

未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西

2024年9月19日

2050年に向けた日本の 電力需給展望

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾



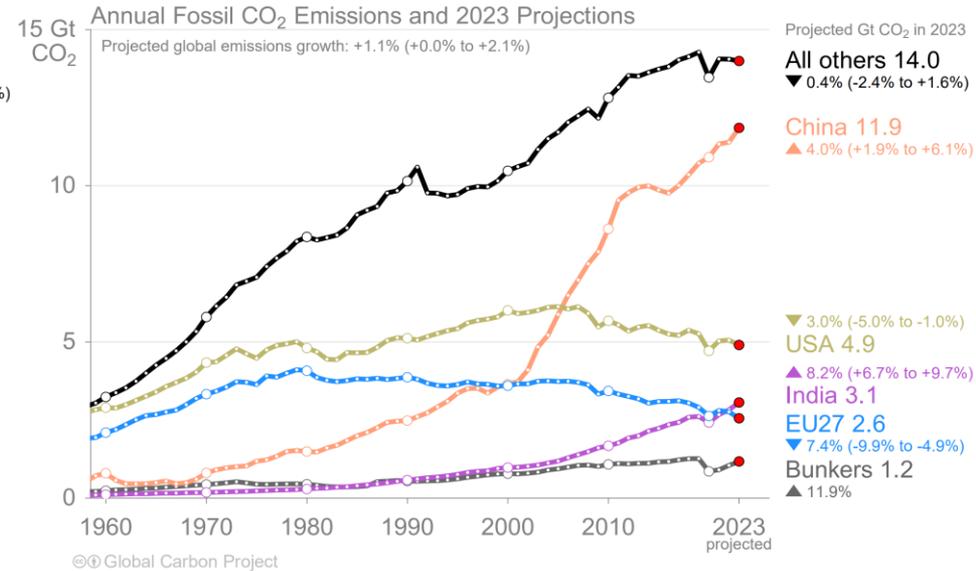
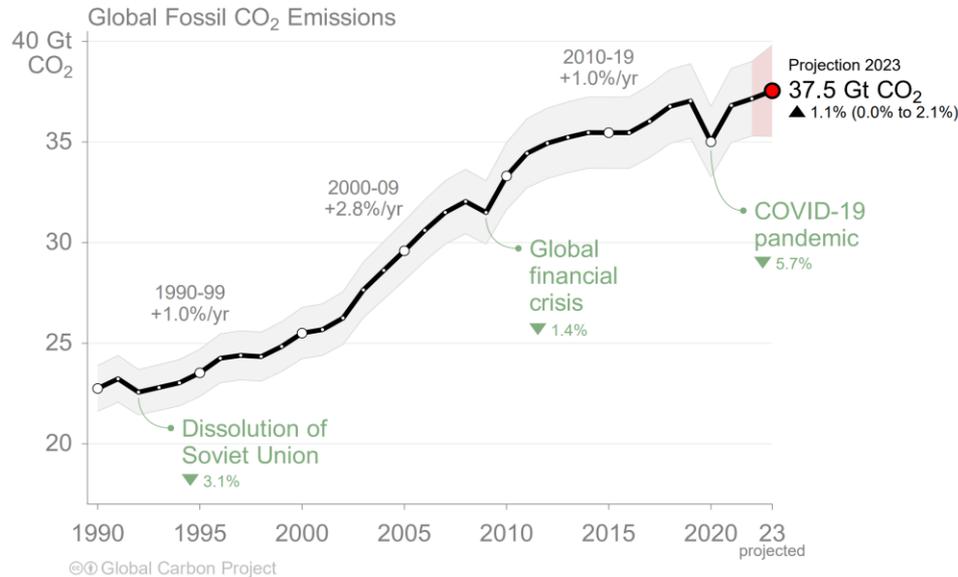
目次

1. エネルギー・電力需要展望に関する国内外の情勢
2. 2050年に向けた日本の電力需給分析例
3. まとめと政策展望

1. エネルギー・電力需要展望に 関する国内外の情勢



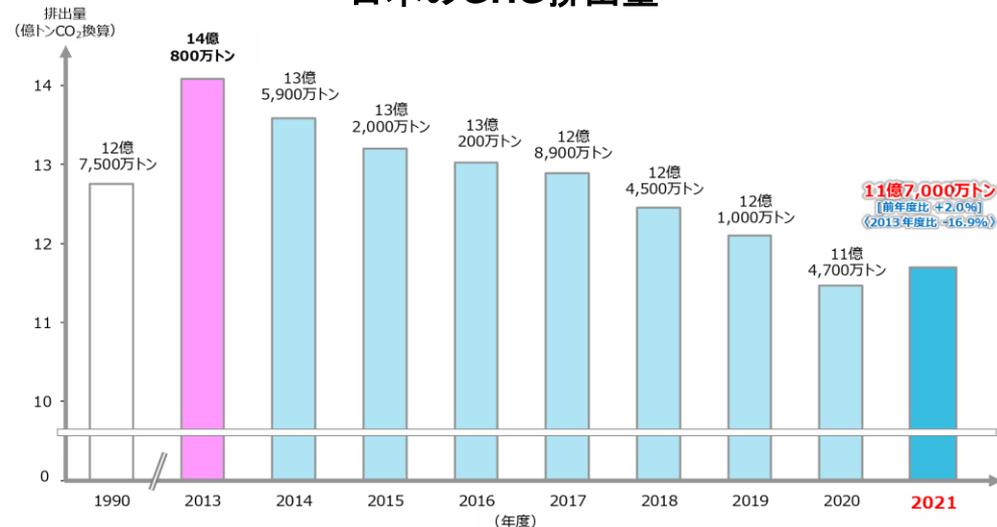
世界・主要国のCO2排出量の推移



出典) Global Carbon Project, 2023

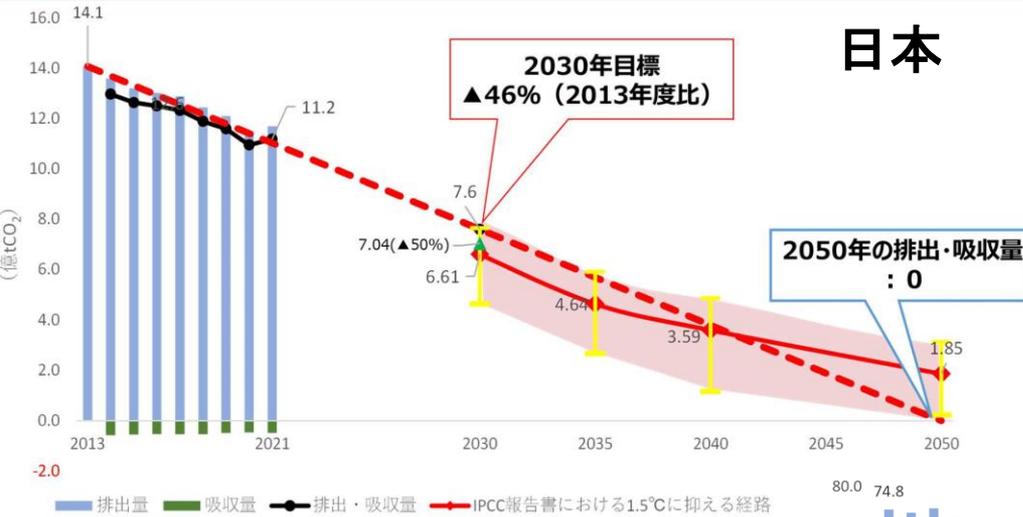
- 世界全体では、経済とCO2排出量のカップリングは続いている。CO2排出が大きく減少したときは、経済(GDP、所得)も悪化している状態。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。
- EU、米国、日本は、国内排出量としては、継続的に低減が続いている。
- 先進国から、途上国へ、とりわけCO2原単位の高い製造業の移転が起こっている。

日本のGHG排出量



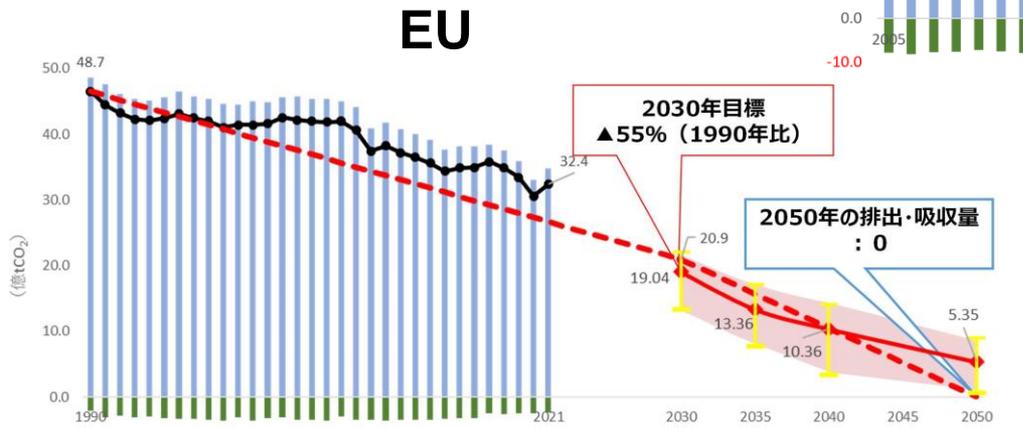
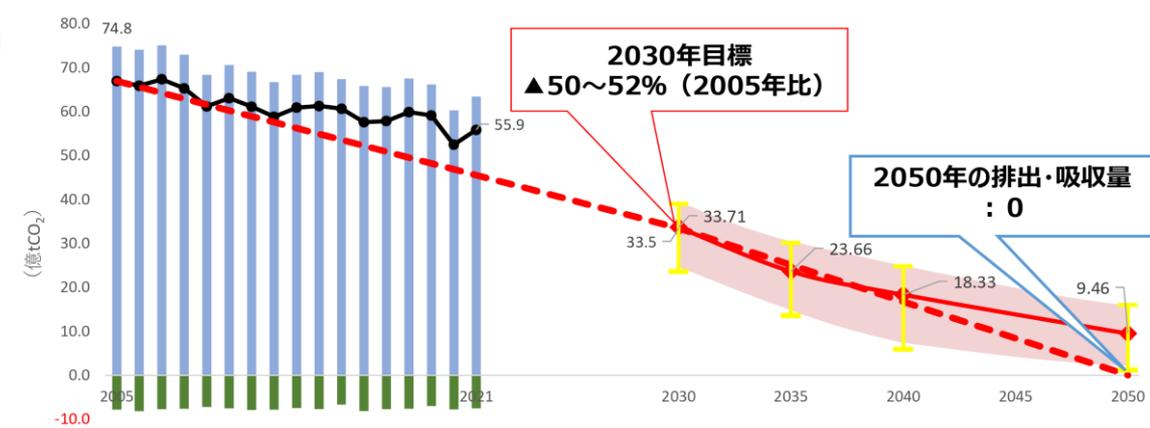
出典) 環境省, 2023

