

# 今後のゼロエミッション技術をめぐって —2017.2講演「CO2ゼロエミッションとCCS」の続編—

茅 陽一

(公財)地球環境産業技術研究機構・理事長

2018. 2. 13

# 目次

1. 地球表面温度安定化の条件
2. 大規模な人為的CO<sub>2</sub>吸収策の困難性
3. 世界のCO<sub>2</sub>排出の部門構成
4. 電力のゼロエミッション化：方策と問題点
5. 民生のゼロエミッション化
6. 運輸のゼロエミッション化
7. 鉄鋼業のゼロエミッション化
8. まとめ

# パリ協定とCO2

## #パリ協定第4条の要請

温室効果ガスの排出=吸収 の達成

→ 地球温度の安定化(2°C、できれば1.5°C)

## #CO2の重要性

1)現在の放射強制力の大きさ

温室効果ガス中 最大

2)大気中滞留時間の長さ

SF6を除いて温室効果ガス中 最長

→ CO2の 排出=吸収 すなわち

CO2ネット排出のゼロエミッションの達成

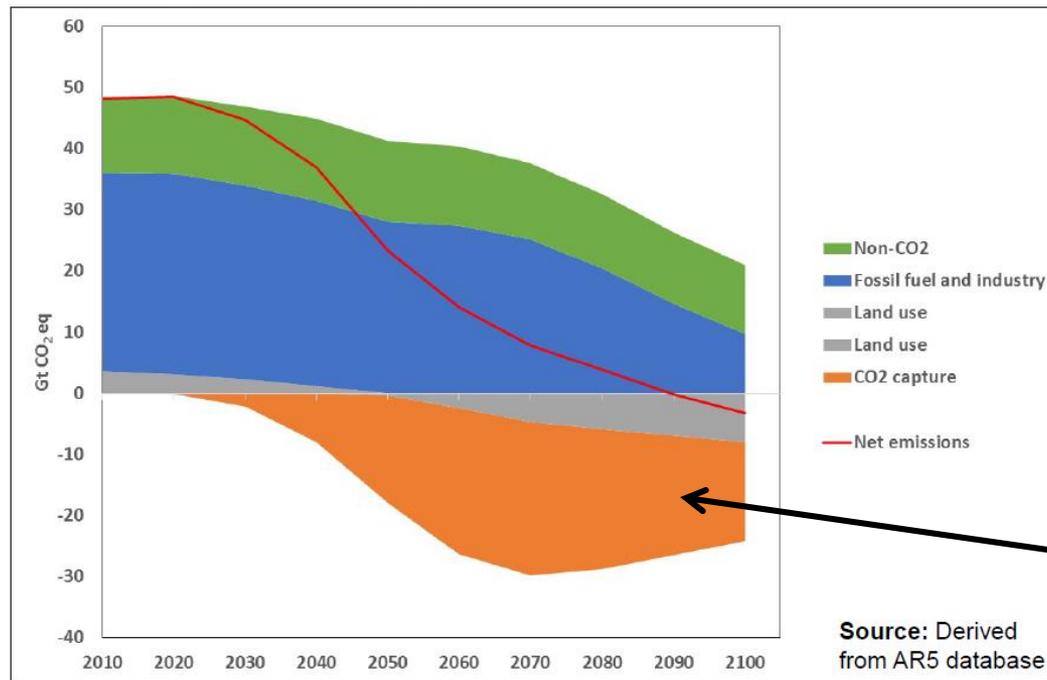
が地球温度安定化の最重要要件

# IPCC AR5 IAM's 2°Cシナリオの平均像

—WG3 chair J.Skeaによるまとめ—

Balancing sinks and sources and long-term low greenhouse gas emission development strategies (Article 4)

温室効果  
ガス排出



CCS+BECCS  
最大  
30Gton/y

Note: One illustrative scenario with a 65% probability of getting below 2°C warming

