

2050年のために何を準備すべきか 環境負荷とその定量化の方法論=LCA

(2021年3月5日 @びんリユース)

安井 至

バックキャストテクノロジー総研エクゼクティブフェロー
(一財)持続性推進機構 前理事長

(独)製品評価技術基盤機構 名誉顧問・前理事長
東京大学名誉教授・国際連合大学元副学長

環境省:中央環境審議会総合政策部会委員他
経産省資源エネルギー庁・原子力小委員長

NEDO:ICEFステアリングメンバー&未踏チャレンジPD

そもそも環境負荷とは何か？

- **環境基本法**によれば、環境への負荷とは、以下のように定義されている。
- 『人の活動により、環境に加えられる影響であって、環境の保全上の支障の原因となるおそれのあるものをいう』
- 具体的な環境負荷の例としては、
- 人的に発生するもの＝「**廃棄物、公害、土地開発、干拓、戦争、人口増加**など」
- 自然に発生するもの＝「**気象、地震、火山**など」

人為的環境負荷の歴史的推移

- 人為的環境負荷の具体例
 - 廃棄物、公害、土地開発、干拓、戦争、人口増加、
- なぜこのような人為的環境負荷が発生するか？
 - 多くのケースが、人間生活の利便性を高める行動の「副作用」として発生する。
- 利便性は、別の言葉に置き換えることも可能
- 利便性向上⇨労力の低減、時間節約、快適性向上、健康生活獲得、、、
- 具体的な影響⇨エネルギー源の消費（化石燃料・火力発電＝CO₂の発生）

CO₂は植物が吸収してくれる！

- その通りであるが、その吸収能力を上回る排出量を簡単に実現できる
- それは、化石燃料という地球が何億年という時間をかけて蓄積した物質である石炭、石油、天然ガスなどが余りにも便利。
- 化石燃料は、もともと、微生物の死骸、枯れた植物などを原料として、それが変化したもの。
- 地球上の生命には、炭素が含まれている。
- なぜ生命に炭素が必要なのか。

炭素：生命にとって便利な元素！

- 理由1：動物にとっては、炭素分を含む食物を食べ、炭素を酸化させることによって、エネルギー源とし、廃棄物であるCO₂が、「肺から排出することが容易な」常温・常圧で気体の物質であるため、炭素は極めて便利な元素だった。
- 理由2：動物の体の構成要素としても、炭素を骨格とする分子によって形成された組織は、非常に柔軟で丈夫で、都合が良い。勿論、硬構造体とするための骨は、CaとPで構成できた。

炭素には地球環境に猛毒性あり

- その猛毒性で重要なことは、地球の大気中にCO₂が増えると、大気の温度が上昇すること
- CO₂は地球の健康に悪影響(=地球の体温を高める効果)がある温室効果ガスであること。
- 温室はなぜ内部の温度が高く維持可能か？
 - 温室内部の温かい空気が外部に出ない構造。
 - あらゆる物は、その温度に応じて、赤外線を放出して、温度を周辺温度と同一に保とうとしている。
 - 赤外線が外部に出て行かないようになれば、その物の温度を維持できる。

