

カーボンニュートラルにおける CO₂限界削減費用の決定要因分析

2023年1月26日

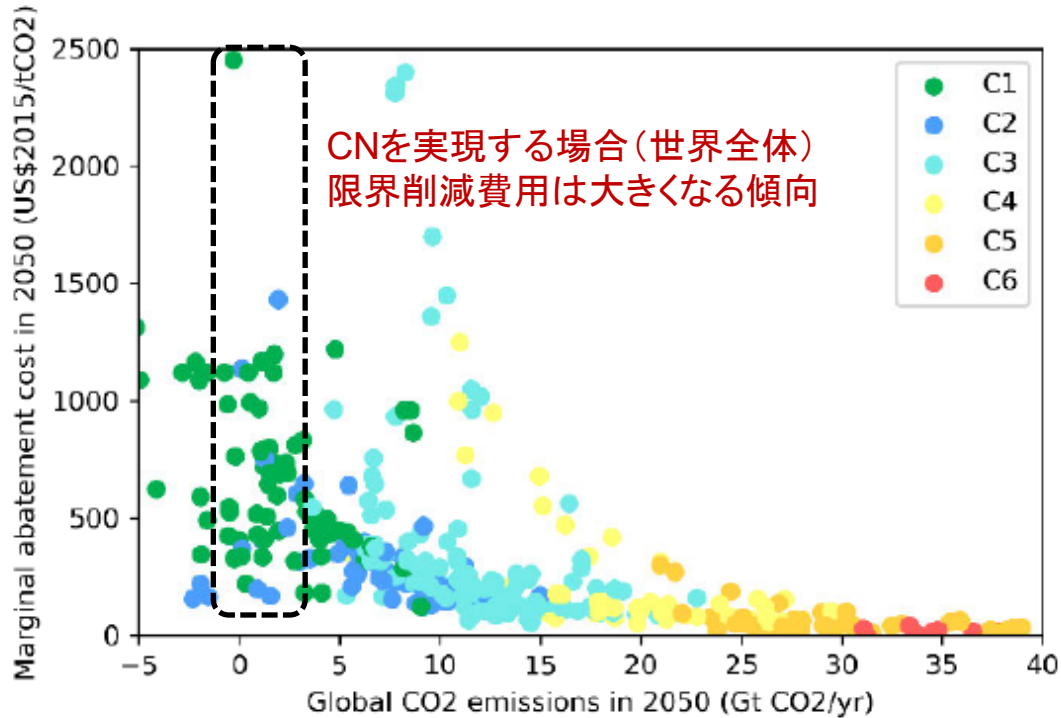
第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

尾羽 秀晃* 遠藤 聖也 森本 壮一（一般財団法人 日本エネルギー経済研究所）
大槻 貴司（横浜国立大学）
松尾 雄司（立命館アジア太平洋大学）

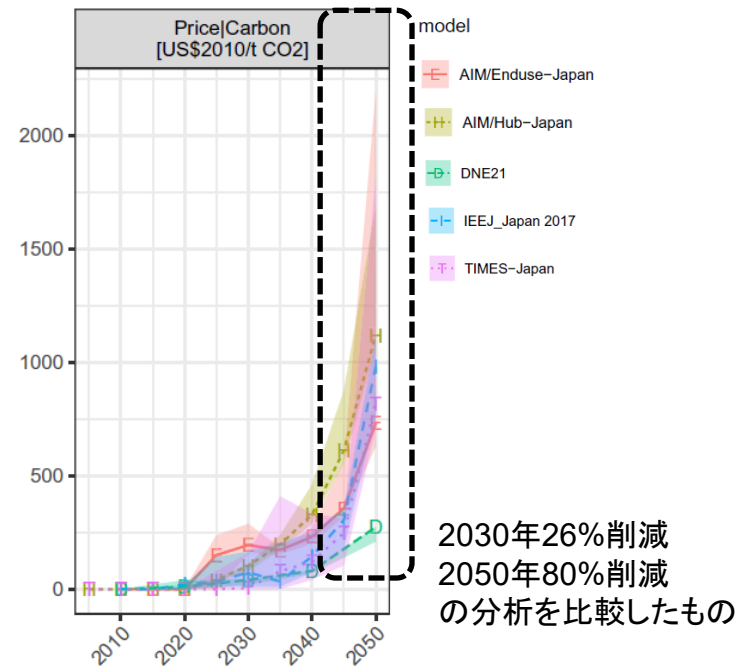
本研究の背景

CNの達成に向けて、脱炭素技術の導入が必要とされる一方で、CO₂を大規模に削減する場合には、各技術の導入に伴い**大きな追加的費用**が生じることが懸念される。

IPCC 第6次評価報告書CO₂削減限界費用(世界全体)



