



カーボンニュートラルシナリオ

令和4年度版 : P2～P36

令和3年度版 : P37～P66



カーボンニュートラルシナリオ 令和4年度版

令和5年3月31日

(一社)日本陸用内燃機関協会

0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

0, はじめに

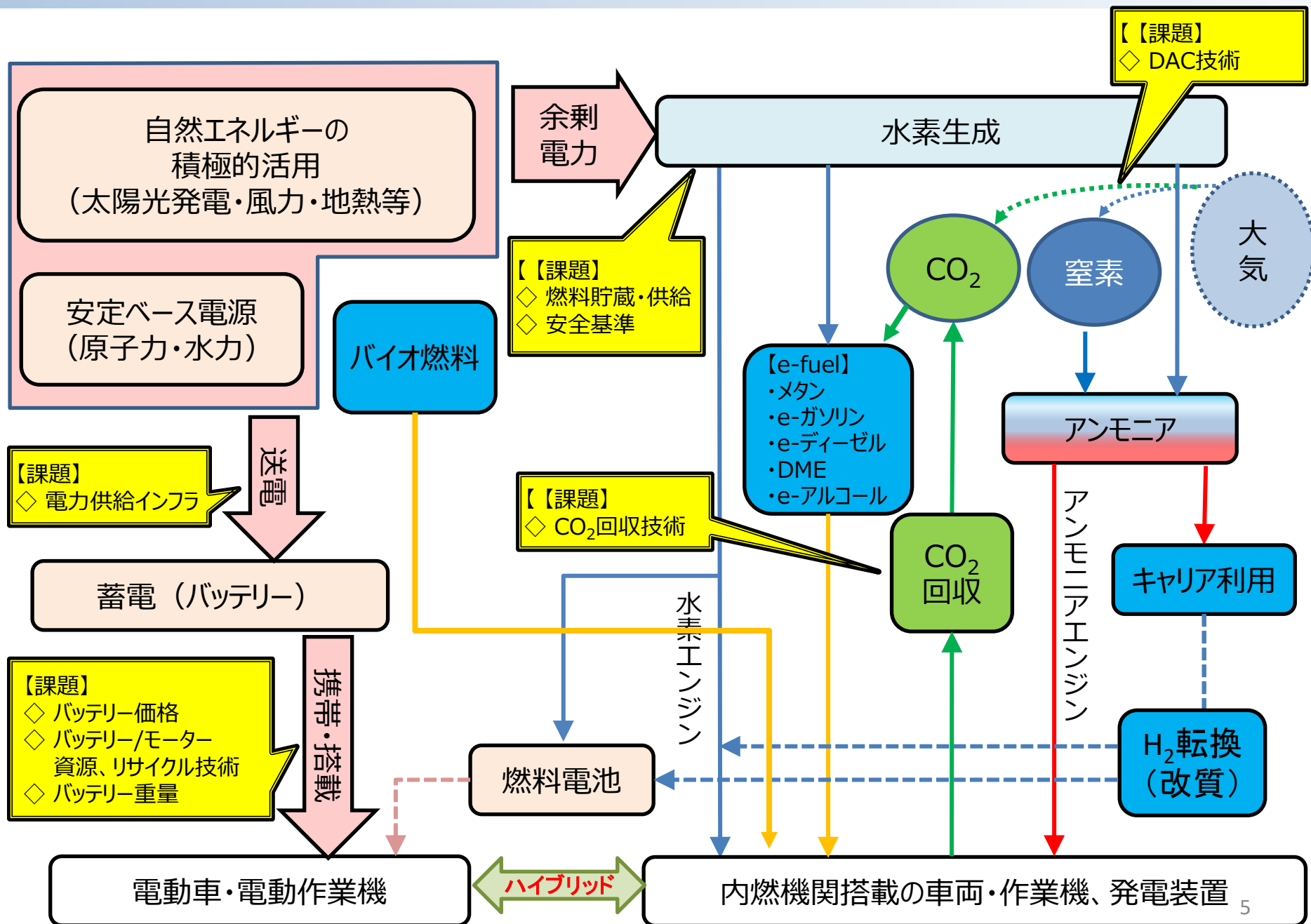
1, グリーン成長戦略と最近の動向

2, 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3, 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ



- ▶ 陸用内燃機関は用途・ユーザーが多様で、それぞれに適したCNシナリオの設定が必要（CNを達成するシナリオが複数存在）であり、自動車用動力源の水平展開は容易ではない。
特に動力源へのエネルギー供給は大きな課題となる。
- ▶ 比較的寿命の長い機器が多く、社会のインフラを支える機能を有するため、これらを保持したままCN移行を果たす必要がある。
- ▶ 陸内協所掌のエンジン群の総エネルギー使用量は、相対的に少なく、自動車・船舶・航空機等のCNシナリオとの整合を視野に入れる必要がある。
- ▶ 現時点で次世代エネルギーを絞り込むことはできない。
今後の技術動向やインフラ整備動向を見据えながら、最適なCNシナリオを築いていく必要がある

0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

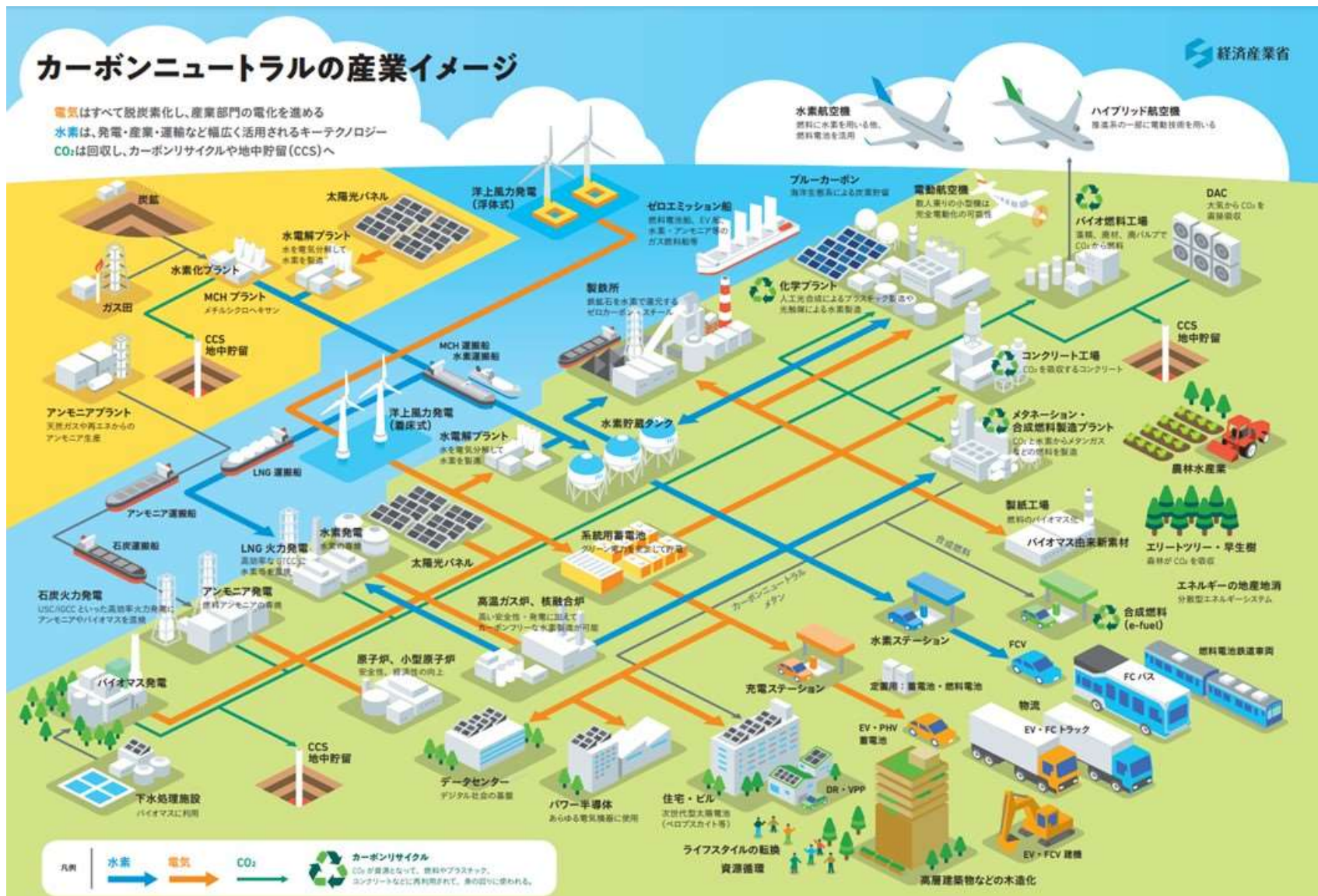
2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

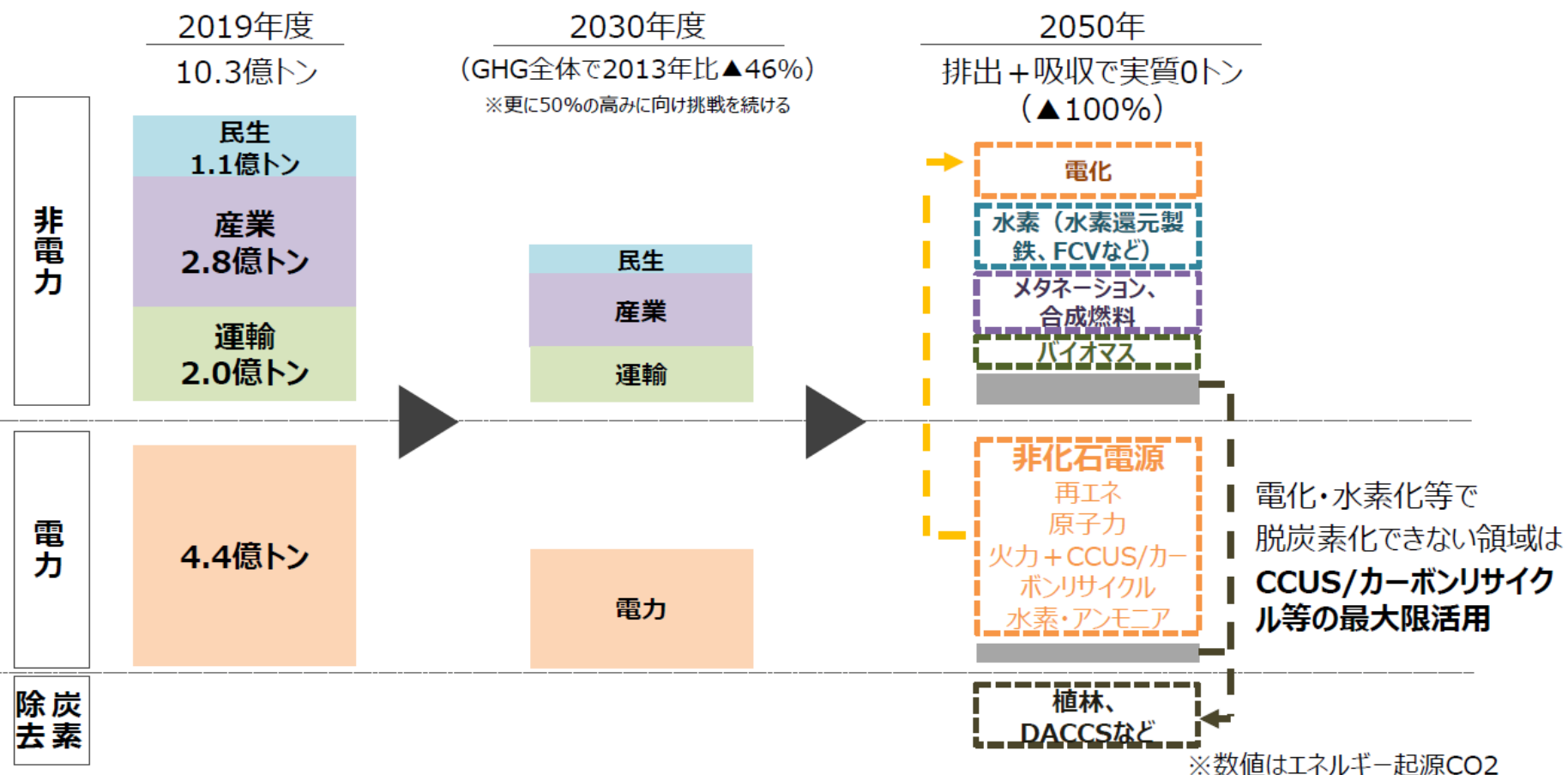
グリーン成長戦略と最近の動向①



Source: 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

グリーン成長戦略と最近の動向②

2050年で約1億tのCO₂が残り、これを植林やDAC等で炭素除去で補う計画。
ただし、化石燃料由来のカーボンリサイクルでのメタネーションや合成燃料の場合、削減量は50%分となることから、より多くの炭素除去が必要となる（DACやバイオ起源では100%）。



