目標を必ず達成すべき

事業概要

- 事業名：平成28年度温暖化対策基盤整備関連調査委託費（長期的な地球温暖化対策の検討に向けた調査事業）
- 期間：2016年8月2日～2017年3月31日
- 目的：本調査においては、長期的な温暖化対策として考え得る技術とポテンシャルの評価を行うとともに、様々な技術水準を想定した場合の長期的な削減シナリオ及びそれに付随する費用等を国際比較も交えながら分析を行い、長期的な排出削減水準に応じて、どのような課題が発生するのかといった点を明らかにすることを目的とする。
- 実施内容：
 1. 人為的な温室効果ガスの排出と吸収をバランスするための技術調査と可能性評価
 2. 長期的な地球温暖化対策に係わる総合的なモデル分析

CO2の人為的吸収

1. CCS(CO2の回収貯留)

後述。発電所、大型CO2排出施設に設置。

2. BECCS(バイオマスからのCO2回収貯留)

大規模の土地と貯留井が必要。

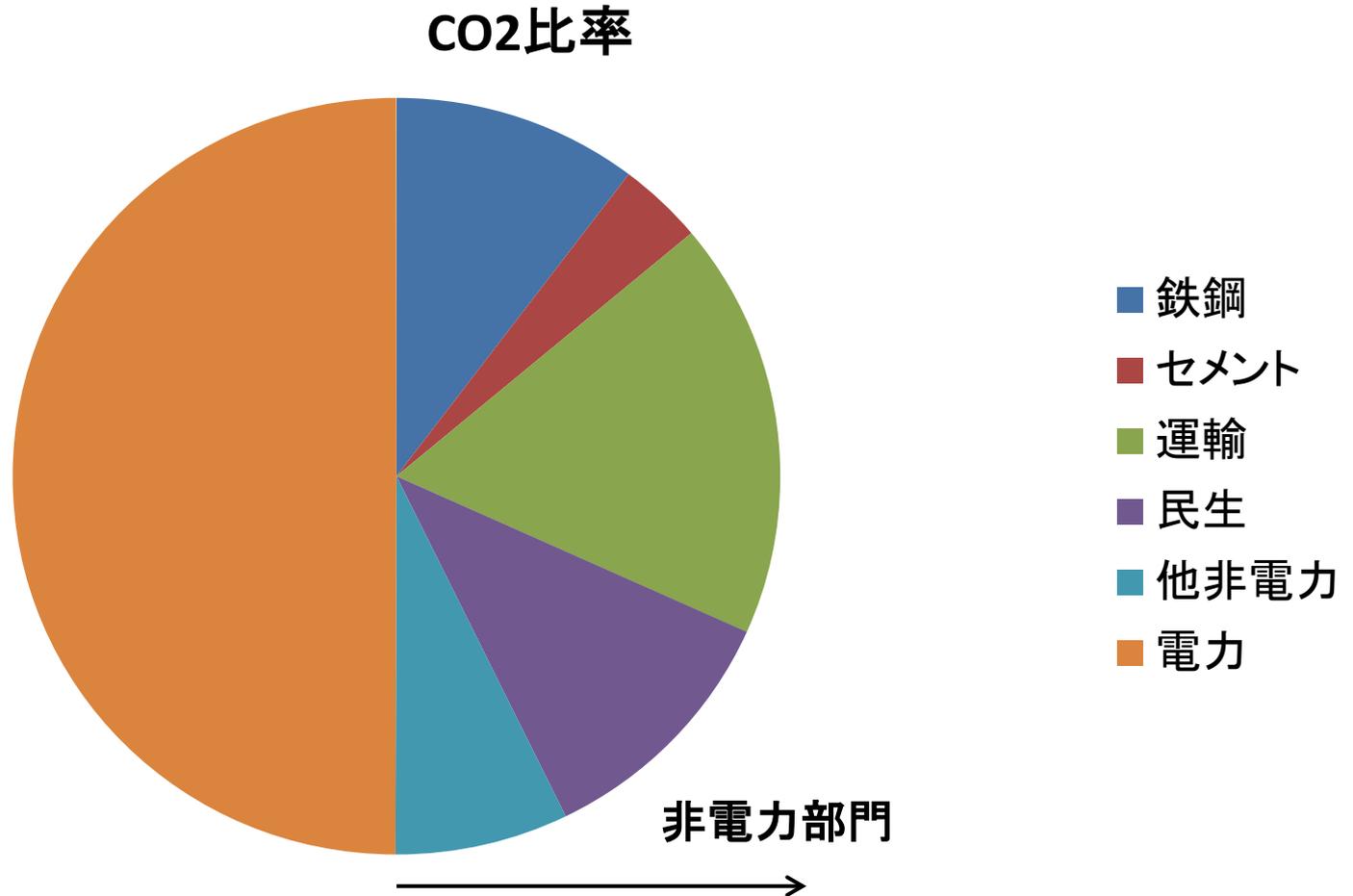
3. DAC(Direct Air Capture)