日米欧の排出削減動向

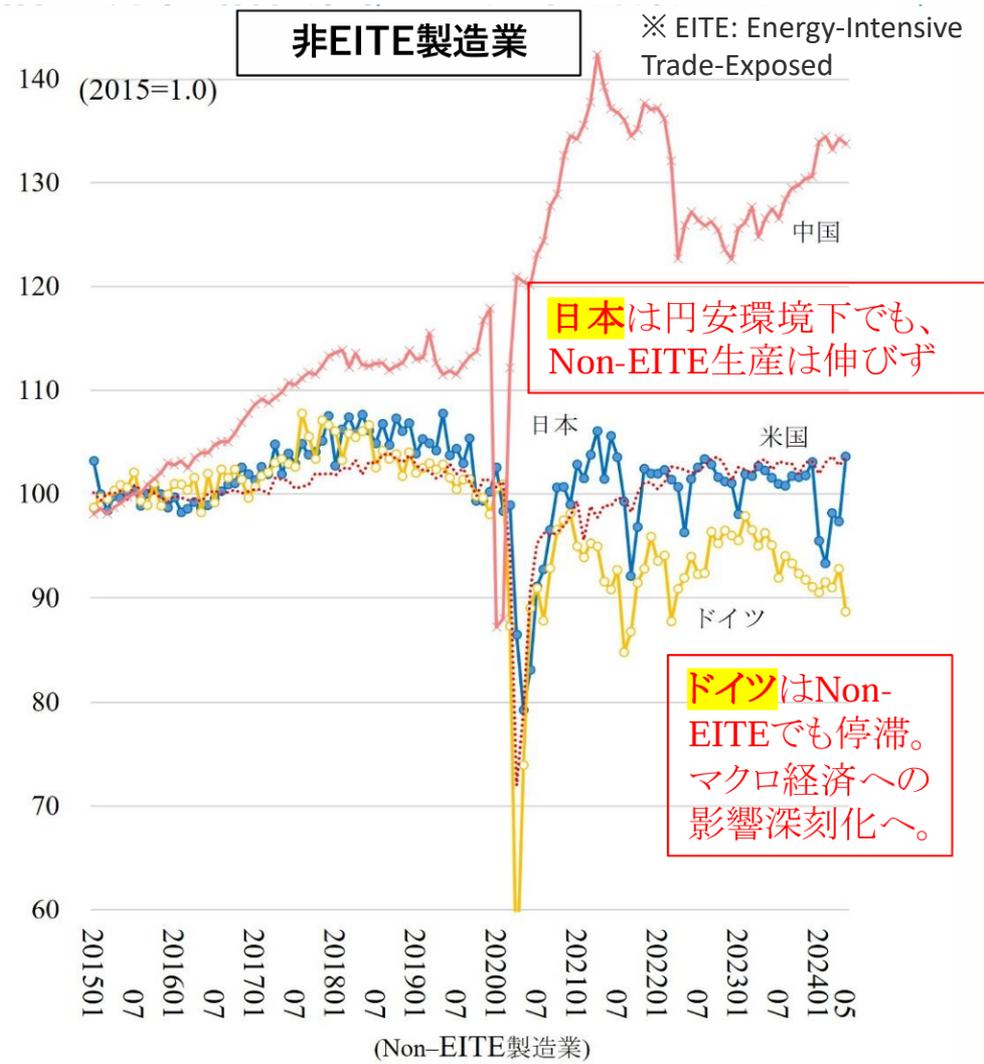


✓ NDCsの達成に向けて、主要先進国でも順調に排出削減が進んでいるわけではない。

✓ なお、日本は「オントラック」とは説明がなされているものの・・・



日独米中の集計生産指数—産業のリーケージ—



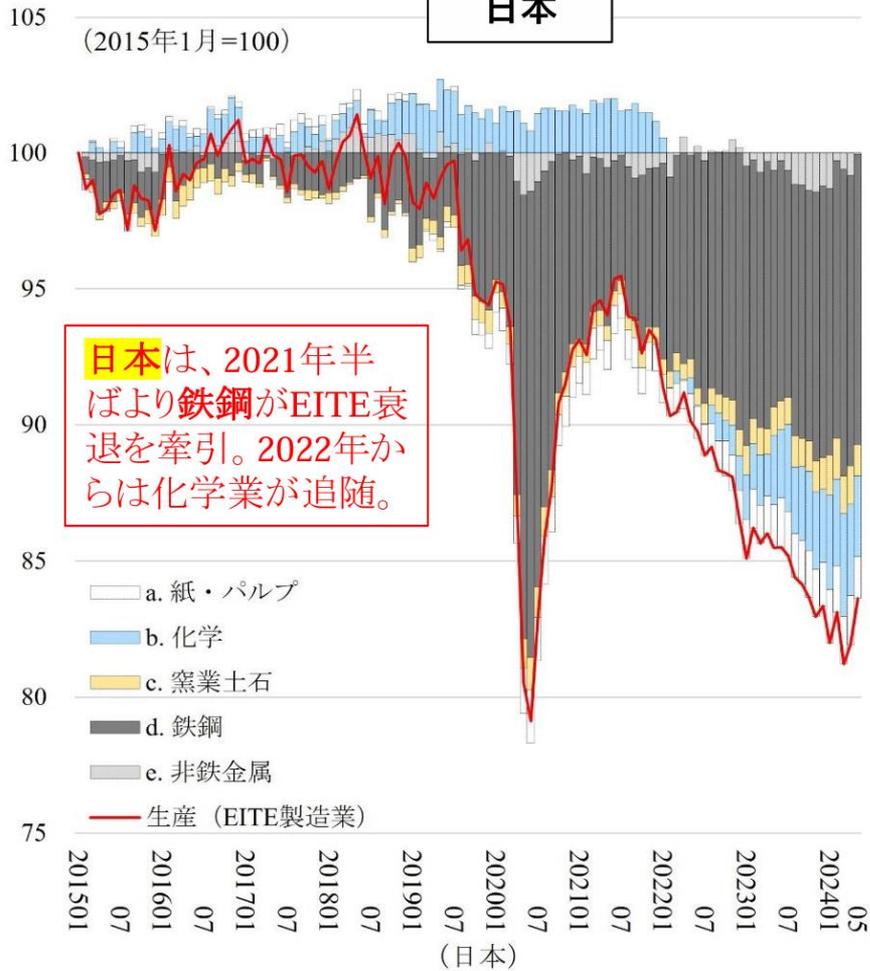
エネルギーコスト・モニタリング (ECM) ECM_JPN_202407 © 2024 慶應義塾大学産業研究所 野村研究室

単位：2015年値 = 100。出典：ECM_JPN_202407 (慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表)。測定の詳細はNomura and Inaba (2024) "Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries," RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.

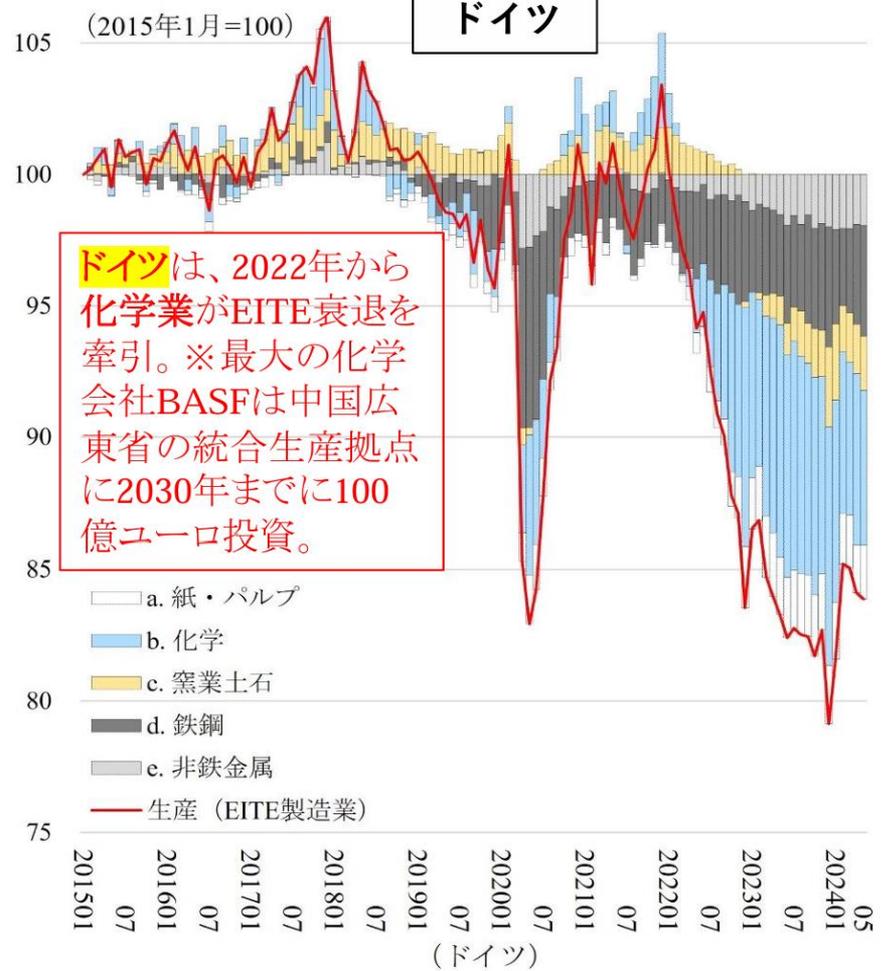
出典) 野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