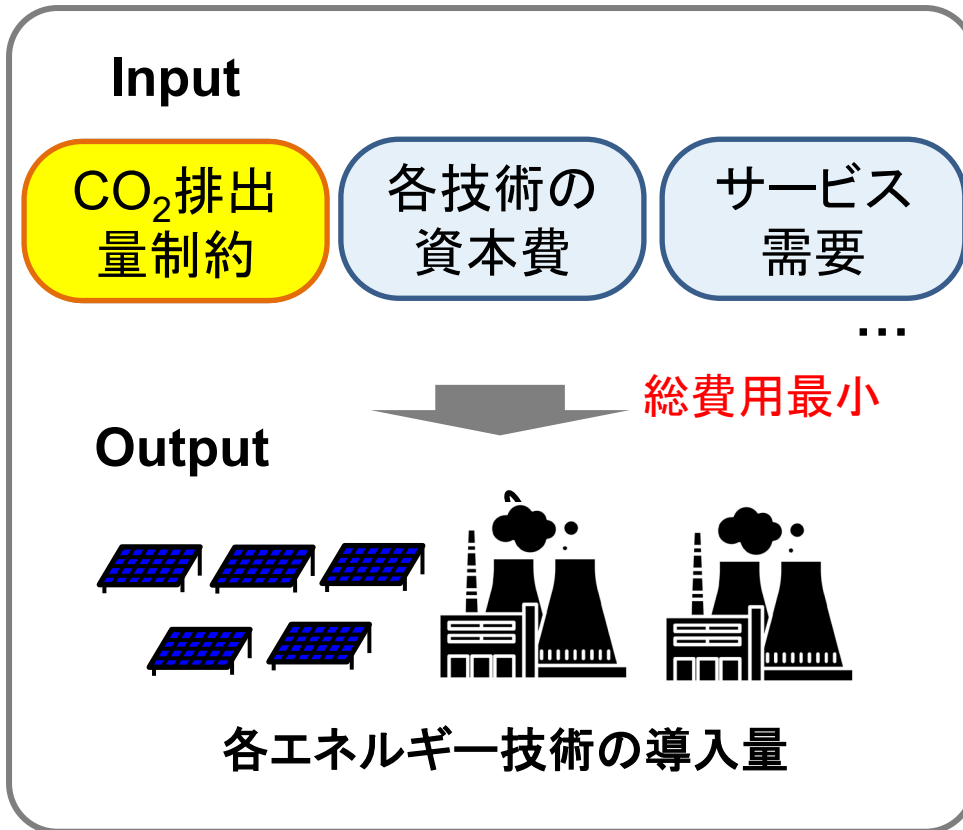
日本を対象としたモデル分析の
CO₂削減限界費用(Sugiyama et al)



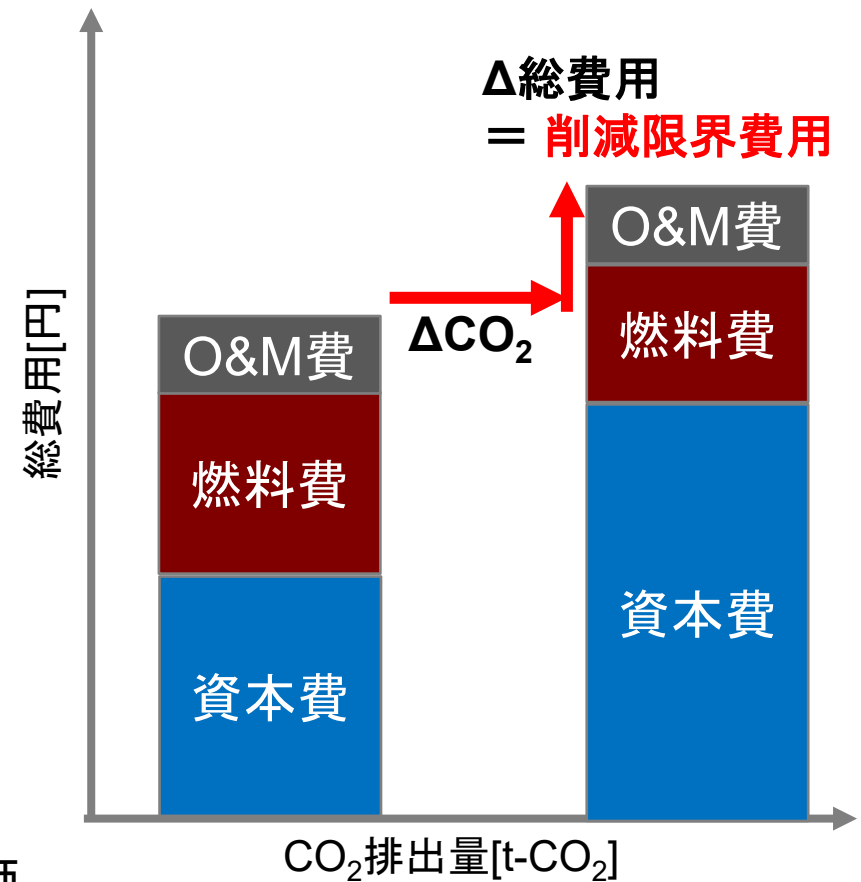
CNの達成に向けた技術導入に関わる方策の検討に向けて、**CO₂削減に伴う費用に影響する具体的要因**を明らかにすることが重要。

