ゼロエミッション社会への道

茅　陽一
（公財）地球環境産業技術開発機構
2016．2．10

目次

１．温暖化対策の基本目標と対応策としての
　　ＣＯ２ゼロエミッション
２．需要面からみた対応の方向
３．水素の一次エネルギー
４．発電用燃料の非化石燃料化
５．ＣＣＳとその役割
６．将来大規模電力需要への対応
７．おわりに

温暖化対策の基本目標

地球大気温度の安定化

温度上昇限度を何度に設定しようと
この基本目標は必ず達成する必要

⇒　この基本目標達成の方法は何か？

温室効果ガスの温室効果

１．主要３温室効果ガス（ＣＯ２，ＣＨ４，Ｎ２Ｏ）
別紙

２．Montreal議定書対象ガス
先進国　2020までに
発展途上国 2030までに　全廃　の予定

３．京都議定書対象ガス（CO2,CH4,N2O以外）
１）にくらべて温室効果は圧倒的に低い

→　したがって、長期の温暖化を考慮する場合には
主要２温室効果ガスに比して他の温室効果ガスの影響は殆ど無視できる

一定排出量に対する温室効果

大気中残留量

$$\sum A \exp(-\gamma t) = \frac{A}{\gamma}(1-\exp(-\gamma \mathrm{T}))$$

$$\rightarrow \frac{A}{\gamma}\text{(一定値)}$$

したがって、寿命が短い温室効果ガスほど
早期に一定量で飽和し、
温室効果の増加→温度の増加効果
は ゼロ となる。

主要3GHGについて

１．大気中寿命

CO2　 20～30%　は数千年

CH4　　 12年

N2O　 114年

２．長期（数十年以上）にみた温度増大効果

CH4，N2Oは大きな継続的増加がない限り

温度増大効果　→　ゼロ

CO2のみが温度増大効果を持つ

→ **長期の温度安定化のためにはCO2のゼロエミッションが必要**

図：CO2累積排出量と温度上昇との関係

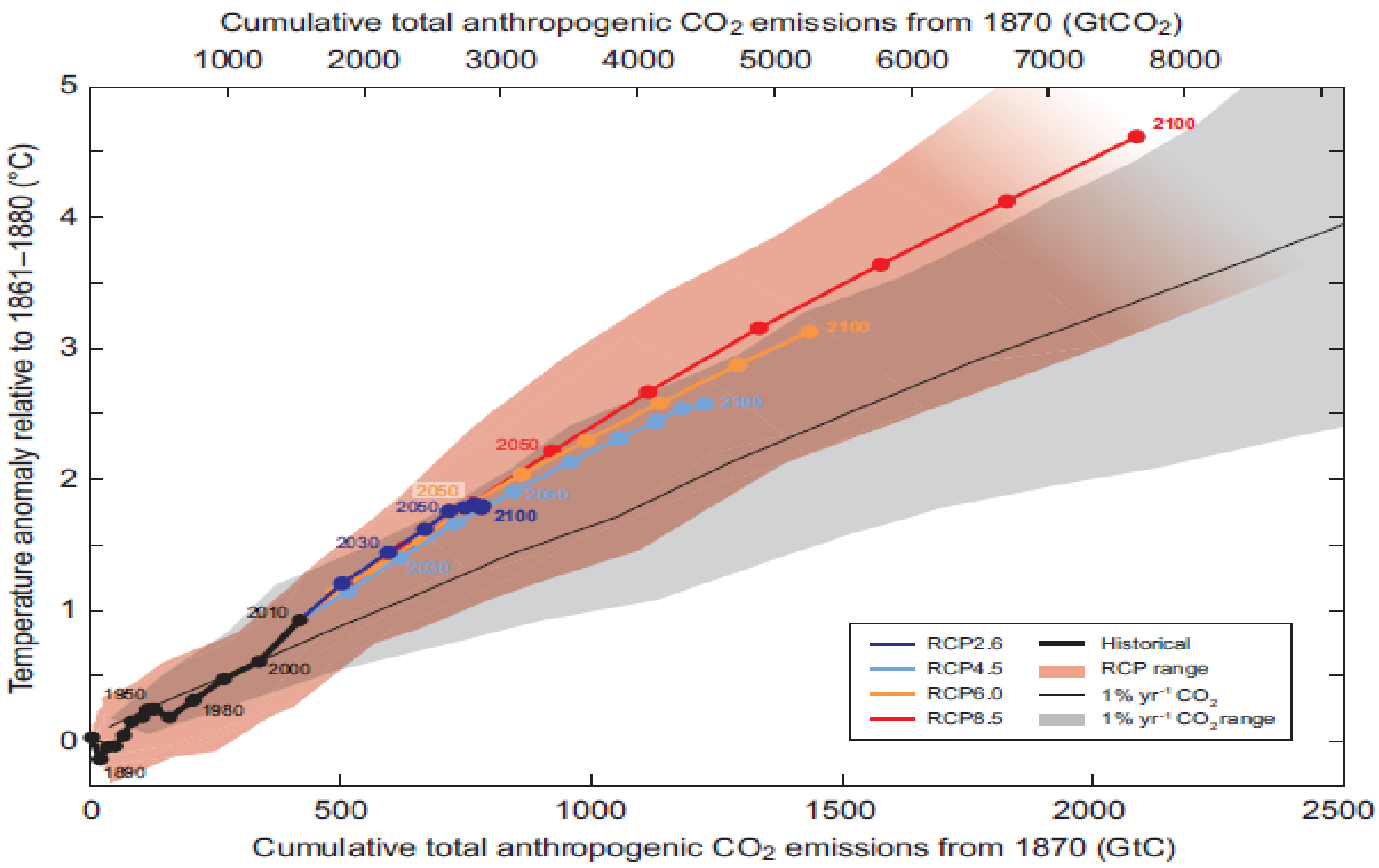


Figure SPM.10 | Global mean surface temperature increase as a function of cumulative total global CO_2 emissions from various lines of evidence. Multi-model results from a hierarchy of climate-carbon cycle models for each RCP until 2100 are shown with coloured lines and decadal means (dots). Some decadal 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 CO_2 increase of 1% per year (1% yr^{-1} CO_2 simulations), is given by the thin black line and grey area. For a specific amount of cumulative CO_2 emissions, the 1% per year CO_2 simulations exhibit lower warming than those driven by RCPs, which include additional non-CO_2 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