温室効果 (CO₂など) の基礎科学

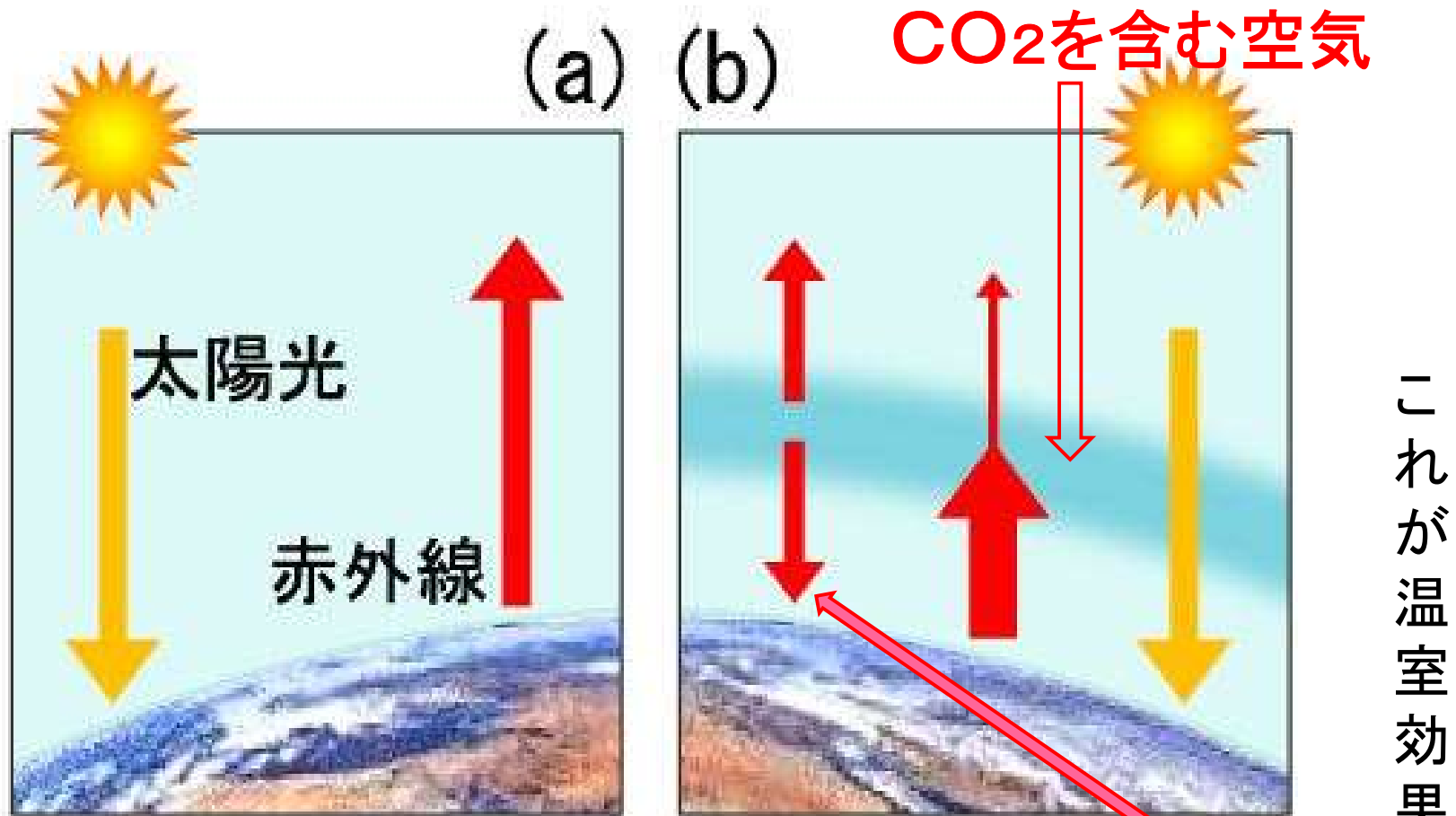