本研究の目的

技術選択モデル



→ CO₂排出量制約に応じた導入技術进行评估



目的: CN達成に向けたエネルギー技術の導入の在り方をより明確にするために、**技術選択モデル**を用いたCO₂削減限界費用(MAC)の決定要因の評価を行う。

本発表の流れ

本研究では、CN達成に向けたエネルギー技術の導入の在り方をより明確にするために、技術選択モデルを用いたCO₂削減限界費用(MAC)の決定要因の評価を行う。

1. 技術選択モデル・前提条件の検討

- ・ 技術選択モデルが対象とするエネルギーシステムの検討
- ・ シナリオ・前提条件の検討

CO₂排出量
制約固定



2. CN条件下における技術選択評価

- ・ ケース毎の技術の組み合わせの特徴

CO₂排出量
微小変化



3. CO₂限界削減費用の評価

- ・ システム全体における導入技術・燃料の変化
- ・ CO₂限界削減費用の決定要因

技術選択モデルにおけるエネルギーシステム

原油・LNG・一般炭
水素・アンモニアなど

輸入エネルギー

国内資源
純国産燃料

太陽光・風力
水力など

発電・メタン合成
都市ガス製造など

エネルギー転換

CO₂回収
地層貯留など

CO₂回収・貯留

電力
液化メタンなど

電力

最終消費

サービス需要

鉄鋼生産

化学製品
熱需要

普通乗用車
輸送需要

家庭用
給湯需要

…
(計37)

高炉
CCS付高炉
電炉
水素還元製鉄

燃料油タービン
LNGタービン
アンモニアタービン
水素タービン

ガソリン車
EV
燃料電池車
ハイブリッド車

ヒートポンプ
都市ガス

選択される
技術の一例

→ CO₂排出量制約によるエネルギーシステム全体の変化を評価

ケース設定 (2050年断面の想定)

本分析では、原子力の稼働状況、CCSによるCO₂貯留可能量、燃料価格に応じて、4種類のケースの想定を行った。

設定したケース

	原子力	CO ₂ 貯留可能量	燃料価格
①ベース	あり (既設・建設中の設備が60年稼働)	1.8億 t/年 (CCS長期ロードマップ検討会)	WEO 2021 SDSシナリオ準拠
②原子力撤廃	撤廃		
③低CCS	あり	0.6億 t/年 (ベースの1/3)	2030年: 2022年相当 2050年: SDSの2倍
④高燃料価格		1.8億 t/年	

前提条件(ゼロエミッション燃料 / CO₂回収貯留)

ゼロエミッション燃料価格

	2019	2030	2040	2050
水素[円/Nm ³ -H ₂]	170	53	43	32
アンモニア[円/t]	49,500	47,910	46,319	44,729
合成メタン[USD/toe]	3,148	2,250	1,786	1,321

※ エネ総工研などにおける輸送費などを参考にした想定

CO₂回収・貯留

	燃焼前回収	燃焼後回収	DAC
資本費・O&M費(年額換算) [円/(t-CO ₂ /year)]	952	781	4,109
消費電力[kWh]	355	184	1,316
運転期間[年]	40	40	40
CO ₂ 貯留(国内)[円/t-CO ₂]	4,964 (輸送300 kmを想定)		

