

CO2ゼロエミッション技術をめぐって — IPCC AR6 WG3への要請—

茅 陽一

日本IPCC会議座長、RITE理事長

2017.11.14

目次

1. 各部門CO2ゼロエミッション方策実施の重要性
2. 発電部門の対応
3. 運輸部門の対応
4. 鉄鋼部門の対応
5. 結言

IPCC AR6 WG3への要請

1. 温暖化抑制シナリオの作成と評価
2. 温暖化抑制の具体的方策の提案と評価

特に

人為的CO₂のネット排出 = 排出 - 吸収 → 0

に向けての方策

- 1) CO₂吸収方策 BECCS/DACの実行可能性
- 2) CO₂排出削減方策

図：CO2累積排出量と地球温度上昇との関係

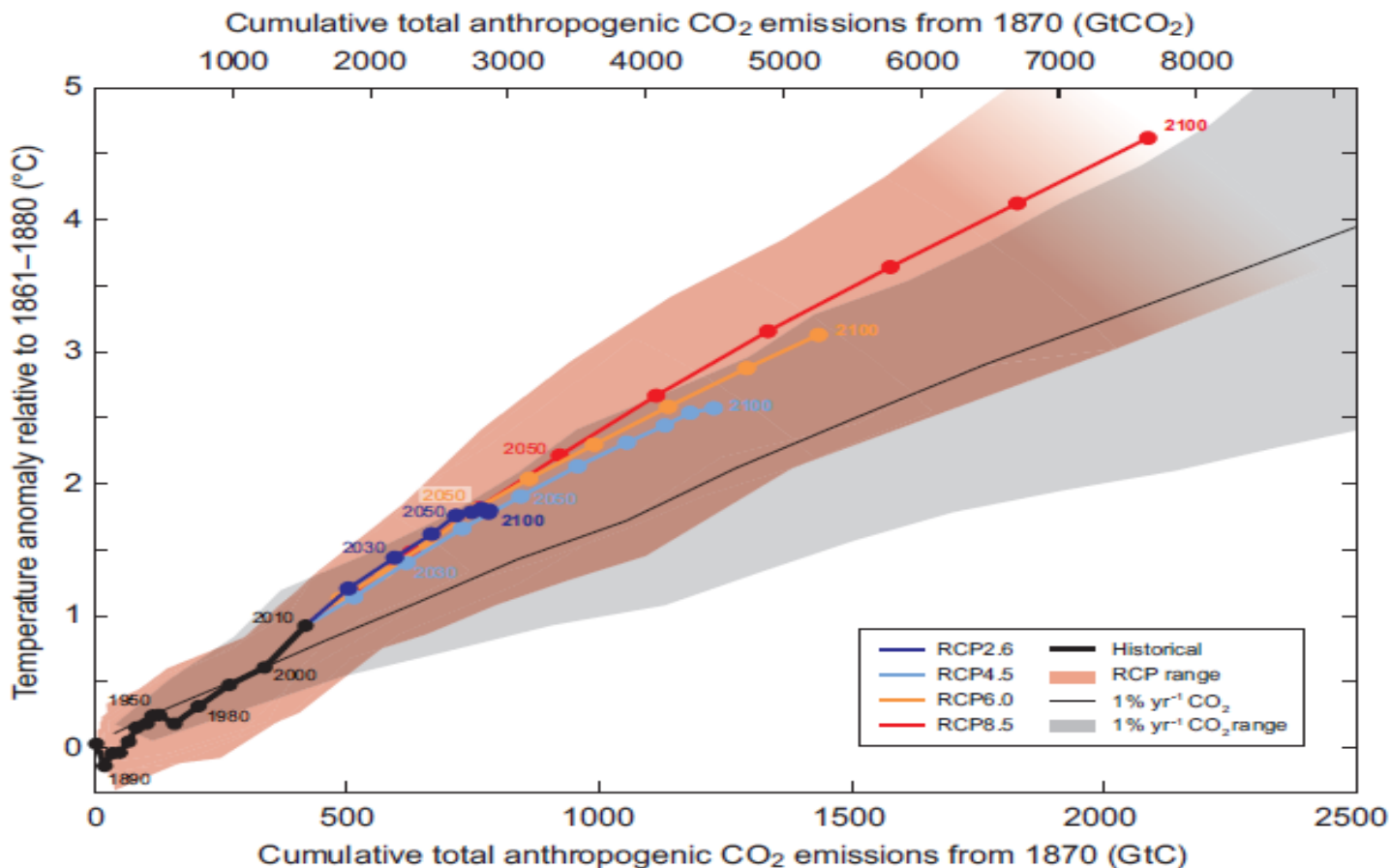


Figure SPM.10 | Global mean surface temperature increase as a function of cumulative total global CO₂ emissions from various lines of evidence. Multi-model results from