グリーン成長戦略と最近の動向②

CO₂削減量のカウントの方法について、検討が開始されている。

メタネーション推進官民協議会CO₂カウントタスクフォース中間整理（概要）

「国」レベルの制度・ルール

GHGインベントリ（マルチの国際ルール整備）

【国をまたぐカーボンリサイクル燃料の扱い】

- 輸入したカーボンリサイクル燃料からのCO₂排出を、自国のCO₂排出として国家インベントリ計上しないための様々な選択肢（新たな国際ルール整備、現行IPCCガイドラインを踏まえた独自の取組）の検討が必要。

【日本国内に閉じたカーボンリサイクル燃料の扱い】

- 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会エネルギー・工業プロセス分科会CCU小分科会における今後の検討に資するよう、企業・業界団体等からの適切な情報提供・発信が重要。
- 国内で回収したCO₂を用いるカーボンリサイクル燃料の国内利用について、国家インベントリ上、CO₂排出を二重計上しないことが重要。

国際的な削減クレジット等の利用（二国間の国際ルール整備）

- パリ協定6条2項との整合性を担保した国際的な削減クレジット制度の枠組みの活用可否の検討や現行のJCMにとどまらない新たな制度の可能性の検討が必要。
- 削減クレジット制度とは別の、二国間でインベントリの二重計上の回避を合意した上での制度等の可能性等についても検討が必要。

「企業活動」レベルの国内制度・ルール



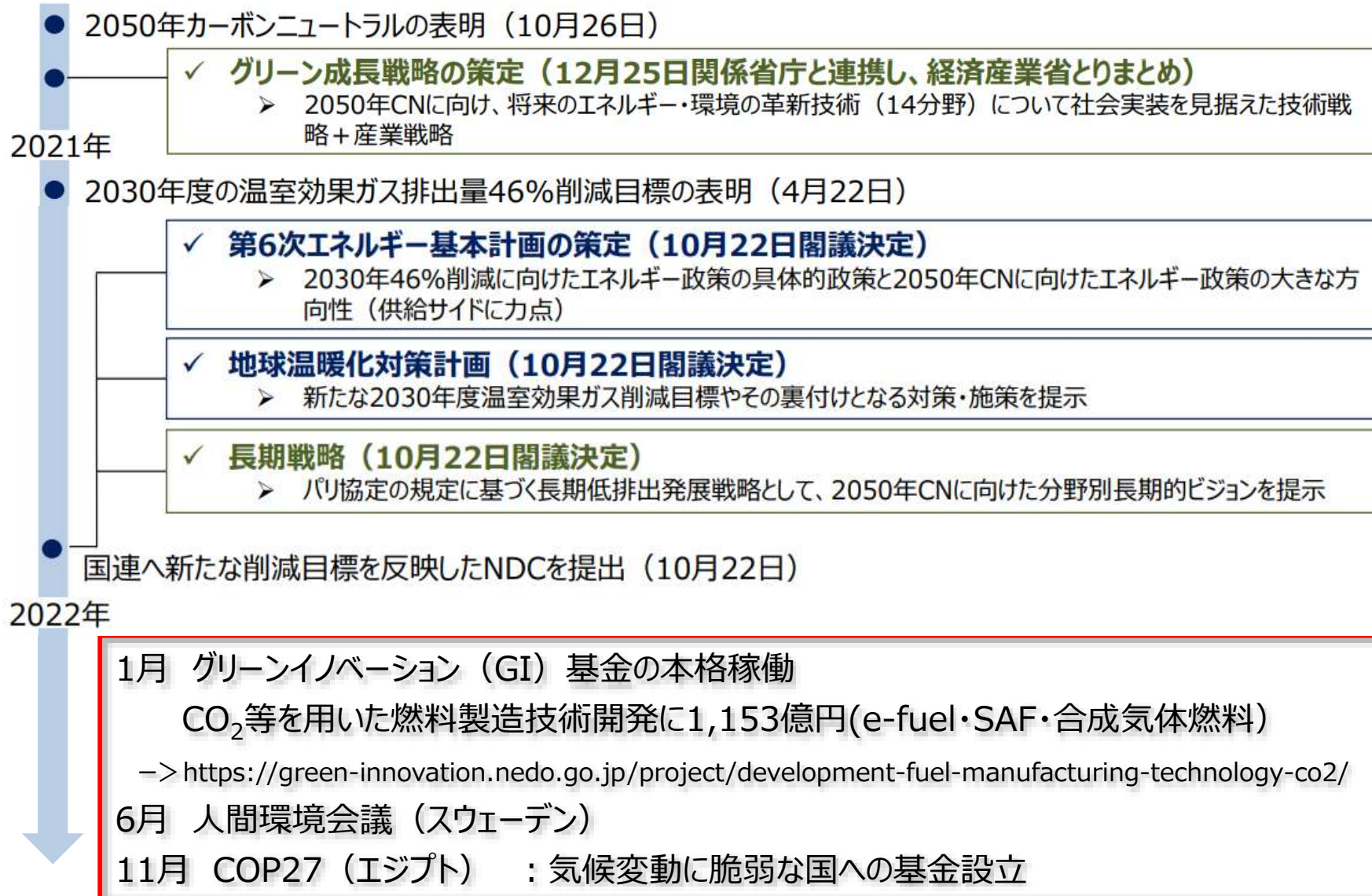
【排出削減の二重カウントを認めないことを前提とした制度等】

- カーボンリサイクル燃料の利用促進の観点からは、案1を基に各種国内制度の検討が進められることが望ましい。その際、原排出者（回収）側に十分な誘因が働くための補完的な仕組みの制度設計が重要。

【排出削減の二重カウントを認め得る制度等】

- CO₂回収・カーボンリサイクル燃料利用の双方の誘因を最大化する観点からは、案4の原排出（回収）側と利用側の双方で排出計上しない制度が望ましい。（ただし、CO₂の排出に責任を有する者が存在しないこととなると真の排出削減につながらないおそれがあるため留意が必要。また、国際的なルールとの整合性も考慮する必要。）

グリーン成長戦略と最近の動向②



0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

- ・令和3年度のCNシナリオでは、現時点で様々なシナリオが存在するとともに、e-fuel・バッテリー（電動化）・燃料電池・水素エンジン・アンモニア利用・バイオ燃料などの課題についてまとめた。
- ・無電化地域や遠隔地で使われることの多い陸用内燃機関にとって、以下の点に留意すべきであると言うのが結論であった。
 - ① エネルギー（燃料・電気など）の供給方法・インフラ
 - ② 使用総量が少ないことから、自動車・船舶・航空機とのシナリオの整合性。
 - ③ 社会を支えておりかつ長寿命である。
- ・令和4年度のアップデートでは、主に上記の留意点に関する情報を収集し、更新を行った。

0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

- e-fuel（FT合成によるe-ガソリン、e-軽油）のコストは、現状水素が約90%を占めると言われている。
- 合成燃料研究会（資源エネルギー庁）の「中間取りまとめ」（2021年4月）によると、合成燃料のコストは現状約700円/Lと試算され、2050年には約200円/Lを見込むが、水素のコストが大幅に下がる前提である。また、リサイクルされるCO₂の価格も現時点では不明で、変動要因となる。
- 2022年9月16日に第一回合成燃料官民協議会が開催され、e-fuel（液体中心）の商用化に向けた検討が始まっている。本協議会は、商用化推進WGと環境整備WGからなり、前者は商用化に向けたロードマップの策定や用途拡大などを検討する。後者は、前述のCO₂削減効果をどのように評価するか（誰のものとするか）や導入促進の枠組みを検討することとなっている。

- ・欧州は、EV (BEV) や水素エンジンの研究開発に積極的であるが、e-fuelに対しては全体的に消極的。しかし、長距離走行や航空燃料には、e-fuelは必要であるとしている (メタノールやアンモニアも併記。欧州水素戦略より)
- ・一方、アウディとポルシェは、本格的にe-ガソリン生産に乗り出しており、チリで2022年に約13万リットル、2026年までに約5億5,000万リットルの合成燃料を製造する予定(日本の年間ガソリン消費量は約500億リットルなので概ね1%)。ポルシェが狙っているのは、チリの安価な風力発電による電力と、豊富な水資源(電気分解用)で、ここで製造したe-fuelで、カーボンクレジットを積算することと推測されている(CO₂はDACを計画)。
- ・また、ドイツとベルギーで“e-fuelアライアンス”と言う団体が創設され、多くのメーカー(約130社)が参加している。
- ・欧州のFit for 55では、2035年に欧州での内燃機関搭載車の販売を廃止するとしていたが、“合成燃料を使用する場合は新規登録可能”とすることが検討されている(2025年までに結論)。

- ・都市ガスにおけるCNの方向性として、日本ガス協会では2050年に90%を合成CNメタンすることを目指している。

2030年

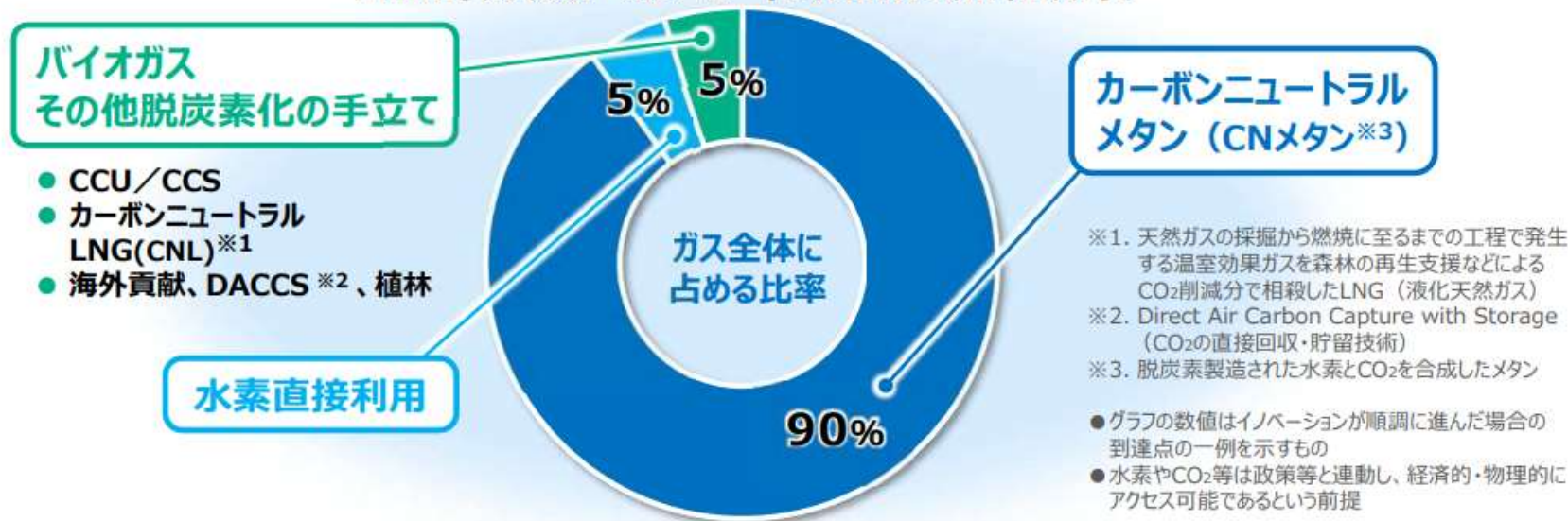
ガスのカーボンニュートラル化率5%以上を実現
メタネーションの実用化を図る（カーボンニュートラルメタンの都市ガス導管への注入1%以上）