* ・M. Fasihi et al, 秋元他、IPCCを基に推計

本発表の流れ

本研究では、CN達成に向けたエネルギー技術の導入の在り方をより明確にするために、技術選択モデルを用いたCO₂削減限界費用(MAC)の決定要因の評価を行う。

1. 技術選択モデル・前提条件の検討

- 技術選択モデルの検討
- シナリオ・前提条件の検討

単一計算



2. CN条件下における技術選択評価

- ケース毎の技術の組み合わせの特徴

CO₂排出量
微小変化

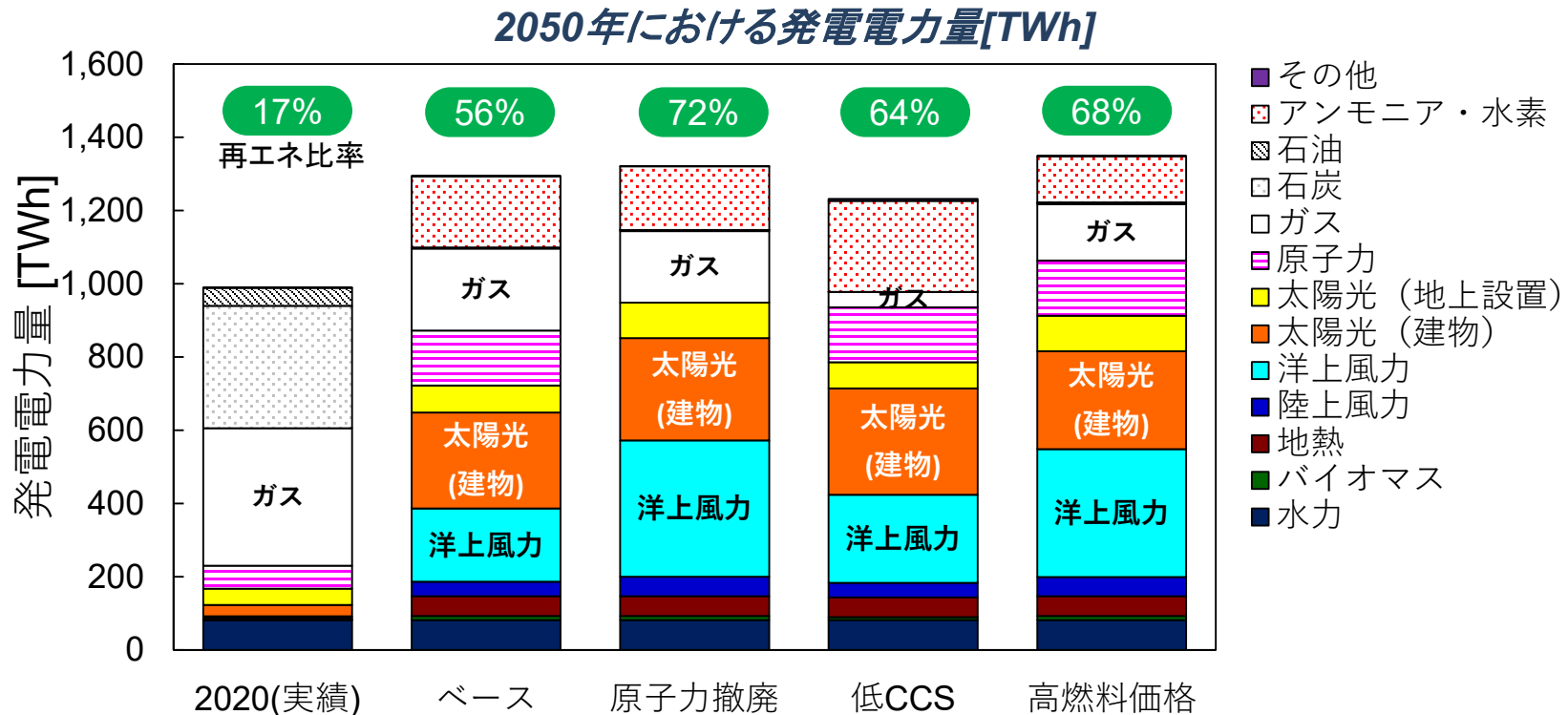


3. CO₂限界削減費用の評価

- システム全体における導入技術・燃料の変化
- CO₂限界削減費用の決定要因

2050年における電源構成

2050年における発電電力量を以下に示す。

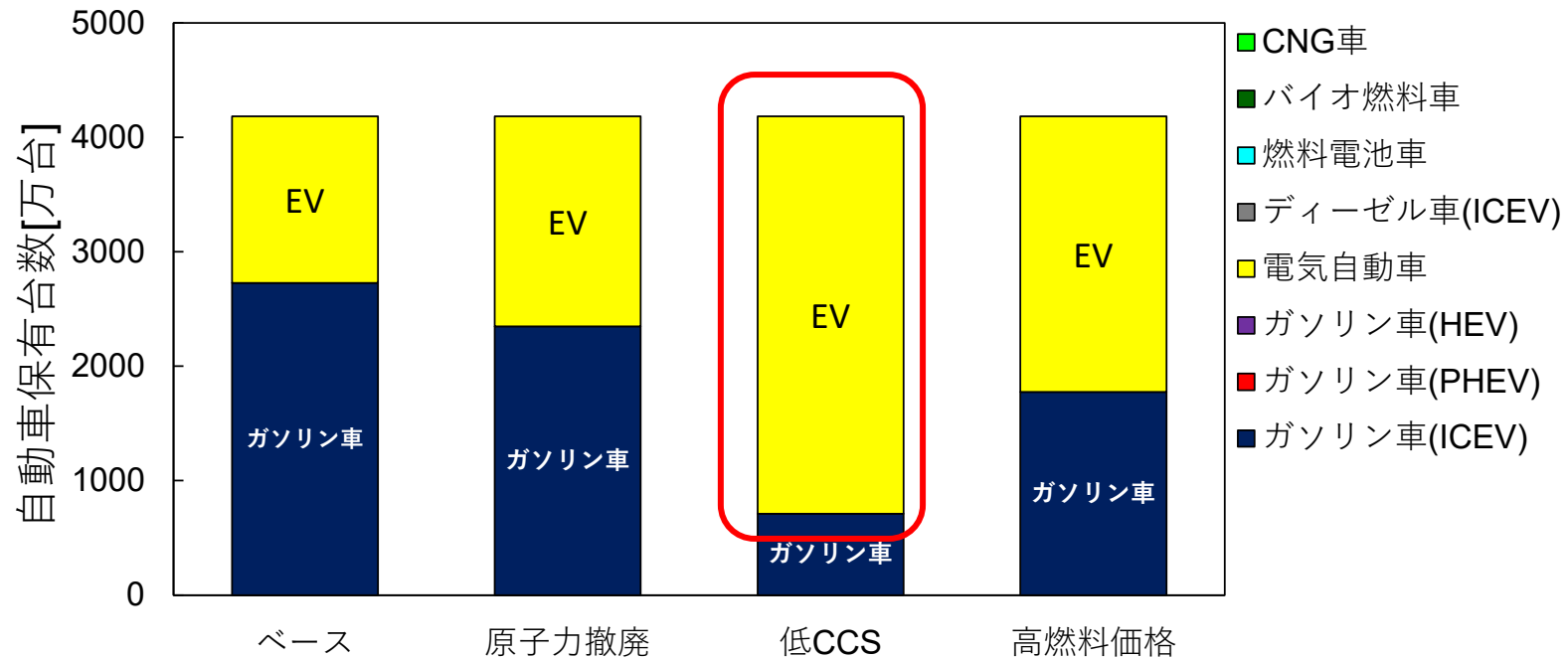


- 原子力撤廃ケースおよび火力発電の利用が抑制される高燃料価格では、ベースケースと比較して再エネの比率が増大する傾向が示された。
- また、DACの利用が抑制される低CCSケースでは、発電電力量が小さくなり、ガス火力の発電量が減少することが確認された。