日独のEITE製造業生産と部門別寄与度

日本



ドイツ



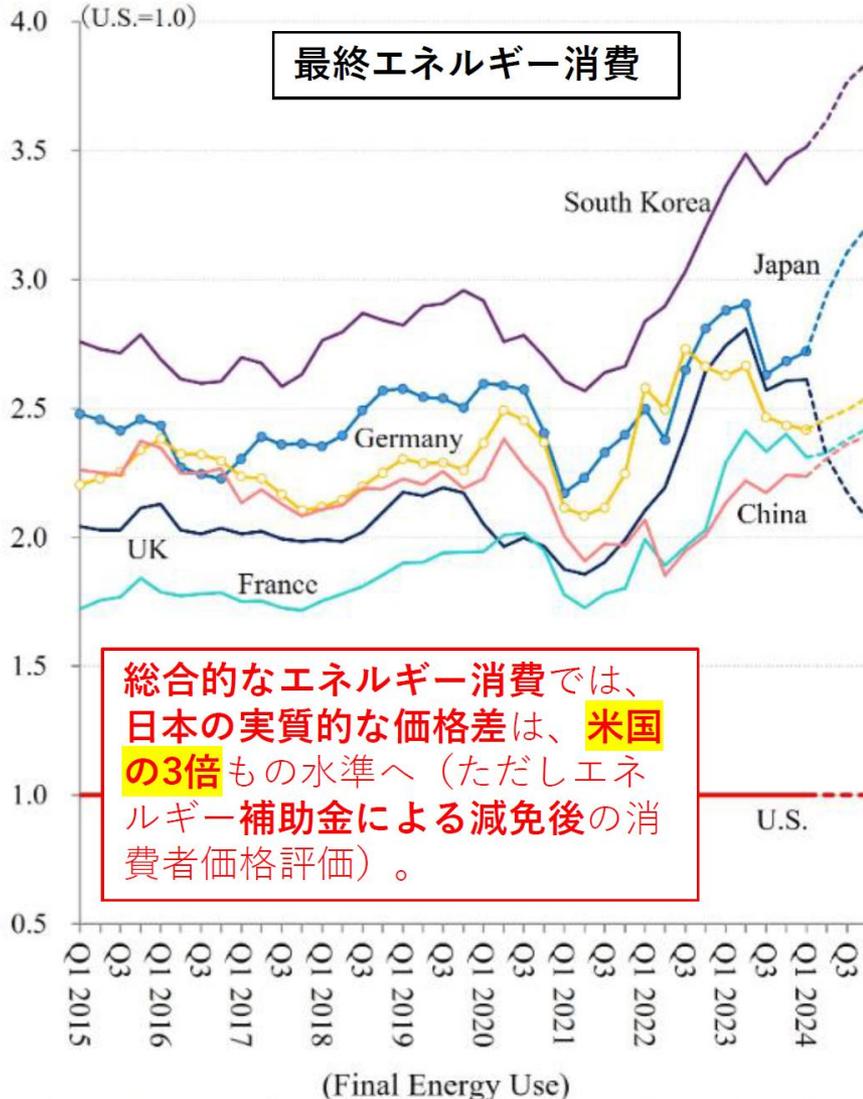
エネルギーコスト・モニタリング (ECM) ECM_JPN_202407 © 2024 慶應義塾大学産業研究所 野村研究室

単位：2015年1月値 = 100。出典：ECM_JPN_202407 (慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表)。測定の詳細はNomura and Inaba (2024) "Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries," RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.

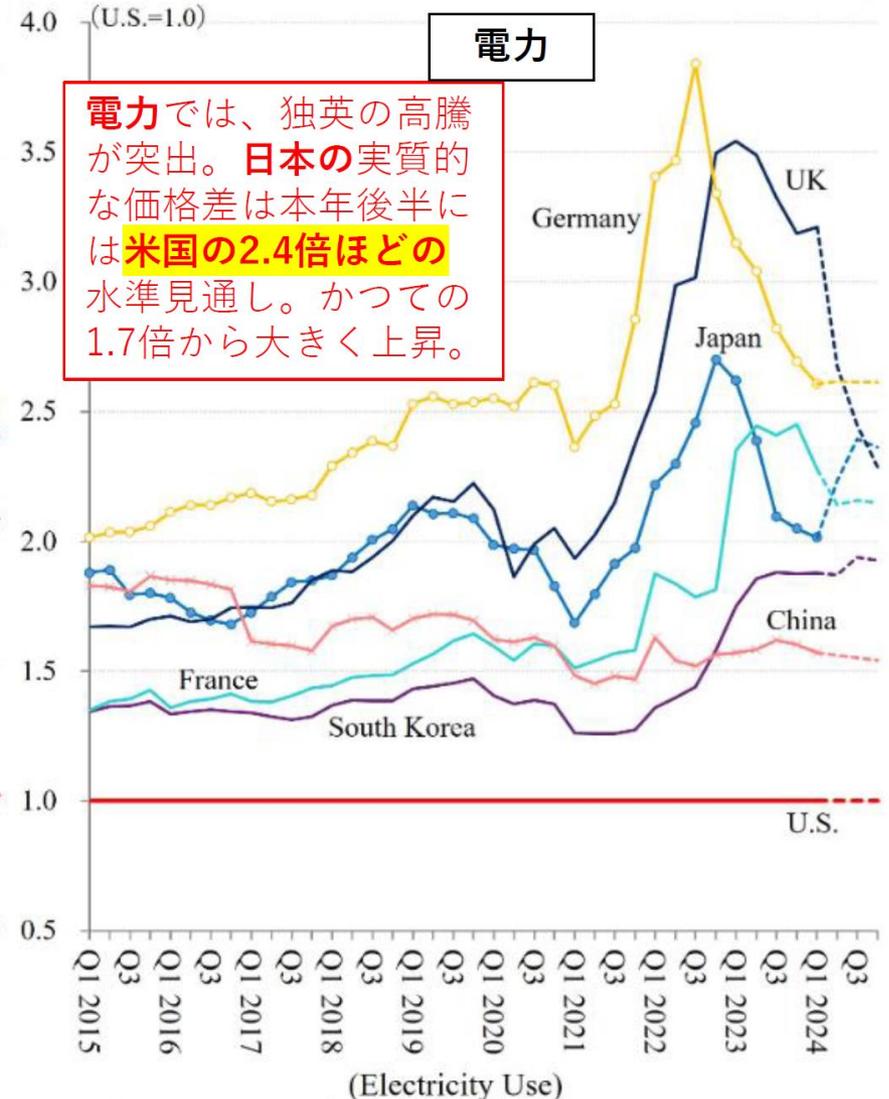
出典) 野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

Real PLI: 実質的なエネルギーの価格の国際格差

※ Real Price Level Index



総合的なエネルギー消費では、日本の実質的な価格差は、**米国の3倍**もの水準へ（ただしエネルギー補助金による減免後の消費者価格評価）。



電力では、独英の高騰が突出。**日本の実質的な価格差は本年後半には米国の2.4倍ほどの水準見通し。かつての1.7倍から大きく上昇。**

鉄鋼関連の記事

(Slay News 2022年10月23日

<https://slaynews.com/news/worlds-largest-steel-manufacturer-warns-crisis-plants-shut-down/>)

ドイツBASF社関連の記事

(SOTT.net 2022年10月27日

<https://www.sott.net/article/473656-Worlds-largest-chemical-company-to-leave-Europe-permanently-due-to-energy-costs-and-over-regulation-plans-to-expand-in-China>)

フォード、ボルボ、フォルクスワーゲン関連の記事

(読売新聞オンライン 2024年8月22日、
2024年9月3日、2024年9月4日

<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20240822-OYT1T50088/>

<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20240904-OYT1T50184/>

<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20240903-OYT1T50034/>

<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20240903-OYT1T50190/>)