# 大規模CO2吸収の困難性 —実施必要面積の大きさ—

## 0. 年間15Gt CO2吸収の場合

### 1. 植生必要面積

1年生の草の場合：毎年必要植え付け面積

多年生樹木の場合：平均寿命期間における全利用面積

年間CO2

吸収量 \* 必要面積

対米国面積

|     |           |       |      |
|-----|-----------|-------|------|
| 熱帯林 | 36 ton/ha | 4 億ha | 40 % |
|-----|-----------|-------|------|

|      |    |    |     |
|------|----|----|-----|
| サバンナ | 15 | 10 | 100 |
|------|----|----|-----|

### 2. 貯留井必要量(貯留井1本100万トン/年)

年間 1.5万本

\* Woodwell, G.M.et al, Science vol.199, 1978

# 排出ゼロエミッションの重要性

## 1. 大規模CO2吸収の困難性

# 植林、BECCSの制約

# その他の吸収方式の実現性制約

例: DAC (Direct Air Capture)

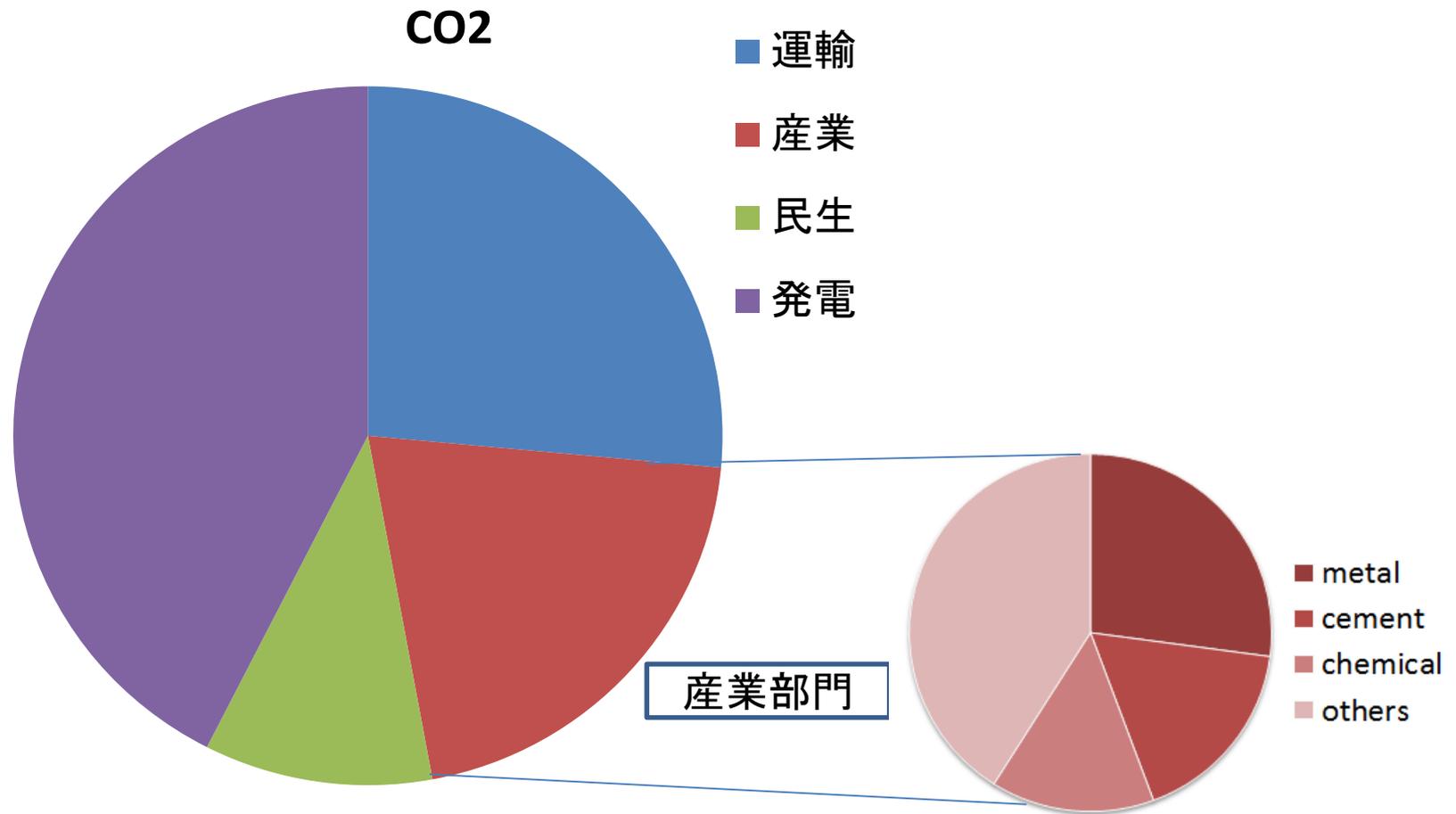
大気中から希薄なCO2を化学吸収

→ 数百 \$ /ton CO2以上のコスト

## 2. したがって、ゼロエミッション実現のためには

「排出」のゼロエミッション実現が重要

# 図. 世界のCO2排出(2014)



Source: IEA World Energy Outlook 2016

# CO2ゼロエミッションのエネルギー源

1. ゼロエミッション電力(後述)
2. ゼロエミッション電力起源の水素
3. 再生可能エネルギー
  - 1) 従来型(CRE) 水力、地熱など
  - 2) 出力変動型(VRE) 太陽光発電、風力発電
  - 3) バイオマス(BIO)

# 日本電力の電源構成とCO2排出 —その具体例—

|       | 2014                   | 2030政府計画               | 長期将来像                  |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 原子力   | 0                      | 20 ~ 22 %              | 20                     |
| 従来再エネ | 8                      | 13 ~ 15                | 15                     |