大気中CO2の化学的固定。高コスト。

4. Afforestation(植林)

本調査では、当面1のCCSのみを扱う。

日本のCO2構成(2013)



CO2ゼロエミッション化に向けて

1) 非電力・石油・ガスのバイオマス転換 電力転換

産業

鉄鋼・セメント

運輸

民生

家庭・業務

2) 電力・発電源の非炭素化 火力へのCCS設置

日本のCO2
排出の90%



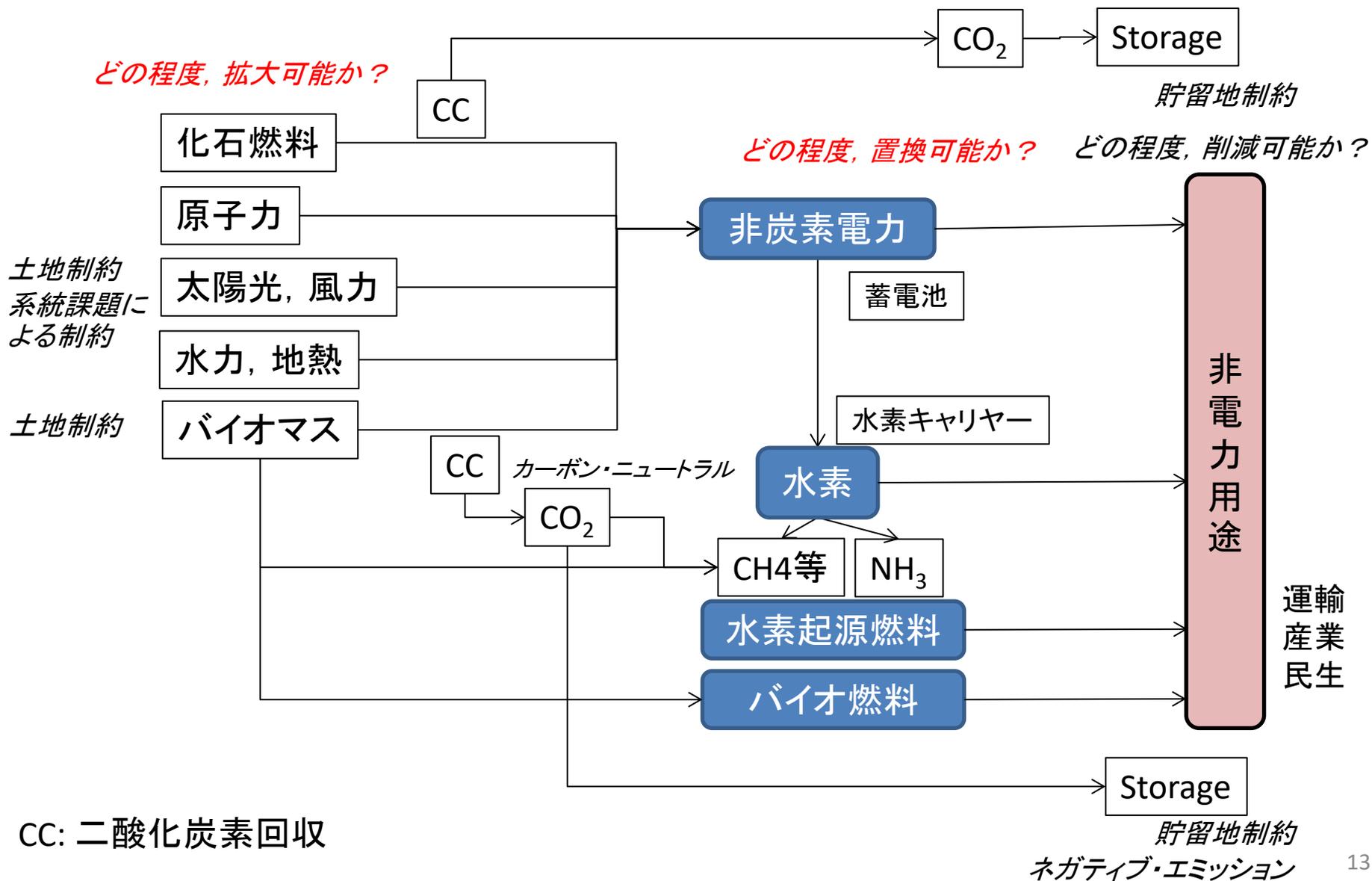
CO2ゼロエミッションの条件

1. 発電電力の非炭素化

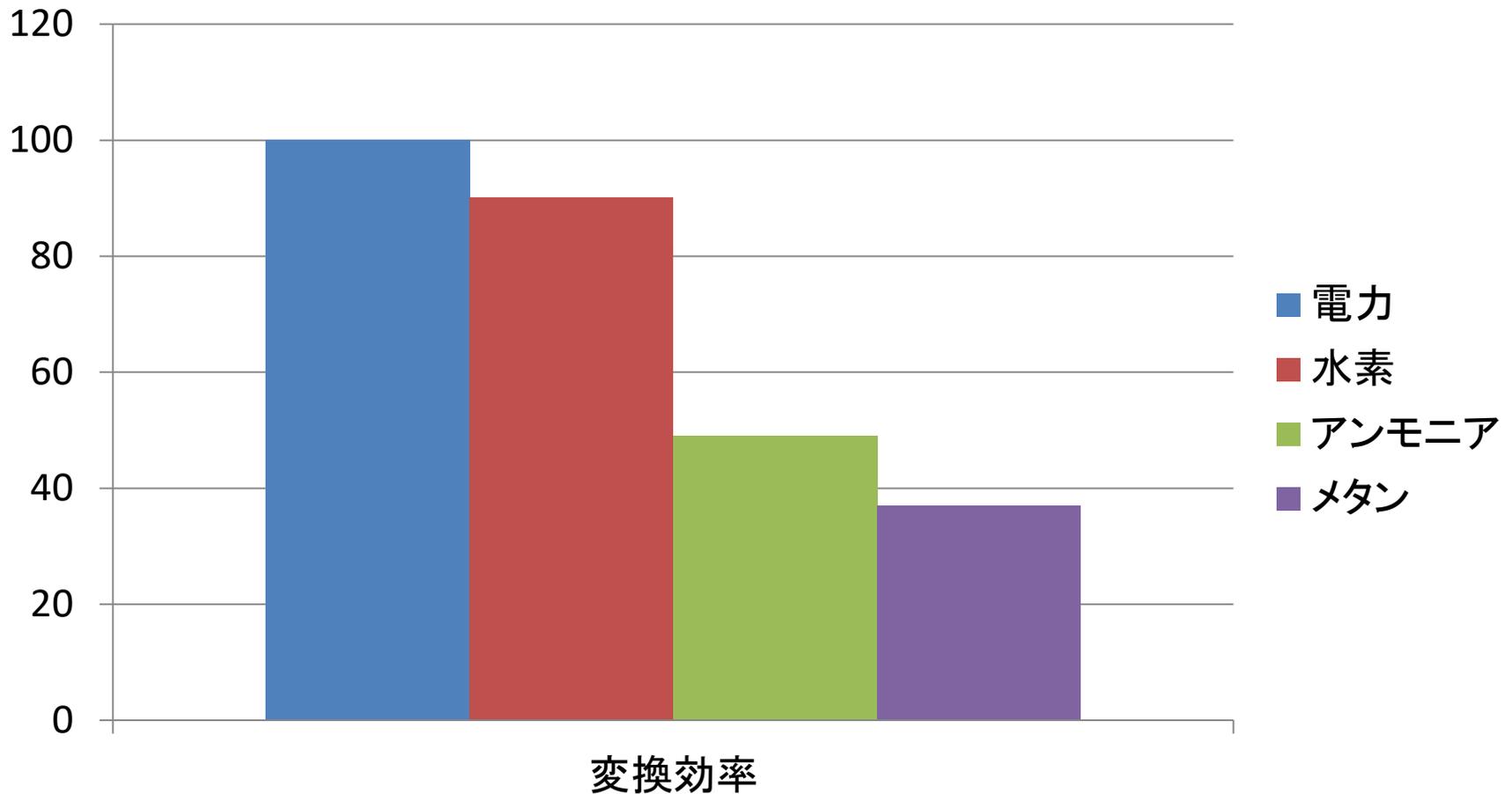
2. 非電力需要の非炭素化

⇒ 発電電力の大幅拡大が必要

長期的な温暖化対策の概念



電力とその転換エネルギー — 転換効率の比較 —



鉄鋼業の対応—COURSE 50

1. 日本の鉄鋼業の省CO₂検討プロジェクト
2016年：君津試験高炉の建設
 2. 水素還元の利用
コークス炉ガス中の水素利用 CO₂ 10%削減
 3. 高炉ガス中CO₂の廃熱利用回収貯留 (CCS)
CO₂ 20%削減
- 合計 30%削減 が現在の目標
→ 将来はCOURSE50を上回る努力必要
製鉄プロセスの抜本的変革？

セメント製造におけるCO₂発生

1. 基本の反応

石灰石 CaCO_3 → 生石灰 CaO + CO₂

↓

セメント

2. CO₂の発生

1) 原料(石灰石)よりの発生

2) 加熱燃料よりの発生

3. CO₂対応方策

回轉窯よりのCO₂の回収→CO₂貯留(CCS)

実施例はまだ殆どない

運輸におけるCO2ゼロエミッション

1. 自動車

現状:

米国・ブラジル: バイオエタノールの利用

問題点: 原料がとうもろこし・砂糖きび(食料との競合)

→ 非食料(セルロース)のアルコール化

将来:

電気自動車の普及・・・非炭素電力前提

燃料電池車の普及・・・非炭素源→水素は水の電解?

