

# 触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

## 「カーボンニュートラル」と新炭素源“廃プラ”を考える

中條哲夫

### 1、今回の内容 要約

2050年に化石資源・燃料を使わないカーボンニュートラルを迎えるとどのような問題が見えて来るのか、廃プラはどうすべきか。考えて見た。

#### 1-1、カーボンニュートラルとは

温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させることである。再生可能エネルギーはエネルギー密度が極端に低い。太陽光発電も風力発電も広大な敷地を必要になる。50%炭酸ガス、バイオマス 25%、廃プラ 25%で行った石油精製(生活基盤)の図である。

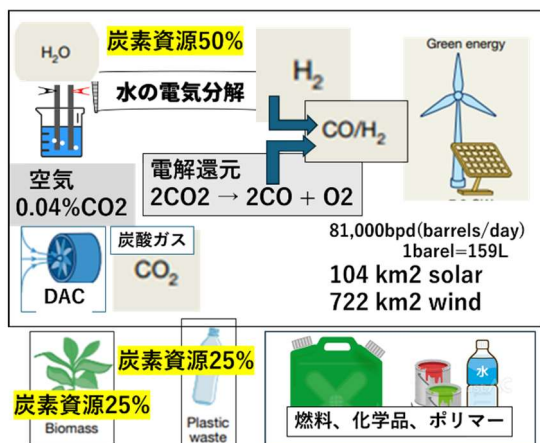


図1 カーボンニュートラルの世界

Nature Vol 629 (2024) 295

ここで 8.1 万 bpd は石油精製規模として何処にもある並みの能力である。

#### 1-2、炭素資源

#### 1) 鍵になる水素を造る

発電したエネルギーは水の電気分解で水素を造る。水素のコストが課題である。現在 1000-2000 円代/kg-H<sub>2</sub> で目標 1/5 になっても 200-400 円代(2000\$/t-H<sub>2</sub> \$=100 円)。

#### 2) DAC 炭酸ガス原料

空気中の低濃度炭酸ガスを濃縮する。酸化反応に組み込まれている炭酸ガス除去系とは異なり低濃度 400ppm の為、脱離剤を使う。(225\$/t-CO<sub>2</sub> プロセス除去系の 10 倍)

#### 3) 炭酸ガスの還元

炭酸ガスは水素(CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>→CO+H<sub>2</sub>O)でなく電解で還元している。(2CO<sub>2</sub>→2CO+O<sub>2</sub>)

#### 4) バイオ資源

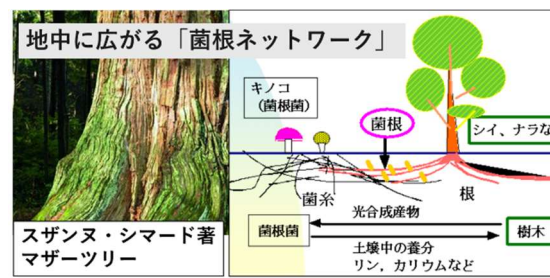


図2 森林の菌根ネットワーク

森林は伐採後単に植林しても再生しない。自然林を知り共存を考えるべきである。

#### 1-3、プラスチック

廃プラは焼却(炭酸ガス→捕集)ではなく炭素資源として活用展開すべきである。(4枚目の図 11 参照)

## 2、詳細

1枚目で説明出来なかった事を盛り込む。

### 2-1、エネルギー

(1) 国内での再生可能エネルギー

(2) 海外から搬入/燃料 or 資源

### 2-2、炭素資源

(3) DACについて

(4) 炭酸ガスとの種々の反応

(5) バイオマス

### 2-3、プラスチックは

### 2-4、まとめ

### 2-1、エネルギー

(1) 国内での再生可能エネルギー

従来の製油所は原油を受け入れる為タンカーが入る沿岸部に立地された。再生可能エネルギーを調達するには太陽光発電用地 104km<sup>2</sup> と風力発電用地 722km<sup>2</sup> 用地相当の確保が必要だ。臨海コンビナートで石油化学の用地(大分)は僅か 2km<sup>2</sup> 未滿。如何に膨大な敷地かが分かる。日本の送配電ロス 5%は実状だ。近隣で確保できるか？

風力発電では年間平均風速>7m/s、設置やメンテの道路の確保等制約条件が多い。浮体式洋上発電もあるが、主に漁業関係者との合意、割高なコスト、荒波でも風力効率性維持、自然災害対策等課題が多い。

現状の電源構成は火力発電が主である。

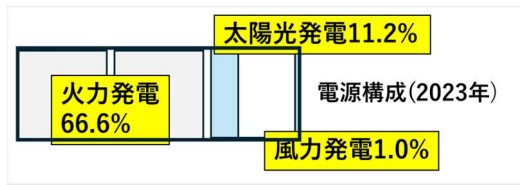


図3 2023年電源構成

太陽光発電は日照時間に関係するが日本 1850 時間で世界は 2500 時間であり太陽からの入射した日射量も大きく違う。

### (2) 海外から搬入 / 燃料 or 資源

国内での再生可能エネルギー確保する困難さから現在同様大半を海外に依存する事も想定される。水素、メタノール、バイオマス、廃プラ。アンモニアは大きな懸念事項がある。①常時使用の大型タンクで緊急時に環境にも人体にも無害化して放出出来るか。大惨事になるリスクがある。②アンモニアは発熱量が炭化水素の半分以下で燃焼速度も 1/4 と燃えにくい。80%混合で使う。③毒性ガスであり劇物。人体への影響は大きい。