2050年

複数の手段を活用し、**ガスのカーボンニュートラル化の実現を目指す**

※メタネーション設備の大容量化の課題、安定的かつ低廉な水素調達等、大きな課題への解決にチャレンジ
※不確実性は多いが、脱炭素化に資する様々な手立てを駆使し、実現に向けてチャレンジ

2050年ガスのカーボンニュートラル化の実現に向けた姿



- ・日本で約50%の世帯が利用するLPガスについては、新たな合成方法の開発により、2050年には全量CNな合成LPガス供給を目指している。

Project 1 :

炭酸ガス(CO₂)と水素からLPガスを
100%近い収率で直接合成する
新技術の開発

第一段階：2021～2024年
触媒基礎研究、パイロットプラント
実証研究

北九州市立大学との連携でHiBD研究所
藤元薫先生（東大、北九州市立大学
名誉教授）と実証研究
プラント規模：10kg/日

開発目標

開発体制、
スケジュール、
開発資金

Project 2 :

バイオガス等のメタノール・DME経由
LPガス間接合成法

第一段階：2021～2023年
触媒基礎研究～

大手触媒メーカー等との共同研究

第二段階：2025～2030年

社会実装に向けたスケールアップ実証研究 : プラント規模：100kg/日（30トン/年）

第三段階：2030～2050年

社会実装の開始、社団法人参画企業を中心に商用化プラントの建設

2030年～ : プラント規模（一基当たり）：10～100トン/日（3千トン～3万トン/年）

～2050年 : LPガス総需要の全量をグリーンLPガスに代替目指す

0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

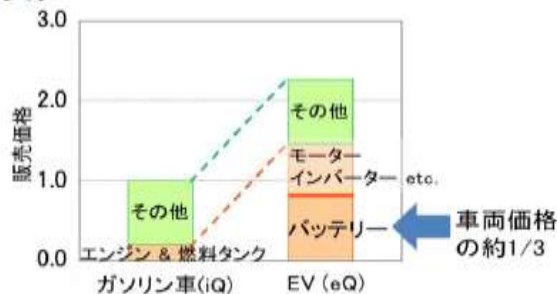
3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

- ・現在の液系LiBに比べ、全固体LiBは、体積当たり2倍、充電時間1/3かつ安全性が高いとされている。
- ・一方、IEAの予測では、2050年にはリチウムが枯渇する可能性があるとする（リサイクルが必須となる）。これに伴い、Li価格も高騰が予想される。他に銅やコバルトも不足が予想される。
- ・将来技術として、材料が豊富なNaイオン電池やコバルト不要のLFP電池(リン酸鉄リチウムイオン電池)なども研究が進んでいる。

高 価

電池コストは低下傾向であるが、EVの製造コストの1/3程度を占めるなど現時点では高価。定置用の普及の観点でも更なる低減は必要。



エネルギー密度不足

ガソリン車並の走行距離を達成するためには、エネルギー密度の更なる向上が必要。



0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

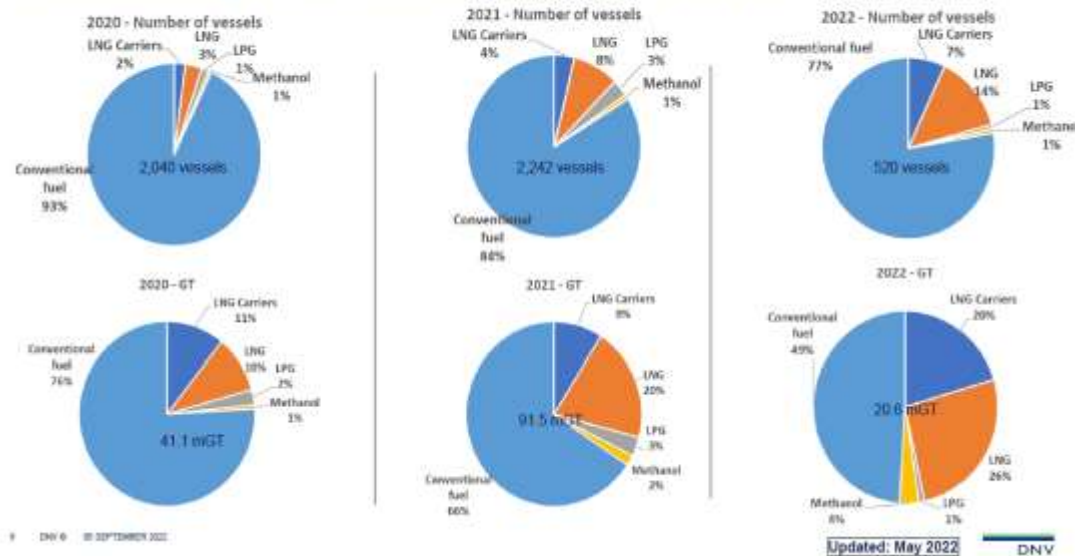
2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

Newbuilding orders with alternative fuels



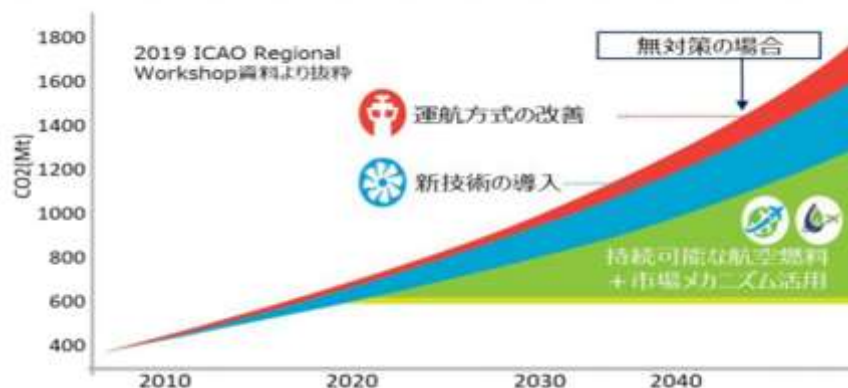
・世界の新造船を見ると
LNGを燃料とするものが
急速に増え、またメタノール船も登場している。これらは、将来のCN燃料の供給を見越したものである。

Source: DNV report 2022

国際航空からのCO2排出量予測と排出削減目標のイメージ

目標達成の手段

- ①新技術の導入（新型機材等）、②運航方式の改善、
③持続可能な航空燃料（SAF）の活用、④市場メカニズム活用



・航空分野では、SAFが注目されており、バイオエタノールや植物油から生産される。最終的には、全世界で5億 k Lの供給が必要となり、バイオ系原料は、全てSAFに向けられる可能性が懸念される。

Source: 経済産業省「グリーンエネルギー戦略 中間整理」

0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

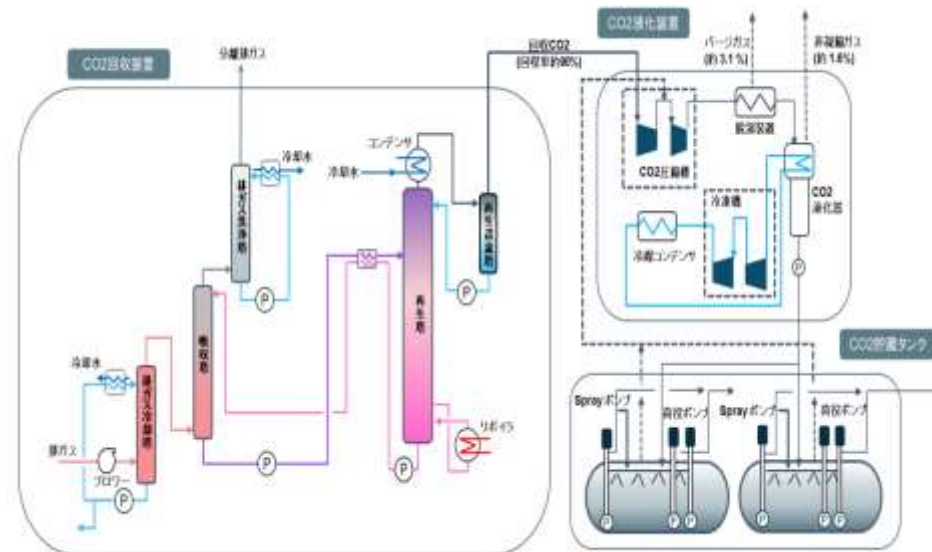
2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

- ・車載型CCSは、化石燃料を用いても、排気中のCO₂を回収するのでCNとみなされ、期待されている。
- ・CO₂の回収率は、アミン系で約90%、ゼオライト系で約70%である。
- ・いずれも、低温で吸着・高温で離脱となるので、現状複雑かつ大型の装置となる。また、CO₂は液化して貯留が必要。
- ・現在は、船舶など大型のもので開発が進んでいる（三菱造船）。
- ・陸上輸送や産業用機械での課題は、小型化および回収したCO₂の扱いとなる。ガソリンスタンドで満タン給油すごとに、100kg以上の液化CO₂を取りださなくてはならない。