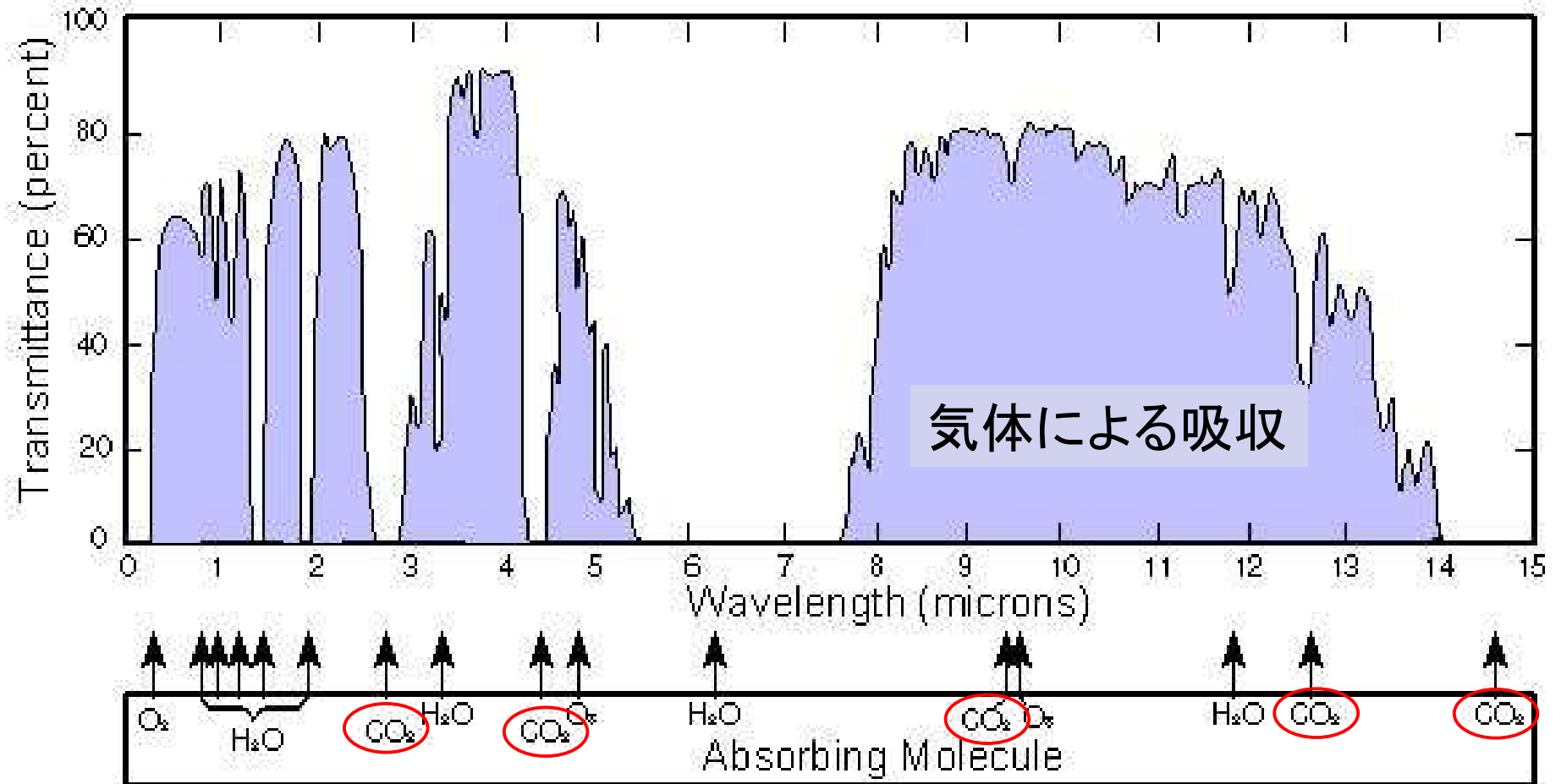
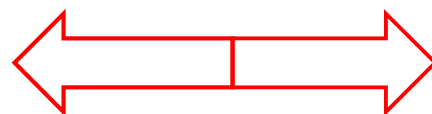