2. 航空機・船舶

現状: 殆ど石油

将来: バイオ燃料(現在開発途上)

問題点: 原料の量的制約

H₂、CH₄の適用?

民生におけるゼロエミッション

1. 基本は電力化

例：全電化住宅

2. 日本の場合

LPG, 灯油の利用システムをどう転換するか

わが国の発電非炭素化

1. 現在世界の発電用燃料の約70%が化石燃料である。
2. 現在利用されている主要非化石燃料は
 - 1) 原子力
 - 2) 再生可能エネルギー(再エネ)で、これを拡大するのが非炭素化の基本の方策。
3. 原子力の拡大は国にもよるが、電力の数十%を超える国は稀であり、わが国においても最近の状況を考えれば大幅に原子力を拡大することはむずかしい。
4. 水力等の従来からの再エネはわが国ではそのポテンシャルをほぼ限界まで利用しており拡大はむずかしい。
5. したがって、太陽光発電・風力発電などの新しい再エネの
開発が重要になる。

日本電力の電源構成とCO2排出

	2014	2030政府計画	将来像
原子力		20 ~ 22 %	20
従来再エネ		13 ~ 15	15
新再エネ			
太陽光		7	15
風力		1.7	10
火力			
石炭		26	0
石油		0	0
LNG		27	40
排出CO2	0.55 × 10 ⁹ ton (100)	0.32 × 10 ⁹ ton (58)	0.15 × 10 ⁹ ton (27)

新型再エネ出力変動に対する需給調整 —対応の方策—

1. 従来方式の調整：火力の利用

問題点：火力稼働率低下→経済性低下
CO2排出

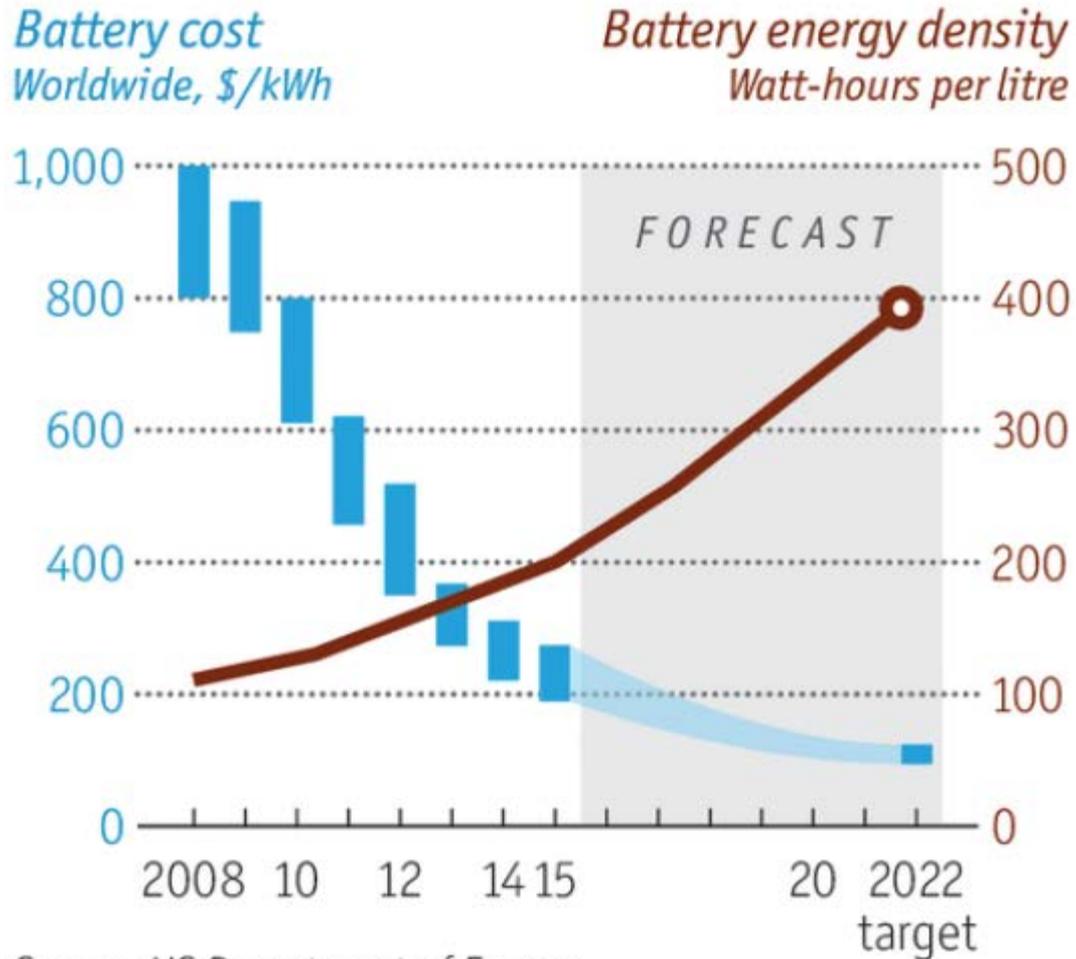
2. 二次電池方式の利用

問題点：二次電池のコスト（千円/kWh）

例：NEDO road map

	現在	2020目標
NAS電池	55	23
Li イオン電池	85	?