| 新再エネ  | 1                      |                        |                        |
| 太陽光   |                        | 7                      | 25                     |
| 風力    |                        | 1.7                    | 10                     |
| 火力    | 91                     |                        |                        |
| 石炭    |                        | 26                     | 0                      |
| 石油    |                        | 0                      | 0                      |
| LNG   |                        | 27                     | 30                     |
| 排出CO2 | $0.43 \times 10^9$ ton | $0.32 \times 10^9$ ton | $0.11 \times 10^9$ ton |

# 電力ゼロエミッション化の重要性

1. 現在のCO2排出：電力の高シェア
2. 他エネルギー需要部門の今後の電力化の可能性
  - 1) 民生部門 電化の進展
  - 2) 運輸部門 乗用車・小型運輸機関の電化
  - 3) 産業部門 電解の拡大  
水電解→水素  
電解処理の可能性：例、鉄鋼  
産業熱の電熱化

# 電力のゼロエミッション化と問題点

## 1. 利用一次エネルギー

- 1) 原子力
- 2) CRE, BIO
- 3) VRE

## 2. VRE利用の問題点

### 1) 出力変動(intermittency)と需給調整

火力の利用—大規模二次電池利用

二次電池のコスト問題: 将来の大幅価格低減?

### 2) VREが無慣性なことによる系統慣性不足

負荷変動、VRE出力変動→高速周波数変動(1s以下)

注: 電力系統内有慣性機器=同期発電機

原子力、火力、CRE, 熱利用BIO 発電

電力系統内無慣性機器=VRE

# 電力システムにおける慣性問題

## 1. 発電機出力変動と回転部分運動方程式

$$\omega J \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

↑      ↑            ↑            ↑  
回転部 回転数    入力      出力電力  
慣性      変化            エネルギー