図1 (a) もしも温室効果がなかったら地表は太陽エネルギーのみをうけとる (矢印の線の太さがエネルギーの量を表す) (b) 実際は温室効果があるので地表は大気からのエネルギーもうけとる

大気之窗 数値ゼロなら透過



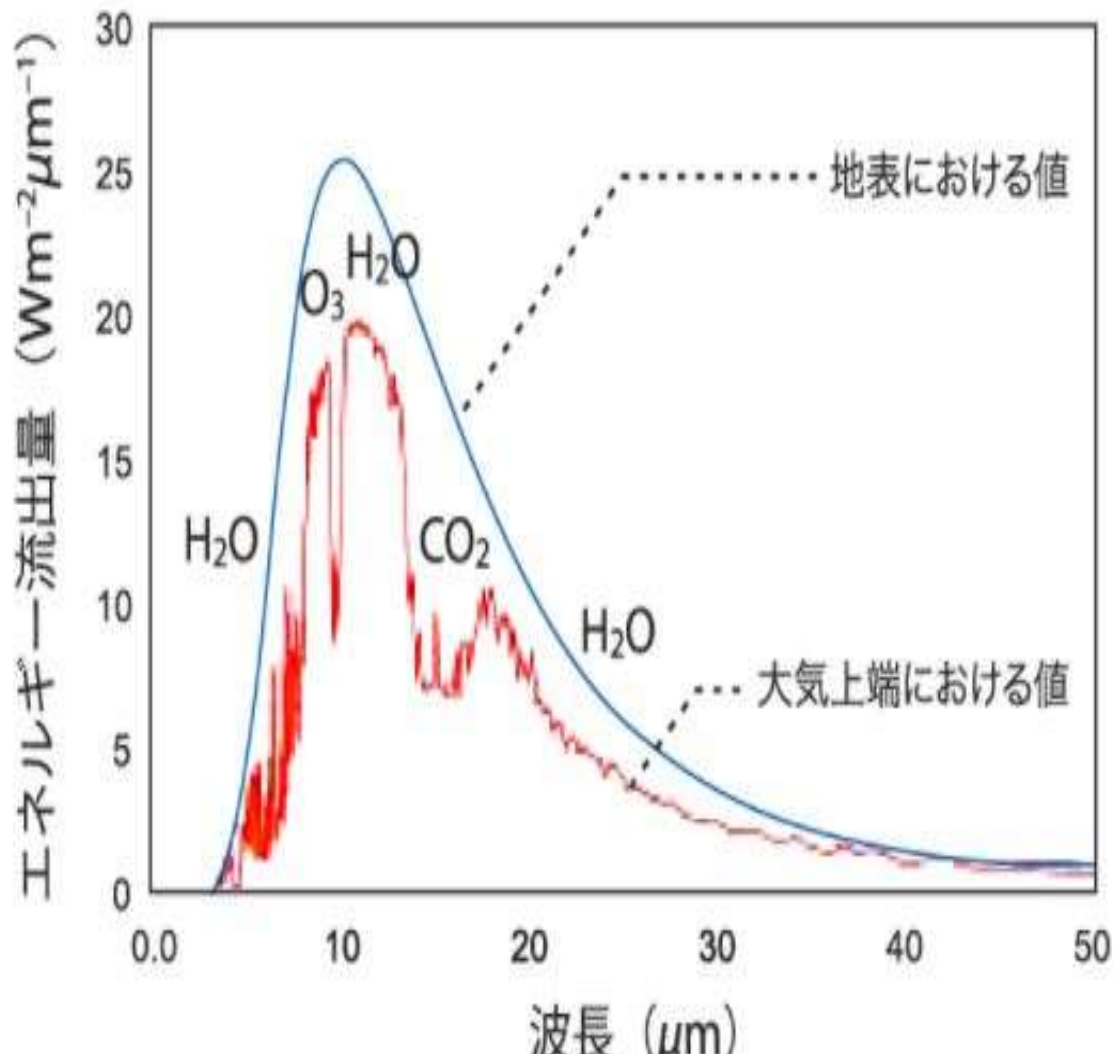
CO₂



可視光の範囲

CO₂の温室効果の図示

国立環境研 横畠徳太氏



各温室効果物質の寄与

水蒸気	48% (75 Wm^{-2})
二酸化炭素	21% (33 Wm^{-2})
雲	19% (30 Wm^{-2})
オゾン	6% (10 Wm^{-2})
その他	5% (8 Wm^{-2})

