

カーボンニュートラル実現に向けた エネルギーシナリオ分析



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

カーボンニュートラル技術センター 地球環境グループ

井上 智弘

1. カーボンニュートラルをめぐる背景

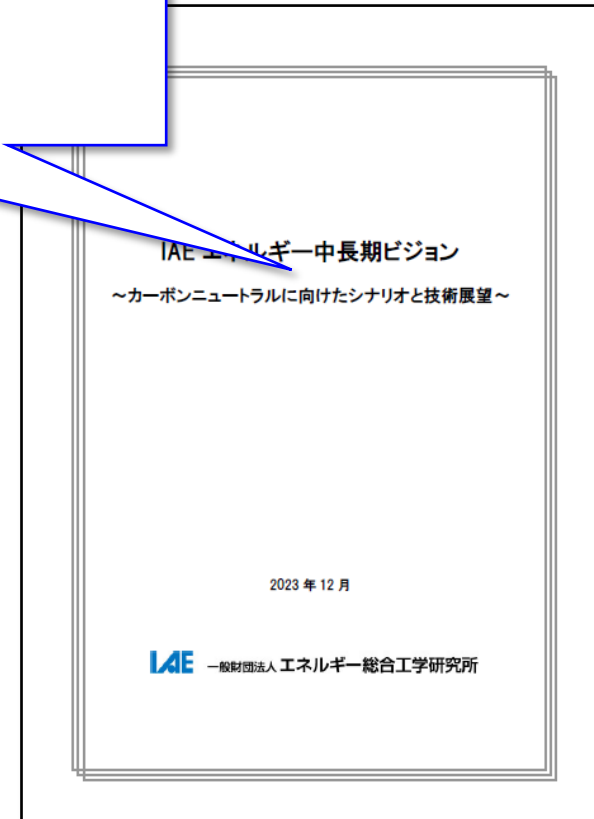
2. エネルギーモデル TIMES-Japan

- ・ シナリオ分析とは何か
- ・ TIMES-Japanとシナリオの設定

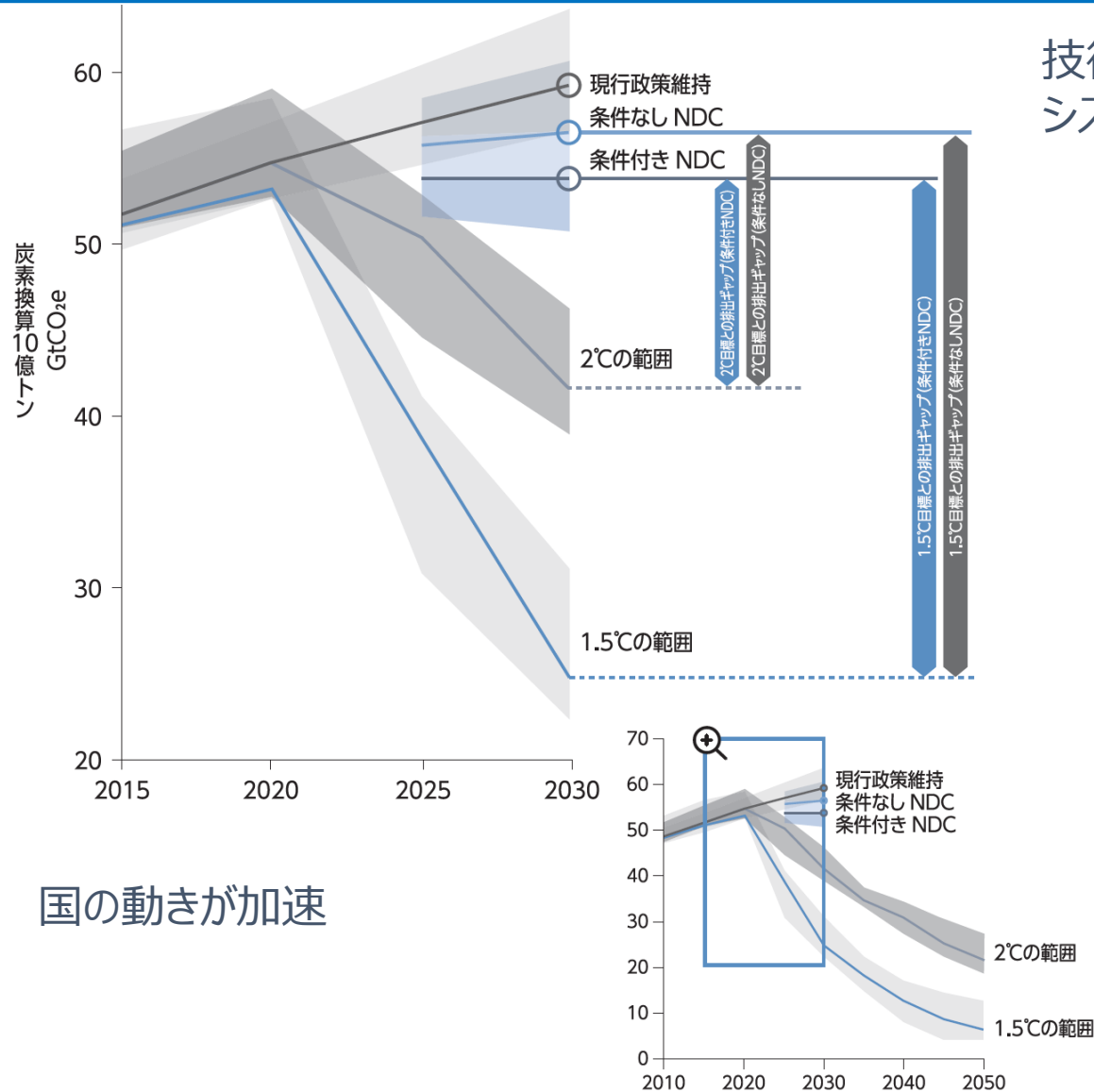
- 2. カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーシナリオ分析
 - 2.1 シナリオ設定
 - 2.2 エネルギーモデル TIMES-Japan
 - 2.3 シナリオの設定
 - 2.4 TIMES-Japanを用いた検討
 - 2.5 まとめと今後の課題

3. 分析結果

- ・ エネルギー需給（エネルギー供給、電力、部門別エネルギー消費）
- ・ CO2排出量
- ・ 炭素価格、エネルギーコスト
- ・ カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーシステム



カーボンニュートラルをめぐる背景



国の動きが加速

図 1.3 2030 年までの国別排出目標積み上げと、2°Cまたは 1.5°C 温度目標達成のために必要な 2050 年までの GHG 排出経路

出典：国連環境計画(UNEP)「Emission Gap Report 2020」(2020)^[2]をもとに作成

技術は見える
システムが変わる

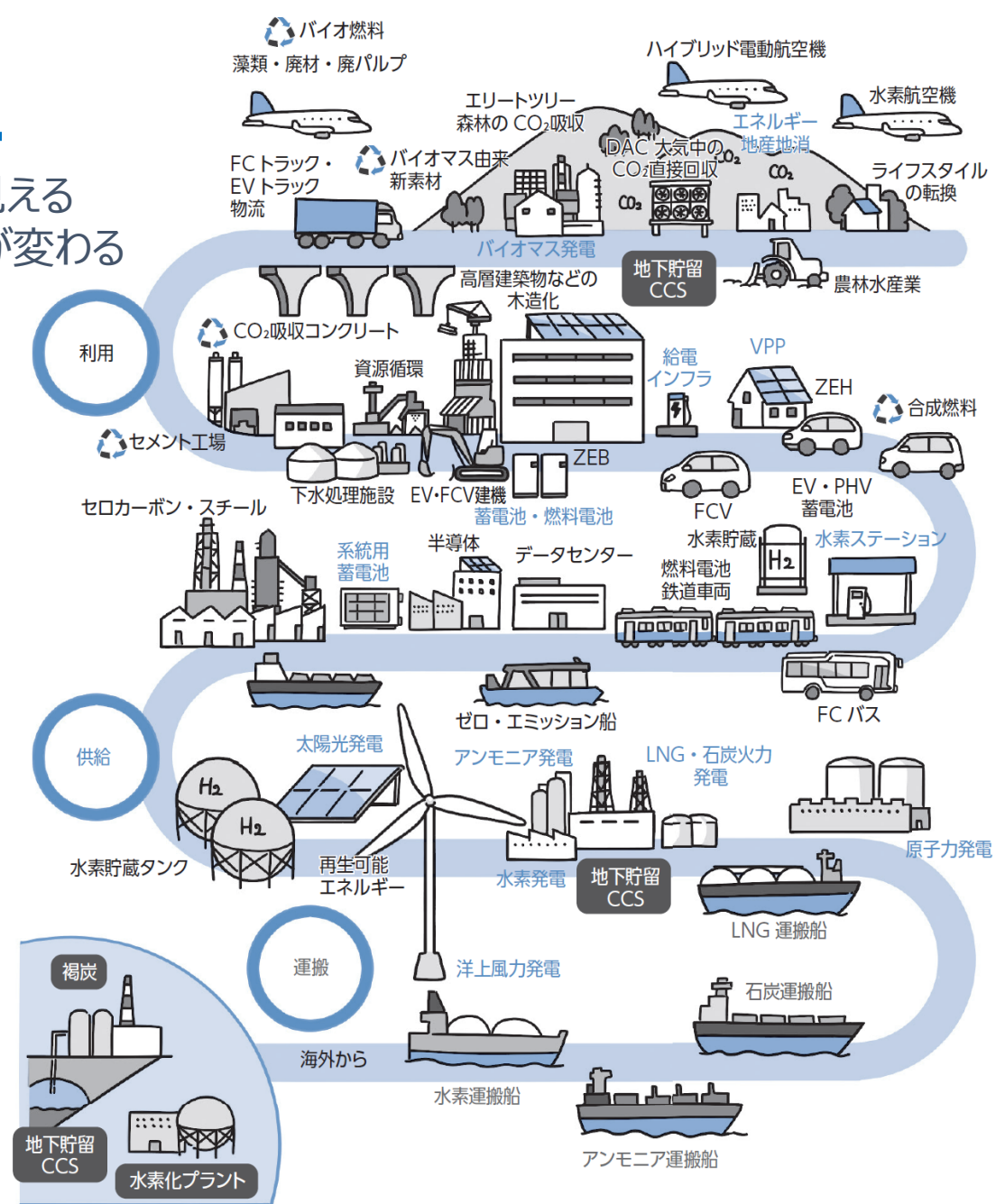
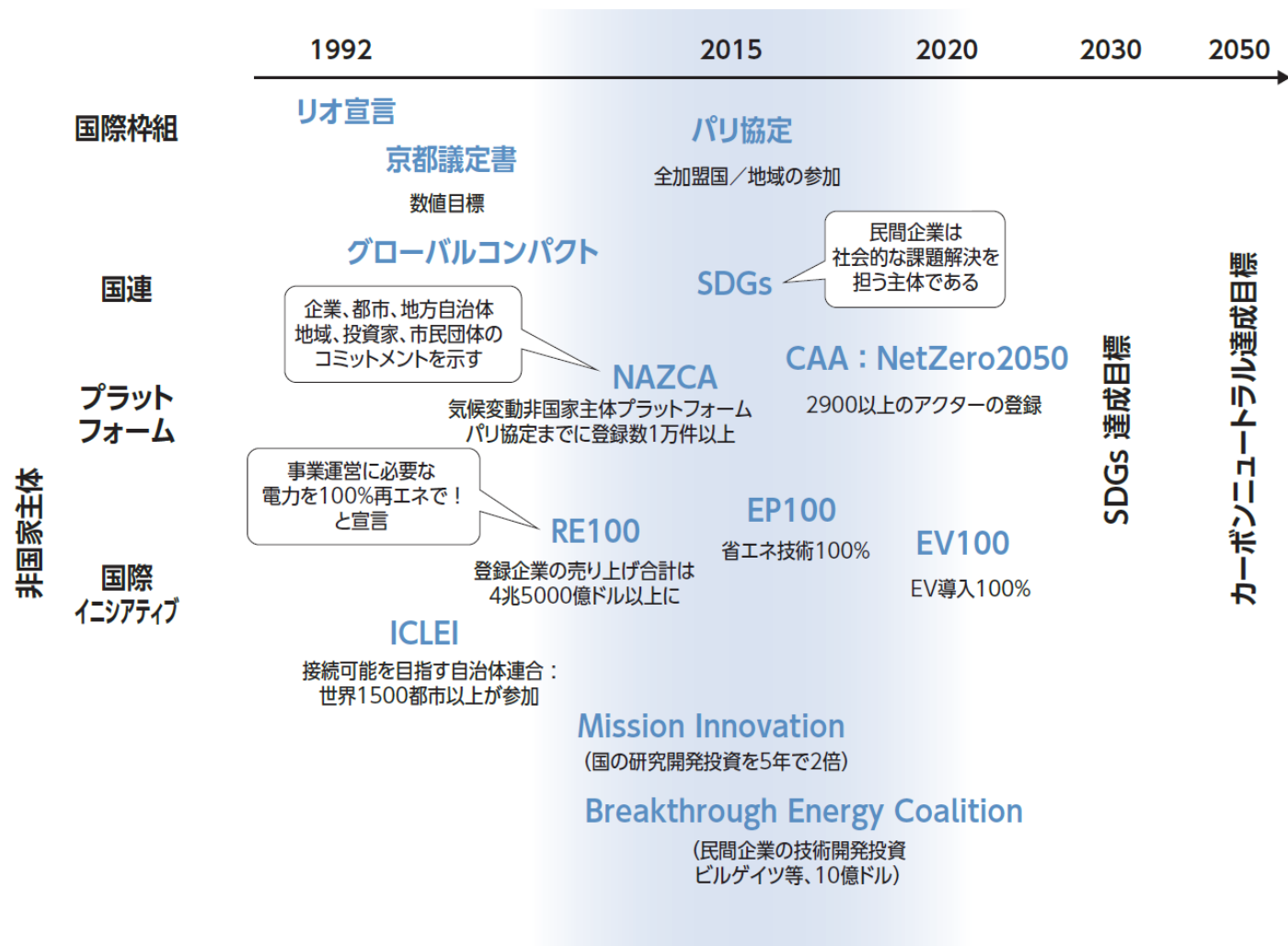