2. 発電出力周波数  $\propto$  回転部分回転数

3.  $P_e$ の急激な変動  $\rightarrow$  回転数変化 の比例係数  $\omega J$

VREは慣性Jを持たないので、VRE導入により  
電力システム全体の慣性が相対的に低下

# 無慣性問題の深刻性 —適切な対応の困難—

## 1. 基本の対応方策

周波数変化の計測→発電出力調整

## 2. 問題点

正しい周波数の即時計測の困難性

急激変化(1s以下)→電圧波形歪み、雑音

低域濾波器の導入は計測を遅らせる

→ 急速な対応入力エネルギー導入の困難

## 3. 現状でのもっとも有効な方策

一定の慣性の確保 → 一定以上の同期発電機の確保

→ 一定の火力発電の利用

→ CO2ゼロエミッションのためのCCS導入が必須

# 民生部門のゼロエミッション

## 1. 基本の方策：全電化

付加対策：熱源としての太陽熱利用

## 2. 問題点

#従来の液体燃料供給業者がどこまで

他業種ないし電力供給者に転換できるか？

#液体熱源による調理・冷暖房の電力代替を  
どこまで実現できるか？

# 世界の貨物車・船舶・航空燃料需要 -2009-

|          |              |
|----------|--------------|
| 乗用車・軽貨物車 | 1,150 Mtoe/y |
| 貨物車      | 550          |
| 船舶       | 220          |
| 航空       | 240          |
| 計        | 2,160        |

source: IPCC AR5 synthesis report, WG3,  
Fig.8.5, 2014

# 運輸燃料のゼロエミッション化の問題点

1. 運輸機関にはCCSが適用できない。

したがってCO2ゼロエミッション実現は脱石油前提。

2. 大型貨物車・国際船舶・国際航空機

1) 電化は電池の重量を考慮するとかなり困難  
(後述)

2) 国際船舶・国際航空機の行動は、各国の政策  
に含まれない・・・パリ協定の枠外

# 運輸機関と電化可能性

## —電池重量問題—

1. 基本の問題：電池と石油燃料の重量差  
同一エネルギー量に対応する重量  
電池蓄電密度 0.2kWH/kg が現在最大  
→ 1 ton電池= 0.2 MWH  
石油 1 ton = 12 MWH・・・60ton電池相当
2. 乗用車と大型貨物車・船舶の性格の差  
乗用自動車：人間輸送目的  
→ 車利用性能が重要  
大型貨物車・大型船舶：貨物輸送目的  
→ 輸送効率が重要 → 電池重量が大きな問題  
(大型タンカーの場合、石油燃料重量～船重量の数%)

# 大型タンカーと電池

## 1. 大型タンカーの一例

タンカー定格 10万トン

航行日数 40日

燃料重油重量 3~4千トン

## 2. 二次電池が上記燃料対応電力を格納

二次電池重量 約10万トン

(モータ効率90%、エンジン効率40数%を考慮)