菅首相の2050年CO2ゼロ宣言

- 2020年秋の臨時国会での施政方針演説
- アベノミクスの旧政権よりは、世界のスタンダードに近い。
- しかし、「具体的に何をやるのか」、についてはほぼ未発表のまま。
- それでも、発言して良かったように思える。その理由は、このところ、経済界などからのCO2削減への対応方針の表明が増えている。
- それらの方針がどのくらい有効かどうか、本当は、LCA的に判定することが必須

LCA=Life Cycle Assessment

- 定義:元々は、製品がどのようなプロセスで製造されたか、そのときの環境負荷の全体像がどのようなものであったかをできるだけ正確に評価しようとする方法論。本来、全負荷を対象にすべきだが、CO2のみとする例が多い。
- 一般的方法
 - プロセスを複数の単純なステップに分割する
 - それぞれのステップにおける、エネルギー使用量などから、CO2排出量を算出
 - 製品完成までの全プロセスを定量的に解析する

産業界のCO₂ゼロ宣言の例

- 2021年2月19日~2月26日の日経新聞朝刊から、記事のリストアップを試してみた。
- 選択するためのキーワード
 - 排出ゼロ or 脱炭素
 - CO₂処理方法
 - 新燃料
 - 電動化
 - 水素利用
 - などなど

“ユナイテッド”電動旅客機投資、排出ゼロを 探る、投資額1000億円 02.19.2021

- 環境対策担当者の戦略
- 自然エネルギー起源の電力は“CO₂=ゼロ”と見る
- 排出量を投資で相殺するカーボンオフセットには依存しない方法を採用する
- 自社からの排出の99%はジェット燃料が起源
- 最初は、代替燃料を活用すべく、バイオ燃料企業に3000万ドル投資。しかし、燃料価格が、2~4倍。
- 今後は、空気中のCO₂を地中に埋める新技術に4000万ドル投資予定。技術はDAC(Direct Air Capture) = 大気中からCO₂を回収して地中に埋める。
- 投資の将来像としては: 電動旅客機、水素技術など¹³

米国：バイオ燃料添加義務 02.20.2021

- **米国の石油販売業者**は、ガソリンおよび軽油に関して、**体積比で10.9%のバイオ燃料**を添加することが義務化されている。
- しかし、実績は、法定基準値である300億ガロンの3分の2の水準に留まる。
- その理由は、**非食用有機原料**を使って生産するセルロース・エタノールの商業化が想定通り進んでいないことが原因。
- EPAは、2022年までの法定義務量を別途見直すことを発表

日経朝刊 02. 20. 2021

ホンダ、新社長(開国派)に託す脱炭素

- ホンダは、世界の脱炭素の流れが加速するなか、電気自動車などの事業転開で出遅れ。
- 20年4月には、主力の北米市場においてEVを共同開発し、GM工場で生産することを発表。
- 20年9月にはGMとの戦略提携を発表した。
- ホンダは、創業者本田宗一郎氏の自社技術へのこだわりなどにより、独立志向が強かった。
- ホンダのEVは販売目標も1万／年
- cf. 米テスラは、2020年に50万台販売。

日経朝刊 1面 2・21・2021

CO₂地下貯留を支援 経産省

- CO₂のCCS(=回収地下貯留)が世界で実用化加速。一例としては、オーストラリアでは米シェブロン(LNG事業)に対して、8割のCO₂を回収貯留することを求めた。
- これまで経産省の所管、JOGMECは、日本企業が参画する油田、ガス田開発を支援。
- 今後は、CO₂の回収・貯留も資源開発の一環として出資や債務保証の対象に加える。
- 菅首相の「2050年CO₂実質ゼロ」に対し、2050年時点でも火力発電が一定量必要のため₁₆