a hierarchy of climate-carbon cycle models for each RCP until 2100 are shown with coloured lines and decadal means (dots). Some decadal 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

気候安定化

—CO2ゼロエミッションの必要性—

T: global surface temp.

ΣCO_2 : cumulative anthropogenic CO2 emission

< IPCC fig. の意味 >

IPCC : T and ΣCO_2 are approx. linearly related

$$\rightarrow T = a + b \Sigma\text{CO}_2 \quad (1)$$

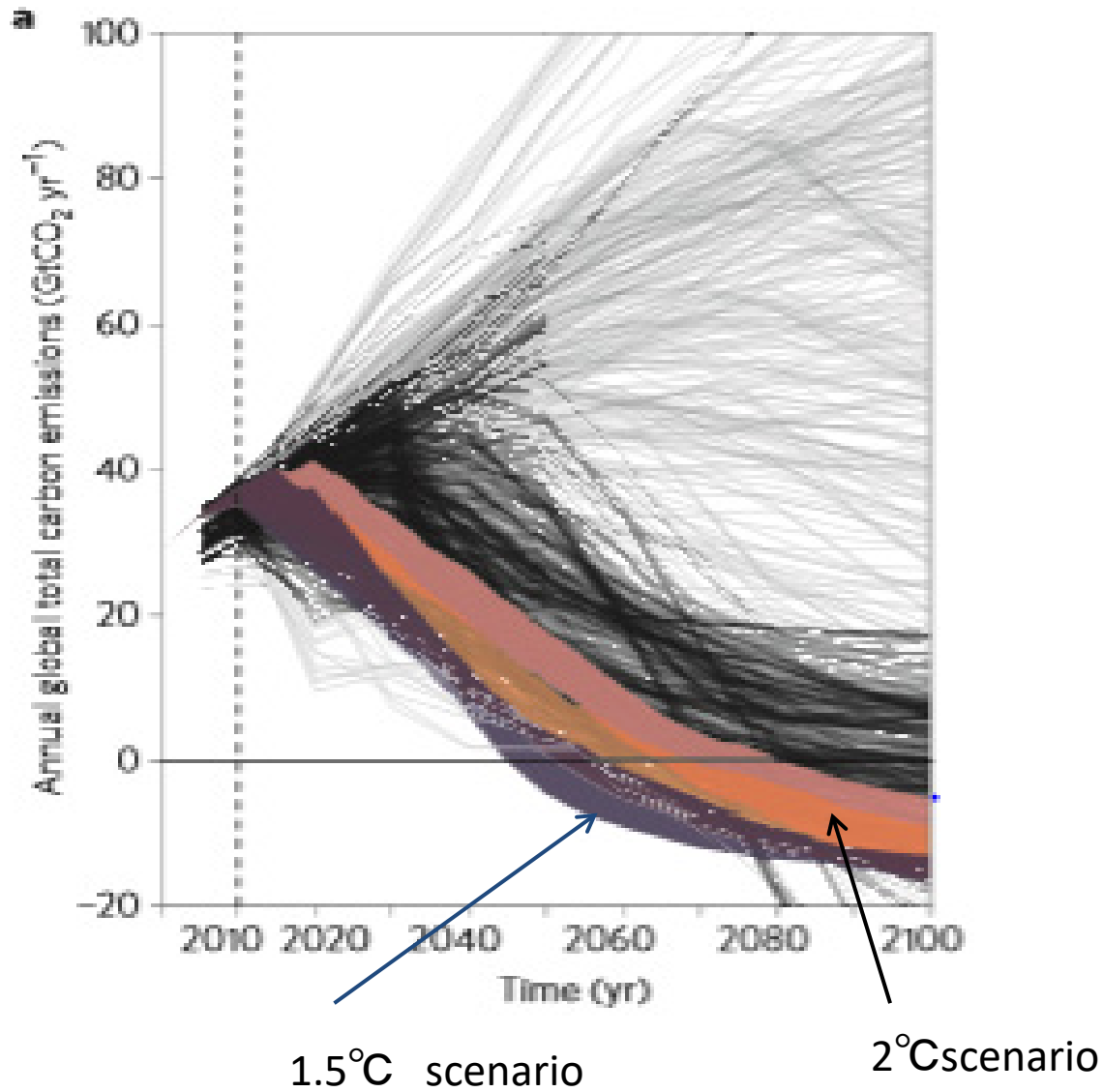
$$\Delta T = b \Delta \Sigma\text{CO}_2 = b \cdot \text{CO}_2 \quad (2)$$