気温安定化とゼロエミッション
―IPCCの指摘―

「CO2累積排出量と大気温度とはほぼ線形の関係」
cumulative total emissions of CO2 and global mean surface temperature response are approximately linearly related
(IPCC AR5 WG1 SPM p.27)

⇒ 大気温度の安定化のためには
CO2排出＊をほぼゼロとすることが必要

＊従来は人為的吸収が殆どゼロのため、CO2排出のみが取り上げられている。吸収を考慮する場合には人為的CO2のネットの排出をゼロとすることが目標となる。

→ 人為的排出CO2のネットゼロエミッションが地球大気温度安定化の条件

CO_2人為的吸収について（1）
―過去の例―

先進国森林整備による吸収（京都議定書における認定）

認定対象国	年間認定量	年間認定量（対全量比）
ロシア	3．300万トン	4．0％
日本	1，300	3．9
カナダ	1．200	7．3

注：認定量100万トン以下は除く

ＣＯ２の人為的吸収について（２）
ー具体的対策の導入ー

IPCC ２℃目標シナリオでは大部分が
BECCS（Biomass CCS）ないしAR (植林)を
２１００年には 3.3 Gton C 程度導入。

１）BECCSの場合、必要土地面積
380～700 Mhaの土地が必要＊
＊source: Smith,P. et al: Nature C.C. vol.6, Jan.2016
世界の可耕地(arable land)1500Mhaの３～５割に対応
実行可能性は低い？ ・・食料生産との競合

２）植林はおそらくもっと可能性が低いと思われる。

３）他にも化学的大気中ＣＯ２吸収など人為的吸収諸案が提案されているが、現状ではいずれも実現は困難。

のぞましい世界の実際的対応方向

１．化石燃料ベースのＣＣＳを除くと、将来に
ＣＯ２の大きな人為的吸収を実現すること
は土地の利用可能性からみても困難

↓

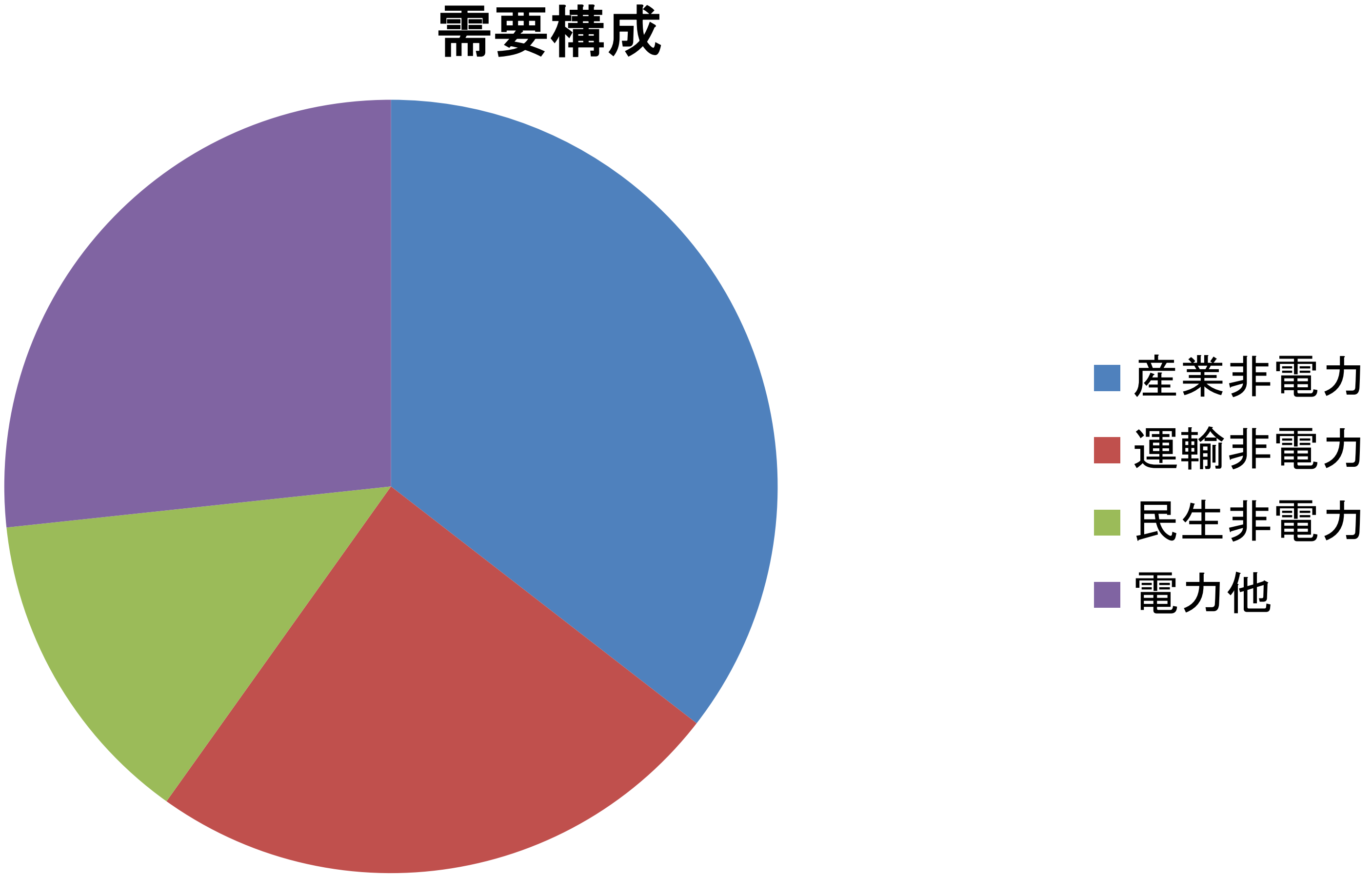
２．人為的ＣＯ２排出のゼロ化＊に主として努力すべき

↓

3.　化石燃料よりのＣＯ２排出のゼロ化努力

＊化石燃料より排出するＣＯ２のＣＣＳは排出
削減努力に含めるものとする

日本のエネルギー需要構成（2013)