蛇足ながら・・・

2021年のRITEシンポ(東京)にて、BEVだけが費用効果的ではなく、PHEV等も含め、多様な道筋の重要性を指摘提示

革新的環境技術シンポジウム
2021年12月1日

2050年カーボンニュートラルに向けた道筋
ーエネルギー供給と道路交通部門の
システム的な対策のあり方ー

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)
システム研究グループ グループリーダー
秋元 圭吾



査読論文も2022年に公表



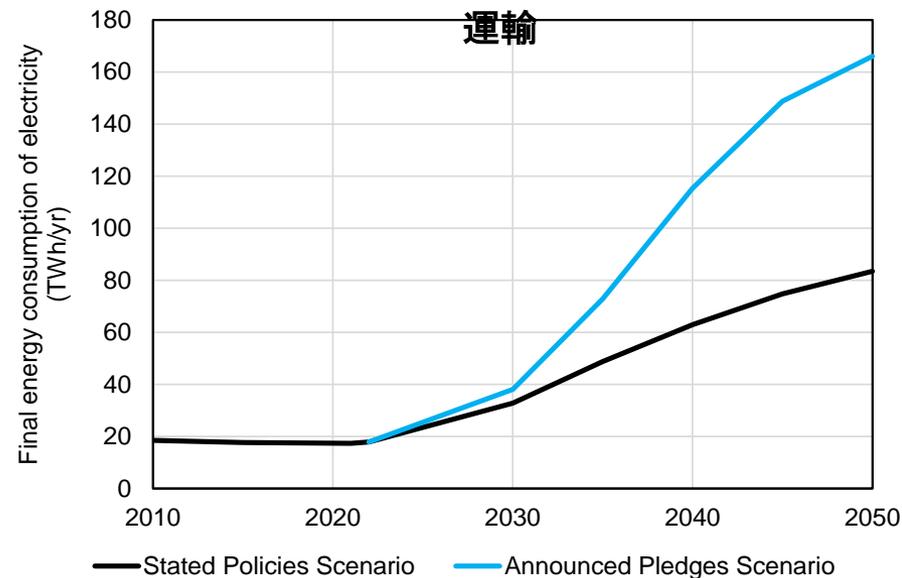
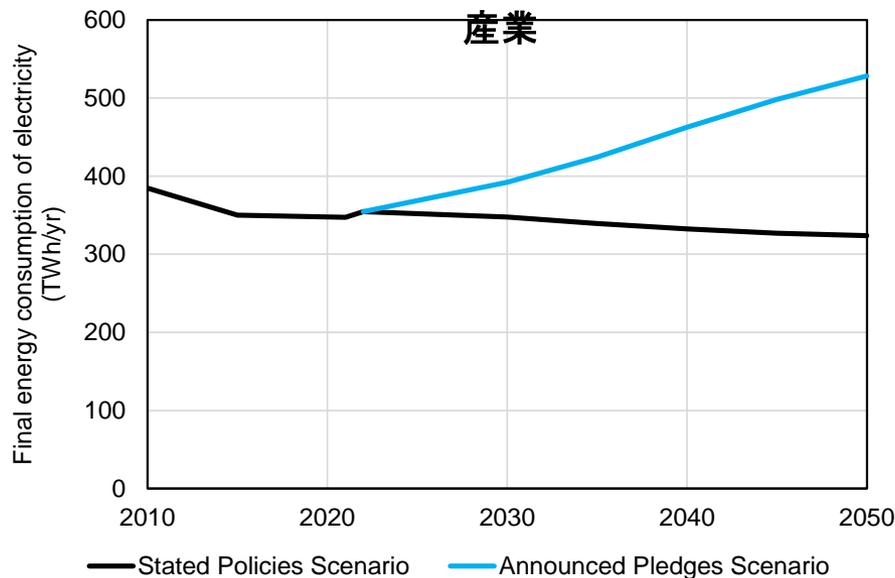
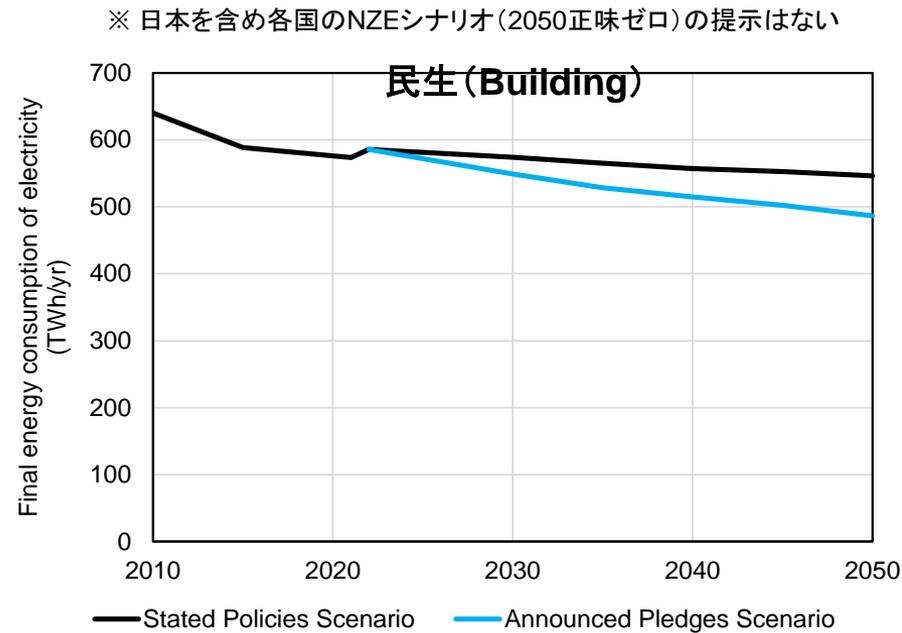
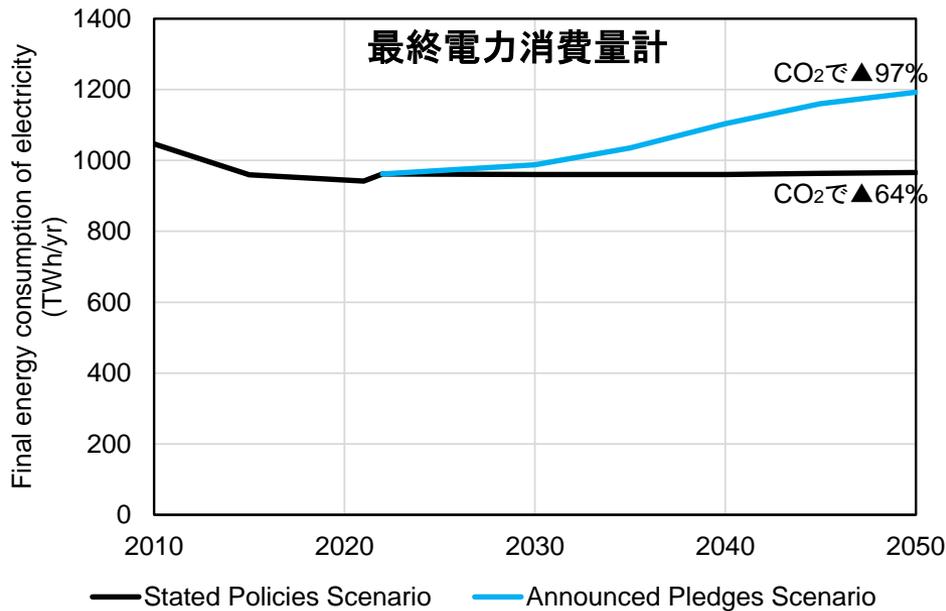
Transportation Research Part D: Transport
and Environment
Volume 112, November 2022, 103487



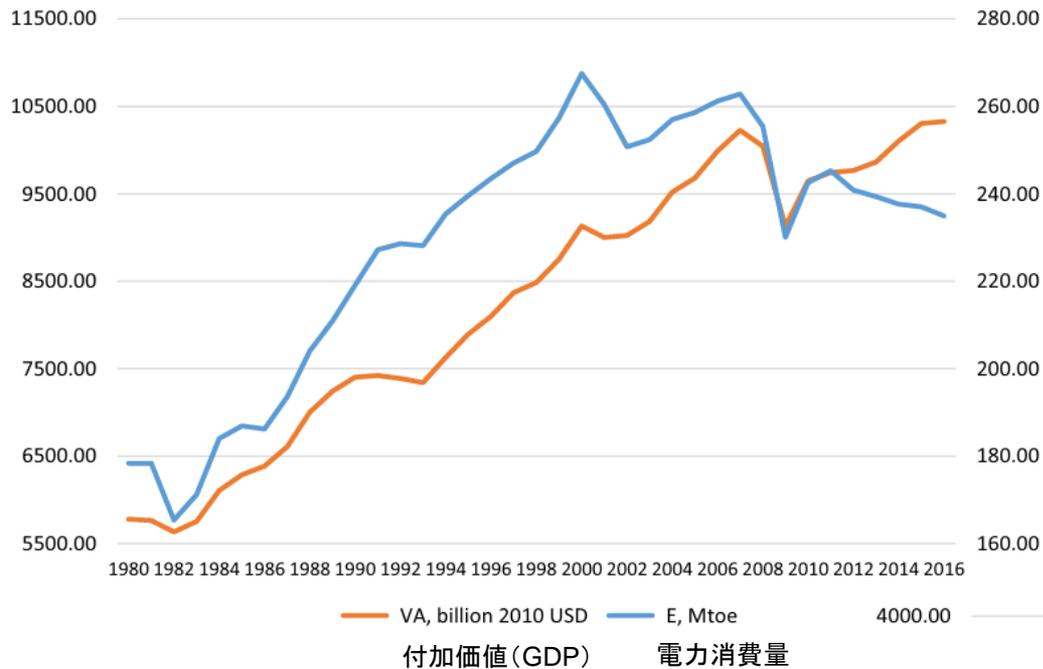
Assessment of comprehensive energy
systems for achieving carbon
neutrality in road transport

Keigo Akimoto 秋元 圭吾, Fuminori Sano, Yuko Nakano

CO₂削減に伴う電化：日本の見通し (IEA World Energy Outlook 2023)