$$\text{気候安定化} = \Delta T = 0 \rightarrow \text{CO}_2 = 0 \quad (3)$$

(3): 人為的排出CO2のゼロエミッション

図: 大規模CO2吸収を伴う排出抑制シナリオ例

Source: Rogelj, J. et al: Nature c.c. vol.5. June 2015



CO₂大規模人為的吸収の困難(1)

—植林—

1. 過去の状況 一貫して

LDCなどでの開発による森林減少 > 植林
ネット減少は2000-2010年で500万ha/年程度

2. 植林規模

CO₂ 100億トン/年の吸収は可能か？

植林の年あたり吸収: 10tonCO₂ /ha

(source: Woodwell et al, Science, 1978)

→ 必要植林面積 10億ha ~ 米国総面積

CO2大規模人為的吸収の困難(2)

—BECCS—

1. 必要面積の巨大性:伐採及び貯留

Rogelj modelの場合:100億トン/年規模のCO2吸収

(1) 森林伐採:熱帯雨林で5千万ha/年(日本面積の1.4倍)

伐採の後、これだけの面積の植林必要—出来るか?

(2)100万t/年の大貯留井が1万本必要

2. 伐採ないし刈取—biomass燃焼利用/CO2回収—

CO2貯留 を多数の国にわたって行う困難

→ より具体的に調査の要

参考:Fuss,B.et al;Nature c.change, vol.4, October2014