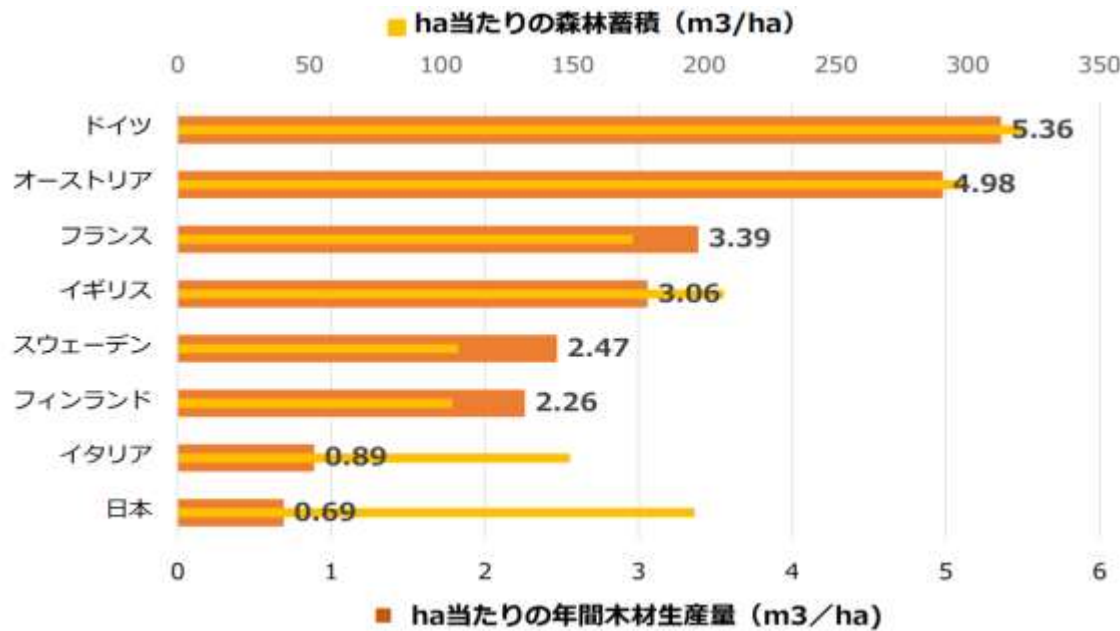


- ・政府の目標の水素価格（2050年）は、20円/Nm³である。水素の展開先として、発電・製鉄・都市ガスへの混入・アンモニア合成・e-fuel製造・水素の直接利用など多くの選択肢が検討されている。
 - ・一方、現状の燃料価格と熱量ベースで比較すると、20円/Nm³であっても、発電や製鉄にとっては高い燃料となる（下図）。
 - ・一方、燃料電池車であるミライ を例にとると、100円/Nm³の現状水素価格で、ガソリン車18km/L相当の燃費となる。
- 水素利用は、まず運輸から始まる
可能性はある。

（注）ただし、現状水素価格には燃料税がかかっていない点に注意が必要。燃料税の差額を考慮すると、50-60円/Nm³でガソリン車と同等水準となる。

現行販売価格と既存燃料等とのコスト比較



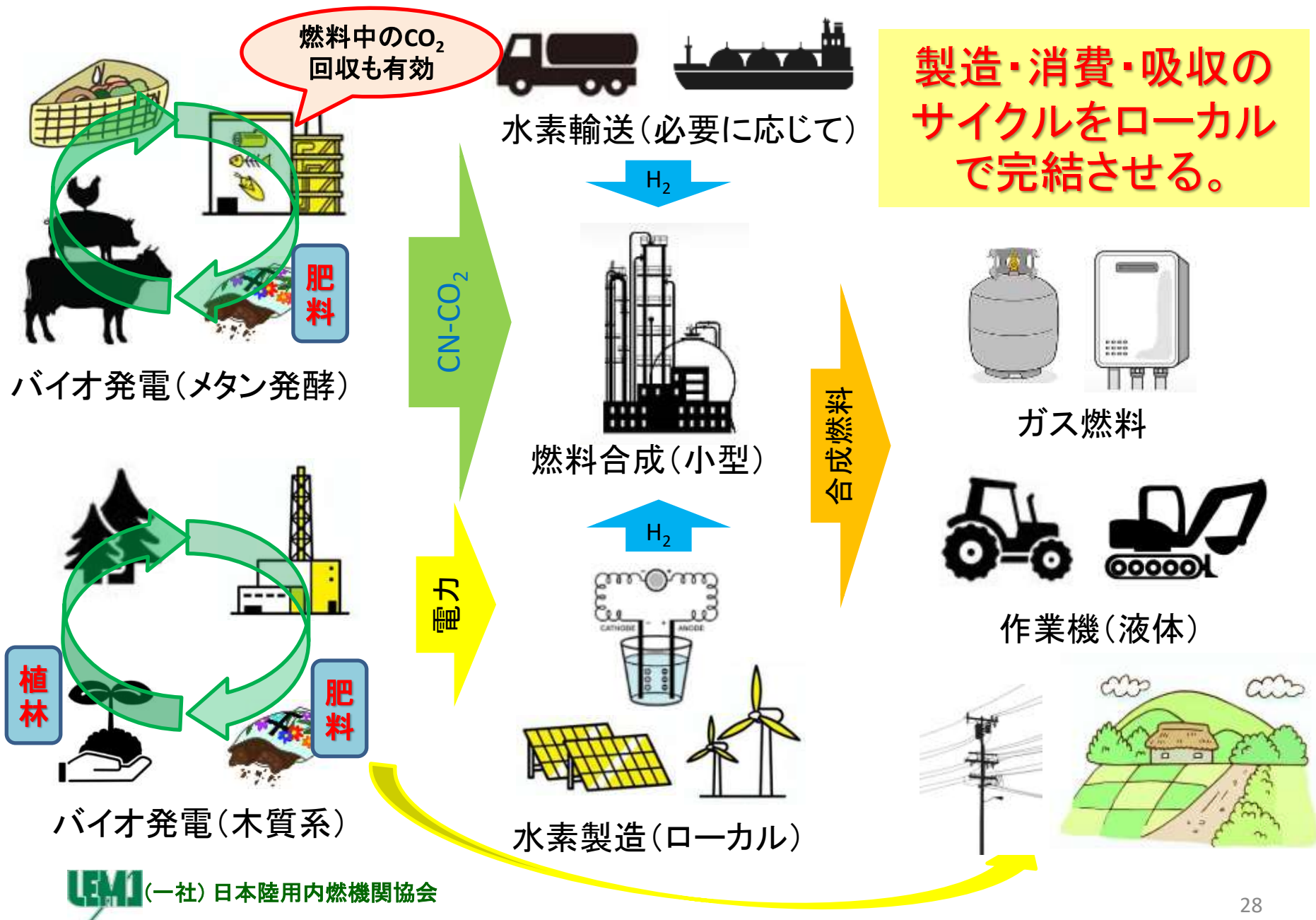


出典：国連食糧農業機関「世界森林資源評価2015」、林野庁「平成26年度 森林・林業白書」（日本の森林蓄積）



- ・日本は、欧州などに比べ森林は豊富にある。一方、木材生産量は少なく、未利用が多い。
- ・木質バイオマス発電は、木材を加熱して、COとH₂を発生させ、ガスエンジンやガスタービンで発電する。
- ・注目すべきは、排気中のCO₂を回収すれば、マイナスのCO₂排出（BECCSによるNETs）となる。e-fuel製造などに使ってもCNとみなせる。

- ・CNに向けて、e-fuelや水素利用技術などの研究開発が盛んになってきた。
一方、これらの成否は最終的な水素価格によるところが非常に大きい。
- ・水素利用は、発電や製鉄・自動車などで検討されているが、インフラ構築が課題となる。しかし、農村部までインフラ整備がされるかは不明である。
- ・陸用内燃機関で期待されるCN-e-fuelは、バイオ起源のCO₂回収やDACなどのCNなCO₂の入手が必要。
- ・燃料コストに占める運送費（原材料や最終製品）の割合は、合成燃料においてはより高くなることから、都市部以外での利用が多く、防災上の役割も担う産業用機械では、より地産地消が望ましい。



0 , はじめに

1 , グリーン成長戦略と最近の動向

2 , 陸用内燃機関に適用可能なCN技術の動向

- ・ 既存インフラを活用できるe-fuel（液体・気体）
- ・ 自動車で検討されている電動化
- ・ 航空、船舶で検討されているバイオ燃料
- ・ その他の技術（車載CCS、バイオガス等）

3 , 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- ・ 陸用内燃機関の分類
- ・ 各カテゴリーのCNシナリオ

陸用内燃機関の分類

ハンドヘルド



ノンハンドヘルド



ノンロード① 19kW未満



ノンロード② 19kW以上



定置式



陸用内燃機関の分類

用 途		対象エンジン	備考
ハンドヘルド	チェーンソー、トリマー、刈払い機、ブロー、噴霧器、ランナー	ガソリンエンジン（2サイクル、4サイクル） 1～3kW	保有台数 ****台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
ハン ハンドヘルド	ポンプ、高圧洗浄機、発電機、管理機、溶接機、投光機、ウィンチ	ガソリンエンジン（4サイクル） ディーゼルエンジン（空冷） 19kW未満	保有台数 ****台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
ノンロード①	耕運機、田植え機、除雪機、ローンモア、乗用草刈り機、農業用機械、ゴルフカート	ガソリンエンジン（4サイクル） ディーゼルエンジン（水冷） 19kW未満	保有台数 250万台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
ノンロード②	トラクター、コンバイン、フォークリフト、建設機械	ガソリンエンジン（4サイクル） ガスエンジン（LPG） ディーゼルエンジン（水冷） 19kW以上	保有台数 350万台/年 国内排気ガス規制(19-560kW)
定置式	GHP、常用発電装置、コージェネレーションシステム、非常用発電装置、揚排水ポンプ	ディーゼルエンジン（水冷） ガスエンジン 3～30kW（GHP） 30kW～5000kW	保有台数 約50万台/年 大気汚染防止法 地方条例 非発、排水ポンプは排ガス規制不適用

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ①

用 途	対象エンジン	考えられるCNシナリオ	備考
ハンドヘルド	ガソリンエンジン（2サイクル, 4サイクル）1～3kW	電動化 合成ガソリン（e-fuel） 合成メタノール、バイオエタノール	一回の充電で作業完了するケースや交換式電池が採用できるケースは、電動化に進む。
ノン ハンドヘルド	ガソリンエンジン（4サイクル）1～19kW ディーゼルエンジン（空冷）3～19kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 電動化 合成メタノール、バイオエタノール 水素（FC）：発電機	一回の充電で作業完了するケースや交換式電池が採用できるケースは、電動化に進む。水素インフラが整っていれば、発電機はFC化がありうる。
ノンロード①	ガソリンエンジン（4サイクル）1～19kW ディーゼルエンジン（水冷）1～19kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 合成メタノール、バイオエタノール 電動化	作業時間が短く、充電設備への移動やバッテリー交換が容易なものは電動化率は高くなる。季節性や無電化地域で使用されるものは内燃機関が有望。
ノンロード②	ガソリンエンジン ガスエンジン（LPG）19kW～130kW ディーゼルエンジン(水冷) 19～900kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 水素・アンモニア（エンジン） 電動化：一部有線式含む（鉱山用建設機械など）	充電設備への移動やバッテリー交換が容易なものは電動化は可能。無電化地域で使用されるものは内燃機関が有望。水素利用は、電気以上に補給の難易度が高い。
定置式	ディーゼルエンジン(水冷) ガスエンジン(NG,LPG) 3～30kW（GHP） 30kW～5000kW	合成液体ガス燃料（e-fuel） 水素（燃料電池）、バイオガス、アンモニア・水素エンジン	稼働時間やイニシャルコスト、信頼性（燃料貯蔵を含む）で将来的にも内燃機関駆動が有力。常用においては、水素パイプラインができるなら、FCも可能性はある。

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ①

カテゴリー	用途	考えられるCNシナリオ									
		電動化		新燃料		代替燃料					
		バッテリー	FC	水素エンジン	アモニアエンジン	e-メタノール合成ガス	e-ガソリン	e-ディーゼル	バイオエタノール	バイオガス	バイオディーゼル
ハンドヘルド	コシューマ向	○	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	業務用	○ ~△	×	×	×	△	○	×	△	×	×
ハン ハンド ヘルド	コシューマ向	○	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	業務用	○ ~△	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	発電機	○	○ ~△	△	×	△	○	○	△	×	○
ハン ロード ①	田植機 除雪機 ティラー等	○	×	×	×	△	○	○	△	△	○