→ 電力駆動は非現実的

# 中大型貨物車・船舶航空機用バイオ燃料 —その必要条件—

## 1. 現在燃料

重油ないし軽油：諸種の炭化水素混合

## 2. 将来のバイオ燃料の条件

1) 量：生産大幅拡大→非食原料(セルロース資源)利用

2) 質：生産燃料の質向上→組成調整

遺伝子組み換え技術の利用？

例：RITEのバイオマス→ジェット燃料代替の努力

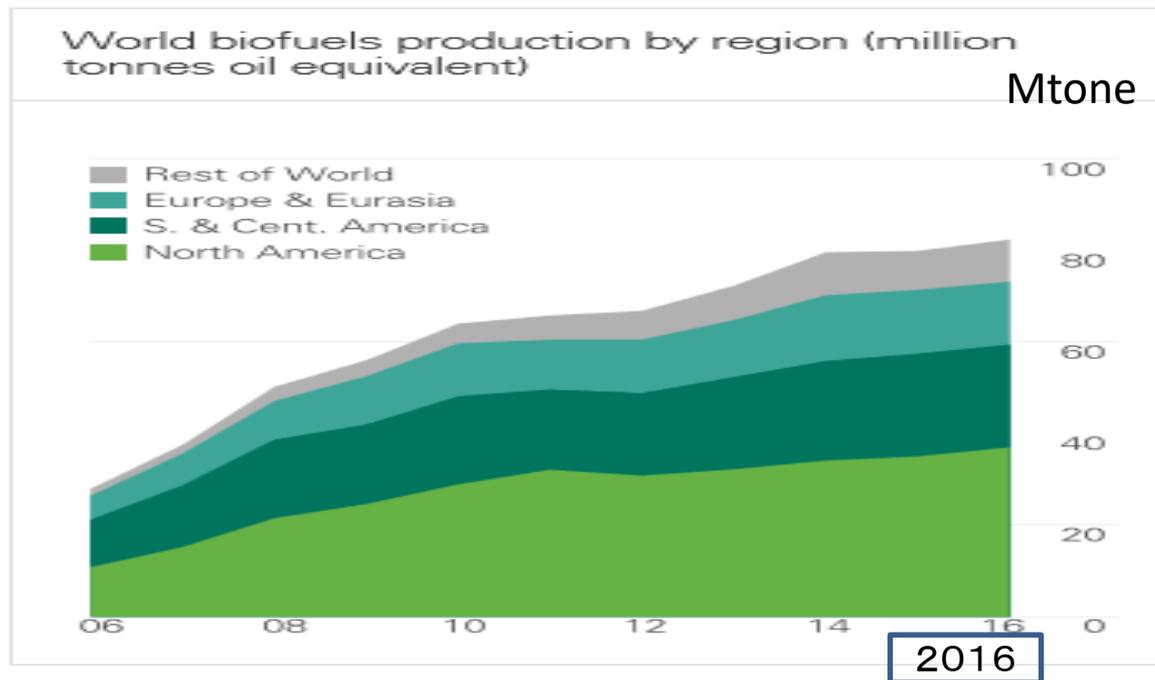
3) コスト：現在の重油軽油 に対応できるか？

生産大規模化がポイント(バイオ技術で可能か？)

→

これら条件を如何に同時に満足させるか(かなりの難問)