CO2ゼロエミッション技術の 部門別検討の必要性

大規模CO2人為的吸収実現の困難

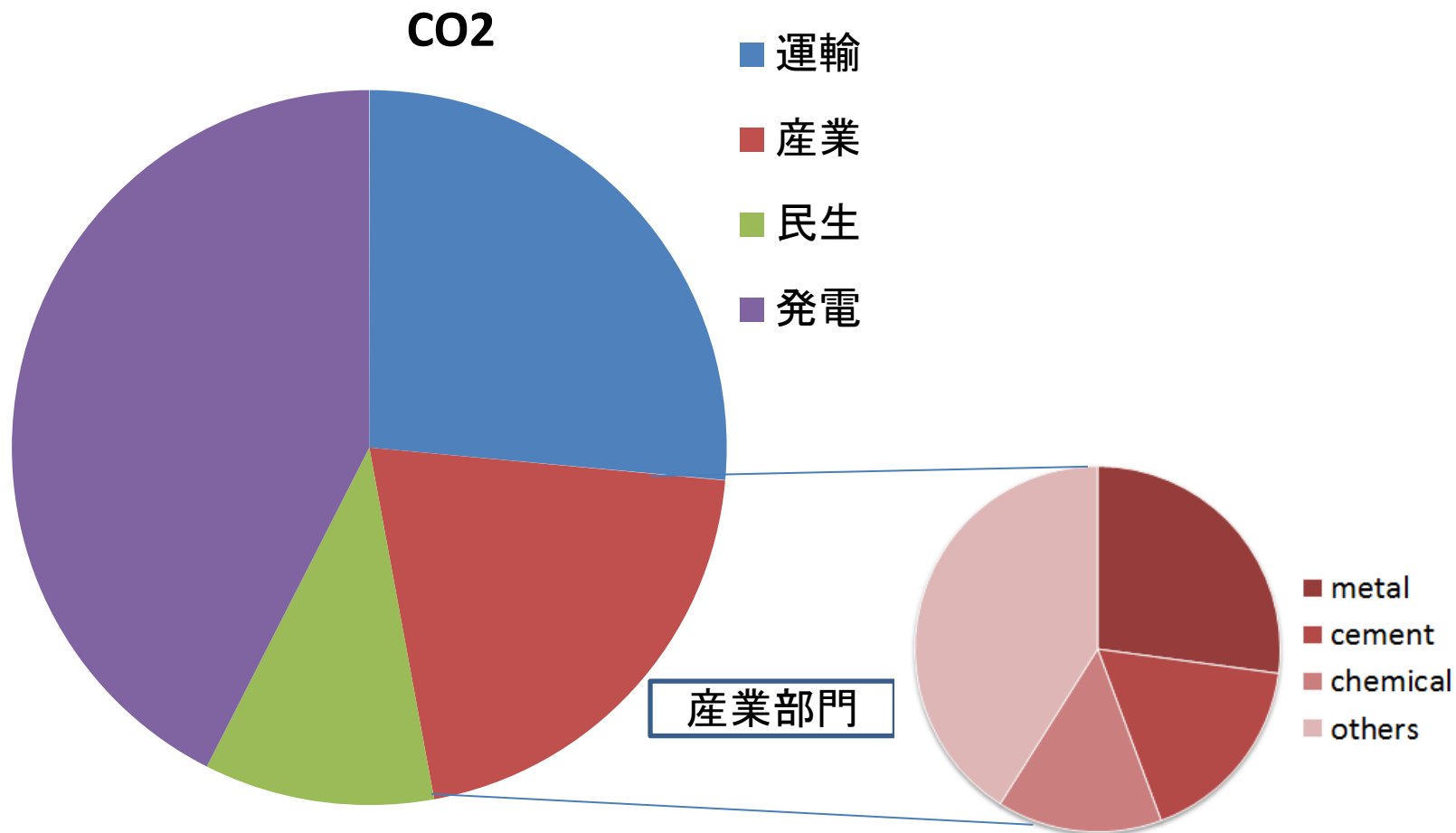


人為的CO2排出のゼロエミッション化の必要



各部門でのCO2ゼロエミッション技術検討の必要

図. 世界のエネルギー由来CO2排出(2014)



Source: IEA World Energy Outlook 2016

電化によるゼロエミッション化の可能部門

1. 民生部門

全電化住宅への指向

FCによる民生コージェネ実現(日本のエネファーム)

2. 自動車部門

乗用車

小型貨物・小型バス

→ 発電のCO₂ゼロエミッション化

発電部門対応

発電部門の基本対応姿勢

—CO2削減に何が必要か—

1. 化石燃料火力の抜本的低減
理由：貯留井設置の制約等から
CCS実施規模が限定されること
2. 一定程度の原子力の維持
将来は 高速炉・核融合も視野に
3. 再エネの抜本的拡大
例：IRENA2050 Remap ケース 82%
変動出力再エネ（風力・太陽光）VREが大きい

ゼロエミッション発電部門の問題点 —VRE大量導入に伴う2問題—

VRE:変動出力再エネ(風力発電・太陽光発電)

1. VRE出力の変動(intermittency)に対応する
需給調整

従来:火力、一部の水力による対応

今後:二次電池による対応

その場合二次電池コスト負担がどうなるか?