図 1.7 カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略における重要分野の位置づけ

出典：経済産業省「カーボンニュートラルの広がり」(2020)^[12]をもとに作成

CNに向けた、国・資金・非国家主体の動き



COP28の概要

- グローバルストックテイク
(パリ協定で掲げられた長期目標の達成に向けた世界の進捗状況を評価)
- 2030年の目標
 - 再エネ3倍
 - エネルギー効率倍増
 - 化石燃料からの脱却
- 投資枠組
 - 「損失と損害」基金

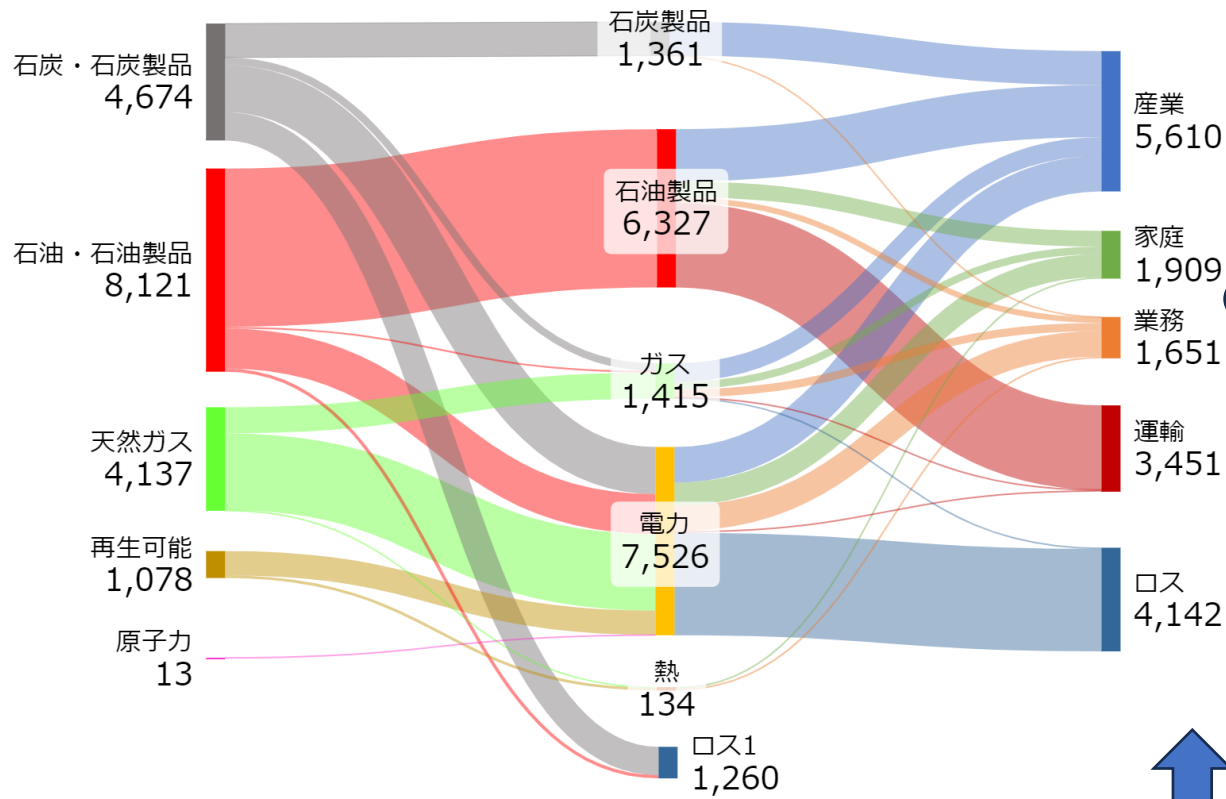


CN実現の選択肢を定量的に議論

図11.1 1990年代以降のアライアンスの動き

シナリオ分析とは

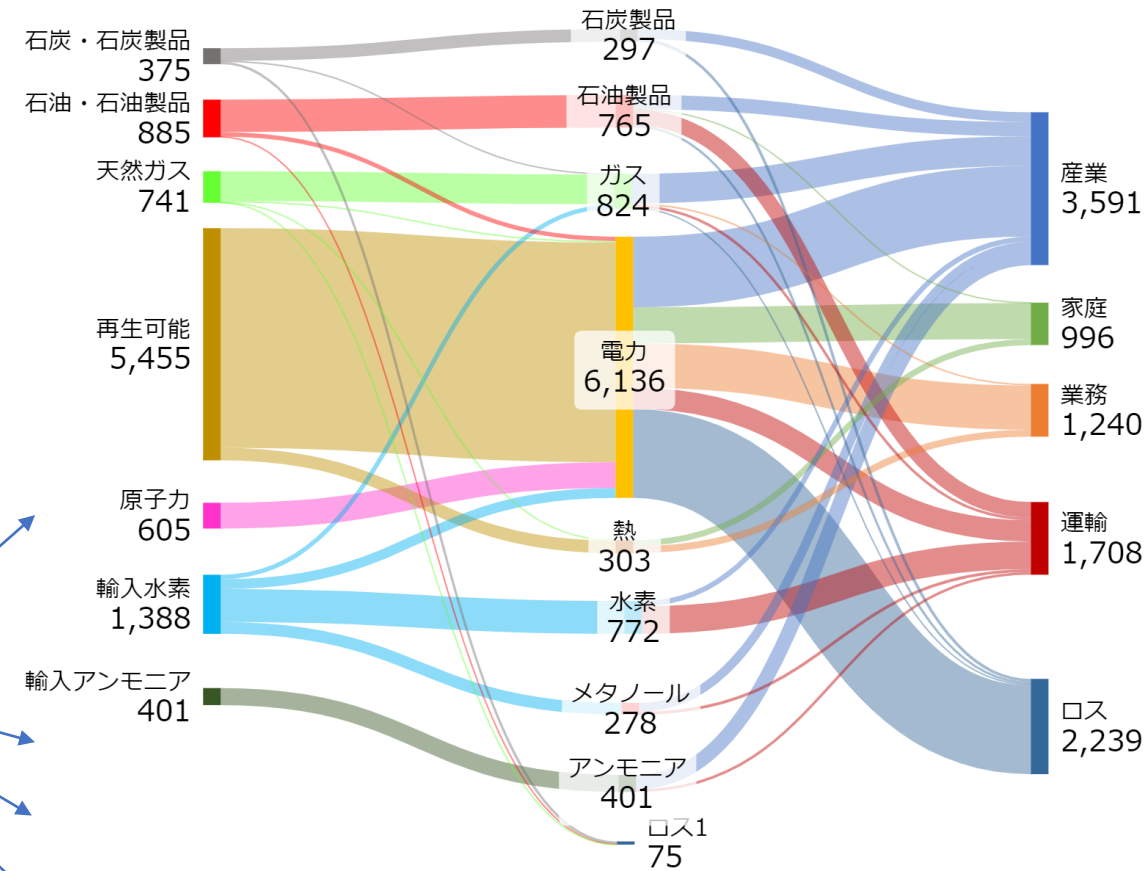
- ・「経済合理的」な変化を想定
- ・何が変わり得るのかを定量的に評価
- ・様々な状況に準備しておく：不確実性と影響度を考える



2015年のエネルギーフロー

CO2排出量制約

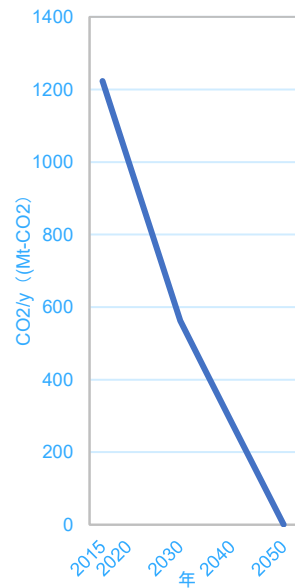
分岐点
(ドライバー)