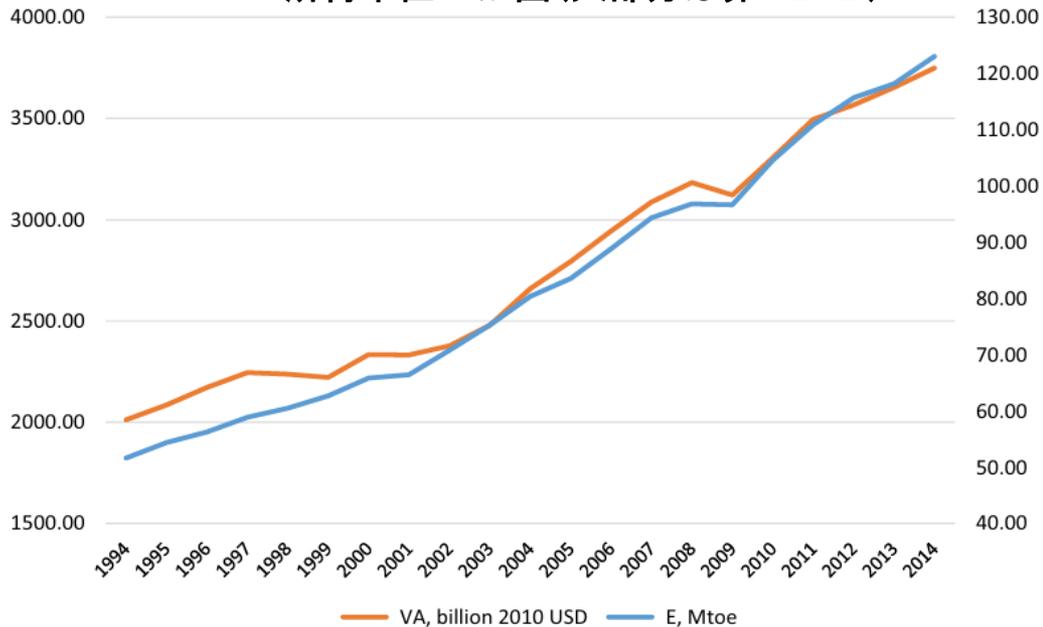


GDPと電力消費量の関係：所得による地域分類別



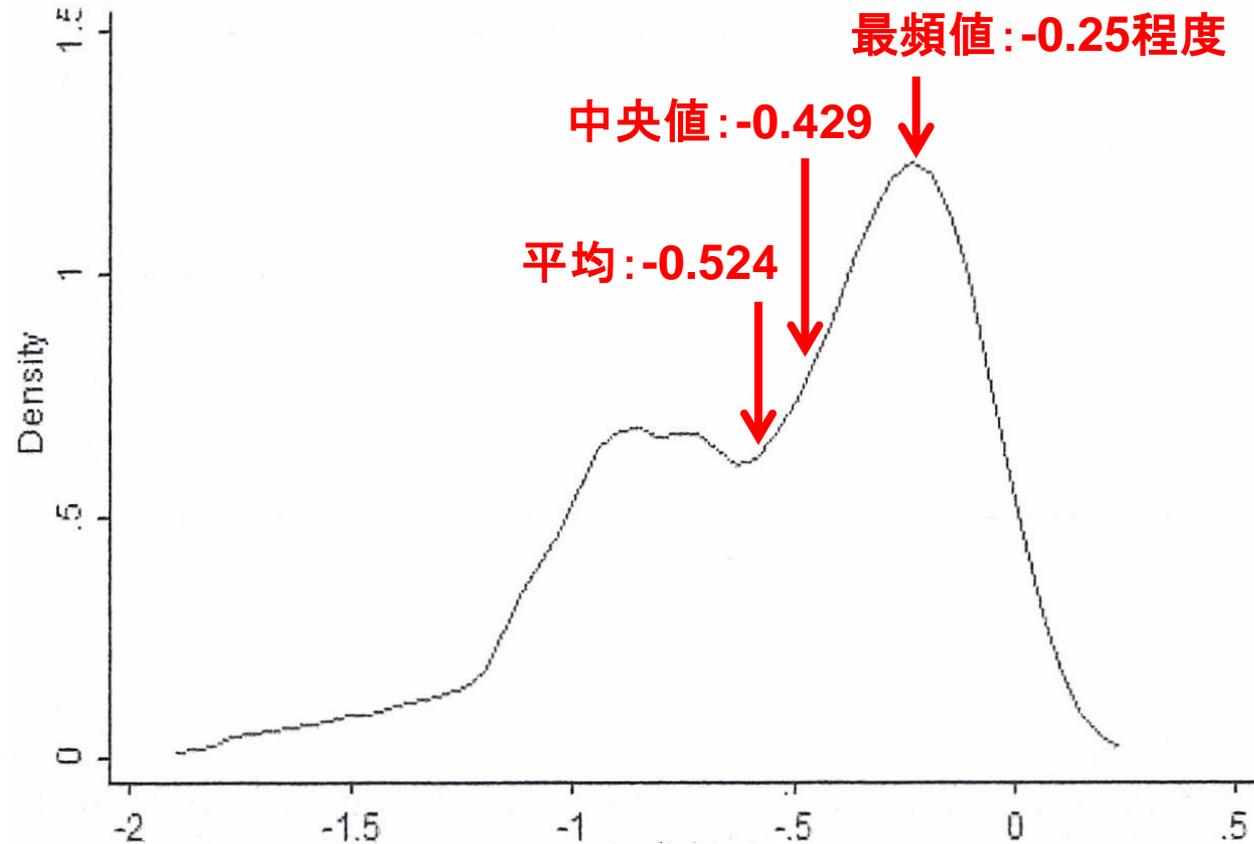
Brantley Liddle et al., Empirical Economics (2022)

所得中位30か国(大部分は非OECD)



- 先進国では強い正の関係性は見られなくなっている。GDP弾性はマイナス
- 他方、中位所得国は、GDPと電力消費量に強い正の相関関係あり

95%タイル推計の分布(1990~2016年に報告された959推計)



X. Labanderian et al. (2017)

- 価格弾性値の推計は、既往文献で大きな幅がある。

EUの電力消費量の価格弾性値の推計例

Between estimates of residential electricity consumption 1996-2016

	(1)	(2)	(3)	(4)
Dependent variable: Ln Household Electricity Consumption per capita	Residential	Residential	Residential	Residential
	BE	BE	IV	IV
Ln Sectoral Electricity Price (real)	-0.56* (0.31)	-0.75** (0.32)	-0.55* (0.31)	-0.76** (0.32)
Ln GDP per capita (real)	0.61** (0.24)	0.22 (0.29)	0.61** (0.24)	0.20 (0.29)
Ln Population Density	-0.15* (0.09)	-0.10 (0.09)	-0.15* (0.09)	-0.10 (0.08)
Temperatures	-0.00 (0.02)	-0.03 (0.02)	0.00 (0.02)	-0.03 (0.02)
Precipitation	-0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Ln Environmental Tax Share of GDP	0.64*** (0.21)	0.42* (0.22)	0.63*** (0.21)	0.41* (0.21)
Ln Sectoral Electricity Price (real) *Transition Economies		0.09 (0.65)		0.13 (0.65)
Transition Economies		-0.38 (1.32)		-0.30 (1.31)
Ln Sectoral Electricity price in Transition Economies		-0.66		-0.62
R2	0.650	0.725	0.646	0.724
Number of observations	513	513	487	487

First stage: Instrumented variable: Ln Electricity Price, Instrument: Lagged Ln Electricity Price.

Note: ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1 Standard errors are in parentheses. Constants are not reported. The [Stock and Yogo \(2005\)](#) test statistic for 10% maximal IV size is 16.38, for 15% maximal IV size is 8.96, for 20% maximal IV size is 6.66 and for 25% maximal IV size is 5.53 The F-statistic on the first stage instrument in Model (3) is 4737.50 and in Model (4) is 4580. The instrument passes the [Stock and Yogo \(2005\)](#) test for weak identification. Models 1 and 3 present residential price elasticities for the entire EU, while Models 2 and 4 present the long-run price elasticities for old and new member states.

Between estimates of industrial electricity consumption 1996-2016

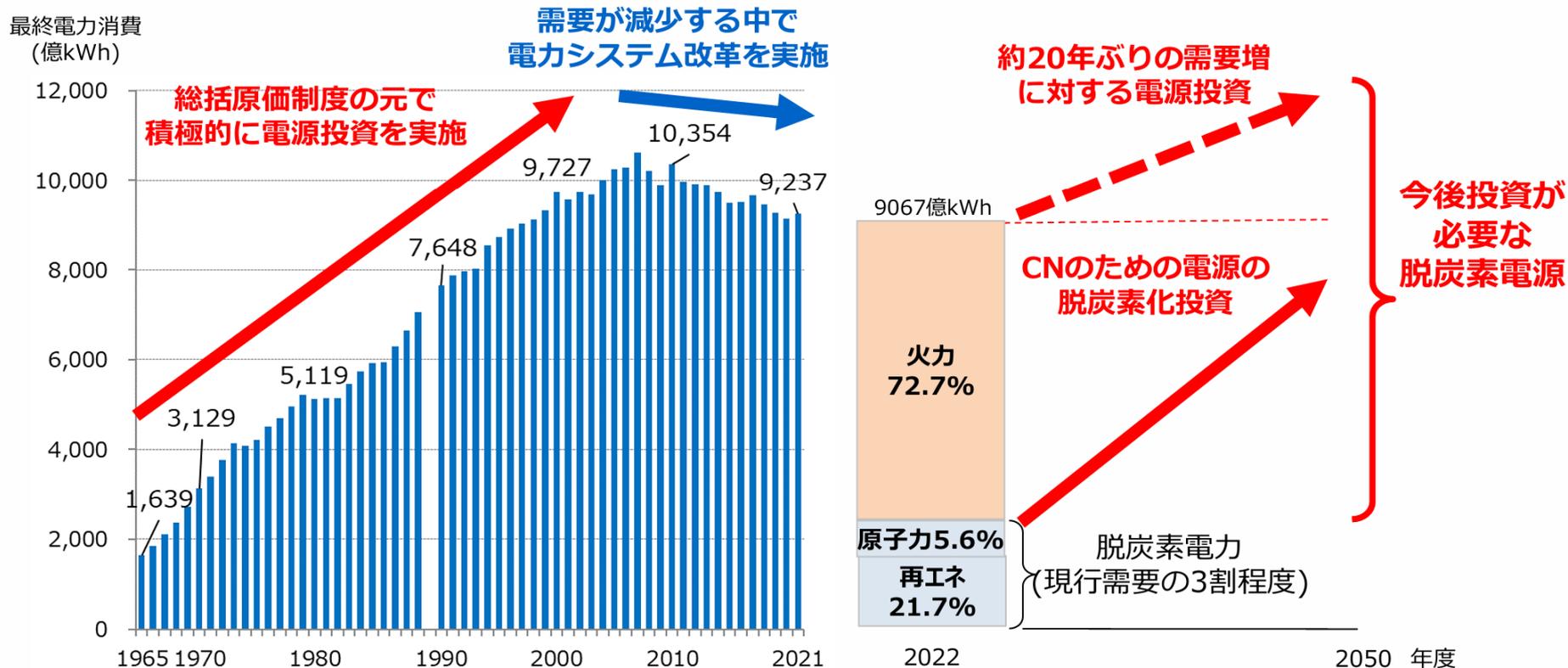
	(1)	(2)	(3)	(4)
Dependent variable: Ln Industrial Electricity Consumption per capita	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial
	BE	BE	IV	IV
Ln Sectoral Electricity Price (real)	-1.01*** (0.35)	-1.14*** (0.40)	-0.97*** (0.34)	-1.12*** (0.39)
Ln GDP per capita (real)	1.07*** (0.25)	0.98*** (0.35)	1.08*** (0.25)	0.99*** (0.36)
Ln Population Density	0.13 (0.11)	0.13 (0.11)	0.12 (0.10)	0.12 (0.11)
Temperatures	-0.07*** (0.02)	-0.07** (0.03)	-0.07*** (0.02)	-0.07** (0.03)
Precipitation	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)
Ln Environmental Tax Share of GDP	0.20 (0.24)	0.22 (0.30)	0.17 (0.24)	0.21 (0.30)
Ln Sectoral Electricity Price (real) *Transition Economies		0.74 (0.89)		0.80 (0.89)
Transition Economies		1.57 (1.99)		1.69 (1.99)
Ln Sectoral Electricity price in Transition Economies		-0.40		-0.32
R2	0.778	0.786	0.779	0.787
Number of observations	504	504	477	477

First stage: Instrumented variable: Ln Electricity Price, Instrument: Lagged Ln Electricity Price.