# 世界のバイオ燃料の変遷と将来必要量



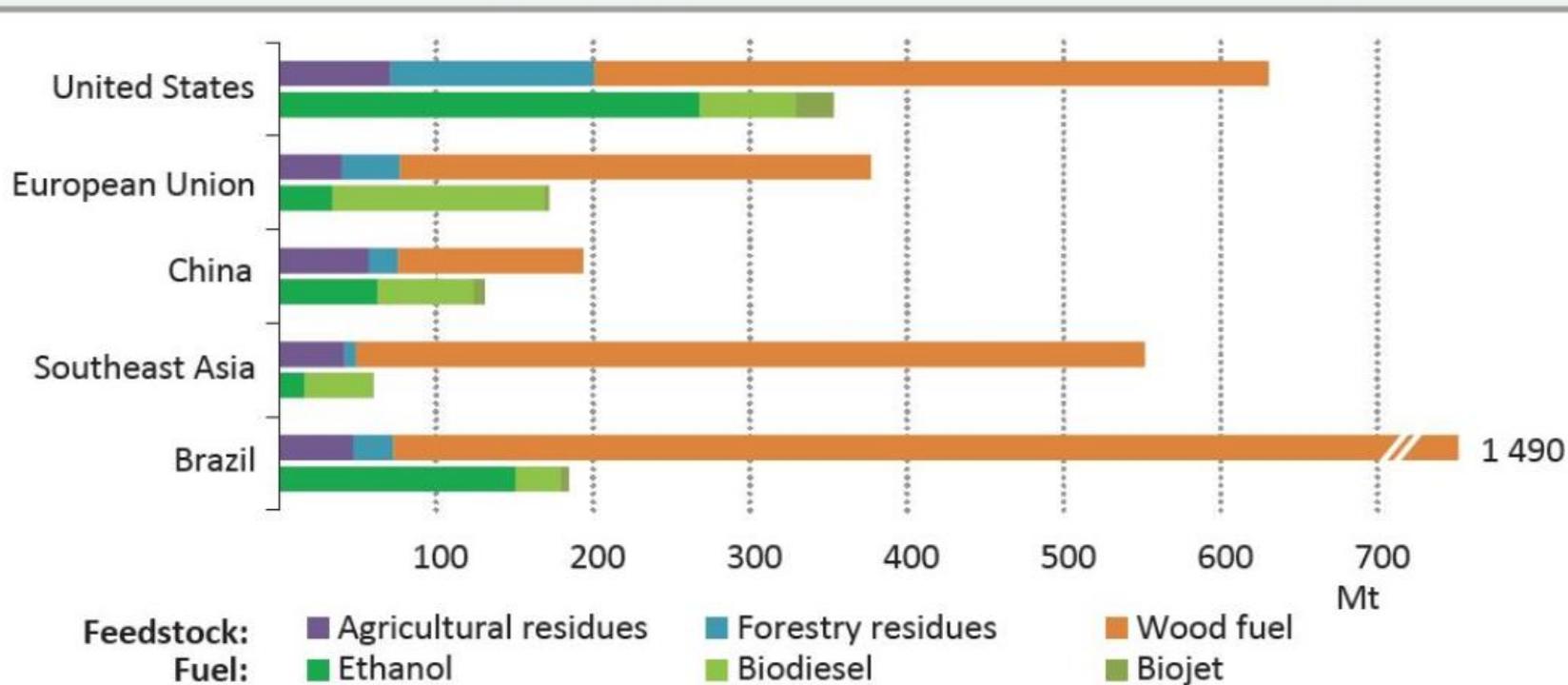
## バイオ燃料の現状と必要量

現状生産量～現状の貨物車・船舶・航空燃料需要の  
10数分の1

→ 今後のバイオ燃料生産の抜本的拡大が必要

# 将来の世界の非食 バイオ燃料ポテンシャル —IEA World Energy Outlook 2017—

biofuels demand in the New Policies Scenario, 2040



*Biofuels can be produced with advanced processes using domestic sustainable biomass feedstock in the New Policies Scenario*

# 鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>ゼロエミッション

## —(1)現状の日本: COURSE50—

### 1. 基本の目標

2050年までに鉄鋼業のCO<sub>2</sub>を30%削減

### 2. 方式

1) 高炉・鉄鉱石のコークス還元→一部水素還元

水素: コークス炉水素利用

2) 高炉排ガスへCCS適用

CO<sub>2</sub>回収に鉄鋼プロセス廃熱利用

### 3. ポイント

1) コークス機能の大部分維持

a) 鉄鉱石融解熱供与(水素還元一吸熱反応)

b) コークスの炉内構造体としての機能維持

2) 全プロセス内の排ガスの一部のみCCS対応

# 鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>ゼロエミッション —(2) 将来: 100%ZEに向けて—

## 1. 旧来型

高炉利用—CCSによるCO<sub>2</sub>回収貯留

—CCS後の高炉ガスの高炉還流  
(高炉ガス中のCO利用)