2050年のエネルギーフローの一例

- ・分岐点の例
 - ・技術の不確実性
 - ・社会経済の変化
 - ・世界情勢/環境
- <<ここを評価

CN実現に向けたエネルギーシナリオ分析



CO₂排出
曲線の
設定

NZ: 2050年
ネットゼロ
UCE: CO₂制
約なし

社会経
済シナ
リオの
設定

社会がどのよう
な方向に進む
か:
人口、GDP、
エネルギーサー
ビス需要等

技術シ
ナリオ
の設定

技術開発・導
入量の展望:
導入上限、技
術性能(効
率、コスト等)、
各エネルギーコ
スト等

試算
ケースの
設定

社会経済シナリオ、
各技術の技術シ
ナリオを選択

TIMESモデル:
期間全体の総
エネルギーシ
ステムコスト
の和を最小化
して計算

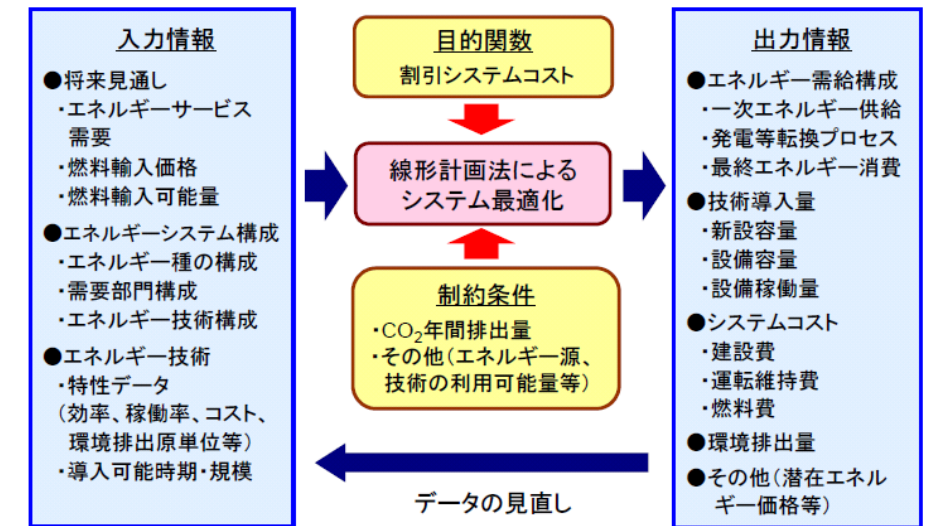
結果の
アウト
プット

エネルギーモデルを用いたシナリオ分析とは何か:

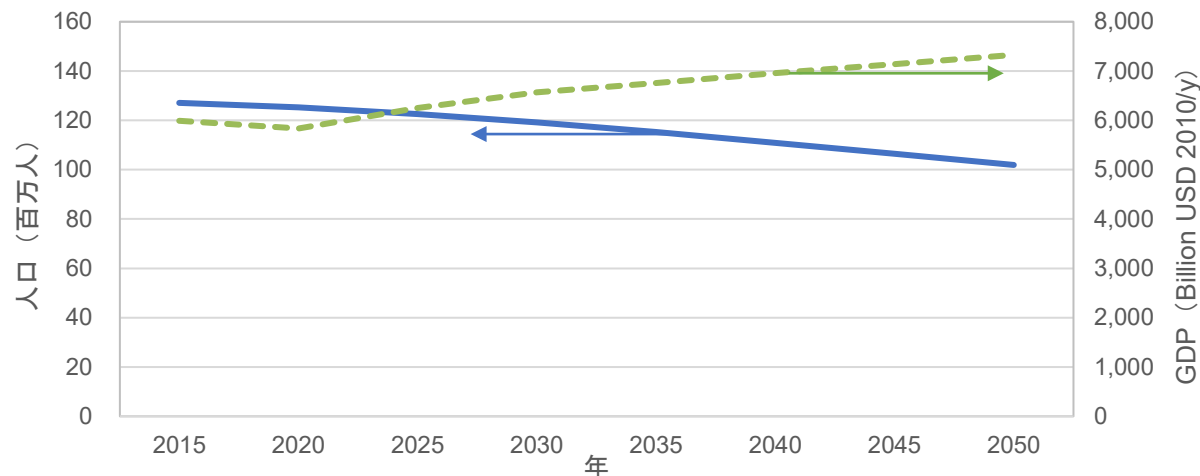
将来社会、技術開発・普及は不確実

→ 複数の長期的な技術・社会の変化を予測して比較し、エネルギーシ
ステムに対する影響を評価する。

想定した技術によって、どの技術がいつ、どの程度普及可能かが分かる

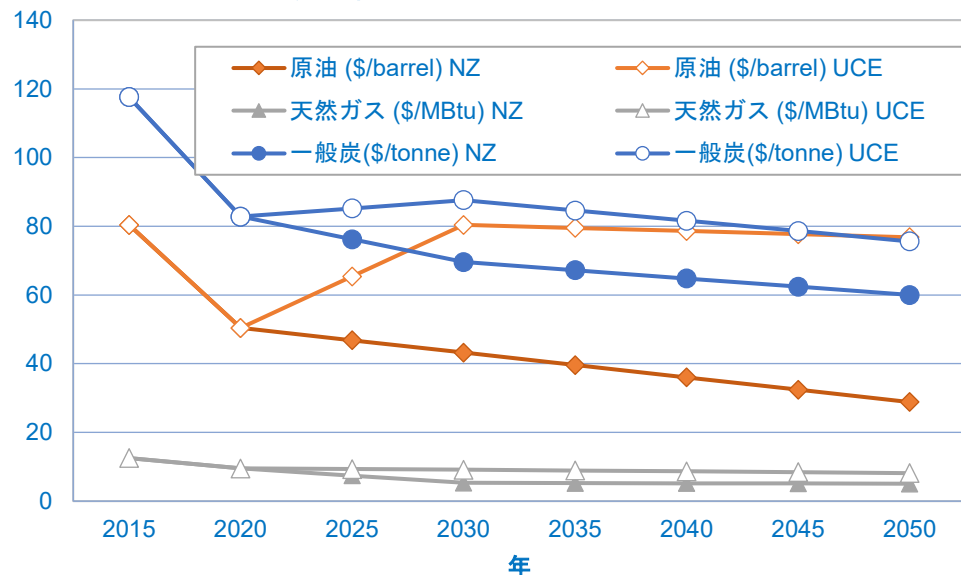


TIMES-Japanモデル

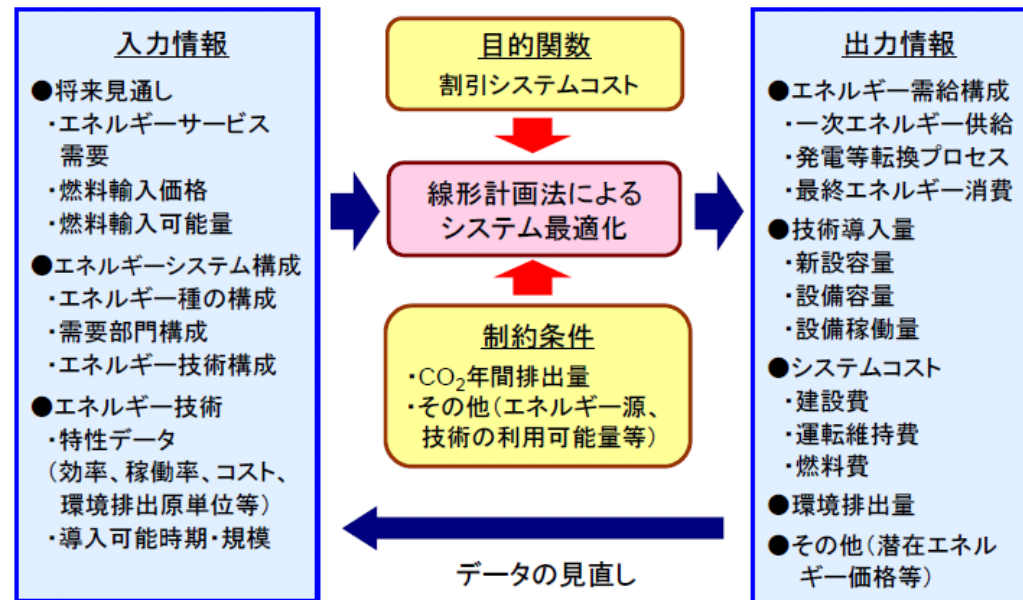


基準シナリオの人口とGDPの推移

化石燃料輸入価格 (2010年実質：固有単位)



化石燃料輸入価格の推移 (2010年実質：固有単位)



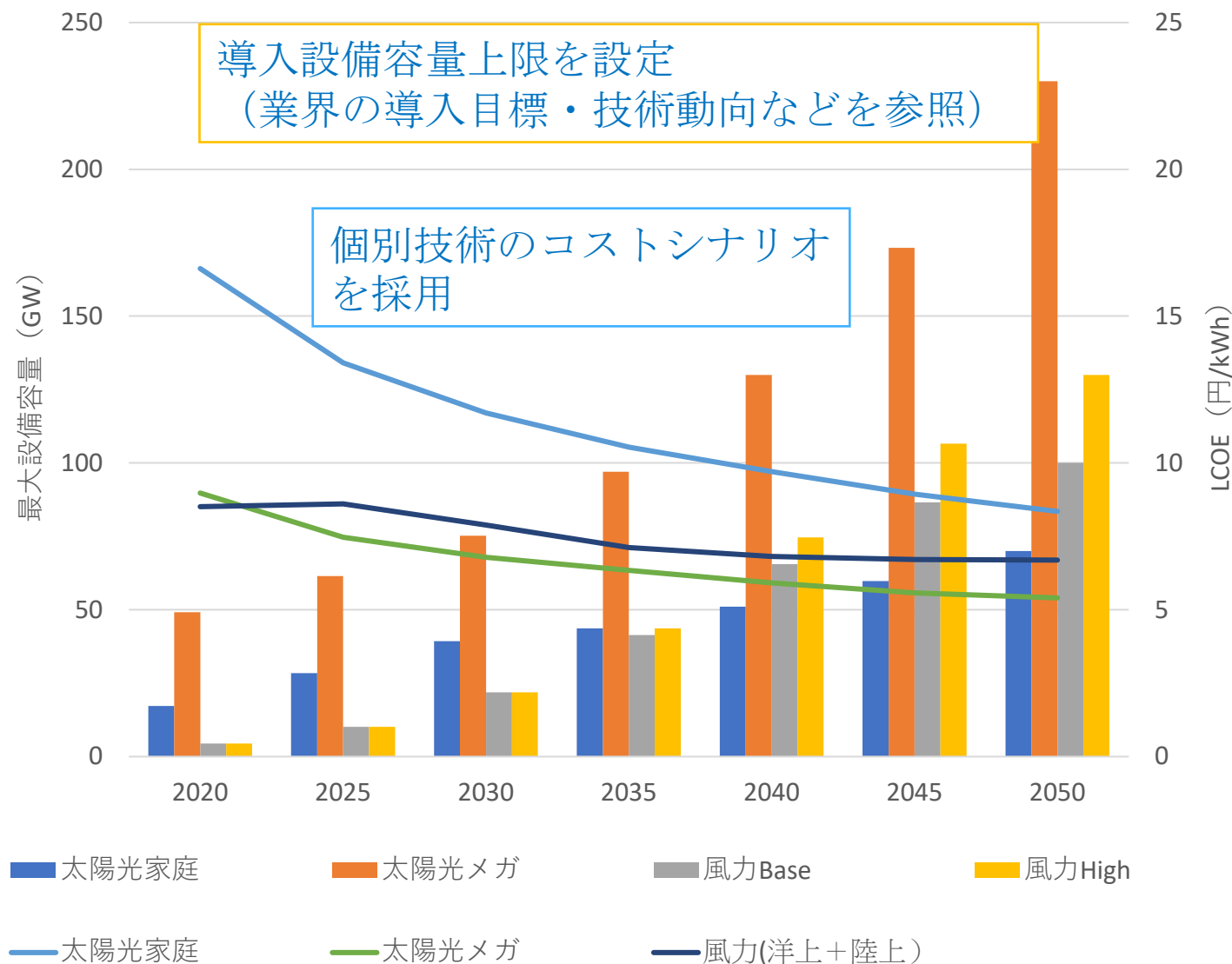
比較する技術シナリオ

区分	シナリオ名		表記	シナリオ内容
CO ₂ 排出量	ネットゼロ		NZ	2030年46%減、 2050年ネットゼロ
	CO ₂ 制約なし		UCE	CO ₂ 制約なし
技術 導入量 シナリオ	太陽光	基準	Base	設備容量上限 300GW (AC) ※2
	風力	基準	Base	設備容量上限 100GW
		高位	Tech	設備容量上限 130GW
	原子力 導入量	なし	noNuc	運用期間40年 (0 GW@2050年)
		基準	Base	運用期間60年、新規の建設なし (23.5GW@2050)
		高位	Tech	運用期間60年、新規の建設あり (2030年設備容量37.2GWを最大)
	CCS 上限	基準	Base	年間最大貯留量 100Mt-CO ₂
		高位	CCSh	年間最大貯留量 200Mt-CO ₂
	輸入CNLNG※1		-	輸入CNLNGを用いない
			CNLNG	輸入CNLNGを用いる