Li イオン電池のコストの推移



Source: US Department of Energy

Source: The economist, Nov.26,2016, The coming revolution in transport

導入新型再エネ・二次電池 —必要容量とそのコスト—

	発生電力	設備容量
太陽光発電	0.15×10^{12} kWh	143×10^6 kW
風力発電	0.05	23
必要二次電池容量 *		128
二次電池コスト * * 寿命	18.4×10^{12} 円 20年	

* 週末(2日)昼間10時間分を貯蔵

* * NEDO 2020 目標値 23×10^3 円/kWhの場合

電源・2次電池コスト

装置種類	単価(2030年時)	総コスト
電源		
原子力	10.3 円/kWh	2.1×10^{12} 円/年
水力	11.2	1.1
地熱	19.2	1.0
太陽光	12.5	1.9
風力	13.6	0.7
ガス火力	11.6	5.2
計		12.0
二次電池	23×10^3 円/kWh	0.9
Economist 予想	5	0.2
計		

Economist の予想があたれば 二次電池コストは殆ど無視できる。

新再エネ大量導入時の技術的課題 —慣性不足による周波数安定性問題—

1. 慣性問題: 大量再エネ→同期機比率低下 による慣性低下

$$\omega J \frac{df}{dt} = P_m - P_e \quad (1)$$

↑ ↑ ↑ ↑

慣性 周波数 入力 出力電力
 変化 エネルギー

2. 対策の方向

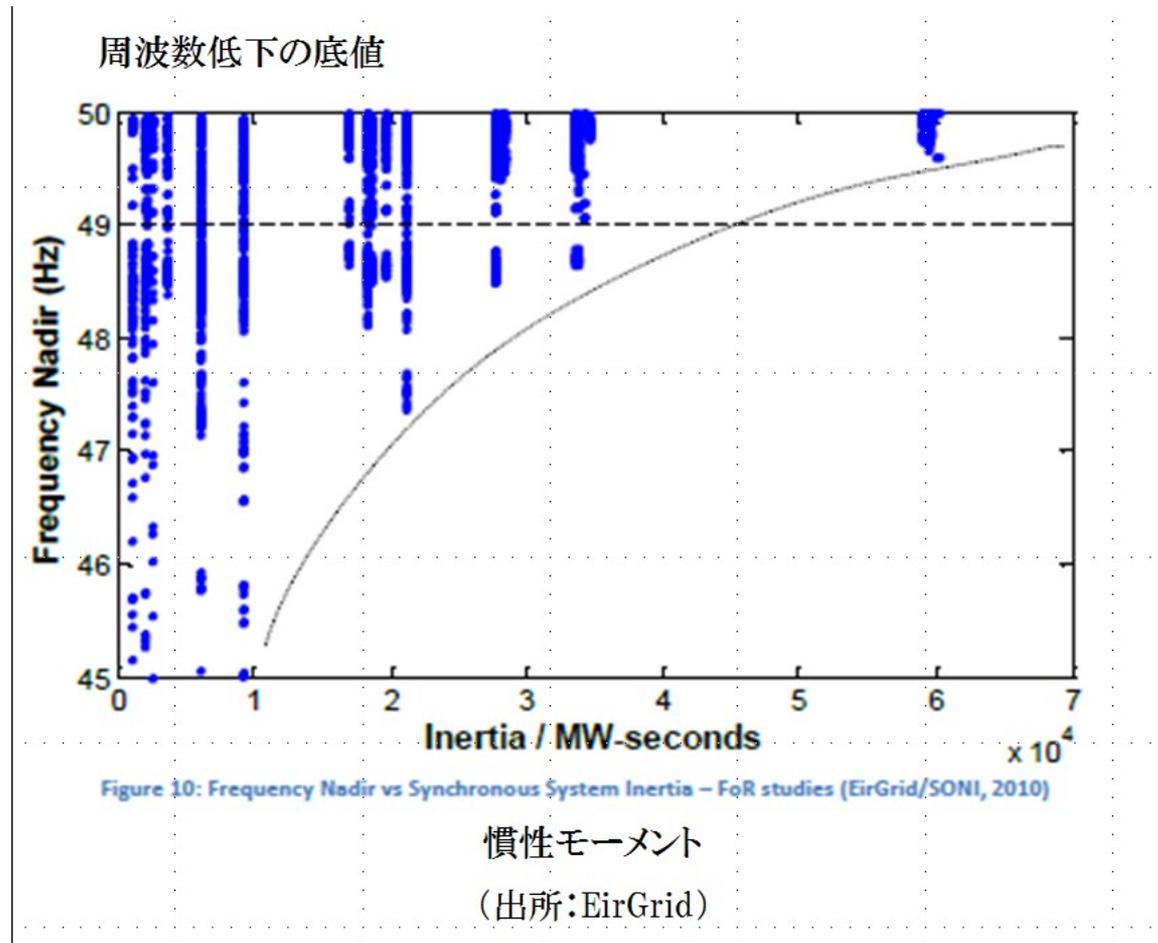