○:有力 △:可能 ×:困難

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ②

カテゴリー	用途	考えられるCNシナリオ									
		電動化		新燃料		代替燃料					
		バッテリー	FC	水素エンジン	アンモニアエンジン	e-メタノール合成ガス	e-ガソリン	e-ディーゼル	バイオエタノール	バイオガス	バイオディーゼル
オンロード②	農業機械	△	×	×	×	△	△	○	△	△	○
	建設機械(小型)	○	△	△	×	△	△	○	△	△	○
	建設機械(中大型)	○有線式含	○ ~△	○ ~△	×	△	×	○	△	△	○
	マテハン(フォークリフト等)	○	△	×~△	×	△	△	○	△	△	○
	可搬発電機	×	×~ △	×~△	×	○~△	○~△	○	○~△	△	○
定置用	GHP	×	×	△	×	○:ガス	×	×	×	○	×
	常用	×	○	○ ~△	△	○:ガス	×	△	×	○	△
	非常用	△	×	×	×	×	×	○	×	×	○

- ▶ 令和4年度シナリオとして、令和3年度版をベースに情報のアップデートを実施した。主に供給が期待されるエネルギーに的を絞った。
- ▶ 陸用内燃機関の用途から考えると、よりエネルギー密度が高く、保管しやすい燃料や既にインフラが整備されているものが好ましく、e-fuelやバイオ燃料への期待が高い。
- ▶ 令和4年度には、e-fuel実用化に向けた研究開発・プロジェクトが始まり、今後の進捗に期待したい。ただし、最終の燃料価格が水素やCN-CO₂の価格に大きく左右される点が課題である。
- ▶ CN燃料に関して、供給や運搬に燃料を消費しては意味がないことから、よりローカルで完結したモデルが重要である。これは、電気・熱のマイクログリッド化と同様である。
- ▶ 今後も関連情報を収集し、シナリオのブラッシュアップを図っていく。





カーボンニュートラル シナリオ

令和4年3月15日

(一社)日本陸用内燃機関協会

1, カーボンニュートラル(CN)宣言とグリーン成長戦略

2, 陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ

- 様々なCNシナリオ
- e-fuelの課題
- バッテリー化の現状と課題
- 燃料電池
- 水素エンジン、アンモニアエンジン、バイオ燃料など

3, 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- 陸用内燃機関の分類
- 各カテゴリーのCNシナリオ

1, カーボンニュートラル(CN)宣言とグリーン成長戦略

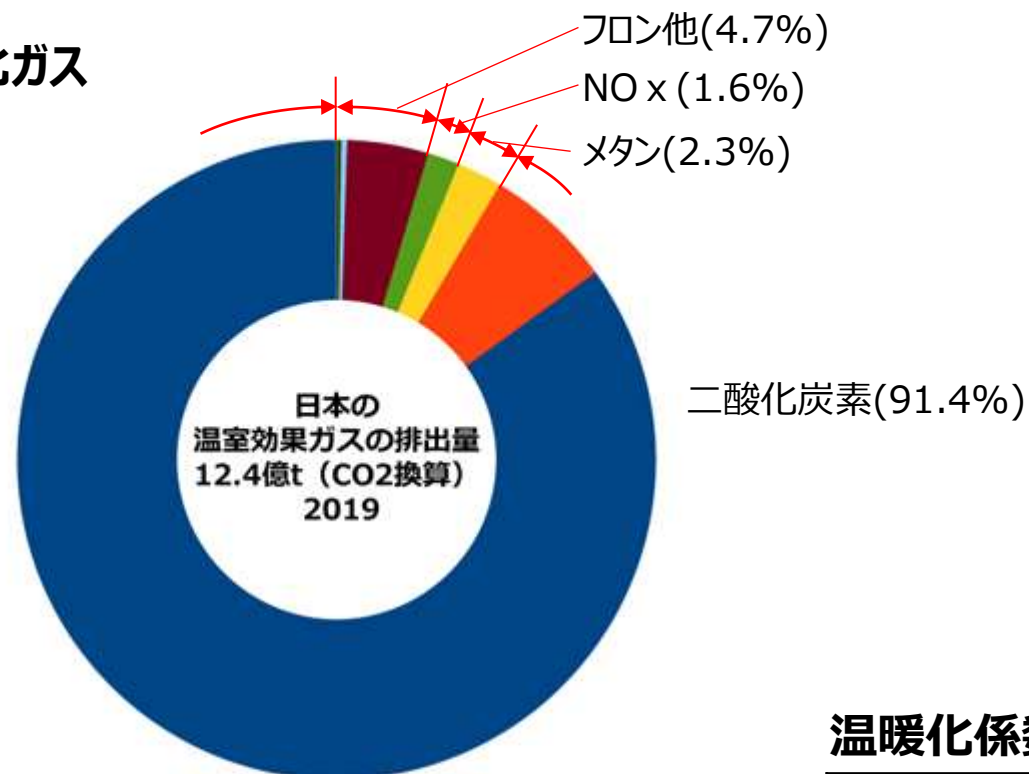
2, 陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ

- 様々なCNシナリオ
- e-fuelの課題
- バッテリー化の現状と課題
- 燃料電池
- 水素エンジン、アンモニアエンジン、バイオ燃料など

3, 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- 陸用内燃機関の分類
- 各カテゴリーのCNシナリオ

温暖化ガス



各物質の温室効果をCO2に換算したときの割合

■ CO2エネルギー起源	84.9%	CO2 91.4%
■ CO2非エネルギー起源	6.5%	
■ メタン (CH4)	2.3%	
■ 一酸化二窒素 (N2O)	1.6%	
■ ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)	4.1%	
■ パーフルオロカーボン類 (PFCs)	0.3%	
■ 六フッ化硫黄 (SF6)	0.2%	
■ 三フッ化窒素 (NF3)	0.02%	

温暖化係数

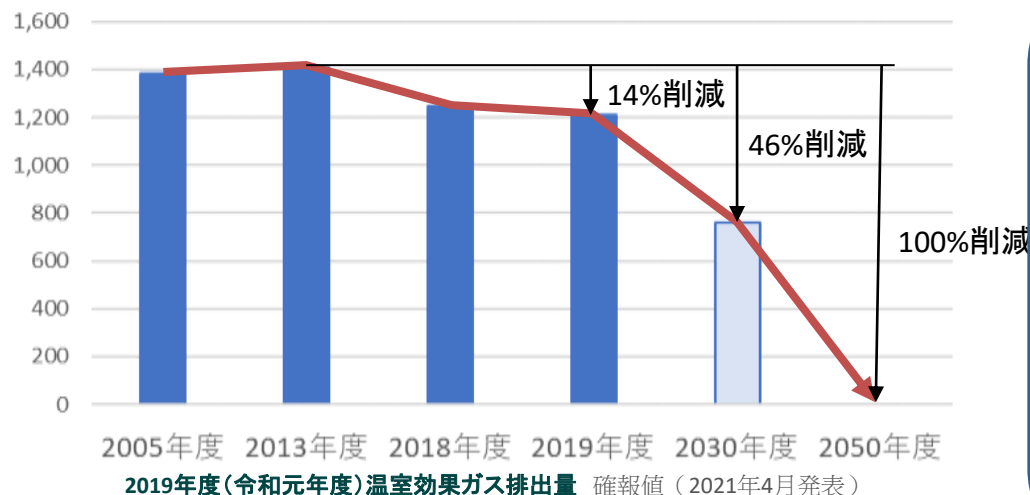
種類	温暖化係数
二酸化炭素	1
メタン	25
NOx (一酸化二窒素)	298
フロン	1000~10000

菅 前内閣総理大臣による、2020年10月26日の所信表明演説／

および2021年4月22日の中間目標の表明

「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします。」「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46パーセント削減することを目指します。さらに、50パーセントの高みに向けて、挑戦を続けてまいります。」

温暖化ガス削減目標



46%減の根拠

https://news.tv-asahi.co.jp/news_economy/articles/000215415.html

$(2030-2013) / (2050-2013) = 0.459$
つまり、2013年から直線的に2050年ゼロに向かったら、2030年は46%減でないといけないという数字。2019年で、2%遅れている。2013年基準なので、原発の再稼働でしばらくは対応できる。

日本政府のグリーン成長戦略①

● 電力部門の脱炭素化は大前提。

→ 現在の技術水準を前提とすれば、全ての電力需要を100%単一種類の電源で賄うことは一般的に困難。

→ あらゆる選択肢を追求。

再エネ ……最大限導入。コスト低減、地域と共生可能な適地の確保、蓄電池活用。

→ 洋上風力・太陽光・蓄電池・地熱産業を成長分野に。

水素発電 …… 選択肢として最大限追求。供給量・需要量の拡大、インフラ整備、コスト低減。

→ 水素産業・燃料アンモニア産業を創出。

火力+CO₂回収 …… 選択肢として最大限追求。技術確立、適地開発、コスト低減。

→ 火力は必要最小限、使わざるを得ない（特にアジア）。

→ カーボンリサイクル産業の創出。

原子力 …… 安全性向上、再稼働、次世代炉。

→ 可能な限り依存度を低減しつつ、安全最優先での再稼働。

→ 安全性等に優れた炉の追求。

【CO₂の部門別排出割合】



日本政府のグリーン成長戦略②

- 電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）は、「電化」が中心。熱需要には、「水素化」、「CO₂回収」で対応。

→ 電力需要は増加 → 省エネ関連産業を成長分野に。

産業 … 水素還元製鉄など製造プロセスの変革

運輸 … 電動化、バイオ燃料、水素燃料

業務・家庭 … 電化、水素化、蓄電池活用

→ 水素産業、自動車・蓄電池産業、運輸関連産業、住宅・建築物関連産業を成長分野に。

- 蓄電 … カーボンニュートラルは電化社会。

→ グリーン成長戦略を支えるのは、強靱なデジタルインフラ＝「車の両輪」。

→ デジタルインフラの強化 → 半導体・情報通信産業を成長分野に。

電力 … スマートグリッド（系統運用）、太陽光・風力の変動調整、インフラの保守・点検等

輸送 … 自動運行（車、ドローン、航空機、鉄道）

工場 … 製造自動化（FA、ロボット等）

業務・家庭 … スマートハウス（再エネ＋蓄電）、サービスロボット等

→ 全ての分野において、技術開発から、社会実装 + 量産投資によるコスト低減へ。

→ この戦略により、2050年に約290兆円、約1,800万人の経済効果・雇用効果が見込まれる。

CO₂排出削減技術と課題(1/2)

		脱炭素技術	克服すべき主な課題 ※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
電力部門	発電	再エネ	➢ 導入拡大に向け、系統制約の克服、コスト低減、周辺環境との調和が課題	
		原子力	➢ 安全最優先の再稼働、安全性等に優れた炉の追求、継続した信頼回復が課題	
		火力+CCUS/ カーボンリサイクル	➢ CO ₂ 回収技術の確立、回収CO ₂ の用途拡大、CCSの適地開発、コスト低減が課題	
		水素発電	➢ 水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題	水素価格 約13円/Nm ³
		アンモニア発電	➢ アンモニア混焼率の向上、アンモニア専焼火力の技術開発が課題	
産業部門	熱・燃料	電化	➢ 産業用ヒートポンプ等電化設備のコスト低減、技術者の確保、より広い温度帯への対応が課題	
		バイオマス活用 (主に紙・板紙業)	➢ 黒液（パルプ製造工程で発生する廃液）、廃材のボイラ燃料利用の普及拡大に向け、燃料コストの低減が課題	
		水素化 (メタネーション)	➢ 水素のボイラ燃料利用、水素バーナー技術の普及拡大に向け、設備のコスト低減、技術者の確保、水素インフラの整備が課題	水素価格 約40円/Nm ³
		アンモニア化	➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
	製造プロセス (鉄鋼・セメント・ コンクリート・ 化学品)	鉄： 水素還元製鉄	➢ 水素による還元を実現するために、水素による吸熱反応の克服、安価・大量の水素供給が課題	水素価格 約8円/Nm ³
		セメント・ コンクリート： CO ₂ 吸収型 コンクリート	➢ 製造工程で生じるCO ₂ のセメント原料活用（石灰石代替）の要素技術開発が課題。 ➢ 防錆性能を持つCO ₂ 吸収型コンクリート（骨材としてCO ₂ を利用）の開発・用途拡大、スケールアップによるコスト低減。	
		化学品： 人工光合成	➢ 変換効率を高める光触媒等の研究開発、大規模化によるコスト低減が課題	