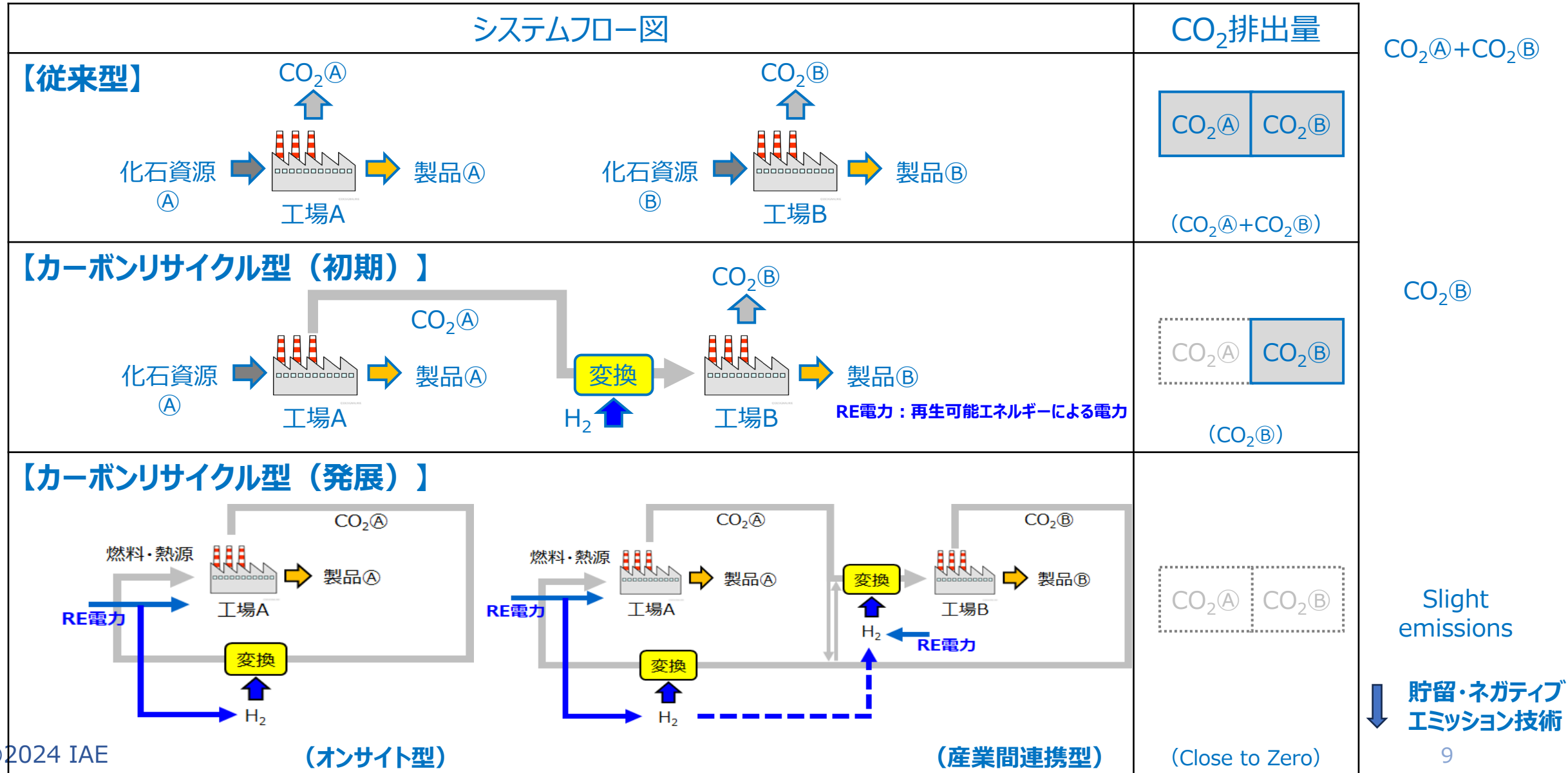
多数のシナリオ分析の結果を踏まえて、影響の大きな技術群について、複数のシナリオを設定

- 技術変数の設定

- 設備費、変動費、燃料費
- (変換) 効率
- 導入制約



カーボンリサイクルの位置づけ



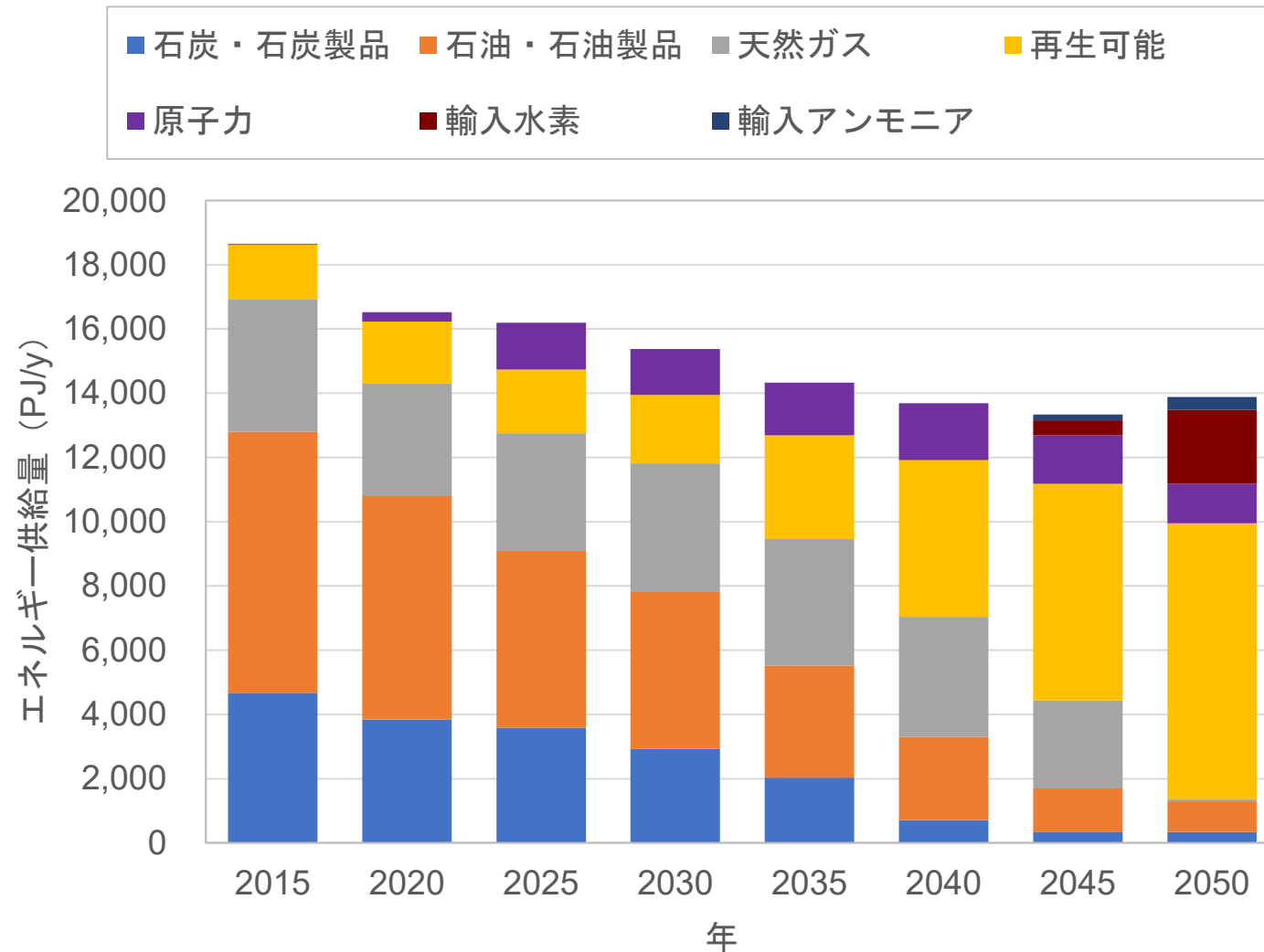
	原子力	なし		基準		高位 (新設あり)	
	風力	基準	高位	基準	高位	基準	高位
国内CCS 年間貯留 制限	50 Mt- CO ₂ /年	×	×	×	×	×	×
	100 Mt- CO ₂ /年	×	×	○	○	○	○
	200 Mt- CO ₂ /年	×	×	○	○	○	○
輸入CNLNG		○	○	○	○	○	○

× 解なし、○ 解あり

ケース名	1.標準	2.技術 導入拡大	3. CCS 高位	4.輸入 CNLNG	5.比較 (CO ₂ 制約なし)
	NZ-Base	NZ-Tech	NZ-CCSh	NZ- CNLNG	UCE
CO ₂ 制約	NZ	NZ	NZ	NZ	UCE
原子力	基準	高位 (新規の建設あり)	基準	基準	基準
再エネ	基準	高位	基準	基準	基準
CCS	基準	基準	高位	基準	基準
輸入CNLNG	-	-	-	CNLNG	-