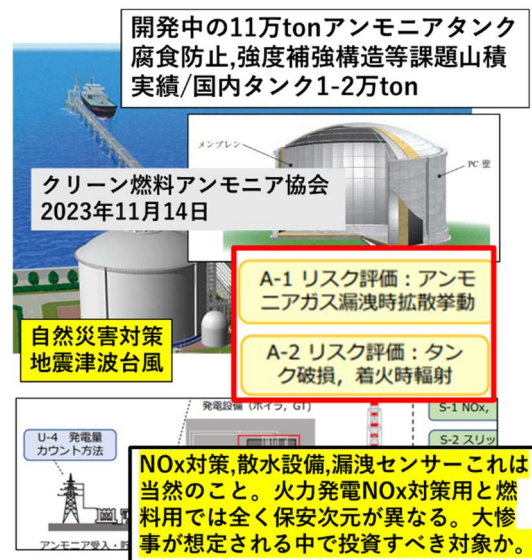


図4 アンモニアバースと大型タンク

### 2-2、炭素資源

(3) DACについて

石油化学の酸化プロセスの循環ガスの炭酸ガス除去系と異なり脱離材を使う。

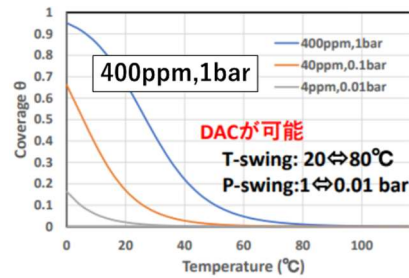


図5 スイングで脱離

科学技術振興機構 DAC(2022)より

文献でも DAC には脱離剤を選んでいる。これらは開発途上にある。

膜、低温化プロセス、吸着材は深刻な問題を抱えているが、脱離剤は利点が多い。アルカリ金属炭酸塩を担持したアルミナなど例示。

As can be found, the high cost, environmental issues, and high energy consumption have faced the applications of membrane, cryogenic, and adsorption technologies with serious challenges. On the other hand, adsorption technology not only is an eco-friendly technology, but also represents a low-energy consumption process, which is able to selectively separate carbon dioxide in an efficient way.

	DAC	Post-combustion
操作条件	10–30 °C(1 bar)	40–75°C(1-2 bar)
CO2 濃度	約419 ppm	5–15%
エネルギー	Any source	Fossil fuel
Capital cost	High	Moderate
Operational cost	Very high	Moderate
Maturity	Low	High
Objective	Negative carbon /CO2 capture from emissions	

### 説明図表-6 DAC 関連

DAC のコストの例を下図に示す。

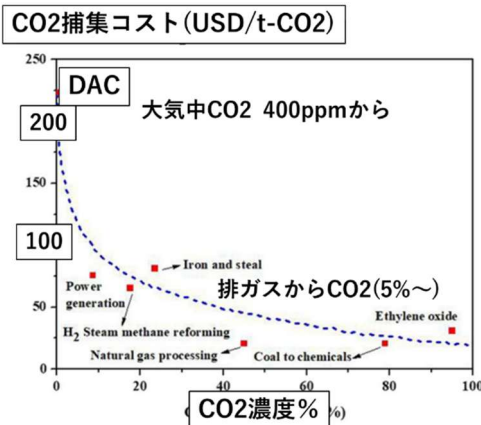


図7 DAC 捕集コスト

Envi. Chem. Lett. (2023) 21:2041–2084  
 同じく科学技術振興機構 DAC(2022)でも 35 円/kg-CO<sub>2</sub>(KOH-CaCO<sub>3</sub> 法)である。これは現在(2024 年秋口)のナフサ価格に比べ比較ならないレベルである。  
 炭素は 700-800\$/t-C (225\$/t-CO<sub>2</sub>)  
 水素は >2000\$/t-H<sub>2</sub> (2050 年目標 1/5 等)