※ 主なエネルギー起源CO₂を対象に、製造業における工業プロセスのCO₂排出も対象
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のパリティ水準を算出

* 水素発電のパリティはLNG価格が10MMBtuの場合、水素還元製鉄は第11回CO₂フリー水素WGの資料より抜粋(100kW級の純水素FCで系統電力+ボイラーを置換)

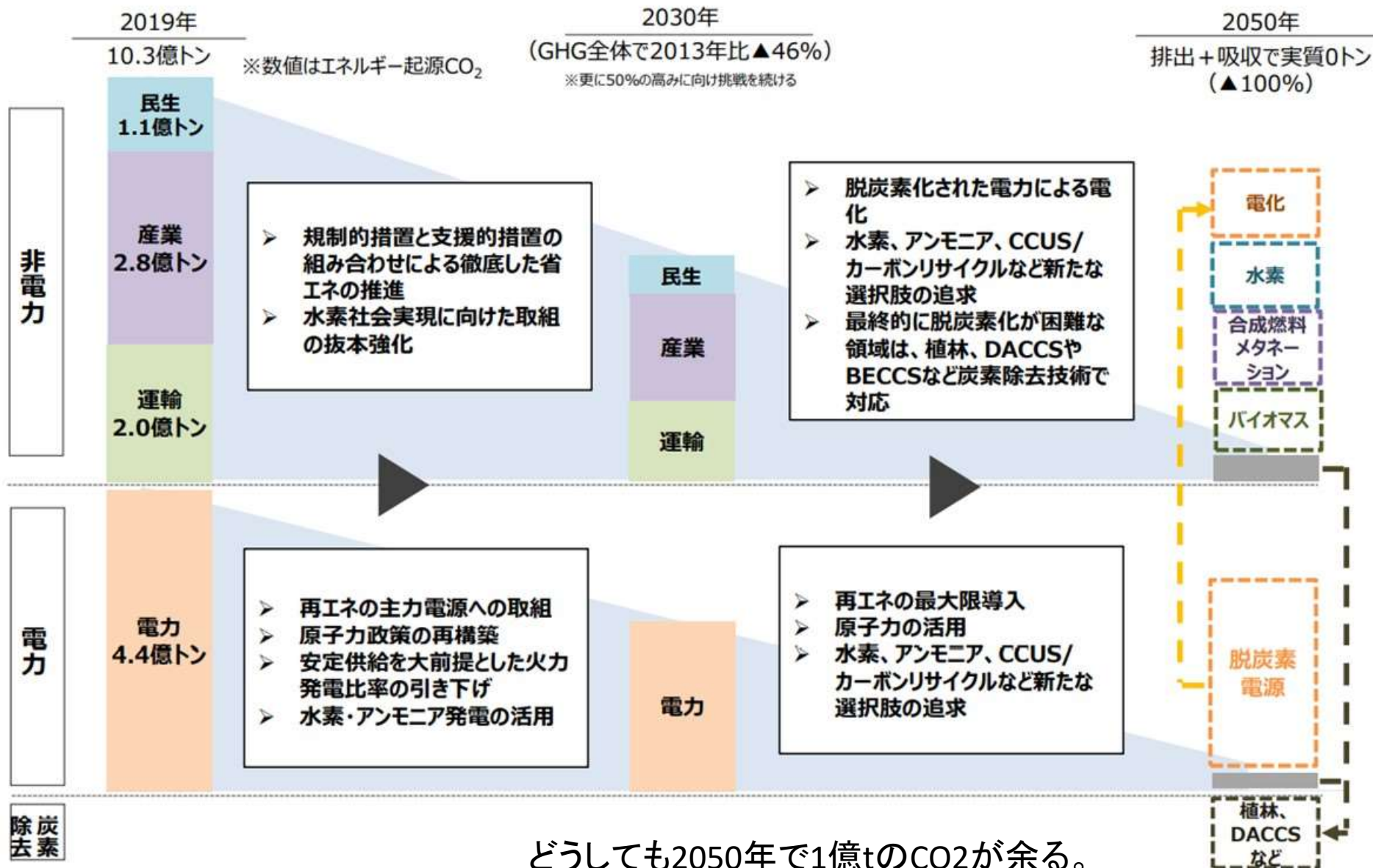
CO₂排出削減技術と課題(2/2)

		脱炭素技術	克服すべき主な課題 ※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
民生部門	熱・燃料	電化	➢ エコキュート、IHコンロやオール電化住宅、ZEH,ZEB等を更に普及させるため、設備コスト低減が課題	
		水素化	➢ 水素燃料電池の導入拡大に向けて、設備コスト低減、水素インフラの整備が課題	
		メタネーション	➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
運輸部門	燃料 (乗用車・トラック・バスなど)	EV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、充電インフラの整備、充電時間の削減、次世代蓄電池の技術確立が課題	電力価格 約10~30円/kWh
		FCV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、水素インフラの整備が課題	水素価格 約90円/Nm3
	燃料 (船・航空機・鉄道)	合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題	
		バイオジェット燃料/ 合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題	
		水素化	➢ 燃料電池船、燃料電池電車の製造技術の確立、インフラ整備が課題	
		燃料アンモニア	➢ 燃料アンモニア船の製造技術の確立	
炭素除去	DACCS、BECCS、植林		➢ DACCS : エネルギー消費量、コスト低減が課題 ➢ BECCS : バイオマスの量的制約の克服が課題 ※CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題	

*DACCS : Direct Air Carbon Capture and Storage、BECCS : Bio-energy with Carbon Capture and Storage