※輸入CNLNG（オフセットによりCNとみなされる液化天然ガス）

シナリオ分析結果：一次エネルギー供給量（NZ-Base）



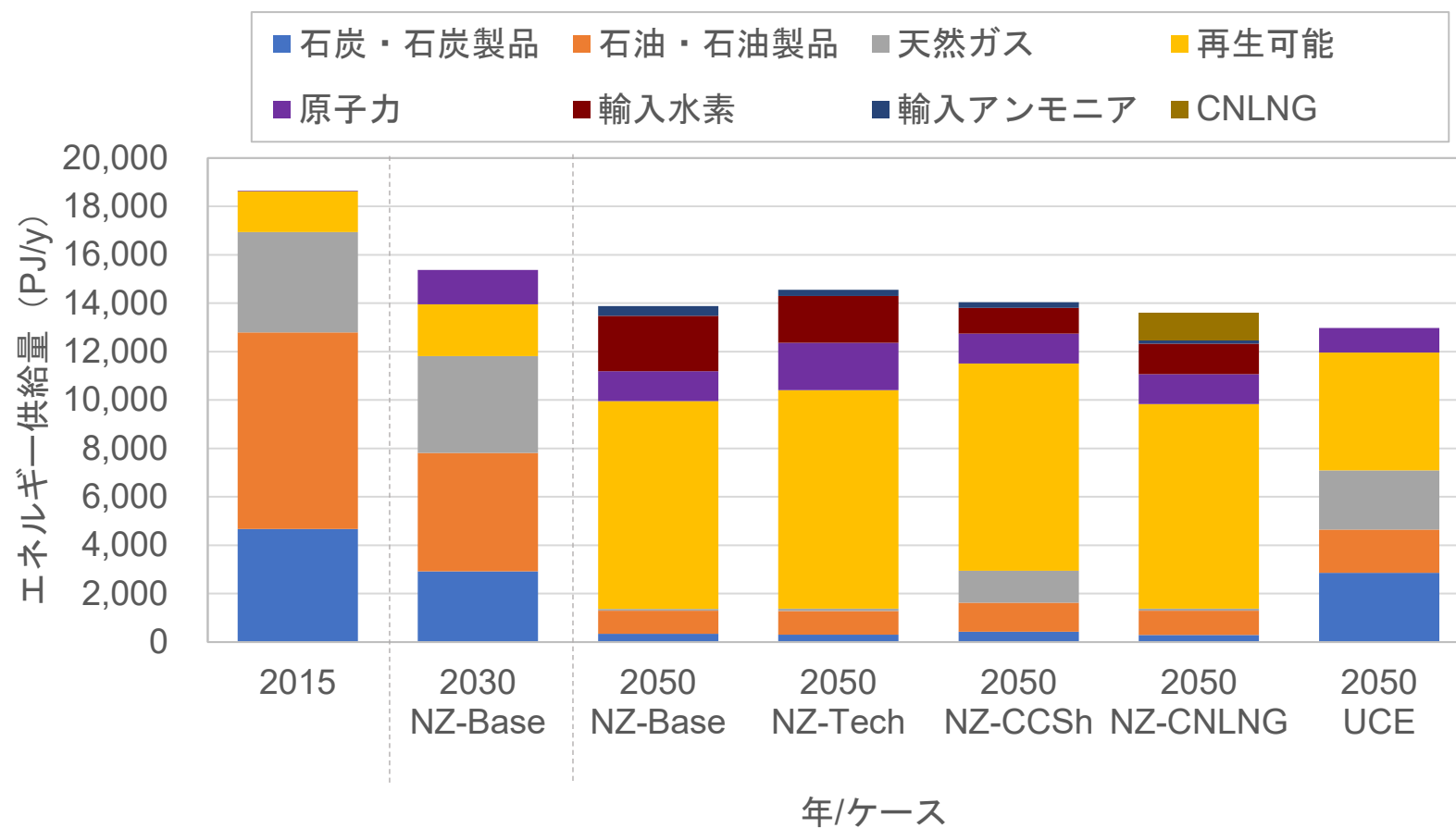
2040年以降天然ガスから水素・アンモニアへとシフト
水素・アンモニアは19%に

再エネの割合は62%に増加

想定している輸入するCN燃料である水素・アンモニアはエネルギーキャリアであるが、便宜的に1次エネルギー源として表記。本分析では、メタノールなどその他の合成燃料の輸入は想定していない。

シナリオ分析結果：一次エネルギー供給量

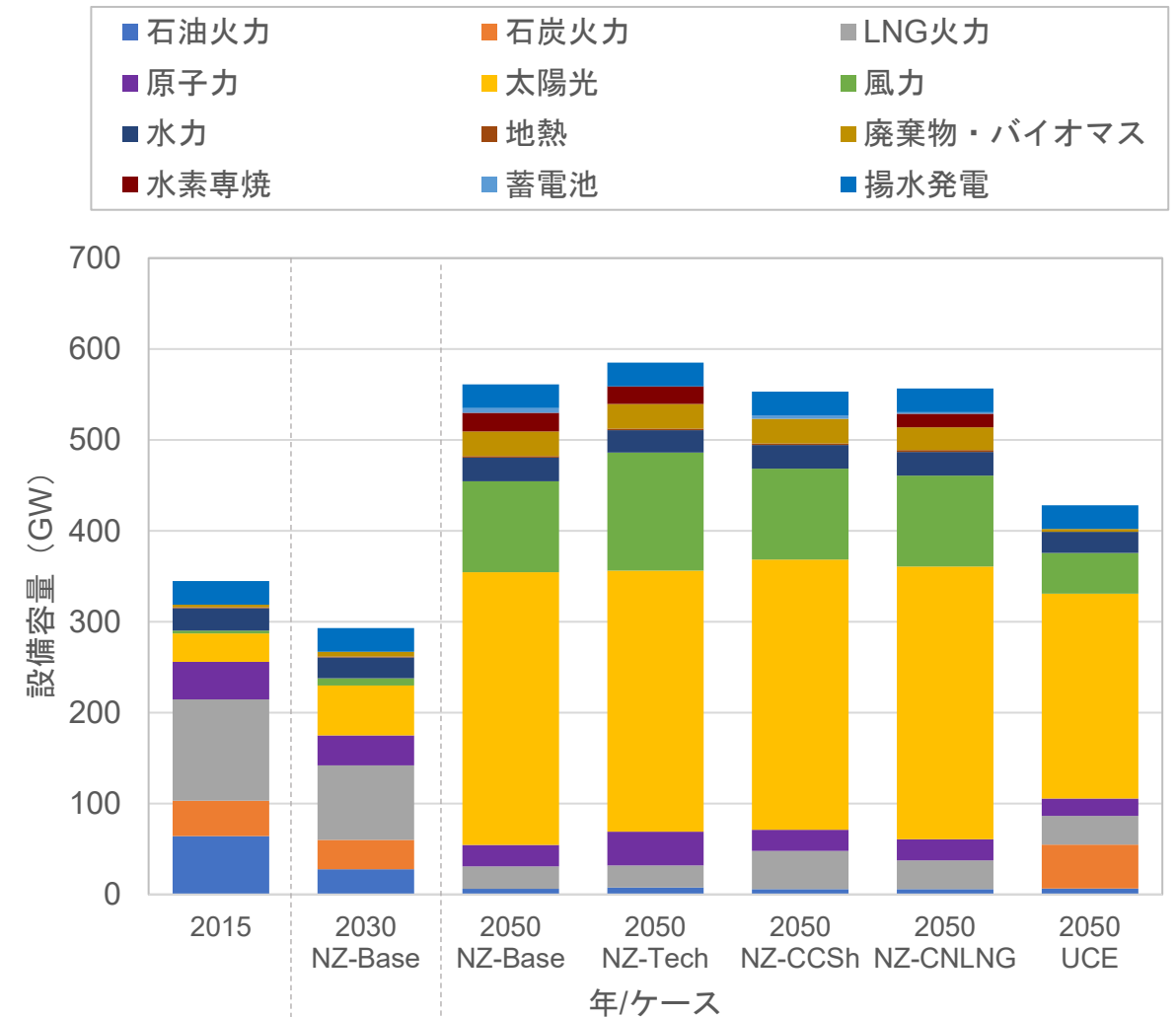
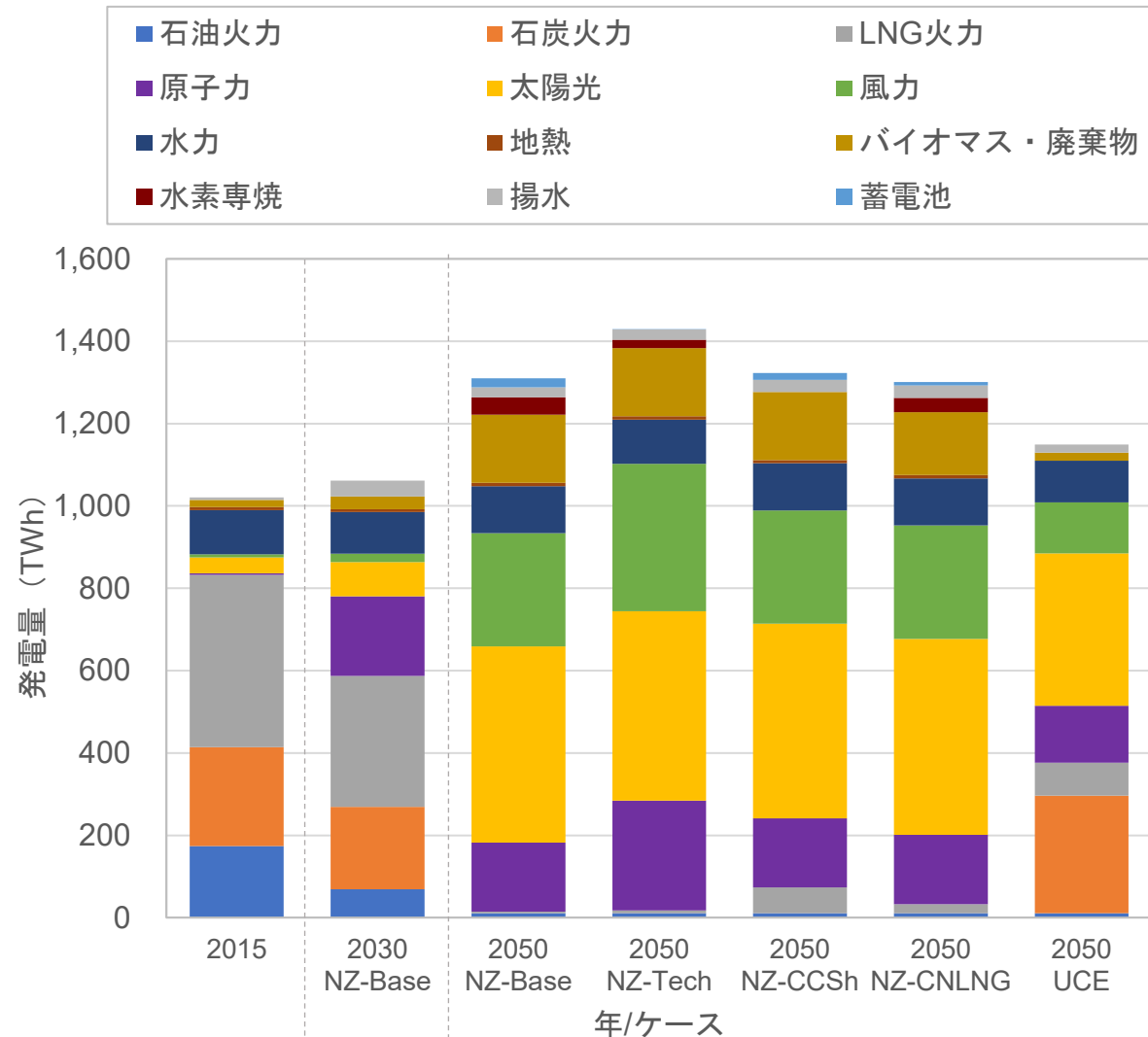
- 再生可能エネルギーの導入量が大半を占め、残りが水素、原子力、輸入CNLNG。
- CCS高位ケースでは他と比べて石炭、石油、天然ガスの供給量が多い。
- CO₂制約なし（UCE）でも再エネが大規模に普及するがCN燃料はなし。