Note: ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1 Standard errors are in parentheses. Constants are not reported. The [Stock and Yogo \(2005\)](#) test statistic for 10% maximal IV size is 16.38, for 15% maximal IV size is 8.96, for 20% maximal IV size is 6.66 and for 25% maximal IV size is 5.53. The F-statistic on the first stage instrument in Model (3) is 5113 and in Model (4) is 4850. The instrument passes the [Stock and Yogo \(2005\)](#) test for weak identification. Models 1 and 3 present industrial price elasticities for the entire EU, while Models 2 and 4 present the long-run price elasticities for old and new member states.

IT需要による電力需要変化の兆し

- 半導体工場の新規立地、データセンター需要に伴い、国内の電力需要が約20年ぶりに増加していく見通し。2050CNに向けた脱炭素化とあいまって、大規模な電源投資が必要な時代に突入。これまでの電力システム改革時には必ずしも想定されていなかった状況変化が生じている。
- 脱炭素電源の供給力を抜本的に強化しなければ、脱炭素時代における電力の安定供給の見通しは不透明に。
※電力広域的運営推進機関は、2024年度から29年度にかけて電力需要が年率0.6%程度で増加する見通しを公表（2024年1月）。



(出所) 総合エネルギー統計

出典) 政府資料(2024)

① エネルギー・電力多消費産業の経済活動量の低下

- 途上国への移転の形で、先進国で過去観測されてきた。
- 国際的なCO₂限界削減費用(炭素価格)差(もしくは、エネルギーの相対価格差)が大きい場合、より一層海外への移転が誘発される恐れ有。結果、国内のエネルギー・電力需要量低下

② IT需要による電力需要増

- 計算インスタンスの大幅な増加はあったものの、従来は省電力の効果が大きく、これまでの電力需要量の伸びへの寄与は軽微
- 生成AI等、計算インスタンスは今後より一層増大する可能性がある一方、省電力効果は飽和的になっていく可能性も有
- 他方、海外との相対的な電力価格が高い場合、海外での需要増となる一方、国内需要増は抑制的となる可能性も

③ CO₂排出削減の強化に伴う電化の促進

- 電化の傾向は続いてきていたが、これまでは、CO₂排出削減の強化に伴う電化ではなく、その上昇も緩やかであった。
- 2050年CNなど、排出削減の加速が求められる中での電力需要量の展望は？
- 他方、公式的な排出削減目標と現実的な排出削減とはギャップが大きく、そのギャップも踏まえた上での、電化の促進度合いも理解しておく必要有

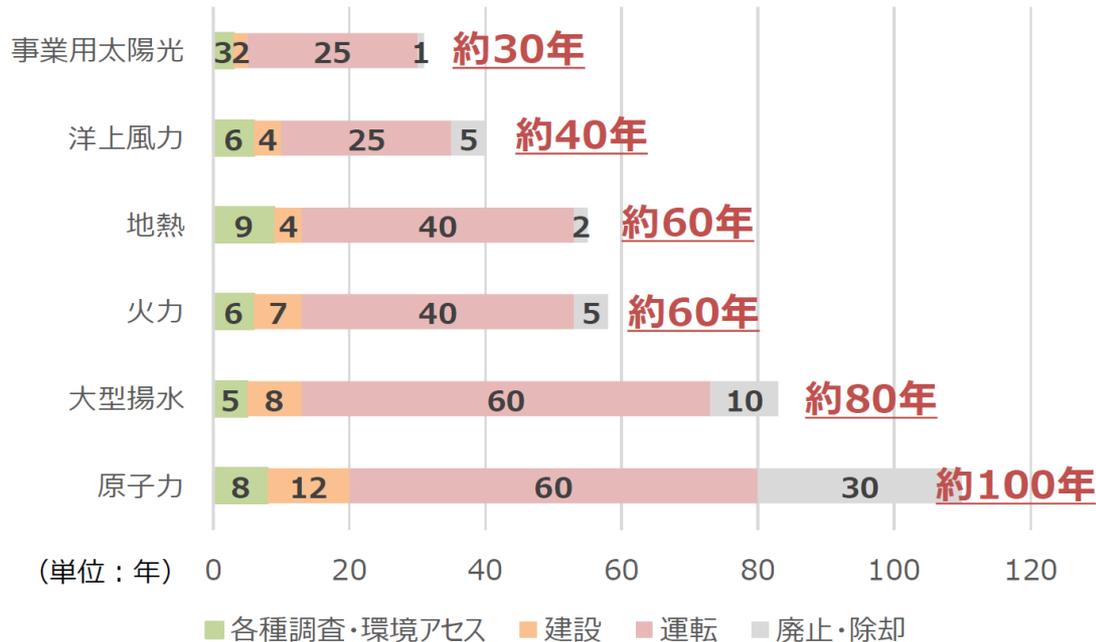
北海道でのデータセンター増設の記事

(日本経済新聞 2024年9月5日

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOFC1361Q0T10C24A8000000/>)

電源による建設、事業期間の違い

脱炭素電源の総事業期間（イメージ）



⇒ 脱炭素電源の事業期間は、最大約100年以上に及ぶ長期的なものであり、事業者の予見可能性を高めるには、市場環境の整備の検討とともに、事業期間中の収入・費用の変動に対応した支援策を検討する必要がある。

(出所) 電力・ガス基本政策小委資料やFIT/FIP制度の運転開始期限の年数などを基に作成

出典) GX実行会議資料 (2024)

- エネルギー需要と供給の時間軸の違いを理解した上で、アフォーダブルな価格、安定的なエネルギー・電力供給を行って、好循環を生み出すことが重要
- 電源種によって、特徴が異なっており、電源の特徴を踏まえた政策措置が必要

2. 2050年に向けた日本の電力需給 分析例

※ GX実行会議 GX専門家WG(2024年8月9日)に提示した分析



温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

(Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数:約1千万個、制約条件:約1千万本)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2100年(代表時点:2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、原油・各種石油製品・e-fuels、天然ガス・e-メタン、電力、エタノール、水素、アンモニア、CO₂(ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている)
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO₂回収・利用・貯留技術(CCUS)を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。その他産業や民生においてCGSの明示的考慮
- ◆ 国際海運、国際航空についても、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 500程度の技術を具体的にモデル化、設備寿命も考慮
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

- 地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが統合的に評価可能
- 非CO₂ GHGについては、別途、米EPAの技術・コストポテンシャル推計を基にしてRITEで開発したモデルを利用

これまで様々なエネルギー・気候変動政策の政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

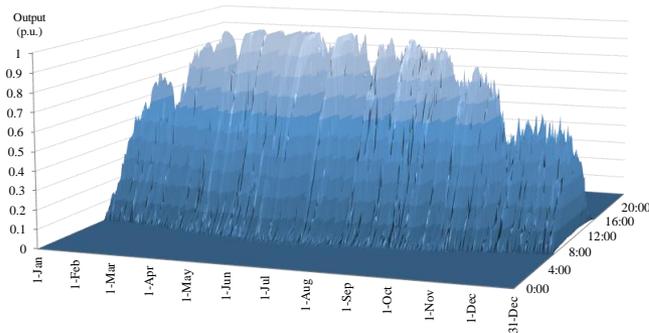
統合費用の想定：東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果を活用

- ◆ DNE21+モデルは世界モデルであるため、国内の電力系統や再エネの国内での地域偏在性を考慮した分析は難しい。そこで系統対策費用については、別途、東京大学藤井・小宮山研究室および日本エネルギー経済研究所による最適電源構成モデルによる、変動性再生可能エネルギーが大量に導入された場合の電力システム費用の上昇分（統合費用）を推計結果を活用
- ◆ 全国のAMeDASデータ等をもとに変動性再生可能エネルギーの出力の時間変動をモデル化し、線形計画法によって電力部門の最適な設備構成（発電設備及び蓄電システム）及び年間の運用を推計
- ◆ 今回は日本全体を5地域（北海道、東北、東京、九州、その他）に区分し、1時間刻みのモデル化により計算を実施。発電コストや資源制約などの前提条件はDNE21+の想定に合わせて設定

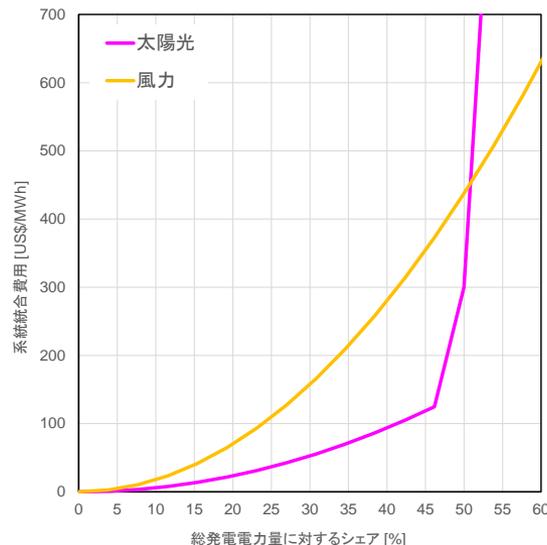
モデル計算で考慮されているもの・・・出力抑制、電力貯蔵システム（揚水発電、リチウムイオン電池、水素貯蔵）、発電設備の利用率低下、地域間連系線、貯蔵や送電に伴う電力ロス

モデル計算で考慮されていないもの・・・地内送電線、配電網、回転慣性の低下の影響、EVによる系統電力貯蔵、再生可能エネルギー出力の予測誤差、曇天・無風の稀頻度リスクなど

東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果から近似した系統統合費用
 =DNE21+で想定した系統統合費用の想定（各導入シェア実現時の**限界費用**）