1) 従来対応: 新再エネの量を限界以内にとどめる

2) 考えられる新しい対応のアイデア

高速の蓄電装置からその出力をdf/dtに比例させ慣性の代替とする。蓄電装置としてキャパシタ・高速二次電池等

アイデアはあるが未だ具体化実例なし。今後詳細な検討が必要。

同期機慣性と系統周波数変動 —アイルランドの例—



Source: Eirgrid: Ensuring a Secure, Reliable and Efficient Power System in a Changing World, June 2011, Fig.10

将来の電力需要大幅増大の必要性

将来ゼロエミッションのために

非電力需要の化石燃料代替

→かなりの部分が電力ないし水素による代替

非電力需要～3×電力需要

(最終エネルギー消費)



将来電力需要の大幅増大

将来の大幅電力需要増への対応

1. 中期将来

1) 新再エネ＋二次電池＋CCS

2) 大規模太陽熱発電(CSP): 乾燥地

2. 長期将来

1) 宇宙太陽光発電(SPS)

2) 核融合発電

太陽熱発電(CSP)の特徴

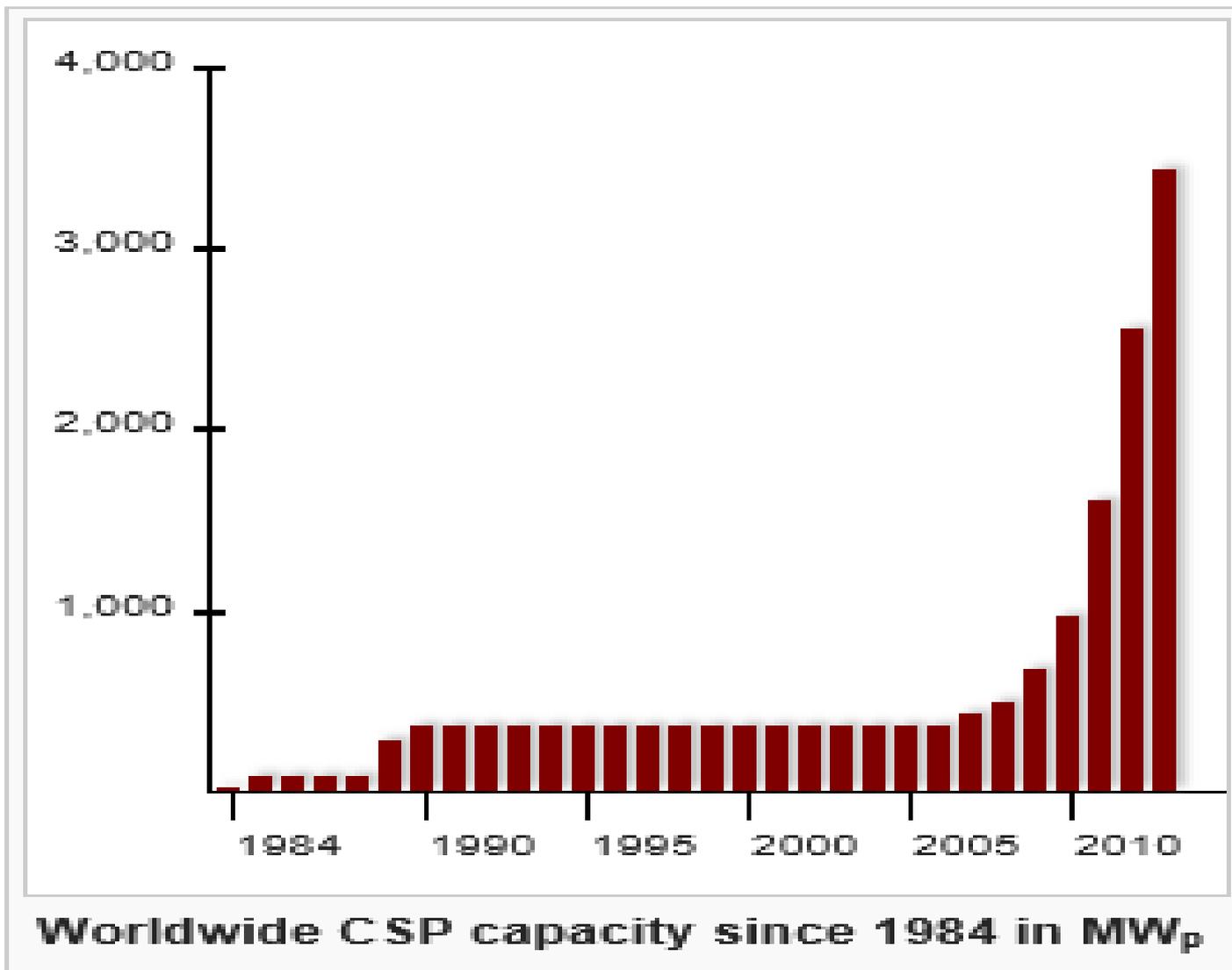
1. 熱貯留により電気出力の安定化が可能
2. 現実に利用できる技術として、世界各地で既に300万kW以上の設備稼働中。
3. 砂漠一乾燥地での電力→遠隔地送電の形で将来かなりの幹線電力となり得る。
例: 2000年代に企画されたサハラ砂漠の
Dessertec計画 直流送電
ヨーロッパ需要の1/15←サハラCSP
サハラ地域の政治的不安定性のため中止