2050年における乗用自動車の導入台数

サービス需要の一つである運輸(乗用自動車)に着目し、ケース毎の乗用自動車の導入台数の確認を行った。(車体価格: ガソリン車:210万円/台, 電気自動車:230万円/台)

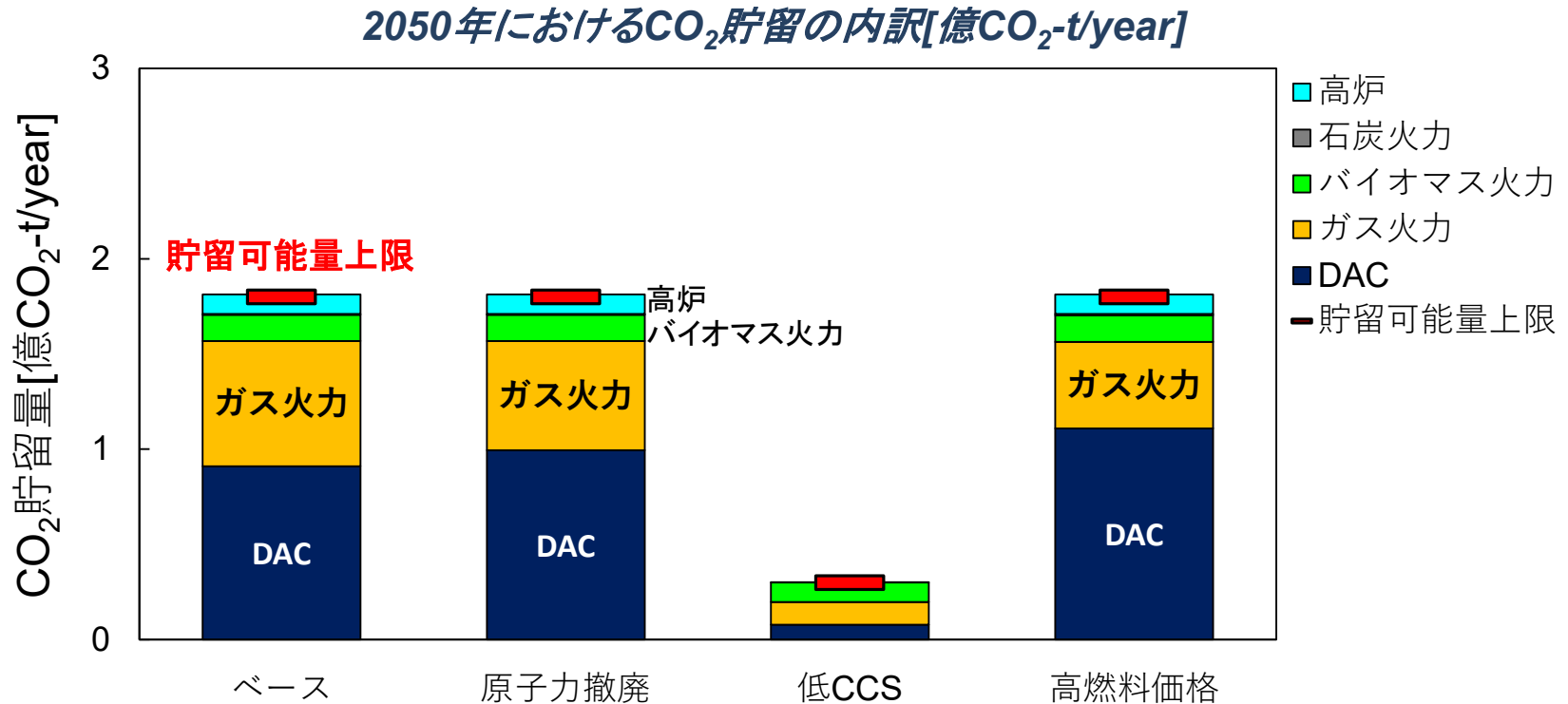
2050年における乗用自動車の導入台数[万台]



WEOベースの燃料価格、および各種文献に基づくDACのコストの条件下では、ガソリン車がコスト優位となり、DACによるCO₂貯留が行われる傾向が示された。また、CO₂貯留が制約される低CCSケースでは電化が進むことが確認された。