太陽光発電の出力例



- VRE比率が高まると、**限界統合費用は比較的急速に上昇傾向有**。これは、既にVREが大量に導入されている状況で更に導入を進める場合、曇天・無風状態が数日以上継続するリスクに対応するため、利用頻度の低い蓄電システムや送電線を保持することが必要となることによる。
- 例えば、再エネ比率50%程度（太陽光約400TWh、風力約100TWh）のケースにおいては、蓄電池導入量は最適化計算の結果、**870GWh**、再エネ100%程度（VRE56%）のケースでは**3980GWh**程度となる。（足下導入量約10GWh程度）

データセンター需要増シナリオのモデル想定と論拠

Masanet et al., や Koot et al., Base scenario的シナリオ

Koot et al., Combined scenario (median)的シナリオ

	低位ケース		高位ケース	
	世界	日本	世界	日本
2016年 (全電力消費量) データセンター分	286 TWh/yr (25,000 TWh/yr) 1.15%	21 TWh/yr (1,050 TWh/yr) 2%(想定)	286 TWh/yr	21 TWh/yr 2%(想定)
2030年	(+0.8 %/yr)		(+4.9 %/yr)	
	321 TWh/yr	24 TWh/yr	566 TWh/yr	42 TWh/yr
2050年	年上昇率一定 (+0.8 %/yr)		年上昇率一定 (+4.9 %/yr)	
	377 TWh/yr	28 TWh/yr	1497 TWh/yr	110 TWh/yr

高位ケースでの追加電力需要: **+83 TWh/yr**

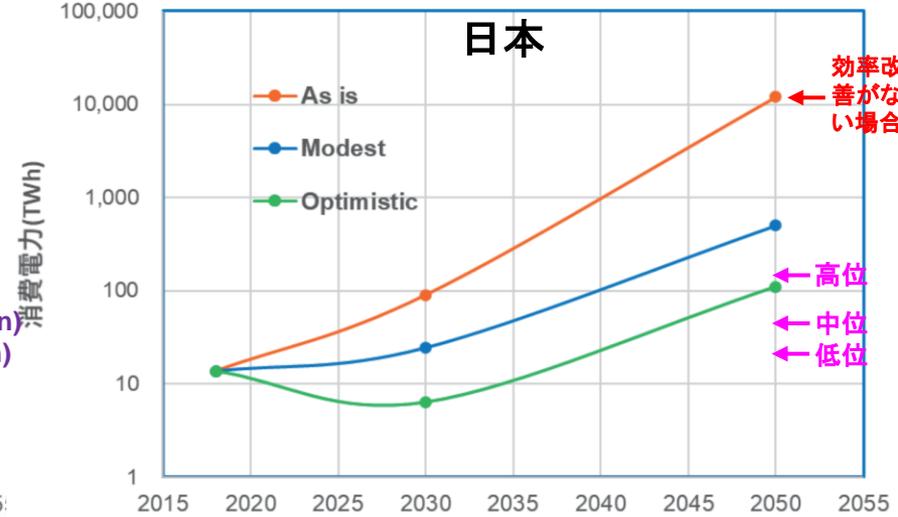
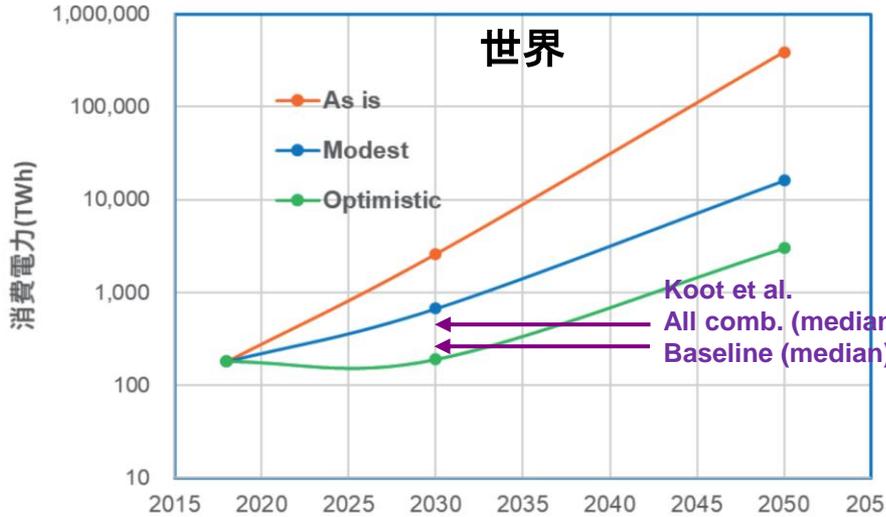
※ 中位ケースは年上昇率を高位ケースの半分と想定

【参考】JST (2022) LCS-FY2021-PP-01 における推計

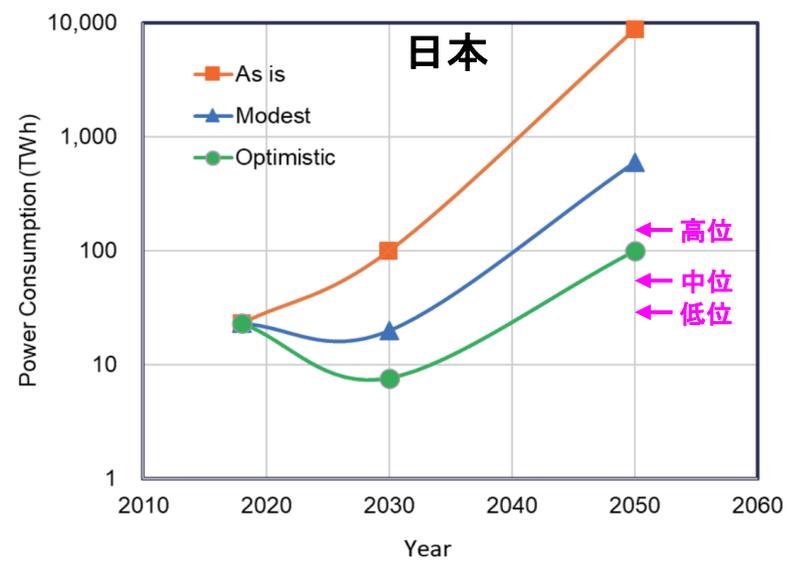
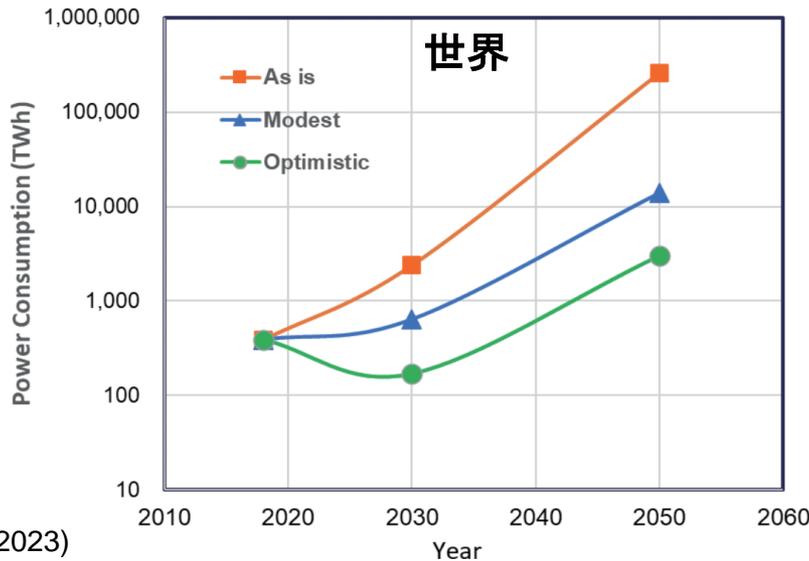
	Optimisticケース		Modestケース	
	世界	日本	世界	日本
2030年	190 TWh/yr	6 TWh/yr	670 TWh/yr	24 TWh/yr
2050年	3000 TWh/yr	110 TWh/yr	16000 TWh/yr	500 TWh/yr