**ガソリン自動車との比較。ガソリン価格が142.8円/Lの時を想定（詳細は第11回CO₂フリー水素WGの資料を参照）

日本政府のグリーン成長戦略③



どうしても2050年で1億tのCO₂が余る。
欧州は、削減50%・回収50%で考えている

日本政府のグリーン成長戦略④

⑤自動車・蓄電池産業の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ：

1. 開発フェーズ

2. 実証フェーズ

3. 導入拡大・コスト低減フェーズ

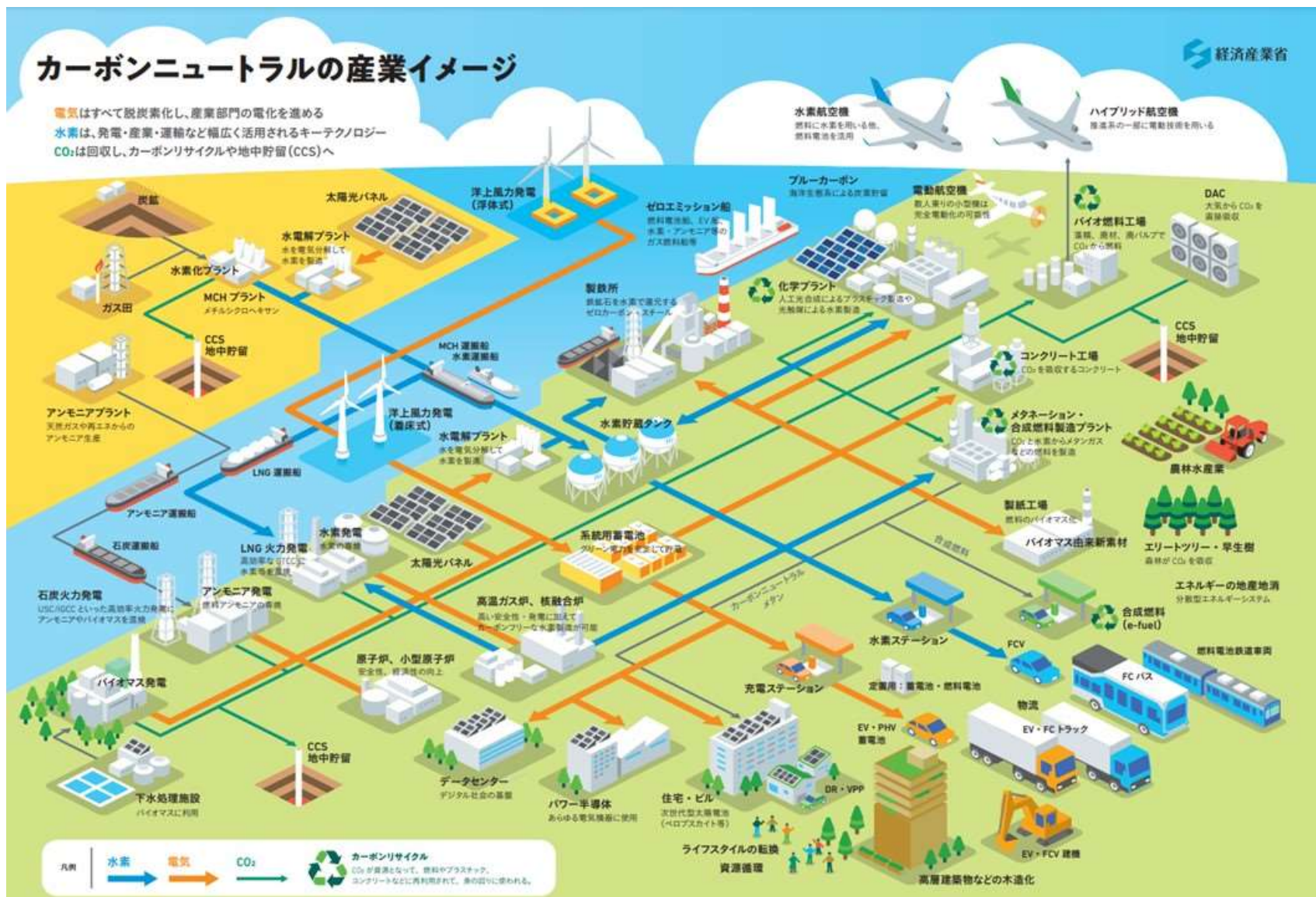
4. 自立商用フェーズ

●具体化すべき政策手法：①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



50

カーボンニュートラルのイメージ



Source: 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

1, カーボンニュートラル(CN)宣言とグリーン成長戦略

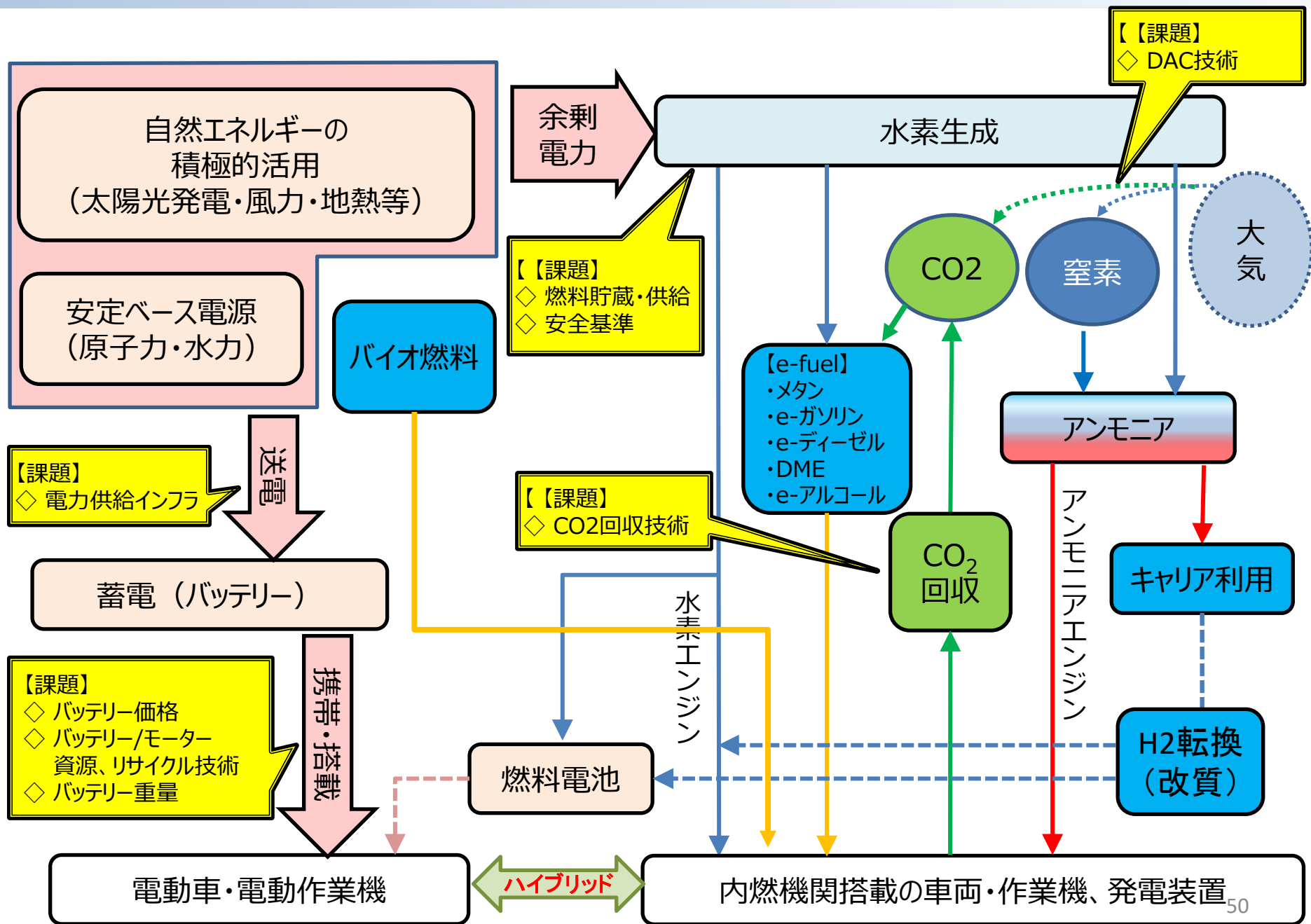
2, 陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ

- 様々なCNシナリオ
- e-fuelの課題
- バッテリー化の現状と課題
- 燃料電池の現状と課題
- 水素エンジン、アンモニアエンジン、バイオ燃料など

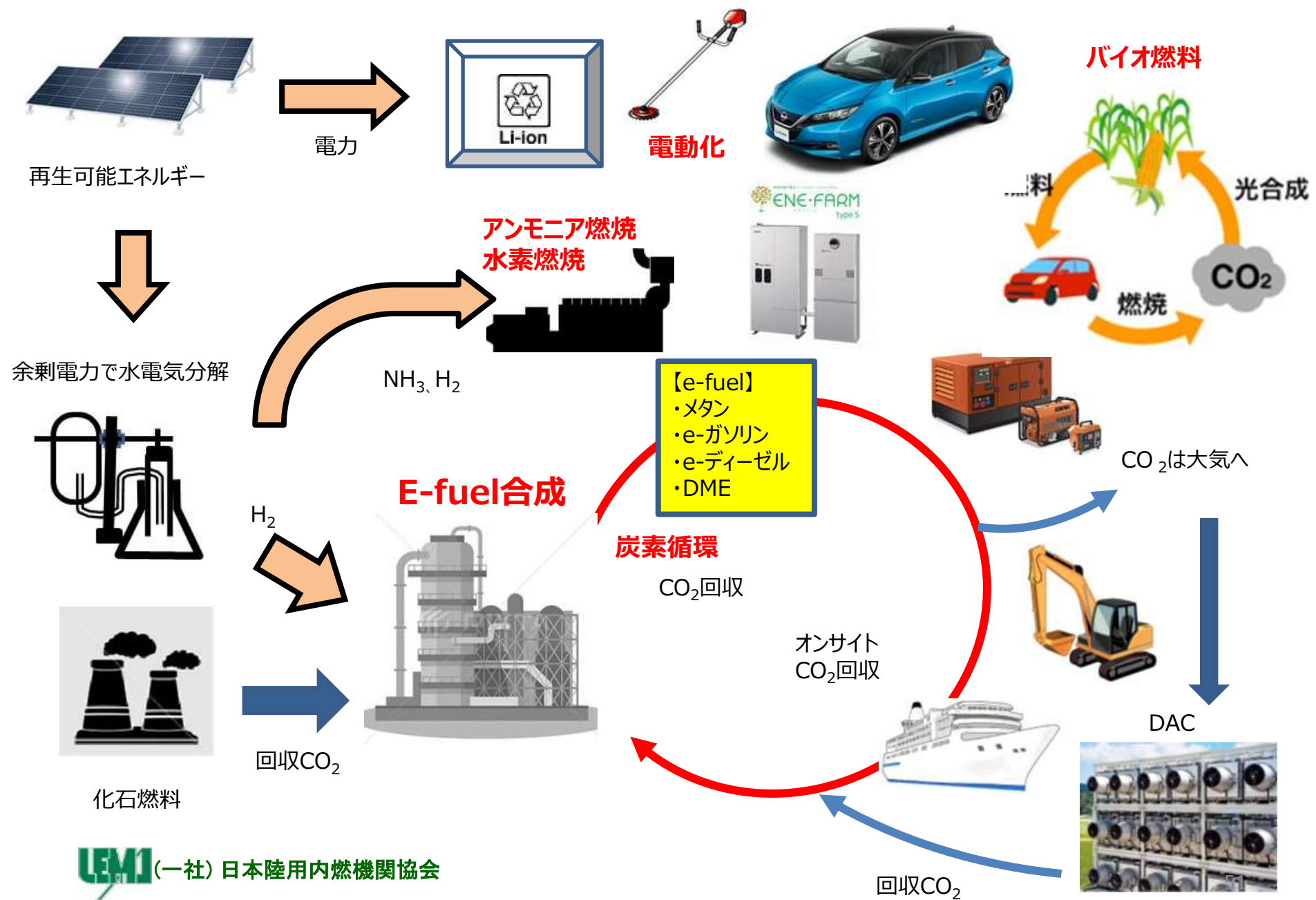
3, 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

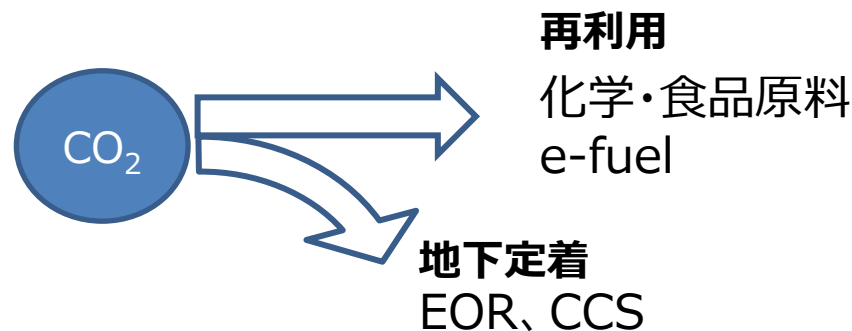
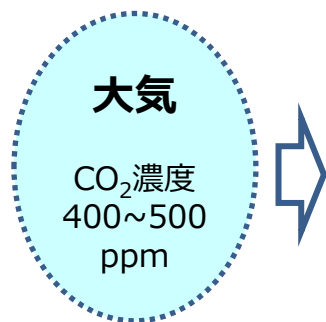
- 陸用内燃機関の分類
- 各カテゴリーのCNシナリオ

様々なCNシナリオ



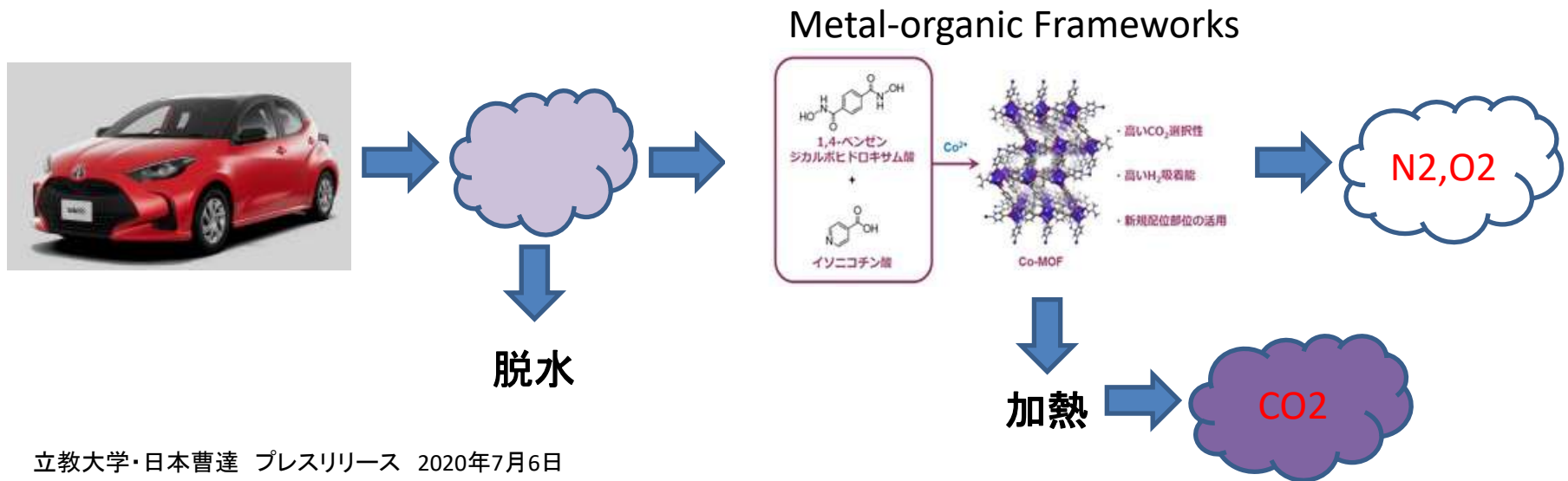
真のCNを目指すには





回収・分離技術	事業者	投入エネルギー	コスト
物理吸収・吸着法 水酸化カリウム等の強塩基水溶液で吸着分離	Carbon Engineering（カナダ） 商業化済み	-	\$232/tCO ₂
化学吸収・吸着法 アミン系個体吸収剤による吸着分離	Climeworks（スイス） 大学ベンチャー企業、商業化済み	熱：6.5～9.0GJ/tCO ₂ 電力：350～450kWh/tCO ₂	\$600/tCO ₂
化学吸収・吸着法 アミン系個体吸収剤による吸着分離	Global Thermostat（アメリカ） 回収したCO ₂ を飲料用に利用	熱：4.4GJ/tCO ₂ 電力：160kWh/tCO ₂	-
物理吸着 活性炭やゼオライト等の吸着剤に吸着させ、圧力差や温度差で脱着			
膜分離法 イオン交換樹脂を使ってCO ₂ を分離	Center for Negative Emissions（アメリカ）	熱：1.1GJ/tCO ₂ 必要な水量：5～15t/tCO ₂	\$200/tCO ₂
深冷法 空気を-79℃以下まで冷却しCO ₂ を凍結させて分離・回収	-	-	-