2050年におけるCO₂貯留量

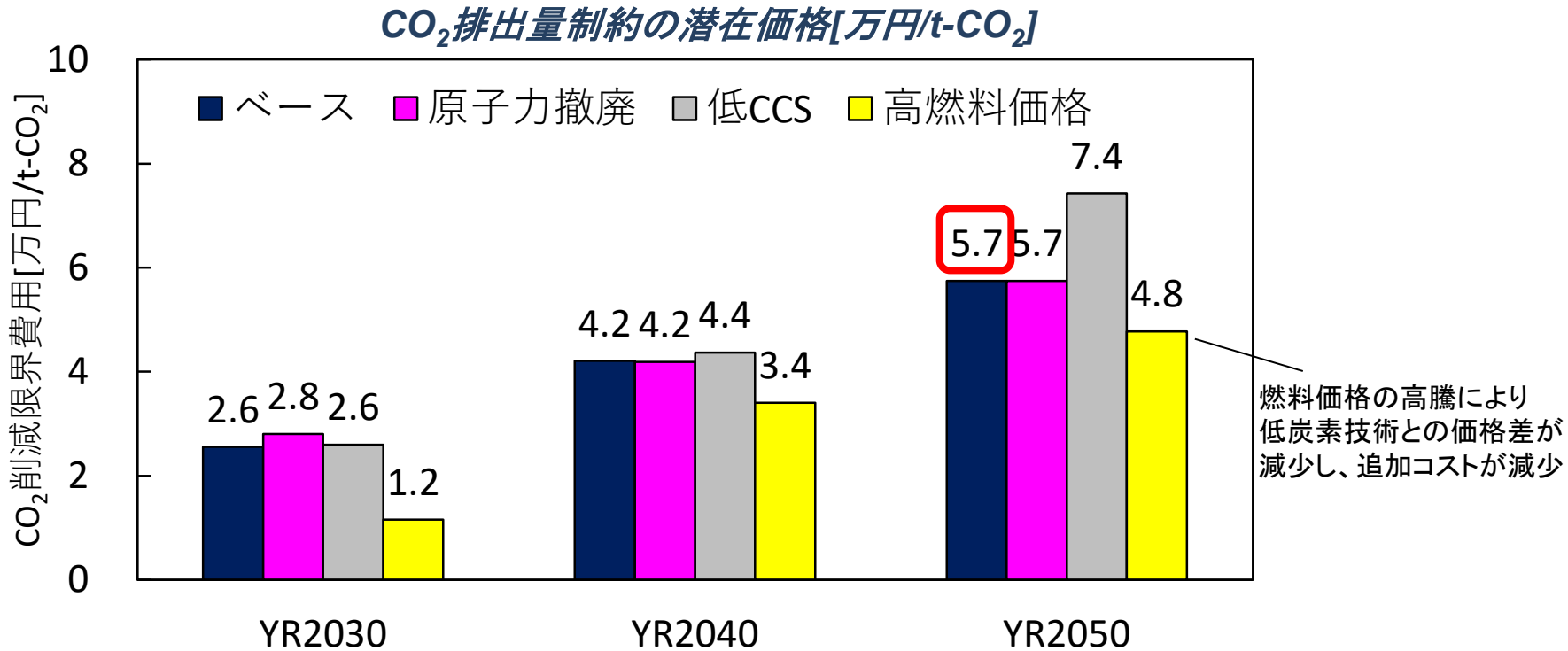
2050年におけるCO₂貯留量の内訳を以下に示す。



全てのケースにおいてCO₂貯留量は貯留可能量上限に達しており、その内訳は主にDACおよびガス火力であることが確認された。

CO₂排出量制約の潜在価格

モデルの最適解として得られるCO₂排出量制約式の潜在価格(MACに相当)を示す。



ベースケースにおいては5.7万円/t-CO₂と推計された。
また、低CCSケースにおいては各ケースの中で最も高い7.4万円/t-CO₂と推計された。

→ CO₂排出量制約を微小変化させることによりMACの決定要因を特定

本発表の流れ

本研究では、CN達成に向けたエネルギー技術の導入の在り方をより明確にするために、技術選択モデルを用いたCO₂削減限界費用(MAC)の決定要因の評価を行う。

1. 技術選択モデル・前提条件の検討

- 技術選択モデルの検討