2. VREが慣性(inertia)をもたないことによる系統の
高速周波数変動(1s以下)の増大
この周波数変動をどう低減するか?

Inertia-frequency control 問題

$$\omega J \frac{d\omega}{dt} = P_m - D \quad (1)$$

ω : 同期発電機回転数 \propto 系統周波数

J : 同期発電機系 inertia

P_m : 同期発電機系機械入力

D : 需要 + 非同期発電機入力電力

↑

VRE (太陽光発電、風力発電)

VRE出力変動に伴う ω 変動は J が小さいほど大きい

・・inertia 不足による周波数高速変動が生ずるおそれ

変動時間: 10ms ~ 1s

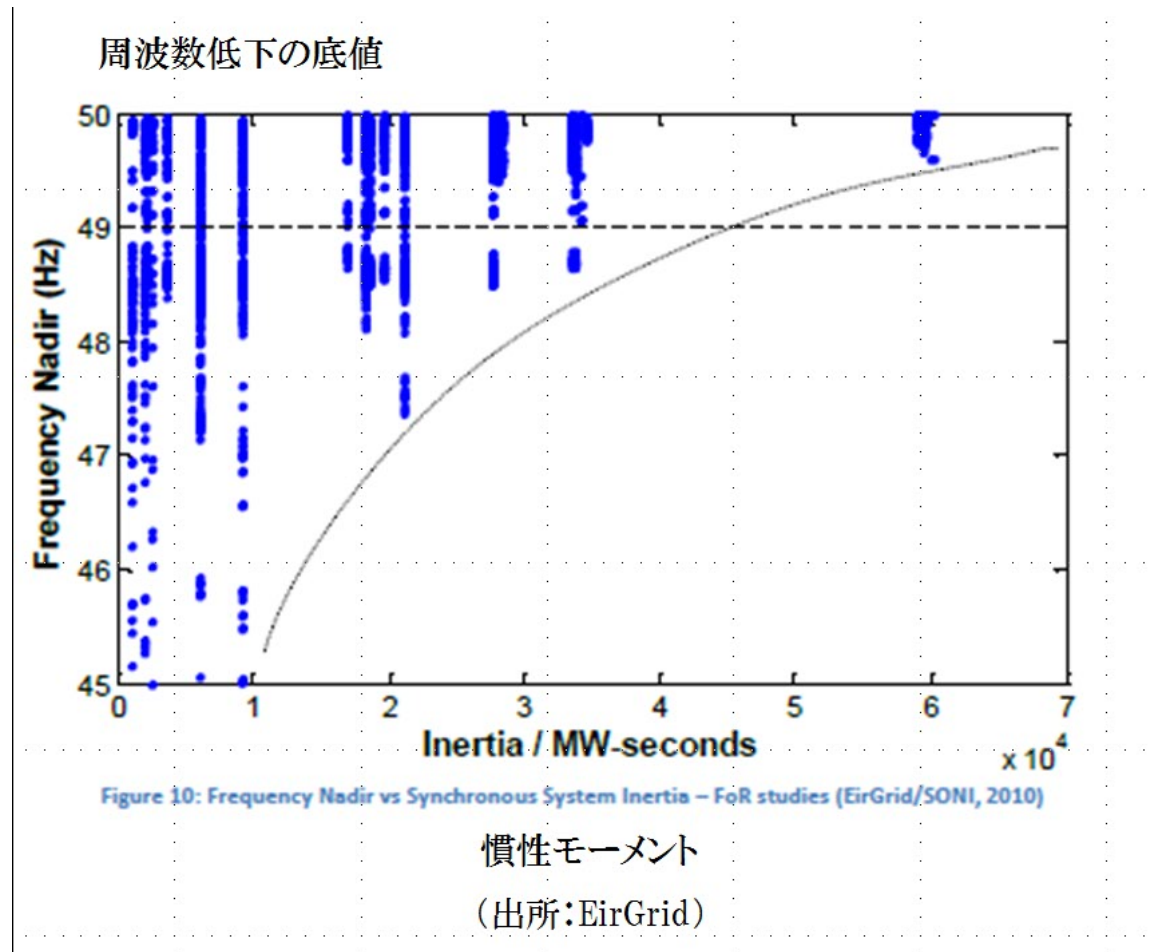
外部回路でこの変動を低減する方策が必要: 実用例は殆どない

資料例: Tielens, P. and D. Hertem, The relevance of inertia

in power systems, Renewable and sustainable energy