非電力需要の内訳

対象となる主要需要

１．産業非電力需要　　　　　　３５％

２．運輸非電力需要　　　　　　２４

自動車

航空機

船舶

３．民生非電力需要　　　　　　１３

注：上記運輸需要は国内運輸のみ。航空機、船舶の国際需要は大きい。

エネルギー需要の特徴
ー電力・非電力需要の視点からー

１．需要は電力・非電力需要にわけられる。
２．非電力需要の９９％以上は石炭・石油・天然ガスなど
　　の化石燃料で賄われる。
３．CO_2は、エネルギー部門では化石燃料消費によって排出される。
４．したがって、CO_2ゼロエミッションは
　１）各部門非電力需要燃料の非化石燃料代替
　２）発電用化石燃料の非化石燃料代替
　３）化石燃料燃焼の場合のCO_2のCCS処理
　　の３つの手段のいづれかで賄わなければならない。
５．化石燃料は世界一次エネルギーの８０％以上を占める。
　　したがって、CO_2ゼロエミッションはエネルギーシステムの抜本的変革であり、その実現にある程度以上の時間を要する。

化石燃料を代替する非化石燃料

候補として次のものがあげられる。

１）バイオ燃料

第一世代ー食料起源

第二世代ー非食料起源（セルロース系）

２）水素

３）電力

このうち、２）３）はいづれも二次エネルギーであり、その一次エネルギーの非炭素化が必要となる。

産業非電力需要への対応

１．産業非電力需要は、主要な用途は
　直接加熱
　蒸気・温水製造
などで温度は数十度から千度を超える高温に達する。

２．この需要を非化石燃料でカバーするとすれば電力・水素・バイオ燃料はいずれも可能性はある。ただし、それぞれの適性については対象プロセスによって異なり今後の詳細調査が必要。

運輸非電力需要への対応

１．自動車
　電力（EV)、水素（FCV)は現在可能。
　バイオ燃料については、第一世代バイオはすでに利用
　されている。（ただしどこまで専焼できるかは今後の課題）
　第二世代バイオについては水素転換を含め今後検討の要。
２．航空機
　１）バイオ燃料　現在R&Dの段階
　２）電力：蓄電の限界から可能性小？
　３）水素：可能性はあり得る
３．船舶
　１）バイオ燃料　　可能性はある
　２）電力：蓄電の限界から可能性小？
　３）水素：可能性は少ない？

民生非電力需要への対応

１．非電力需要は殆ど以下の用途。
　１）冷暖房　２）給湯　３）調理

２．冷暖房、給湯はすべて１００℃以下で
　電力ーヒートポンプによる供給可能。

３．調理は理論的には電力（IH）で供給可能だが、燃焼熱・炎等を用いる調理がどこまで電力代替できるかは今後の課題。

水素の一次エネルギーについて

１．方向は以下のようにいくつかあり得る

１）水の電気分解

２）原子力（高温ガス炉）による水の熱化学分解

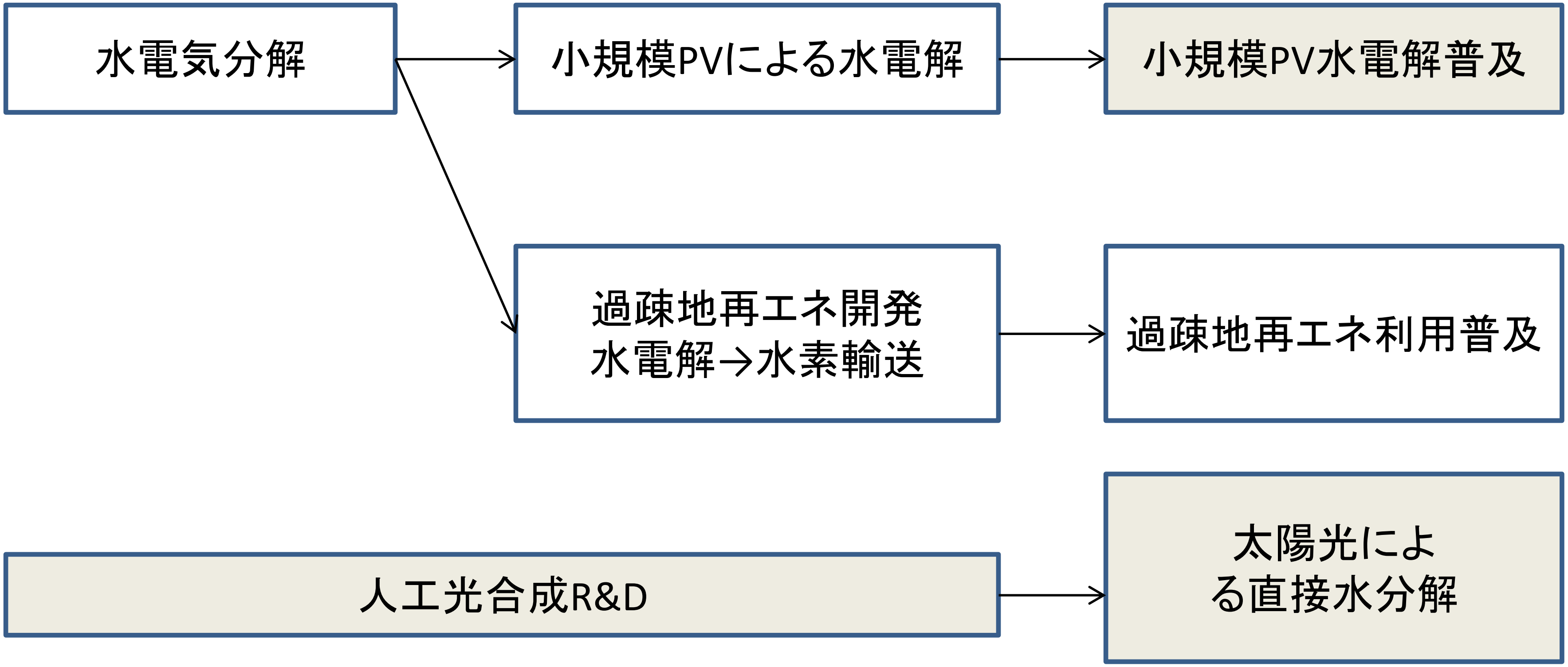
３）化石燃料よりの変換とCCSの併用

２．現状では２）３）の選択は制約が大きい。

むしろ今後の電力の低炭素化を前提に

１）の選択を考慮すべきであろう。

＜水素製造技術の今後＞


水電気分解
小規模PVによる水電解
小規模PV水電解普及
過疎地再エネ開発
水電解→水素輸送
過疎地再エネ利用普及
人工光合成R&D
太陽光による直接水分解

発電用燃料の非化石燃料化（１）
―基本認識―

１．現在世界の発電用燃料の約７０％が化石燃料である。

２．化石燃料を利用する場合は非炭素化にはCCS導入前提。

３．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）

４．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、これ以上化石燃料代替を進めるとすれば再エネの拡大しかない。