- シナリオ・前提条件の検討

単一計算



2. CN条件下における技術選択評価

- ケース毎の技術の組み合わせの特徴

CO₂排出量
微小変化

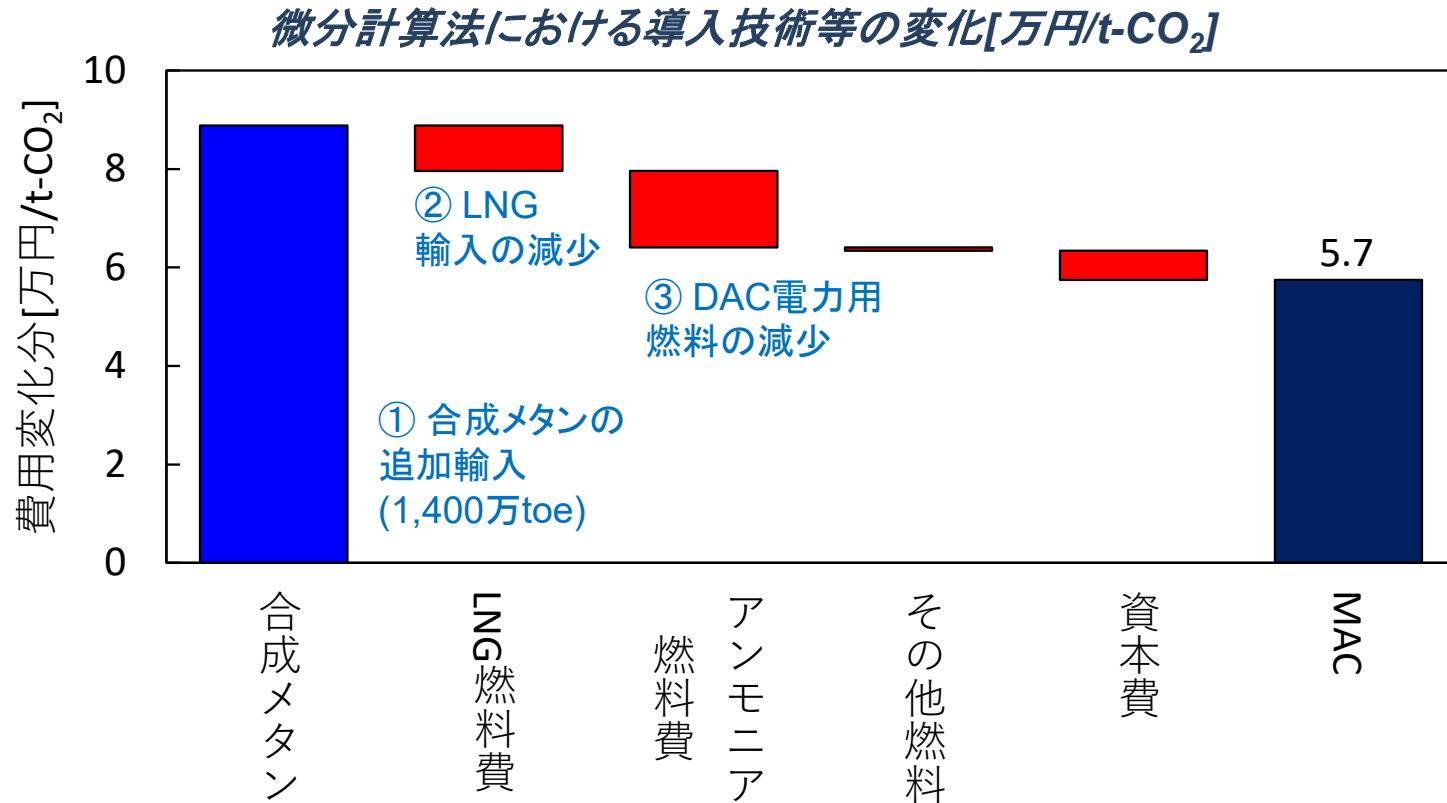


3. CO₂限界削減費用の評価

- システム全体における導入技術・燃料の変化
- CO₂限界削減費用の決定要因

微分計算法による導入技術等の変化(ベースケース)

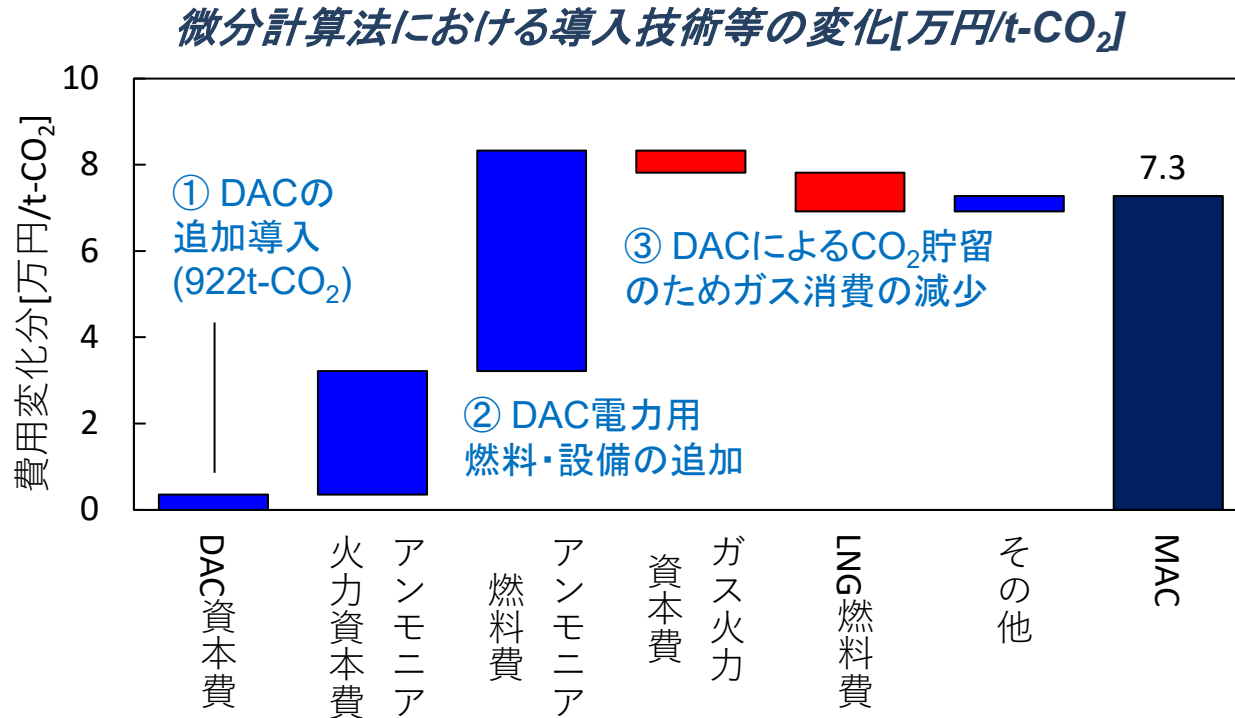
ベースケースを対象に、CO₂排出量制約を① 1,000 tとしたケース ② 0 tとしたケースの2パターンを計算し、それぞれのケースの各技術の導入量・燃料輸入量の差分を計算した。



ベースケースにおいては、最後の1,000 t-CO₂の削減に**合成メタン**の追加輸入が行われ、微分計算法によるMACは**CO₂排出量制約の潜在価格と概ね一致**することを示した。