reviews, vol.55, March 2016

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

運輸燃料部門の対応

運輸燃料のゼロエミッション化

0. 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には脱石油が前提。

1. 乗用車・軽貨物車 電化での対応が進行中

フランス・英国 2040までにガソリン車・ディーゼル車販売停止

2. 貨物車・船舶

可能性 1)電化

2)バイオ燃料

3. 航空機

駆動装置としてのジェットエンジンは不可欠→電化はほぼ不可能

可能性 1)バイオ燃料

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

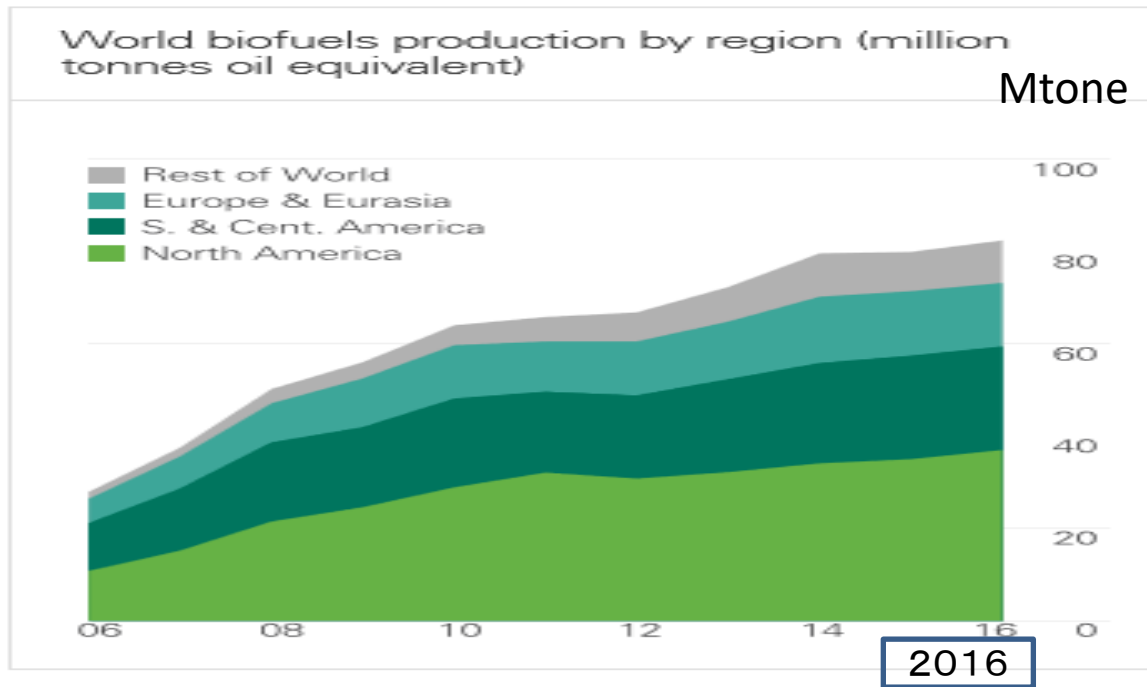
source: IPCC AR5 synthesis report, WG3,
Fig.8.5, 2014