発電用燃料の非化石燃料化（２）
ー再生可能エネルギーの拡大ー

１．太陽光・風力発電等の再生可能エネルギーは出力変動が大きく、系統需給バランスを考えると次の２つの選択が必要である。
　選択１：火力＋CCS
　選択２：大規模蓄電施設の導入

２．CCSの導入限定性を考慮すれば、選択2について今後積極的に考えるべき
１）大規模蓄電池(NaS 電池等）
２）化学的蓄電装置の開発＊

＊例：Dimetyl ether (DME)　蓄電密度が蓄電池の一桁上
　総合効率　50~60%
　source: Gencer,E. et al:Energy Policy 88,Jan 2016

火力発電とCCS

１．大幅な再エネ導入時にはその出力変動に対応し、需給調整を行う設備が必要となる。

火力発電は貯電装置と共にその役割を果たしうる。

２．将来のゼロエミッション社会においては、火力発電はCCS導入が必要不可欠となる。

CCS（CO2 capture and storage)

1. 技術の沿革

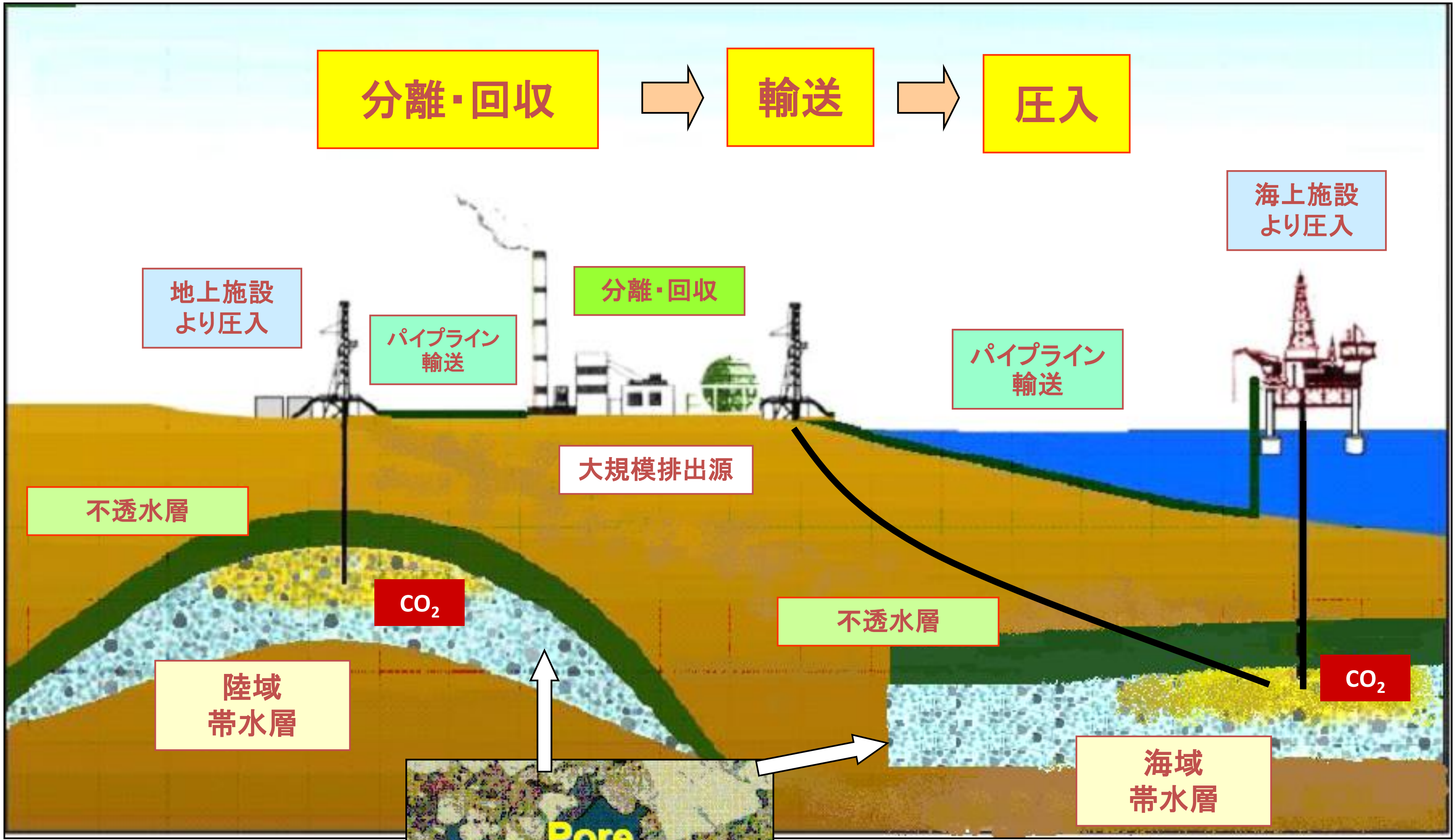
１）EOR(Enhanced Oil Recovery)―CO2押し込みによる石油増収技術―として米国中心に利用

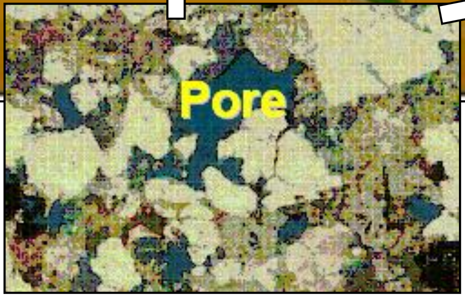
２）１９９６北海Sleipnerガス田の随伴CO2を海底下に貯留（１００万トン/年）