シナリオ分析結果：発電量・設備容量

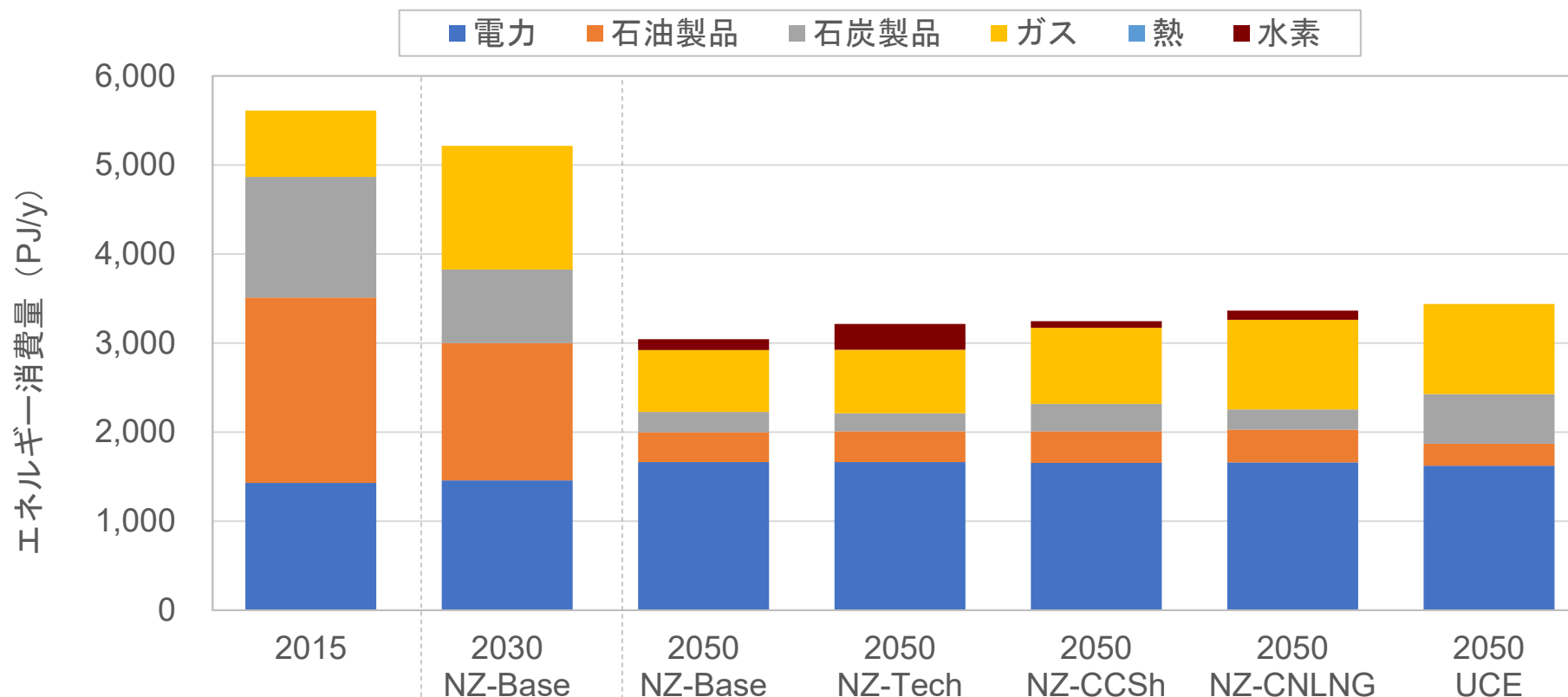
VRE（太陽光・風力）が50-60%。
火力は2030年 46-71%、2050年 1-6%（CCS付）

VREが73-76%。LNG・水素・バイオマス・水力等の
調整力を有する設備17-20%



シナリオ分析結果：産業部門

- 石油・石炭製品のシェアは2030年に約40%、2050年には14~19%にまで減少。
- どうしてもゼロにならない部門（hard-to-abate）：特に鉄鋼、化学、セメントといった素材産業においては、化石燃料が還元剤や原料としてプロセスに入り込んでおり、その代替は容易ではない。
- （素材産業の生産量をほぼ横ばいと想定しているため、消費量もほぼ横ばい）
- 石炭消費：鉄鋼生産のかなりの部分が高炉から電炉に代替、水素還元炉に移行



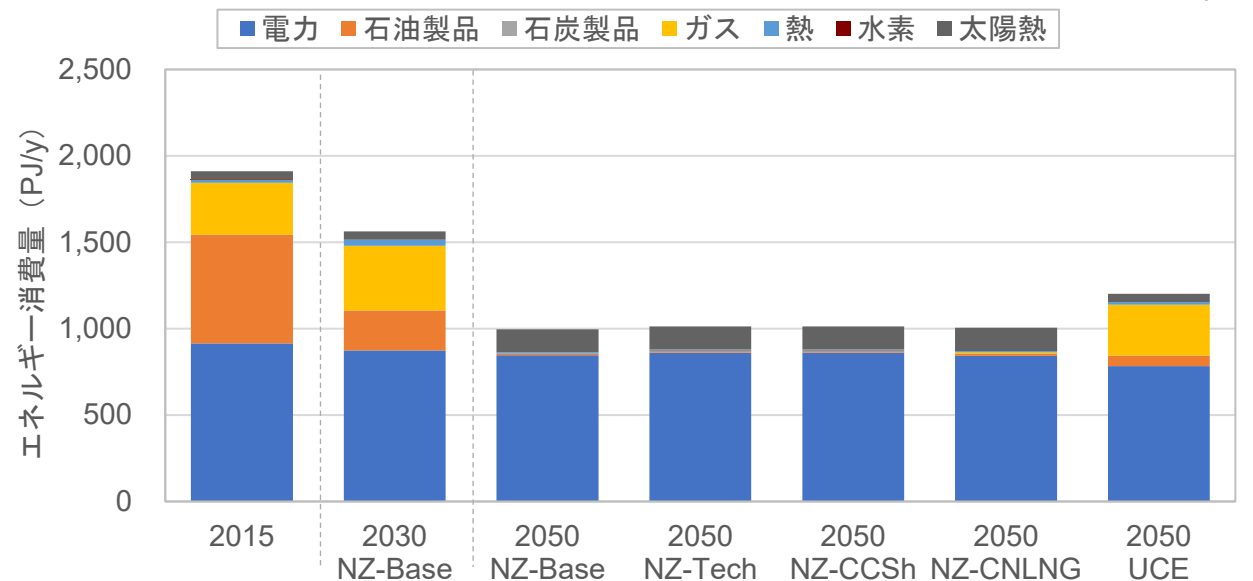
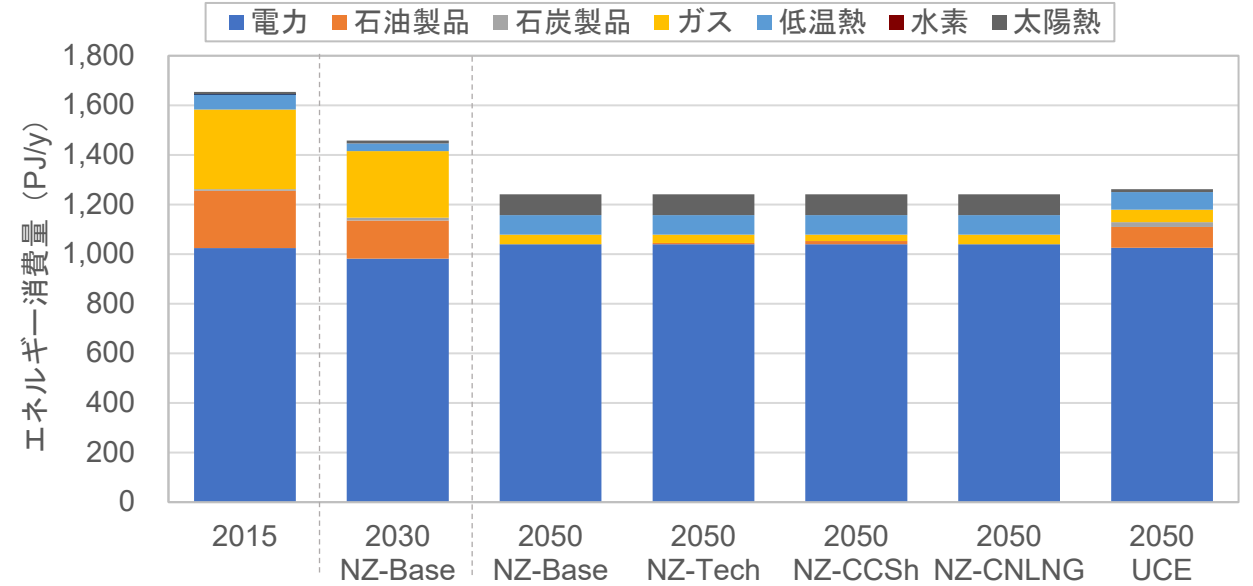
シナリオ分析結果：民生部門 最終消費

• 業務部門

- 2030年にかけて主に石油製品のシェアが低下し、2030年から2050年にかけて、主にガスのシェアが低下。
- 電力、低温熱、太陽熱が徐々に増加。2050年においては電力のシェアが約8割。