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%)

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
したがって、今後のバイオ燃料生産の抜本的拡大が必要になる

バイオマスの輸送用燃料利用

1. 現在のバイオマス燃料は、基本的には食料系作物(トウモロコシ系)から生産。その生産を大幅拡大は 食料生産と競合するので困難が大きい。
2. 一般の草木からのバイオ燃料生産は
cellulose → アルコール 変換の問題
として現在世界的に研究の途上。
(RITEバイオグループの研究もその一例)
……その発展がバイオ燃料利用の最大の課題。

鉄鋼部門での対応

鉄鋼生産における脱炭素

—現状：日本の例—

1. COURSE 50: 水素還元+CCS

現在のCOURSE50でのCO₂削減目標は2050年までに30%。

2. 従来の還元剤のコークスの役割と還元剤として水素の利用と問題点

1) 酸化鉄(鉄鉱石)の還元 → 水素還元

2) 鉄溶融のための熱源: 水素還元は吸熱反応→水素利用の場合別途熱源必要

3) 溶融鉄、風の通路の確保: 水素→水となるので、別途構造材導入必要

COURSE50では、2)3)を考慮、コークスを大部分残している

→ 発生するCO₂をCCS処理(高炉ガスはCOも含み、すべてのCO₂処理は不可能)

3. CCSの困難性

1) 高炉ガス+諸ガスからC分をすべてCCS処理することはコストが高い
(これらガスはCOを含み、発電の形ですでに利用)

ex. 鉄鋼トンあたり: 製品価格数万円—CCSコスト2万円?

2) 排出CO₂は鉄鋼トンあたり2トン程度ときわめて大きく、大幅なCCS処理は貯留井の開発が困難。

ex. 日本の鉄鋼生産排出CO₂の30%=6千万トン → 100万トン/年貯留井60本

将来の製鉄ゼロエミッション方策 —鉄鉱石電気分解の可能性—

方式:

- 1) 鉄鉱石の熔融塩(1600°C)への溶解
- 2) 熔融鉄鉱石の電気分解

問題点:

1. 必要電力がどの程度か
2. 電力の脱炭素化が今後どこまで進むか

鉄鉱石電気分解の必要電力 —高炉法との比較—

Source: Lechtenhoehmer, S. et al, Energy 115 (2016)

高炉法 368kWH/100 M S.ton ~ 3.7MWH/S.ton

電解法

電解 258kWH/100 M S.ton ~ 2.6

融解 ~ 0.4

計 3.0

すなわち $3.0 / 3.7 \sim 0.8$ と電解法が有利にみえる。

しかし、上記計算は 両プロセスとも二次エネルギーベース。

電解法に通常の電力二次効率0.4程度を考慮すると

明らかに 電解法が大きく不利。

エネルギー面からみた高炉法vs.電解法

1. 現在の通常電力システムでの一次エネルギー変換効率の範囲では電解法は大きく不利。
2. したがって電解法がエネルギー効率的に高炉法に対応できるためには以下の2つの選択のいずれかが成立したとき。
 - 1) 電力システムのほぼ全面的非炭素化
 - 2) 電解プロセスへの電力を系統と切り離し非炭素化(再エネ+原子力?)

まとめ

1. IPCC AR6 WG3では各部門における人為的CO₂ゼロエミッションの技術の検討が必要。
2. 発電の非炭素化には再エネの大幅導入が必須。この場合、再エネの出力変動性・慣性不足による周波数変動問題の解決が鍵。
3. 運輸部門非炭素化では電化は乗用車・小型貨物車の範囲。中大型貨物車・船舶では一般バイオマスの燃料変換(セルロース→アルコール)の推進が鍵。
4. 鉄鋼業の非炭素化は利用電力非炭素化が前提。そのとき電解法がエネルギー効率的にも有利。