2.技術の方向

火力発電排ガス中のCO2回収→地中貯留により火力発電の排出CO2の大気外放出ゼロ化

CO_2地中貯留（帯水層貯留）技術の概要





帯水層の顕微鏡写真

Pore（空隙）部分に
CO_2を貯留

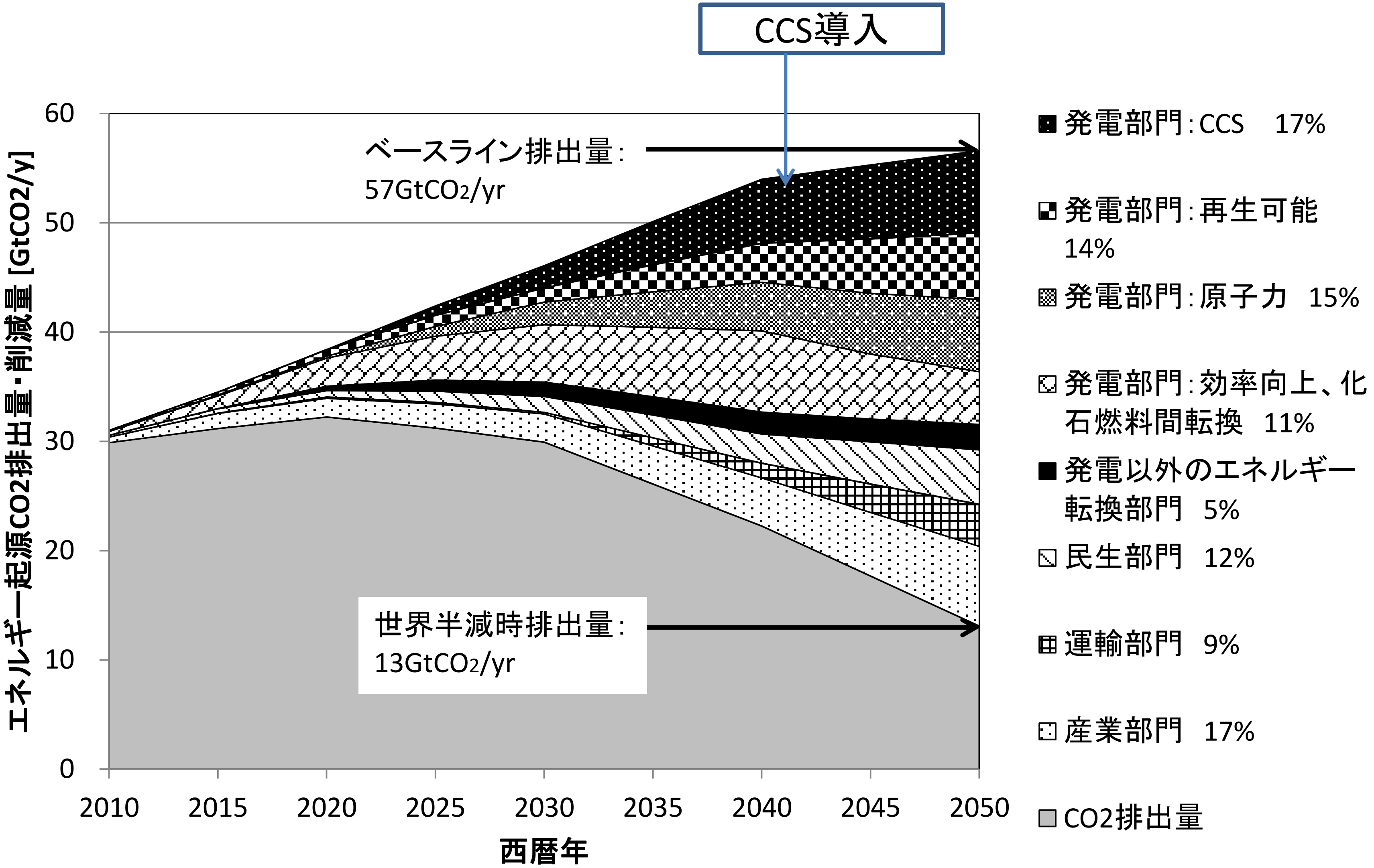


図2 2050 世界CO2排出半減シナリオ（RITEによる）

CCSの利点と問題点

１．利点

化石燃料利用下でCO_2ゼロエミッション可能

２．問題点

１）コストが比較的高い：数千円/ton CO_2以上