## 2. ZE電力利用型

1) 電気分解方式 a. アルカリ塩利用—110°C電解  
b. 1600°C溶融塩利用電解

### 2) 直接還元方式

ZE電力→電気分解水素→水素直接還元

# 図：4種のプロセスの長期経済性比較 (赤線がトータルの収入/運転費用)

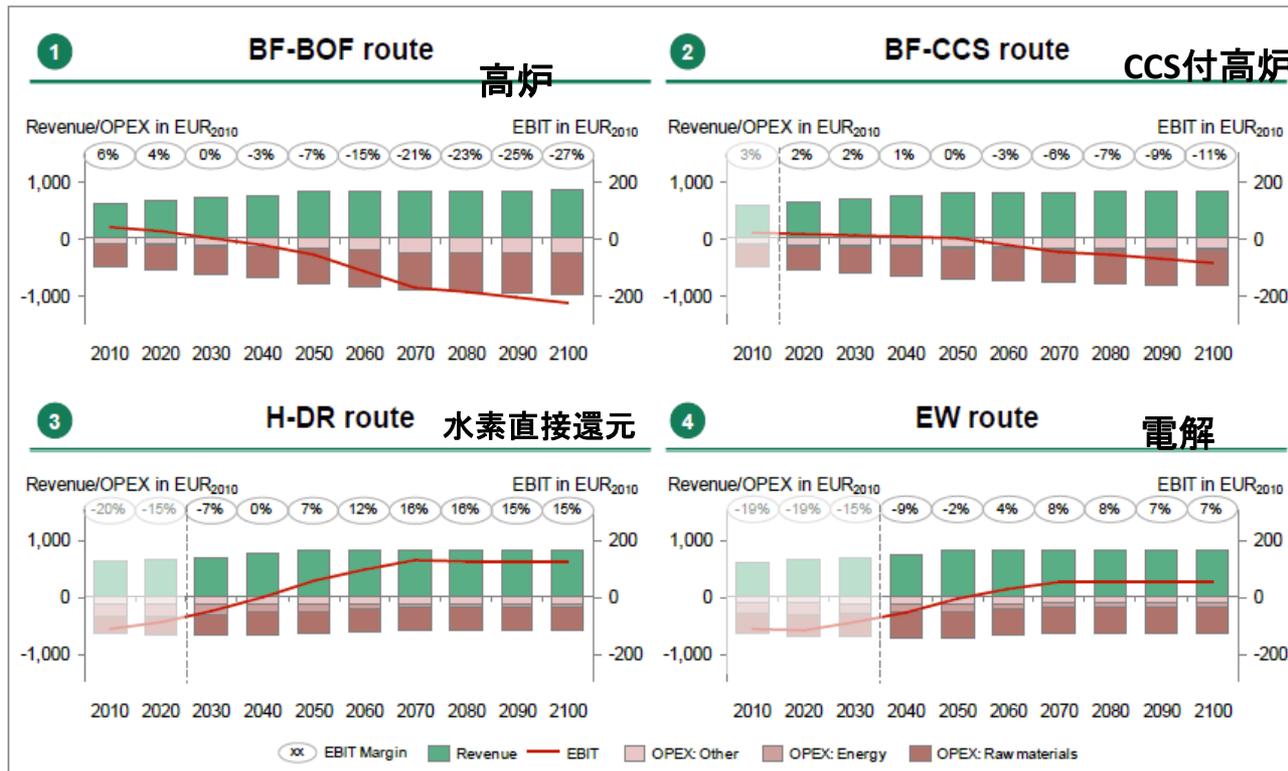


Figure 4-3: Economical comparison in the moderate scenario

Source: Fishedick et al: J. cleaner production 84, pp.563-580(2016)

# まとめ

1. 世界気候安定化にはCO2ゼロエミッション(ZE)が必須
2. 大規模な人為的CO2吸収はきわめて困難で  
CO2 ZEのためには排出のZEが重要
3. 電力のZEには再エネが中心となるが慣性不足問題  
への対応としてある程度の火力とそのZEが不可欠
4. 運輸部門では乗用車の電化・船舶等大型機関の  
バイオ燃料利用が将来方向。そのためにはバイオ燃  
料の生産大幅拡大とコスト低減、質の向上が不可欠。
5. 鉄鋼業は水素直接還元が長期のZE方向。
6. あらゆる産業・部門でZEの努力を今後行うべき。