排出ガスからの二酸化炭素回収



立教大学・日本曹達 プレスリリース 2020年7月6日

https://kyodonewsprwire.jp/prwfile/release/M101670/202007061680/_prw_PR1fl_4g3L9lkc.pdf

- ・ トヨタ・ヤリスのハイブリッドカーであればWLTCモードのCO₂排出量は64g/km。満タンで800km走れば、50kgのCO₂が貯まる。
- ・ MOFは水（水蒸気）を嫌うので、排出ガスの脱水が必要。
- ・ 満タンごとに、ガソリンスタンドで50kgのCO₂を排出するのか？
- ・ トラックの様に、スペースがあれば可能か？
- ・ 遊離したCO₂は圧縮して液化する必要がある（容積的に）

バッテリー化の現状と課題

車種	タンク内燃料 重量 (kg)	搭載エネルギー 容量(kWh)	換算バッテリー 容積-重量	現行車重 (kg)
テスラ3	—	100	166L-500kg	1801
トヨタ/ヤリス	ガソリン 31	366	183L-549kg	990
日野プロフィア 15tトラック	軽油 258	2986	1493L-4479kg	9300
1 8馬力 トラクター	軽油 13	150	75L-225kg	575

LiB容量：200Wh/kg, 0.6kW/Lとして計算, ガソリン軽油は効率30%で利用と仮定

2030年のLiB容量開発目標の1.8MJ/kgで考えても、ガソリン・軽油と比べて15-20倍の重量のバッテリーが必要。タンク容積に比べ5倍程度のバッテリー容積となり、車重は1.5倍になる。バッテリーコストは、2030年に\$60/kWhまで下がると予測されており、その場合、上記のトラクタで27万円程度となり、コスト的には可能。**最大の課題は容積と重量。**

(燃料電池車トヨタ「ミライ」の例)

車重: 1850kg EVであるテスラ3とほぼ同等

満タンでの航続距離: 概ね600-800km程度走れる(満タン5kg)

水素1kgの価格: イワタニの水素ステーションで1100円

(11.12Nm³/kgなので、Nm³=100円程度)

燃費: ガソリン140円として価格換算すると16km/L

(燃料電池の課題)

- ① 水素の供給
- ② 丈夫なタンク+重いスタック+モーターで重量がEV並み
- ③ 起動時も含め、小さなバッテリーが必要
- ④ 耐久性・リサイクル性

(水素エンジンの課題) : 燃料電池に比べて製造コストは安価

- ① FC同様に水素の供給と価格(特に運搬・保管)
- ② 軽量だが、熱効率はFCに劣る。
- ③ 排出ガス規制対応で後処理装置が必要。
- ④ ノッキング、バックファイアへの対応

(アンモニアエンジンの課題)

- ① アンモニアの供給
- ② 毒性があるため、安全性に課題
- ③ 着火促進および燃焼速度向上が必要
- ④ NO_x後処理とアンモニアスリップの防止

(バイオガス)

- ① ガス発生装置のコスト(脱硫など前処理も含め)
- ② 原料の偏在(下水処理場や畜産・食品工場に限られる)

(バイオディーゼル)

- ① 食品と競合する(廃食油は、量的に不十分)
- ② 通常の後処理装置は必要
- ③ 製造段階でのCO₂発生を考慮すると削減効果が下がる

(バイオエタノール)

- ① 食品との競合
- ② 通常の後処理装置に加え、アルデヒド対策が必要
- ③ 燃料の劣化と含水性

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオとその課題

CNシナリオ	課題
バッテリー化	バッテリーのエネルギー密度向上（ガソリン:13300 kJ/kgに対し720 kJ/kg）。バッテリー原料（LiやNi、Co）の確保とリサイクル技術の確立、コストなども課題。
燃料電池	システムの重量が重い（燃料タンク+FCスタック+補助バッテリー+モーター） 急速起動困難（暖気中はバッテリーで駆動）。 水素燃料価格と安全性（タンク圧力70MPa）
CF水素原料燃料 水素 アンモニア	① 水素のコスト：伊ワタニの水素ステーションで1100円/kg程度（グレー水素） 政府目標：30円/Nm ³ (2030)→20円/Nm ³ (2050) 供給（CN余剰電力で電気分解。生産量の確保）と運搬・保管 ② アンモニアには毒性がある。安全基準及びアンモニアスリップの防止 燃えにくいいため、着火促進および燃焼速度向上が必要
e-fuel	e-fuel製造における、CNカーボンの確保。火力発電などの化石燃料起源の回収CO ₂ であれば、カーボンニュートラルにはならない（50%減）。DACのように大気からCO ₂ 回収するか、バイオ起源のCO ₂ を回収して使えば、カーボンニュートラルになる。小形で効率的なCCSの技術開発が必要。
バイオ燃料	植物由来のCN炭化水素を原料とする燃料。食品との競合するため、大量生産が困難で、絶対量が不足。

1, カーボンニュートラル(CN)宣言とグリーン成長戦略

2, 陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ

- 様々なCNシナリオ
- e-fuelの課題
- バッテリー化の現状と課題
- 燃料電池
- 水素エンジン、アンモニアエンジン、バイオ燃料など

3, 陸用内燃機関の分類と適用可能なCNシナリオ

- 陸用内燃機関の分類
- 各カテゴリーのCNシナリオ

陸用内燃機関の分類

ハンドヘルド



ノンハンドヘルド



ノンロード(1) 19kW未満



ノンロード(2) 19kW以上



定置式



陸用内燃機関の分類

用 途		対象エンジン	備考
ハンドヘルド	チェーンソー、トリマー、刈払い機、ブロー、噴霧器、ランナー	ガソリンエンジン（2サイクル、4サイクル） 1～3kW	保有台数 ****台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
ハンドヘルド	ポンプ、高圧洗浄機、発電機、管理機、溶接機、投光機、ウィンチ	ガソリンエンジン（4サイクル） ディーゼルエンジン（空冷） 19kW未満	保有台数 ****台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
ノンロード	耕運機、田植え機、除雪機、ローンモア、乗用草刈り機、農業用機械、ゴルフカート	ガソリンエンジン（4サイクル） ディーゼルエンジン（水冷） 19kW未満	保有台数 250万台/年 陸内協自主規制（19kW未満）
	トラクター、コンバイン、フォークリフト、建設機械	ガソリンエンジン（4サイクル） ガスエンジン（LPG） ディーゼルエンジン（水冷） 19kW以上	保有台数 350万台/年 国内排気ガス規制(19-560kW)
定置式	GHP、常用発電装置、コージェネレーションシステム、非常用発電装置、揚排水ポンプ	ディーゼルエンジン（水冷） ガスエンジン 3～30kW（GHP） 30kW～5000kW	保有台数 約50万台/年 大気汚染防止法 地方条例 非発、排水ポンプは排ガス規制不適用

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ①

用 途	対象エンジン	考えられるCNシナリオ	備考
ハンドヘルド	ガソリンエンジン（2サイクル, 4サイクル）1～3kW	電動化 合成ガソリン（e-fuel） 合成メタノール、バイオエタノール	一回の充電で作業完了するケースや交換式電池が採用できるケースは、電動化に進む。
ノン ハンドヘルド	ガソリンエンジン（4サイクル）1～19kW ディーゼルエンジン（空冷）3～19kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 電動化 合成メタノール、バイオエタノール 水素（FC）：発電機	一回の充電で作業完了するケースや交換式電池が採用できるケースは、電動化に進む。水素インフラが整っていれば、発電機はFC化がありうる。
ノンロード	ガソリンエンジン（4サイクル）1～19kW ディーゼルエンジン（水冷）1～19kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 合成メタノール、バイオエタノール 電動化	作業時間が短く、充電設備への移動やバッテリー交換が容易なものは電動化率は高くなる。季節性や無電化地域で使用されるものは内燃機関が有望。
	ガソリンエンジン ガスエンジン（LPG）19kW～130kW ディーゼルエンジン(水冷) 19～900kW	合成液体・ガス燃料(e-fuel) 水素・アンモニア（エンジン） 電動化：一部有線式含む（鉱山用建設機械など）	充電設備への移動やバッテリー交換が容易なものは電動化は可能。無電化地域で使用されるものは内燃機関が有望。水素利用は、電気以上に補給の難易度が高い。
定置式	ディーゼルエンジン(水冷) ガスエンジン(NG,LPG) 3～30kW（GHP） 30kW～5000kW	合成液体ガス燃料（e-fuel） 水素（燃料電池）、バイオガス、 アンモニア・水素エンジン	稼働時間やイニシャルコスト、信頼性（燃料貯蔵を含む）で将来的にも内燃機関駆動が有力。常用においては、水素パイプラインができるなら、FCも可能性はある。

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ①

カテゴリー	用途	考えられるCNシナリオ									
		電動化		新燃料		代替燃料					
		バッテリー	FC	水素エンジン	アモニアエンジン	e-メタノール 合成ガス	e-ガソリン	e-ディーゼル	バイオエタノール	バイオガス	バイオディーゼル
ハンドヘルド	コシューマ向	○	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	業務用	○ ~△	×	×	×	△	○	×	△	×	×
ハン ハンド ヘルド	コシューマ向	○	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	業務用	○ ~△	×	×	×	△	○	×	△	×	×
	発電機	○	○ ~△	△	×	△	○	○	△	×	○
ハン ロード ①	田植機 除雪機 ティラー等	○	×	×	×	△	○	○	△	△	○

○:有力 △:可能 ×:困難

陸用内燃機関の考えられるCNシナリオ②

カテゴリー	用途	考えられるCNシナリオ									
		電動化		新燃料		代替燃料					
		バッテリー	FC	水素エンジン	アンモニアエンジン	e-メタノール合成ガス	e-ガソリン	e-ディーゼル	バイオエタノール	バイオガス	バイオディーゼル
オンロード②	農業機械	△	×	×	×	△	△	○	△	△	○
	建設機械(小型)	○	△	△	×	△	△	○	△	△	○
	建設機械(中大型)	○有線式含	○ ~△	○ ~△	×	△	×	○	△	△	○
	マテハン(フォークリフト等)	○	△	×~△	×	△	△	○	△	△	○
	可搬発電機	×	×~ △	×~△	×	○~△	○~△	○	○~△	△	○
定置用	GHP	×	×	△	×	○:ガス	×	×	×	○	×
	常用	×	○	○ ~△	△	○:ガス	×	△	×	○	△
	非常用	△	×	×	×	×	×	○	×	×	○

- ▶ 陸用内燃機関は用途・ユーザーが多様で、それぞれに適したCNシナリオの設定が必要（CNを達成するシナリオが複数存在）であり、自動車用動力源の水平展開は容易ではない。特に機関へのエネルギー供給は大きな課題となる。
- ▶ 比較的寿命の長い機器が多く、社会のインフラを支える機能を有するため、これらを保持したままCN移行を果たす必要がある。
- ▶ 陸内協所掌のエンジン群の総エネルギー使用量は、相対的に少なく、自動車・船舶・航空機等のCNシナリオとの整合を視野に入れる必要がある。
- ▶ 現時点で次世代エネルギーを絞り込むことはできない。今後の技術動向やインフラ整備動向を見据えながら、最適なCNシナリオを築いていく必要がある