→　電力価格が数円/kWh以上上昇

２）貯留に関してpublic acceptance確保の要

将来の電力需要大幅増大の可能性

前記で非電力需要の化石燃料代替として
電力、水素、バイオ燃料をあげている

このうち水素は電力起源で製造される可能性が高い。

→　従来電力需要＋
非電力需要を代替する電力
水素の一次エネルギーとしての電力

→ **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

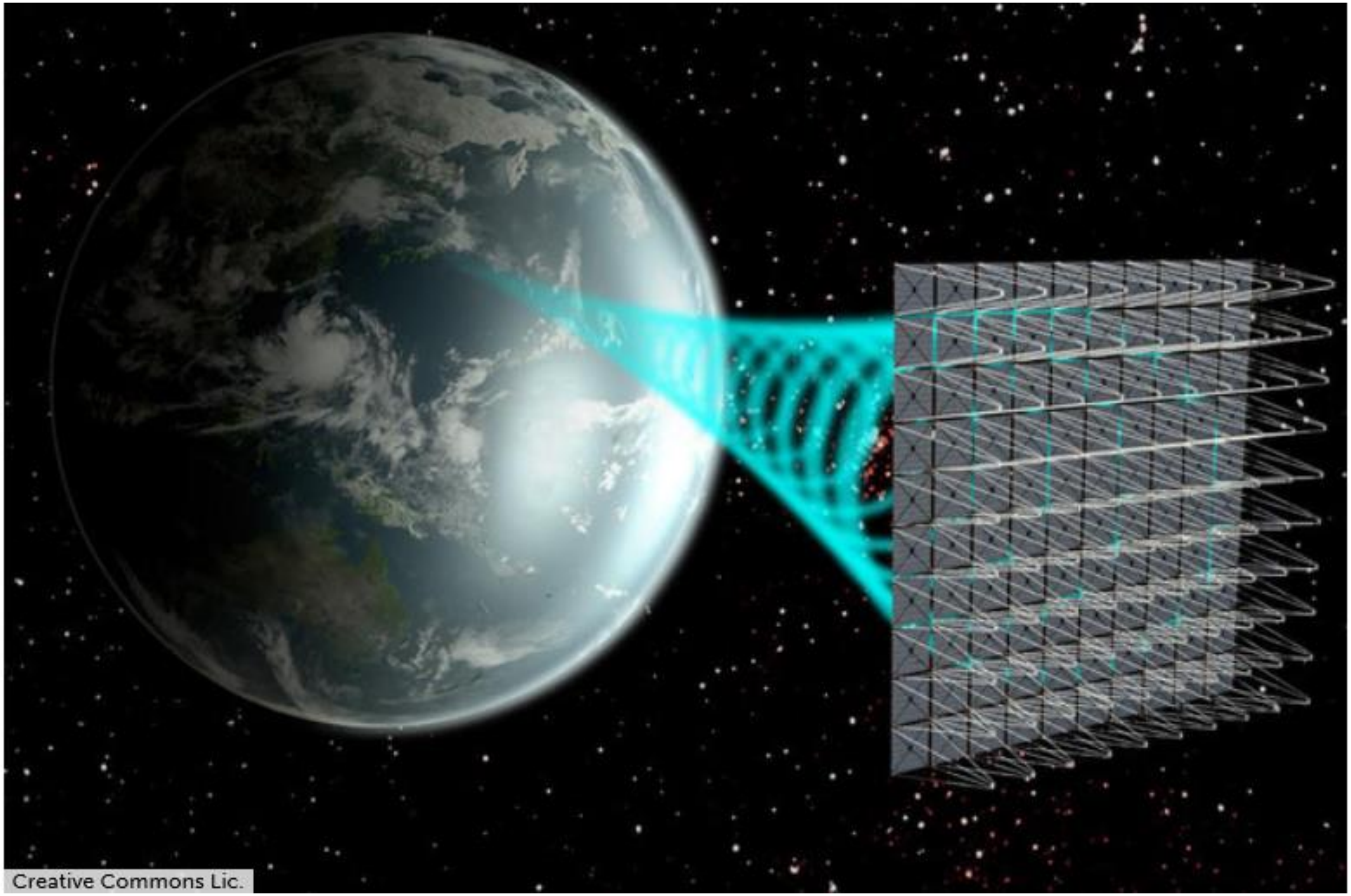
１）再エネ＋大規模蓄電装置

２）大規模太陽熱発電

２．長期将来

１）宇宙太陽光発電

２）核融合発電



図：宇宙太陽光発電（SPS)のイメージ

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。

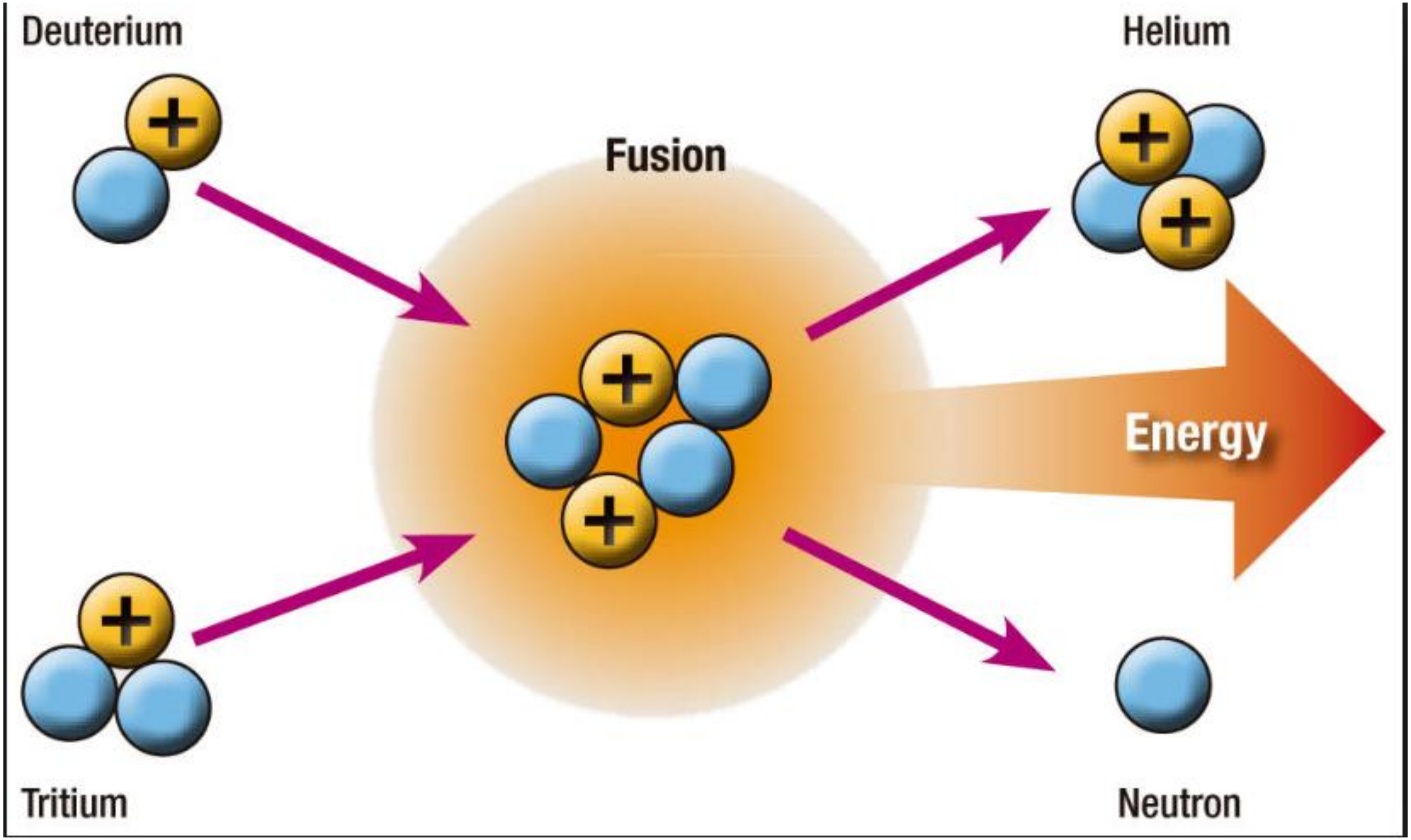
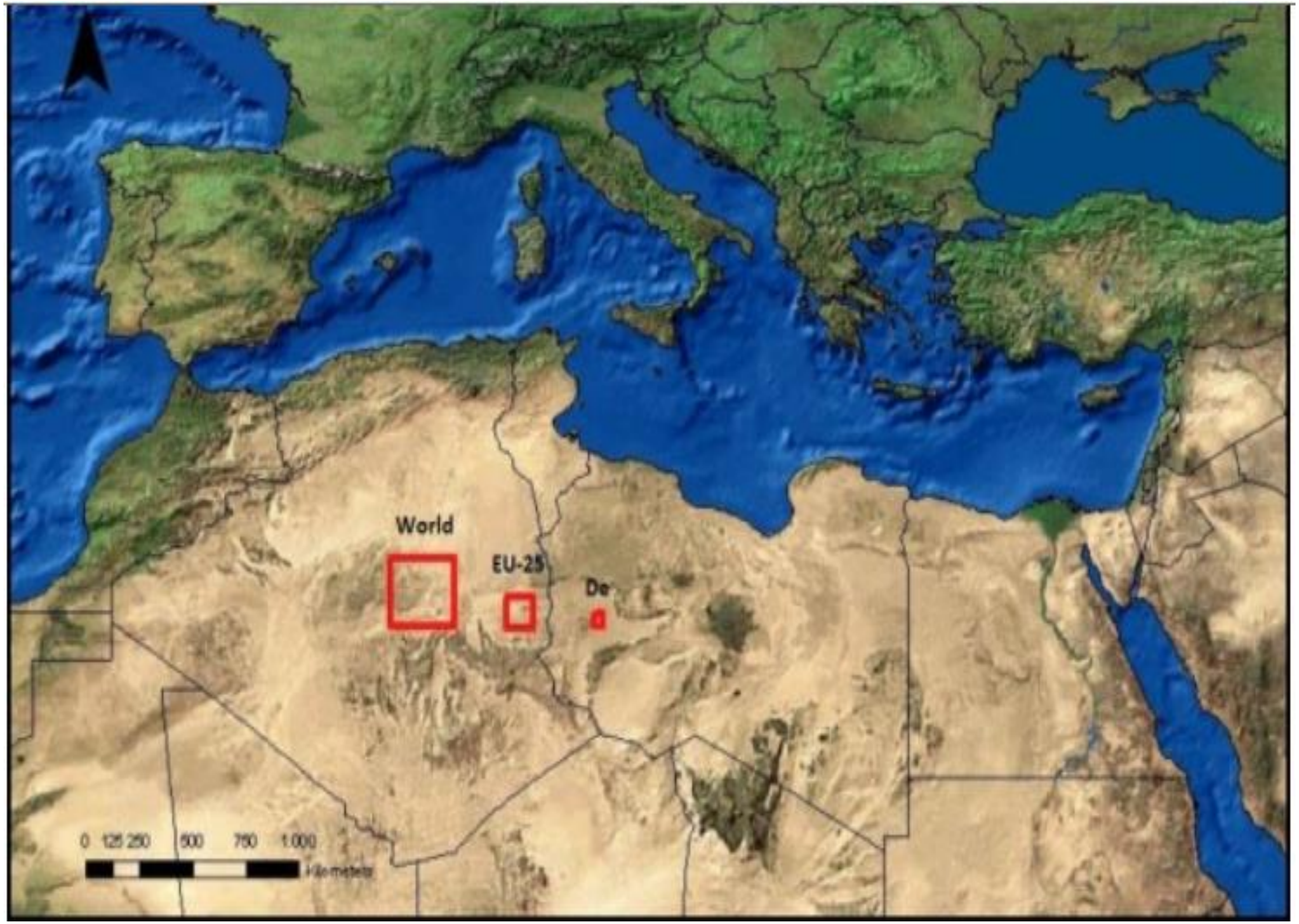