原発をSmall Modular Reactorへ



 NuScale Power Reactor Building

個人的な推奨はSMR

第6期科学技術・イノベーション基本計画

DX・脱炭素技術革新推進

2・22・2021

- 第6期科学技術・イノベーション基本計画素案
- 重点分野は、DX(digital transformation)と脱炭素社会
- 研究開発投資の目標30兆円は過去最大
- 基本的認識
 - 20年近くも続く研究力の低迷は国の将来を左右！
 - 政府は、今後5年間で30兆円を投資予定
 - 官民での開発費の総額の目標を120兆円とする
- 第6期の柱＝社会変革、研究力強化、教育と人材育成

放射線で発電、寿命100年 2・22・2021

ダイヤモンド電池試作：物材研

- 放射性物質から出る電子を受けて電力を生むダイヤモンドを開発。
- いわゆる原子力電池の一種。
- 炭素14（半減期5700年）やニッケル68（同100年）からのベータ線をPN構造を持ったダイヤモンドに照射して、電力を出す。
- 変換効率は約28%で、理論限界に近い。
- ただし、現状の出力は、1Wの100万分の1程度。

日本で基幹設備生産へ 日経2・23・2021

東芝・GE 洋上風力で提携

- 政府は、現時点で約2万キロワットの発電能力に留まる洋上風力を、2030年までに、1000万kWまで拡大させる方針。
- 洋上風力1基あたりの設置コストは、約50億円
- 現状では、1基／年程度で年50億円ぐらい。
- それが、30年度には年間9200億円になるとの予測がある。
- 現状では、洋上風力は、シーメンスガメサ(スペイン)などの欧州勢と中国勢が独占。GEは、洋上では遅れた。

中西経団連会長「脱炭素優先」表明

日経 02・23・2021

■ 経団連の主張

- 2050年炭素排出実質ゼロに協力。
- 大容量蓄電池と安価な水素供給。
- CO2の回収・有効利用。
- 電化率向上。
- 新型の原子炉開発などを目指す。

中西会長の主張を簡素化して、以下に。

- ◇ 気候変動は破壊的。地球環境があって初めて経済活動成立。
- ◇ コストが上昇するという見解もあるが、放置したら、さらに莫大な費用がかかる。

米、同盟国と供給網整備 02・24・2021

- 半導体やEV用電池など 中国に対抗
- 具体的な品目は、
 - EV用電池、希土類、医療品など
- 半導体、EV用電池も重要ではあるが、**必要な希土類はほぼ中国の独壇場の資源**（Coはコンゴ）
- **オーストラリアとの連携で希土類**
 - オーストラリアには、希土類生産大手ライナスなる企業がある。
 - 生産大手のラケイズCEOは「中国が市場の80%を支配するレアアースの供給を確保することが不可欠」。

脱炭素の重要な鍵の一つは原発

経済界は、「国が前面に！」 2月25日

■ 原発について

- 新增設を政策方針として明記すべき(経団連)
- 再稼働などで政府が前面に立つべき(日商)

■ 再生エネ

- 脱炭素へ大量導入不可欠(経団連)
- 洋上風力は期待高いが、不安定な出力への対応必要(日商)

■ その他

- 30年の電源構成は、実現可能な対策の積み上げで
- 火力は当面は重要な役割(連合)

国内最大級の水素施設

伊藤忠、仏大手と 2月26日

- フランスの大手のエア・リキードは2020年半ばに、世界最大級液化水素製造プラントを中部地方に設置する。
- 液化天然ガスLNGから製造する方法論
- 価格を抑えた水素を燃料電池車への供給
- 2017年と2030年の比較
 - コスト ⇒ 100円 : 30円
 - ステーション数 ⇒ 100ヶ所 : 900ヶ所
 - FCV ⇒ 2000台 : 800000台
 - フォークリフト ⇒ 40台 : 10000台