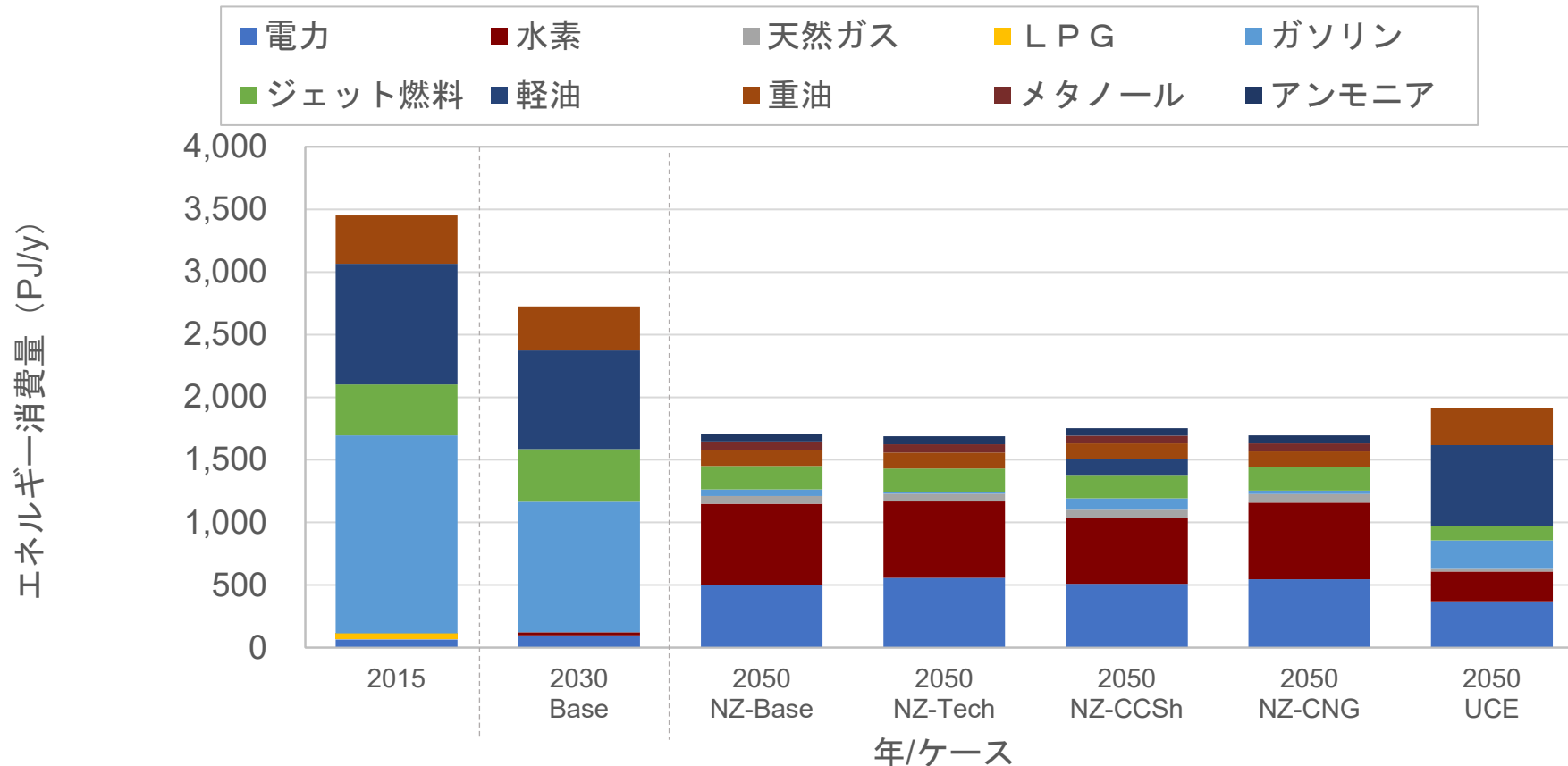
• 家庭部門

- 灯油やLPGなどの石油系燃料および天然ガスの需要は大きく低下し、2050年では1%未満のシェア。
- 約1割の給湯の熱供給を太陽熱が代替し、電力比率は2050年には9割程度。



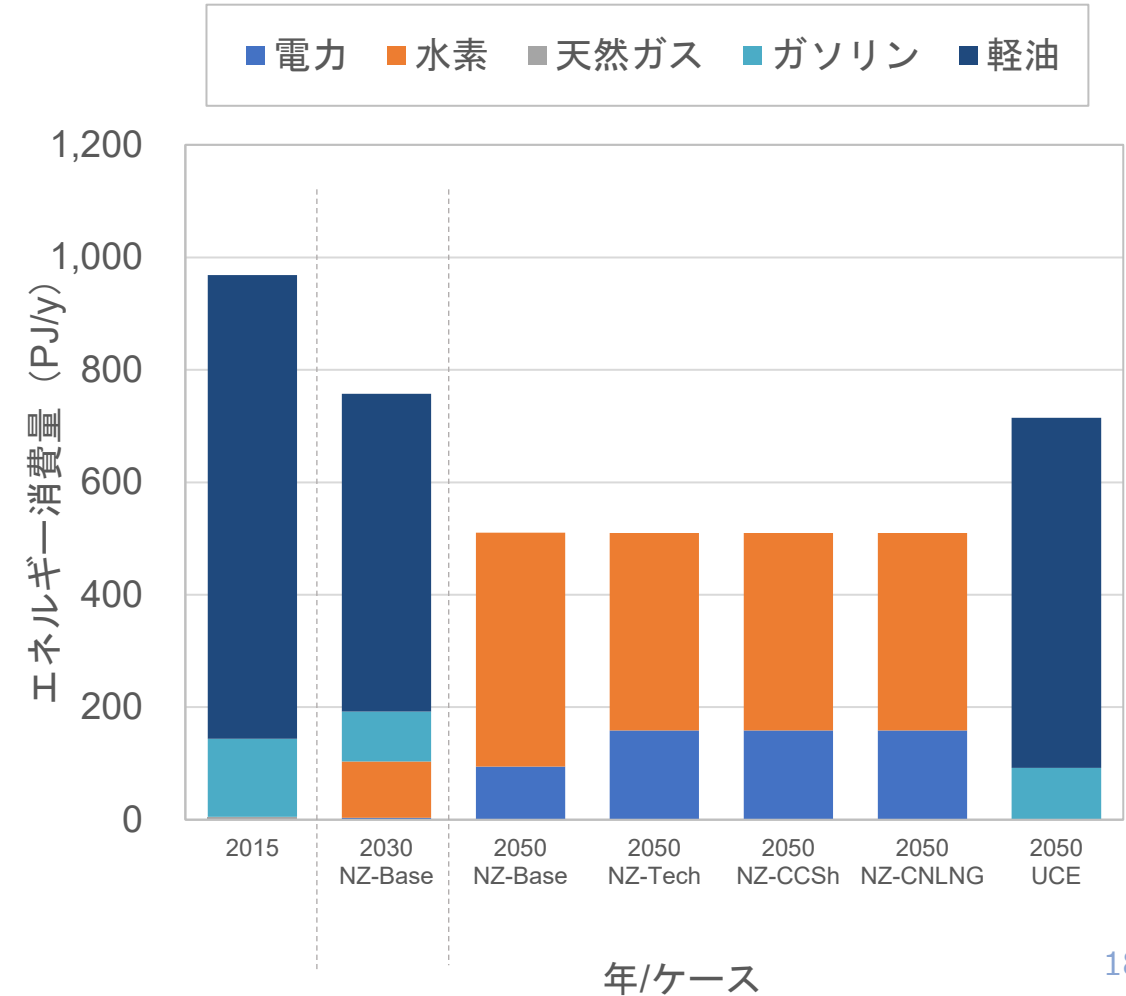
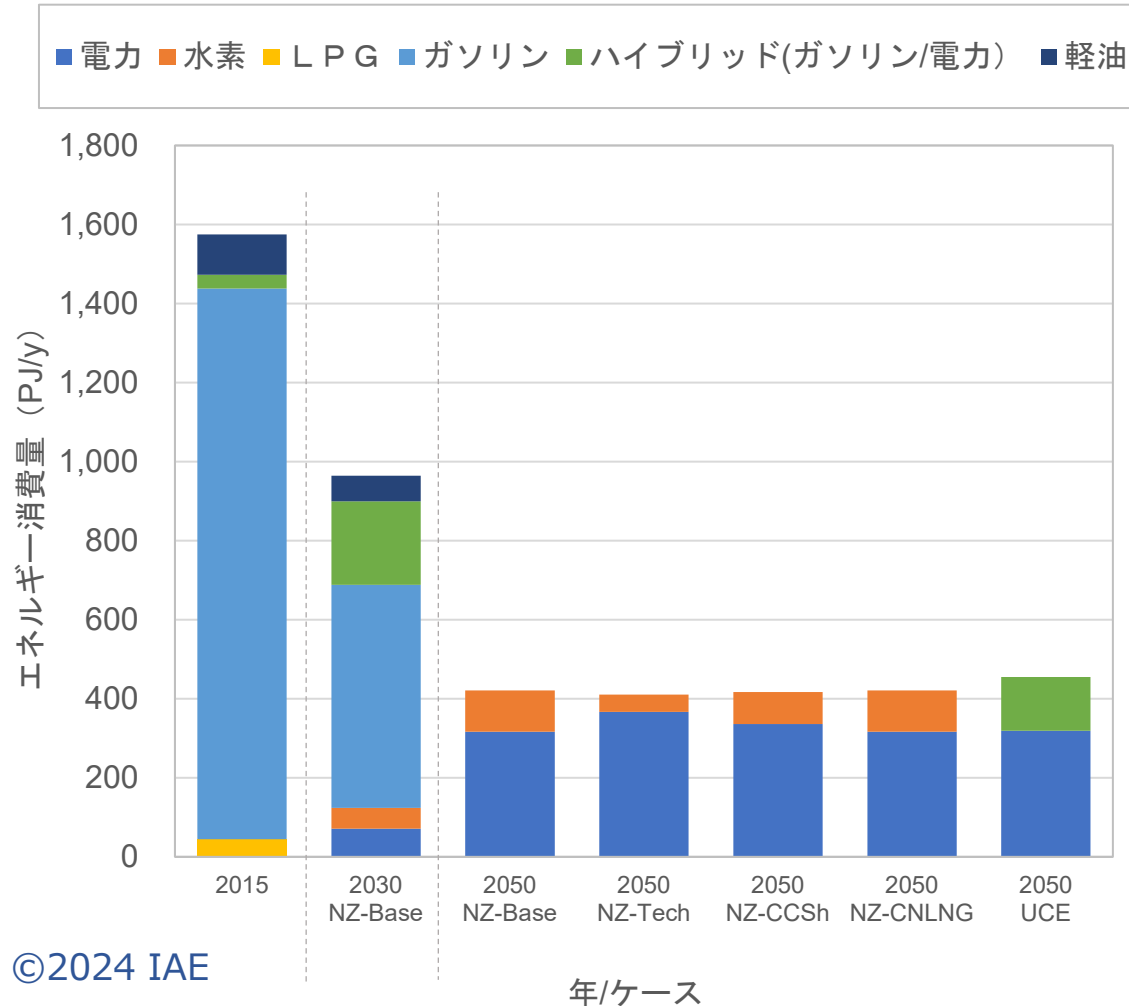
シナリオ分析結果：運輸部門

- 2030年まではガソリンのエネルギー消費が30%程度減少し、2050年にはEVとFCVの普及により、**電力と水素のエネルギー消費**が主流。
- 2050年においては燃料電池車の普及により水素エネルギーの需要は大きく、運輸部門ではそのシェアは約4割を占める。