図:核融合の原理

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

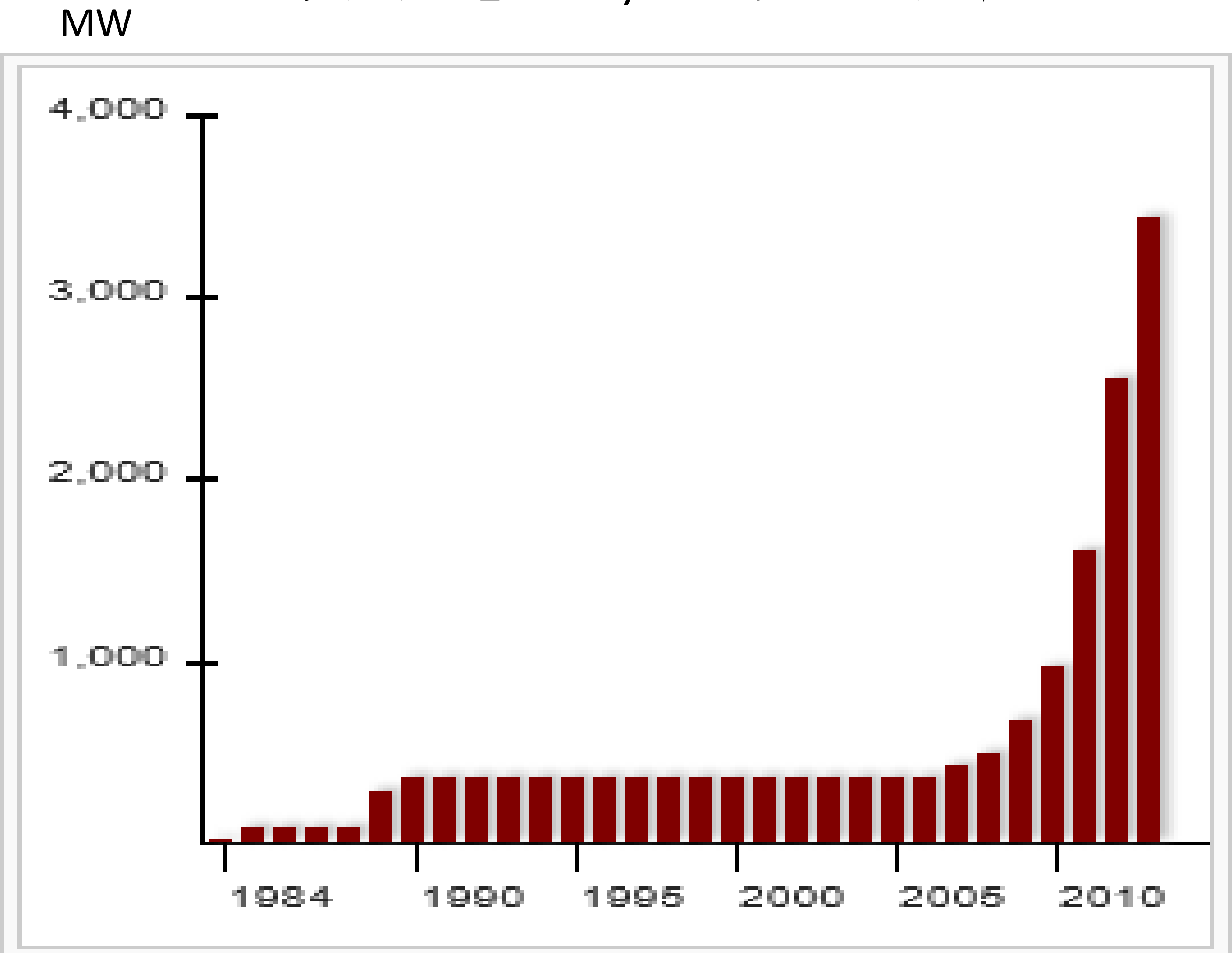
太陽熱発電(CSP)の特徴

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．砂漠ー乾燥地での電力→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



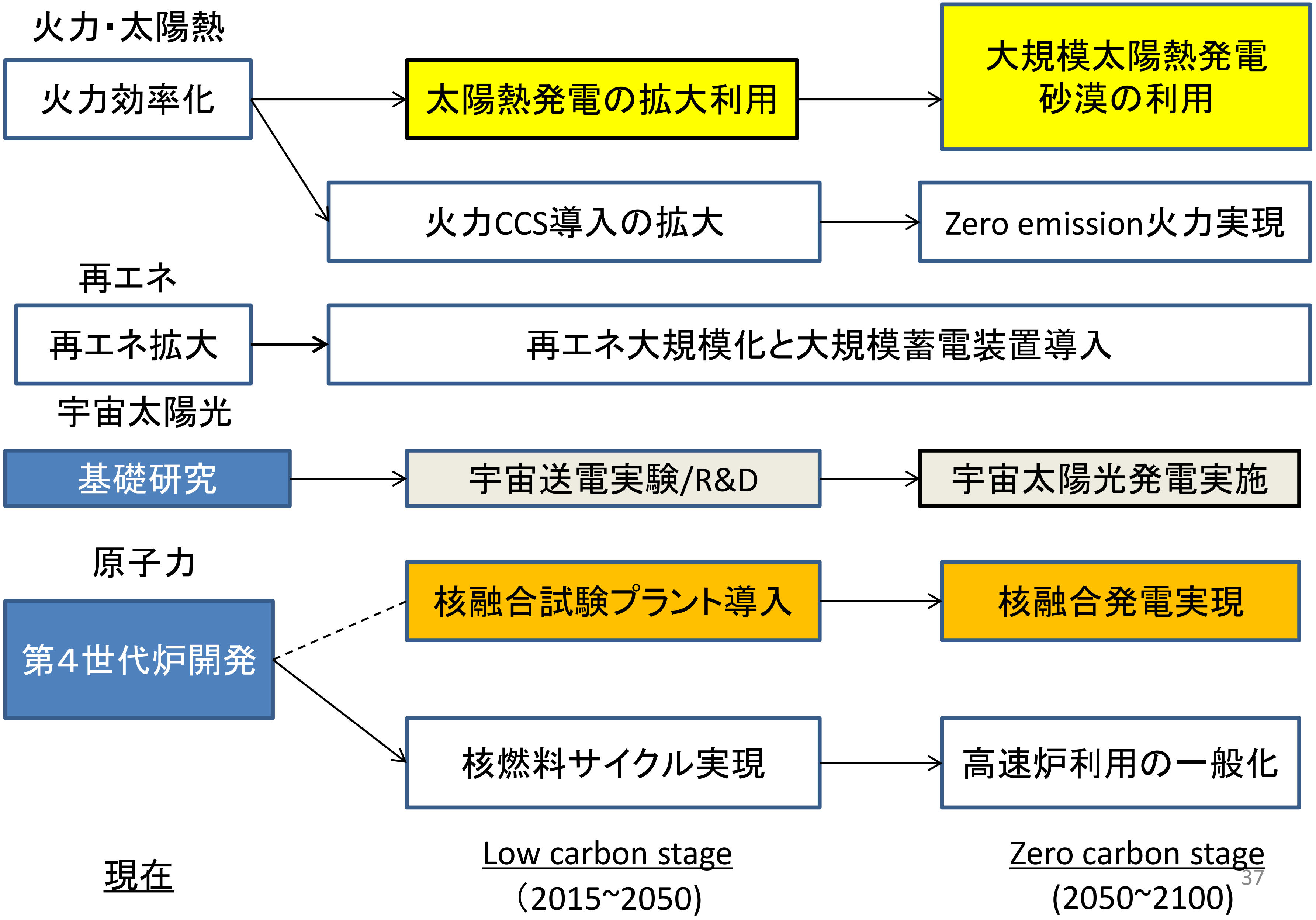
図：CSPでその需要全体をカバーできる地域面積：サハラ砂漠の例
（Dessertec 計画から）

太陽熱発電(CSP)の世界での発展



Worldwide CSP capacity since 1984 in MW_p

発電技術の今後の発展



火力・太陽熱
火力効率化
太陽熱発電の拡大利用
大規模太陽熱発電
砂漠の利用
火力CCS導入の拡大
Zero emission火力実現
再エネ
再エネ拡大
再エネ大規模化と大規模蓄電装置導入
宇宙太陽光
基礎研究
宇宙送電実験/R&D
宇宙太陽光発電実施
原子力
第4世代炉開発
核融合試験プラント導入
核融合発電実現
核燃料サイクル実現
高速炉利用の一般化
現在
Low carbon stage
（2015~2050)
Zero carbon stage
(2050~2100)

おわりに

１．温暖化抑制の究極目標：人為的排出CO2のネットゼロエミッションの実現
２．産業非電力需要の非炭素代替・運輸燃料の非炭素代替・電力の非炭素化に注力の必要
３．現状からネットゼロエミッションへローエミッションステージを経ての具体的ロードマップ作成の必要
４．中期大規模技術として大規模蓄電・第二世代バイオ燃料・大規模太陽熱発電発展の必要
５．長期大規模技術として宇宙太陽光発電・核融合の国際協力による開発努力を行う必要