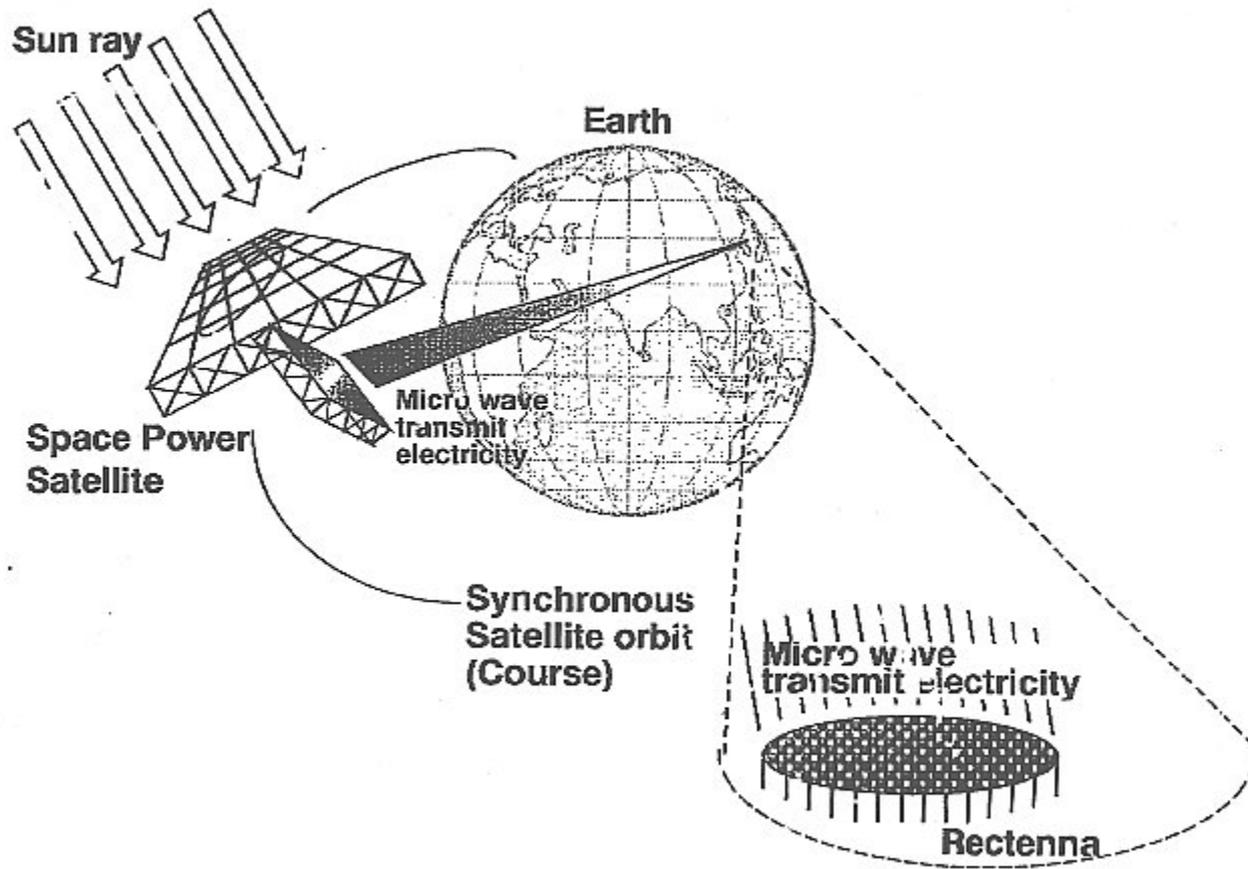
The **PS10 solar power plant** in Andalucía, Spain, concentrates sunlight from a field of **heliostats** onto a central **solar power tower**. 