### (4) 炭酸ガスと種々の反応

捕集した炭酸ガスは炭素資源として利用する。特にどうやって還元するのかを文献

を基に紹介する。” The Refinery of the Future” Nature (629)2024 295

1)高温平衡吸熱 2)を選択。トータルエネルギーは 1)も 2)は変わらず。

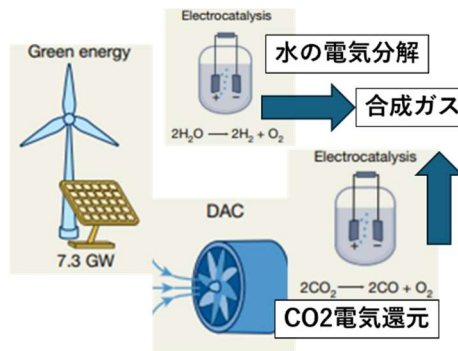
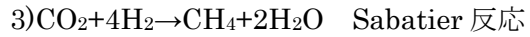
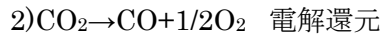
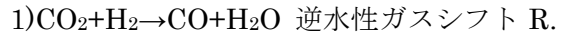


図7 炭酸ガスから合成ガス(CO/H<sub>2</sub>)

また逆水性ガスシフト反応の平衡図から電気還元を選ぶ。副生成物酸素も有用。

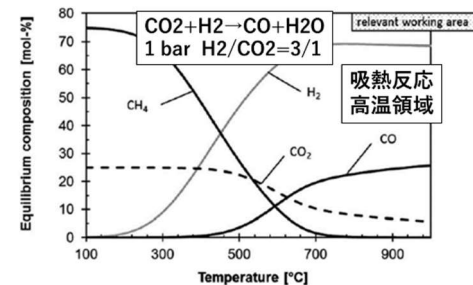


図8 逆水性ガスシフト平衡図

RSC Adv. 6, 49675–49691 (2016)

その他多数の反応も考えられる。  
 CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>→2CO+2H<sub>2</sub> メタンリフォーム  
 CO<sub>2</sub>+C→2CO 炭素による還元

図7の Nature ではリファイナリーを考える時個々のプロセスより全体のシステムの最適化を考慮して組み立てている。

### (5) バイオマス

炭素資源としてのバイオマスは大きな期待が出来ない。世界第3位の森林大国で国土の66%を占めている。しかも森林のほと

んどは山間部にある。未利用の間伐材等は年間800万トン発生するが(林野庁2015年)コストが全く合わず荒れた森林で放置している。思い付きの開発は災害を助長する。



図9 (上)間伐材 (下)健全な森林

徳島県の間伐材の取り組みの講演を聞いた。印象に残ったのは薪として燃料に使うだけでも地域貢献であるが、植林はしないし日本では林業は成立しないとキッパリ。

別の講演で木材を化学原料にしようとするとアルカリ前処理で大量の廃棄物が出る。目的の生成物は歩留りが悪い。1枚目の菌根ネットワークも考慮したい。

### 2-3、プラスチックは

カーボンニュートラル時代は再生可能エネルギー依存型社会で炭素資源も貴重になる。廃プラも焼却→CO<sub>2</sub>→DAC とエネルギー

廃プラ総排出量	823万トン
マテリアルリサイクル	22%
ケミカルリサイクル	3%
サーマルリサイクル	63%
未利用単純焼却	7%
未利用埋立	6%
プラスチック循環利用協会2024年度版	

図表10 廃プラ循環利用の実態

消費ではなく廃プラ原料で炭素循環にすべきだ。価値評価軸も従来と異なる。

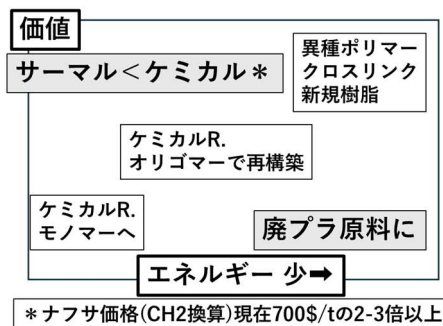


図11 カーボンニュートラルと廃プラ

ケミカルリサイクルの例二つ。

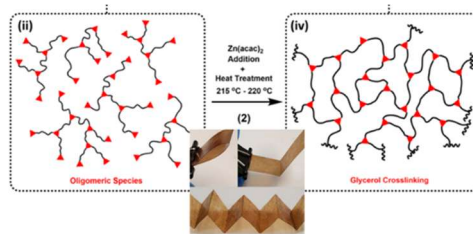


図12 ポリマーからオリゴマーにし組立

る Communications Chemistry(2023)6:158

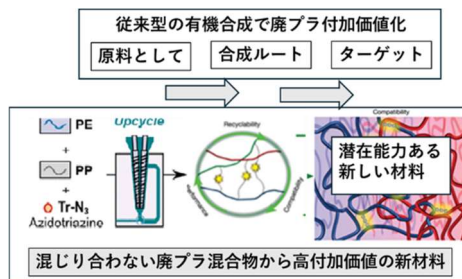


図13 廃プラ混合物の利用展開

再掲示 Nature 161(2023)731

サーマルリサイクルも塩ビ問題があり熱回収に課題がある。ナフサに相当する原料の価格は現状を越えるので廃プラ原料の利用展開は必要不可欠である。

### 2-4、まとめ

カーボンニュートラルを目指すとその先は課題山積である。現状の不合理的を正し現実を直視しシナリオを柔軟にすべきだ。

(日付) 2024年10月11日