微分計算法による導入技術等の変化(低CCSケース)

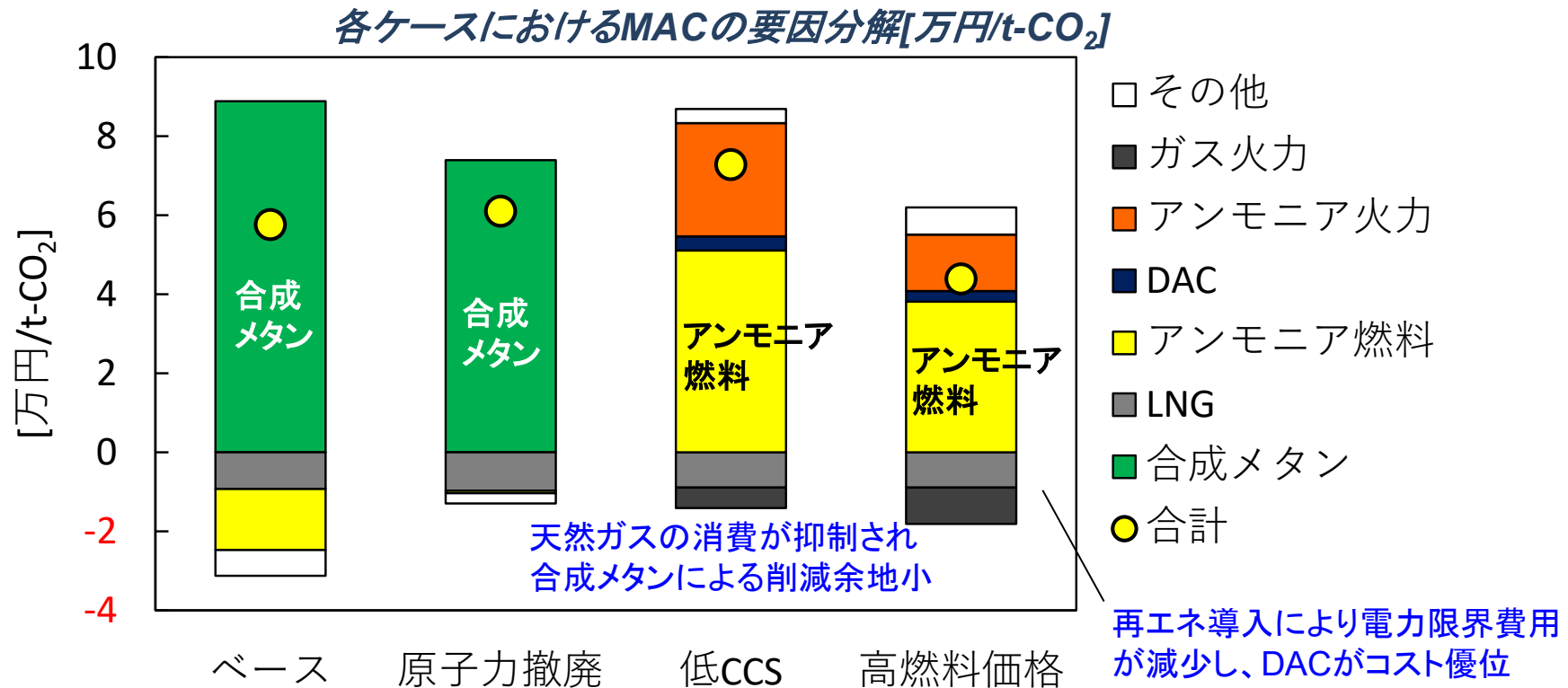
低CCSケースを対象に、CO₂排出量制約を① 1,000 tとしたケース ② 0 tとしたケースの2パターンを計算し、それぞれのケースの各技術の導入量・燃料輸入量の差分を計算した。



低CCSケースでは、1,000 t-CO₂を削減に主にDACの追加導入が行われ、MACはDACに供給する電力に関連するアンモニア燃料の追加輸入によって主に決定された。

各ケースにおけるMACの要因分解

想定した4ケースを対象に、微分計算法による要因分解を行った結果を以下に示す。



ベース・原子力撤廃ケースでは**合成メタン**が主にMACを決定している一方で、
低CCS・高燃料価格ケースでは**アンモニア**が主にMACを決定していることが確認された。

→ CO₂排出量を微小変化させた分析により、**MACの決定要因**をより明確に評価可能。

結論

本研究では、CN達成に向けたエネルギー技術の導入の在り方をより明確にするために、技術選択モデルを用いたCO₂削減限界費用(MAC)の決定要因の評価を行った。

微分計算法の検討

技術選択モデルを用いて、CO₂排出量制約を微小変化させた場合における技術や燃料の導入量などの差分を推計することによって、MACを決定する要因をより明確に評価できることを示した。

ケーススタディ

WEOに基づく燃料費などの特定の条件下においては、合成メタンやDACが最後の1,000tを削減するために追加的に導入される技術となり、MACは各技術の複合的な要因によって決定されることを示した。

政策的示唆

従来の評価でも潜在価格などによりMACは用いられてきたが、その算出過程を明らかにすることは重要。

CO₂の大規模削減において、MACの決定に影響する技術などについては、R&Dなどといったイノベーションを促す方策や、DAC用電力などのシステム全体で費用を削減する方策などが重要となりうる。