太陽熱発電(CSP)の世界での発展

MW

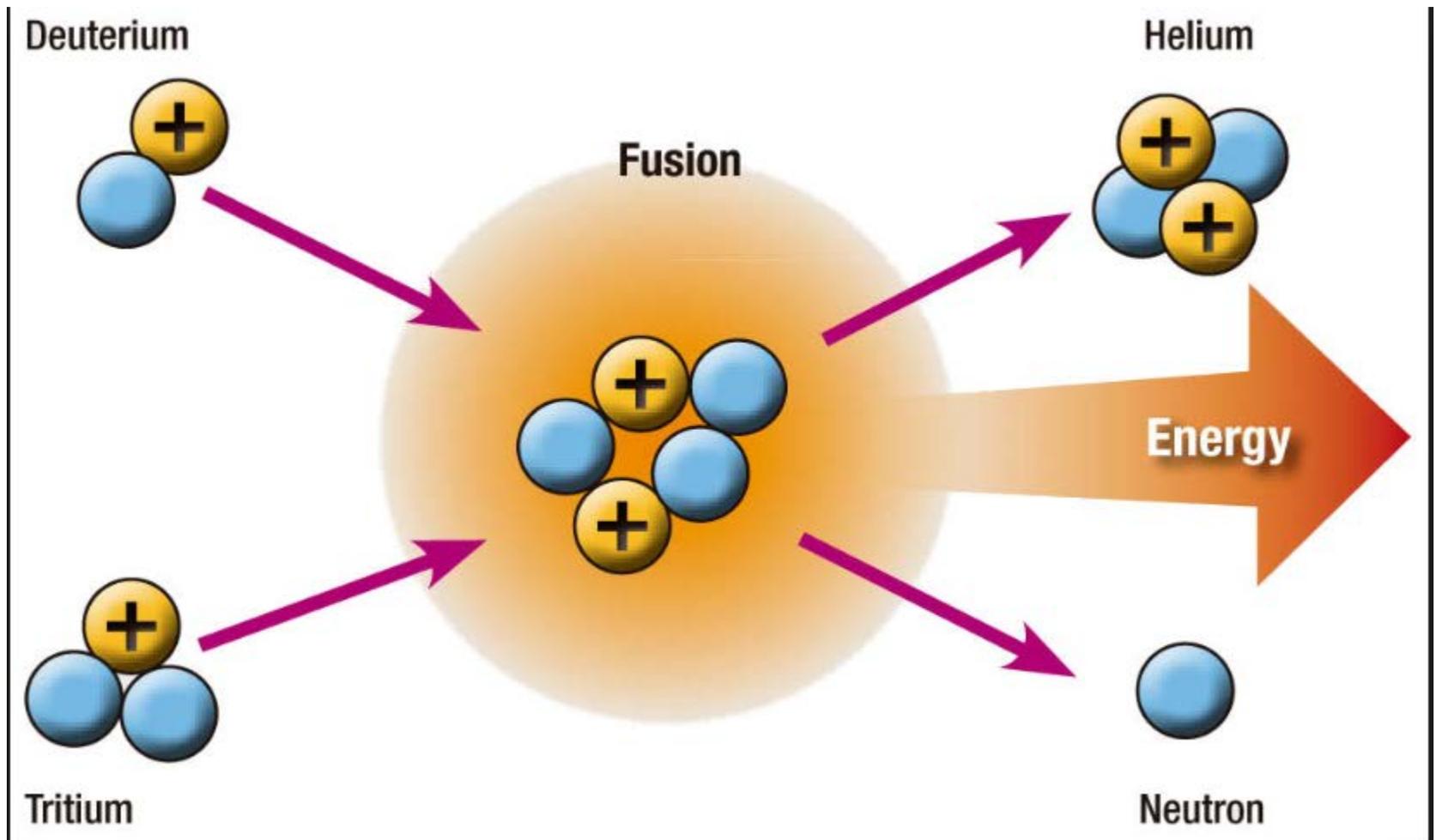


Space Power Generation System



宇宙太陽光発電 (SPS) の特徴

1. 地上38,000kmの静止軌道に存在するため、SPSー地上アンテナの位置関係が一定に保たれる。
2. 太陽電池出力をマイクロ波転換送電し、殆ど地上大気状況に影響されない安定した送電を行うことが可能。(20GHz以下)
3. 設備コスト、設備打ち上げ・宇宙での設定を如何に安価に行うかが今後の鍵。



図：核融合の原理

まとめ

1. 温暖化対応の長期戦略として期限は別として 人為的排出CO2のゼロエミッション を基本目標とすべき。
2. 電力非炭素化の手段には、太陽光発電・風力発電の導入拡大が必要。その出力大規模変動に対応する手段として 二次電池及び火力+CCSの導入が必要 二次電池・CCSの負担はシステムコストと比較して1～2割程度であり、受け入れ可能ではないか。
3. 将来のゼロエミッションの実現には発電電力の大幅な増加が必須。超長期的には太陽熱発電、核融合発電、宇宙太陽光発電のような 大規模非炭素発電を開発すべき