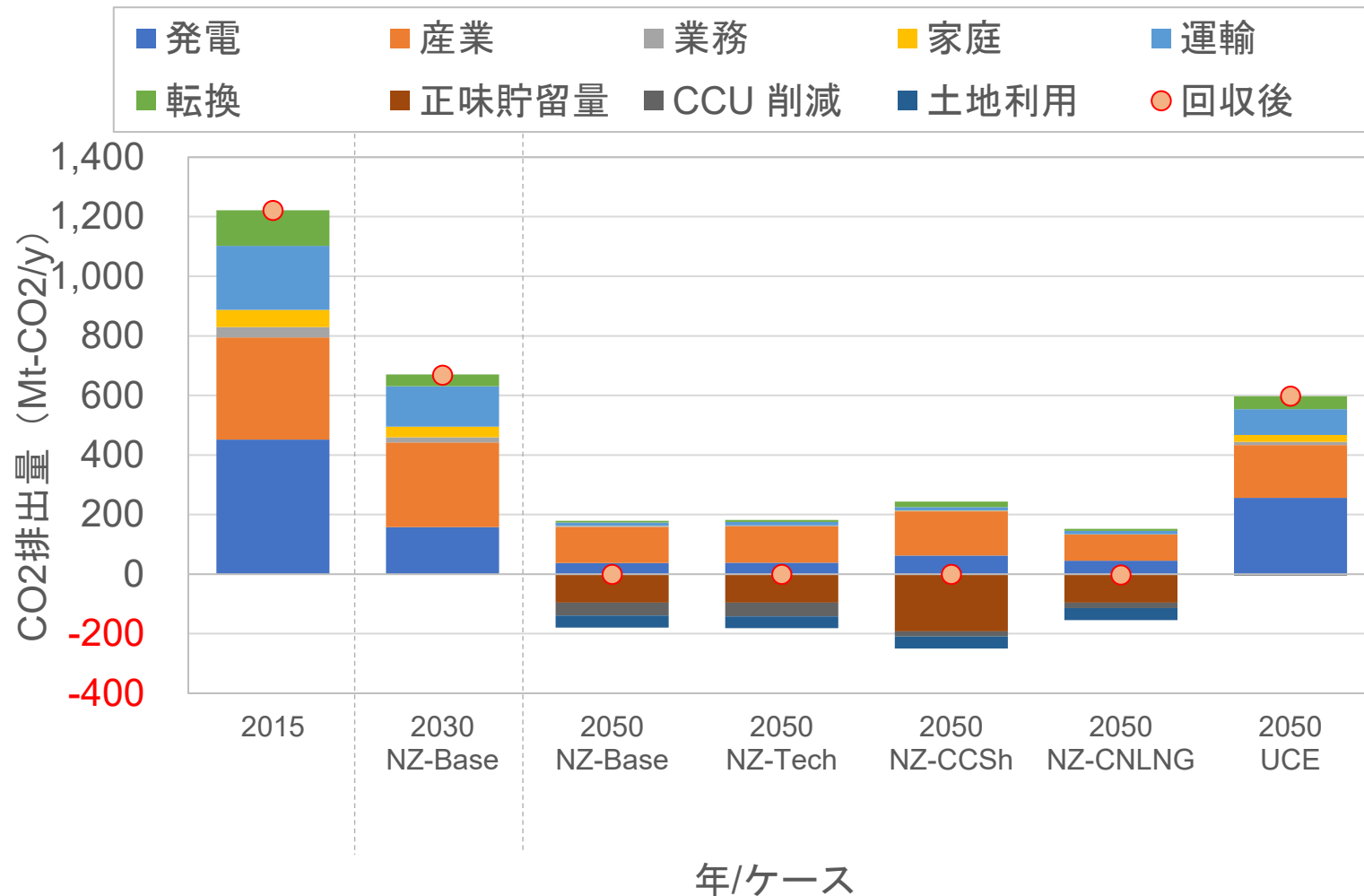
シナリオ分析結果：運輸部門：乗用車・トラック

- 2050 年、乗用車などの小型車はEV化、トラックなどの大型車は航続距離が長くFCVが中心。
- 船舶用燃料などは低炭素化技術の導入が難しい部門であるが、若干の合成燃料の利用がみられた。
- 本稿の分析では航空機におけるSAFのうち、バイオマス起源の燃料利用は想定していない

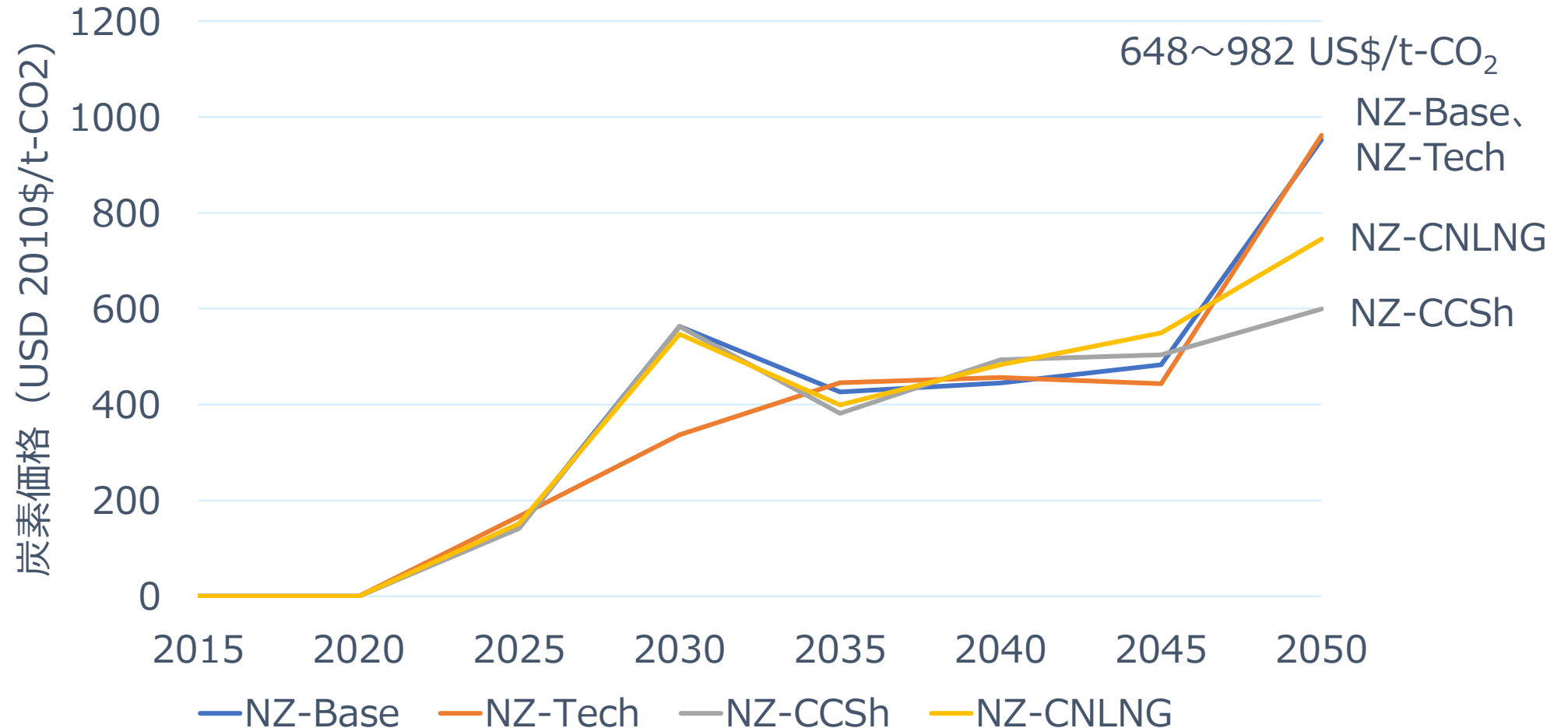


シナリオ分析結果例：CO₂排出量

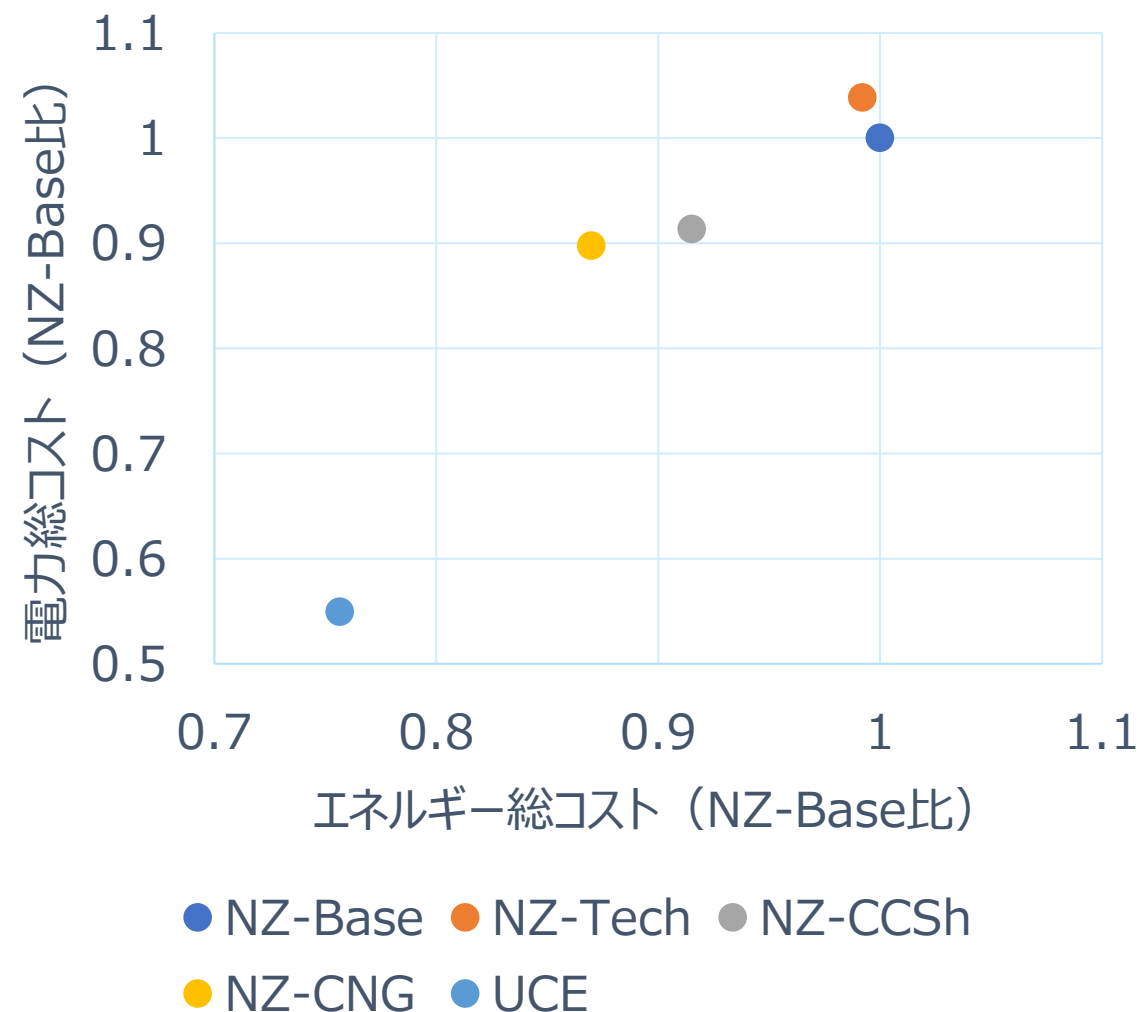
- 産業部門・運輸（長距離輸送）等でCO₂が排出。
- 土地利用、CCSおよびカーボンリサイクルによる削減。



- 炭素価格: CO₂の限界削減費用(シャドープライス)
- 現状: エネルギー危機以降価格が高騰し、50～100US\$/t-CO₂程度の価格付け
- CNLNG輸入、CCS貯留量増加の経済的効果が高い



- エネルギー総コスト：エネルギーの生産・流通
う・消費のすべての技術の費用の総計
- 基準ケースのエネルギー/電力コストを1として、
他のケースと比較した結果。
- CO₂制約が無い場合、電力コストは45%程
度低下、エネルギーコストは25%程度低下
- CCS高位や輸入CNGのケースは標準ケース
と比べて10～20%低下。
- この結果は家庭や事業者に求められるエネル
ギー価格と関連する。



- 日本のエネルギーシステム全体でネットゼロを達成することが可能
- まず電化、電化が難しいところではCN燃料。
- どうしてもゼロにならない部門（Hard-to-abate セクター）
- 脱炭素電源（再エネ、原子力）があたりまえのエネルギーシステム
- CO₂フリー水素などのCN燃料、CCUSやネガティブエミッション技術など現在確立していない技術の大規模な普及が必要 → **80%削減との大きな違い**



新しいエネルギーキャリアが大規模な普及のため、エネルギーシステムの変革（パラダイムシフト）が必要

- 再エネ：柔軟な電力システム
- CN燃料：水素等のサプライチェーン構築
- CO₂を資源に：カーボンリサイクル