日本の水素価格は欧州の4倍

- 世界の水素生産は、仏エア・リキード、独リンデ、米エア・プロダクツ・アンド・ケミカルズが「世界の3強」とされる。
- エア・リキードの年間生産量は、重量換算で120万トンに相当する140億立方メートル。日本全体での生産量の半分を1社で。
- 日本トップの岩谷産業は約1億立方メートル。
- 製法は、天然ガスの炭化水素を水素と二酸化炭素に分ける方法。日本だと1kgが1000~1500円だが、欧州ではその1/4。理由：天然ガス価格。

続 水素生産

- 水素価格の違いはなぜ??
 - 原料となる天然ガスの価格が日本では2.5倍以上
 - この差は、輸入品である日本。国内にガス田がある欧州と米国。
 - 欧州ではさらに、再生可能エネルギーの価格が安価で、電気分解で作る水素の価格に影響。
 - 日本国内最大手の岩谷産業の年間販売量は約1億立方mだが、エア・リキード社の生産量は140億立方mと大差。
 - 水の電気分解で作る水素も、欧州では再生可能エネルギー(風力)で1kg300~700円。
 - ちなみに、欧州の再生可能エネは化石燃料を超えた。

欧州、炭素税導入で先行 2月26日

- CO2排出量を下げるのに、もっとも有効な方法は、炭素税であることは、絶対的事実。
- 欧州の炭素税は高い（1トン当たり）日本は0。
 - * スウェーデン 119ドル
 - * スイス 99ドル
 - * フィンランド 68ドル
 - * ノルウェー 53ドル
 - * フランス 49ドル
 - * 韓国 33ドル
 - * アイスランド 30ドル

日本でも副生水素の製造開始か

- 伊藤忠商事は、コークス製造過程で発生する副生水素を船舶用燃料として23年度から供給することを試みることのこと。
- 経済産業省は、2030年に水素価格を現状の1/3にすることを目標とする。
- 副生水素には、可能性があるようだ。

- 非資源国の日本は、このように、水素においても、海外に後れをとる理由は価格。
- 関西電力は、安価な水素製造を一つの目標に。

日経10月18日2020 1面トップ その1

株式市場で「脱炭素」に熱心な企業の評価が高まっている

2017年末の時価総額 = 100



(注) MSCIの世界約2000社の排出量データをもとに作成。18年までの4年間で半分以下に減らした企業のうち削減量が大きい30社と2倍以上になった企業のうち増加量が多い30社を抽出

ニューヨークに本拠のある金融サービス企業

日経10月18日 1面トップ その2

主要企業のCO2排出量削減で日本は見劣り

2018年の排出量の水準、14年=100



(注) MSCIの排出量データを国別・地域別に集計

アベノミクスはダメだった

ボルソナーロ政権は2019年1月から

主要国のCO2排出量推移



CO₂発生量の定量化手法=LCA

- Life Cycle Assessment=LCAが一般的な方法とされている
- 本来、LCAは元々、あらゆる環境負荷の定量化の手法である。
- しかし、最近の気候変動の重要性の認識によって、CO₂の発生量が経済的にも重要な要素になり、他の環境負荷の重大性が減少したので、個々の製品やプロセスのCO₂発生量を定量的に知ることが不可欠となった。
- LCAによって、CO₂発生量が少ないプロセスをいかに経済的に成立させるか、最重要事項。

参考資料

- LCA=ライフサイクルアセスメントの現状
- 現時点では、LCAは、ISO14040によって、国際規格となっている。
 - ISO=International Standard Organization
- LCAの対象となる環境負荷は、CO2だけではなく、あらゆる環境負荷が対象となり得る。
- しかし、このところの**気候変動問題の重要性の認識により、CO2だけを対象とする解析が増加しつつあるのが現状。**