データセンター・ネットワークの電力消費の増大の見通し

データセンター電力需要

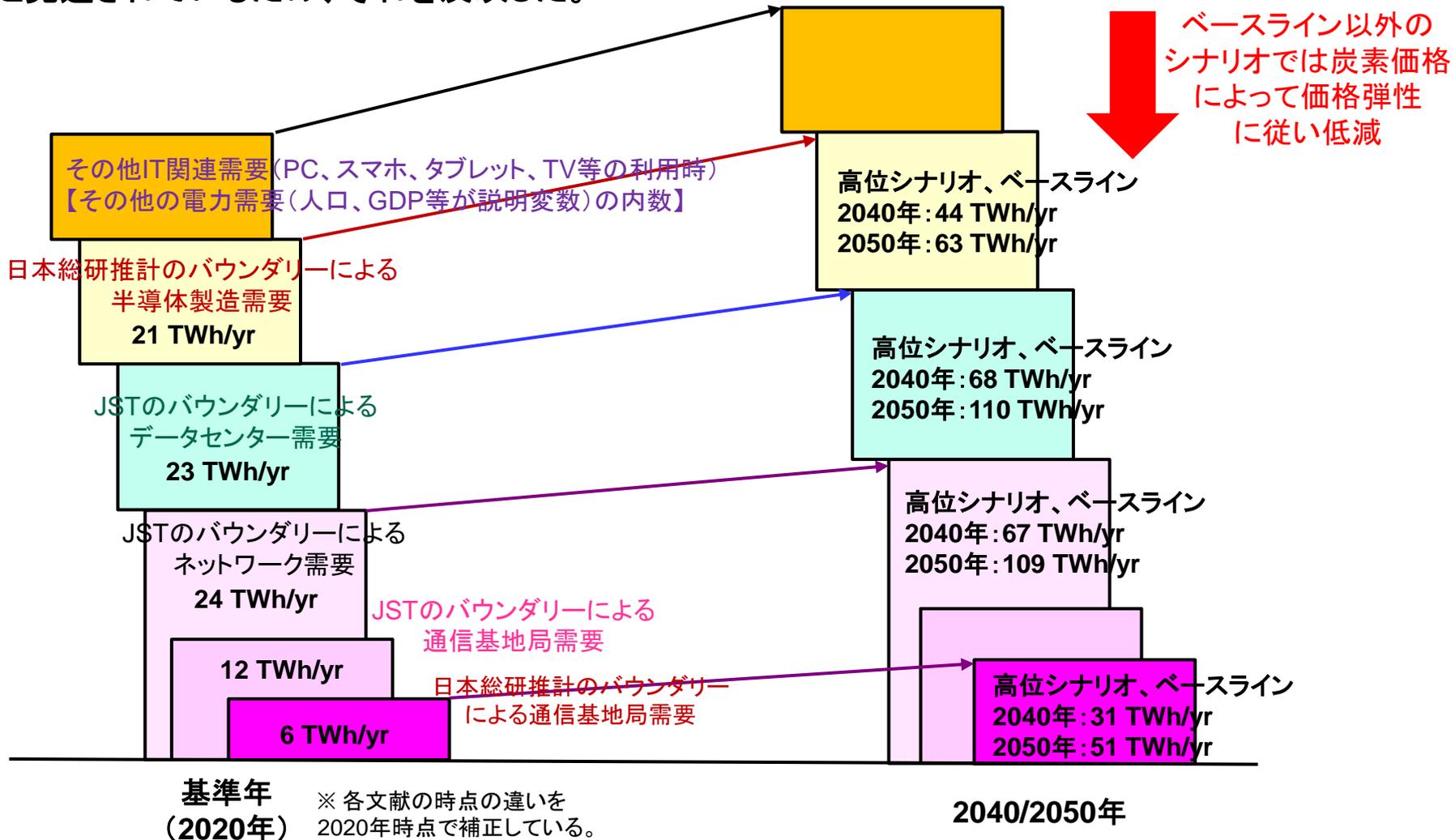


情報通信ネットワーク(ルーター・無線基地局)電力需要



IT関連の需要想定：高位シナリオ

- ◆ とりわけネットワーク需要内のバウンダリーは、文献毎で異なっていて不明瞭なところがある。本分析では、以下のように区分し、各需要を想定した。
- ◆ 通信キャリア基地局の電力需要の伸びが、その他の通信ネットワーク関連需要の伸びよりも大きいと見通されているため、それを反映した。



エネルギー需要・経済影響分析の手法

日本: 成長実現ケース
GDP想定 = 実質1.7%/年相当

世界他国: 中位的な社会経済
シナリオ想定 SSP2想定

統合的なエネルギー需要・基礎素材生産量等

世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+で費用最小化のエネルギーシステムとコスト推計

成長実現シナリオ

低成長シナリオ

世界での相対的な
エネルギー価格差: 小
+ 低価格弾性

世界各国のCO₂限界
削減費用

世界での相対的な
エネルギー価格差: 大
+ 高価格弾性

世界エネルギー経済モデルDEARS
で各産業の生産量低下を推計
(過去の長期における弾性値を
踏まえた均衡解を導出)

欧州等で近年観測されている高い
エネルギー価格弾性値を採用。
RAS法により、部門間の均衡解を導出。
GDPの低下、各産業の生産量低下を推計

日本の低炭素・脱炭素技術の
海外市場獲得効果を加算

DNE21+で再計算

DNE21+で再計算

成長実現シナリオの
経済展望

成長実現シナリオの
エネルギー需要量

低成長シナリオの
エネルギー需要量

低成長シナリオの
経済展望

想定シナリオ

シナリオ	潜在的 経済成長	GHG排出 削減制約	エネルギー 供給技術の 技術進展・ 技術普及水 準	データセンター等 IT需要		自動車	鉄鋼	鉄鋼・化学・ 自動車等の 生産量の展 望：炭素価 格による生 産量低下
	所得効果、 人口・なり ゆき産業 構造変化 等	GHG排出 削減によっ て誘発され る炭素価格		潜在的需 要(外生)	価格弾性 による効 果(内生)	【EV】 中位 コスト低減 加速	水素DRI 普及速 度	
成長実現 シナリオ	内閣府「成 長実現ケー ス」	世界全体で 1.5°C目標、 日本NDC+ 2050年CN	高位 (相対的エネ ルギー価格の 差異：小)	高位	高位需要	コスト低減 加速	高位 (2050年： 普及上限 制約無)	小 (中弾性 (DEARS))
低成長 シナリオ			低位 (相対的エネ ルギー価格の 差異：大)	中位	低位需要	中位	中位	大 (高弾性+ RAS法)

※ 比較参照として、特段のGHG排出削減を想定せず、エネルギーシステムコスト最小化の「ベースライン」(CO2限界削減費用ゼロ)も推計

- 「成長実現シナリオ」は、エネルギー供給・需要側技術ともに、技術革新が広範に進展。技術普及障壁も小さい。結果、国際的な相対的エネルギー価格も比較的低廉。DXの進展も広範に起こる。海外への産業移転は少なく、結果、価格弾性値は長期の傾向に沿ったものに。
- 「低成長シナリオ」は、現状延長線上の技術進展。技術普及障壁も比較的大。DX進展も中庸。結果、脱炭素・低炭素エネルギー資源にハンディキャップが大きい日本は、国際的な相対的エネルギー価格は高い状況
- 引き続き、エネルギー関連技術の技術進展・普及障壁の想定の様々な差異による分析は検討課題

- DNE21+では、原則的には、エネルギー価格上昇による需要低減効果は内生的に計算される。
- しかしながら、エネルギー多消費産業の生産量（粗鋼生産量、エチレン生産量等）については、国別に外生的に想定を行っており、相対的なエネルギー価格変化に伴う、国際的な産業の移転については考慮できない。相対的な価格差が小さい場合は、この扱いで大きな問題はないが、国間で相対的なエネルギー価格差が大きく生じる場合では、別途考慮が必要である。
- 先述のように、「成長実現シナリオ」では国際産業連関表GTAP9（基準年2011年）をベースとした一般均衡モデルDEARSモデルを利用して、生産量の低下を推計
- 「低成長シナリオ」では、最近の先進国でエネルギー多消費産業で見られる産業の海外移転を踏まえた、価格弾性値を反映した分析を実施。**所得弾性値1.0、価格弾性▲1.0と想定**した上で、産業部門間の均衡はKEO-RAS法を用いて推計
- エネルギー多消費産業の生産量を上記の「成長実現シナリオ」と「低成長シナリオ」別に推計。DNE21+での想定生産量を修正して、再計算し、エネルギー需要を推計（p.30参照）

世界エネルギー経済モデルDEARS

(Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors)

- ◆ トップダウン型経済モジュールとボトムアップ型エネルギーシステムモジュールの統合モデル
- ◆ 動的非線形最適化モデル(世界全体の消費効用最大化)
- ◆ モデル対象期間: 21世紀中頃まで(最適化時点間隔 10年)
- ◆ 世界地域分割: 18地域分割
- ◆ 非エネルギー産業分類: 16分類(貿易は輸入財・国内財の代替性を考慮[アーミントン構造])
- ◆ エネルギー分類: IEA統計に基づき、一次エネルギー8種、二次エネルギー4種。(IEA統計の鉄鋼部門のエネルギー消費のバウンダリーの修正。)
- ◆ GTAP (Global Trade Analysis Project) モデル・データベースに基づく、貿易マトリックスを含む国際産業関連構造を明示した経済モジュール
- ◆ 簡略化ながら、ボトムアップ化したエネルギーシステムモジュール
 - ✓ ボトムアップ的にエネルギー供給技術(発電技術等)、CO₂回収・貯留技術をモデル化
 - ✓ 一次エネルギー供給: 8種類をモデル化(石炭、原油、天然ガス、水力・地熱、風力、太陽光、バイオマス、原子力)
 - ✓ トップダウン的にエネルギー需要サイドをモデル化(家計: エネルギー価格・所得弾性、産業・運輸: エネルギー価格弾性、これらはすべて経済モジュールとリンク)
 - ✓ 最終エネルギー消費: 4種類をモデル化(固体燃料、液体燃料、気体燃料、電力)

政府のエネルギー・環境会議選択肢の経済分析等にも活用された。

- T. Homma & K. Akimoto(2013), "Analysis of Japan's energy and environment strategy after the Fukushima nuclear plant accident", *Energy Policy* 62, 1216–1225
- 本間他(2020)、現状の気候・エネルギー政策を考慮した、パリ協定国別貢献における国際競争力に関する分析、*エネルギー・資源*、41-5

- 「成長実現シナリオ」は、世界に先行して低炭素・脱炭素技術の開発、実証、商用化が進展し、各種技術のコスト低減等が加速する世界観である。
- 他方、DEARSモデルは国際産業連関表をベースにモデルが構成されているが、分割された部門内において、日本の環境に優れた技術の比率が高いことが考慮できず、世界への低炭素・脱炭素技術の展開に伴う経済効果は含まれない。そこで、この効果を考慮するため「海外での排出削減対策の設備投資額増に伴う日本製品の輸出増分」を別途推計

【推計手順】

- (1) DNE21+モデルから「成長実現シナリオ」で推計された、世界における低炭素・脱炭素技術の設備費を整理
- (2) 日本の各種機器の輸出シェアを実績値を基に想定し、(1)を用いて、日本の設備・機器の海外での投資増を推計(なお、海外での工事費相当額として26%を想定し、日本の投資増分から除外)
- (3) (2)を、輸送機械産業[運輸関連技術の寄与]、電気機械産業[家電機器技術の寄与]、汎用機械産業[発電他、その他の技術の寄与]の3分類に整理
- (4) (3)を基に、産業連関表の波及効果分析(当該設備投資増加による2次効果まで考慮、2015年表[大分類]を利用)を用いて、GDPへの波及効果(誘発GDP)を推計

CO₂限界削減費用

	成長実現シナリオ		低成長シナリオ	
	2040	2050	2040	2050
日本	392	544	538	1032
米国	280	256	340	352
英国	304	367	382	477
EU	287	418	340	536
その他	280	256	340	344

単位: USD/tCO₂

注)一部の国抜粋表示

✓ 「成長実現シナリオ」では、技術開発・普及が進展すると想定。2050年CNIに向けて、相応のCO₂限界削減費用が推計されるが、それでも、他国との相対的な費用差は、技術開発・普及を保守的に想定した「低成長シナリオ」と比較すると小さい。

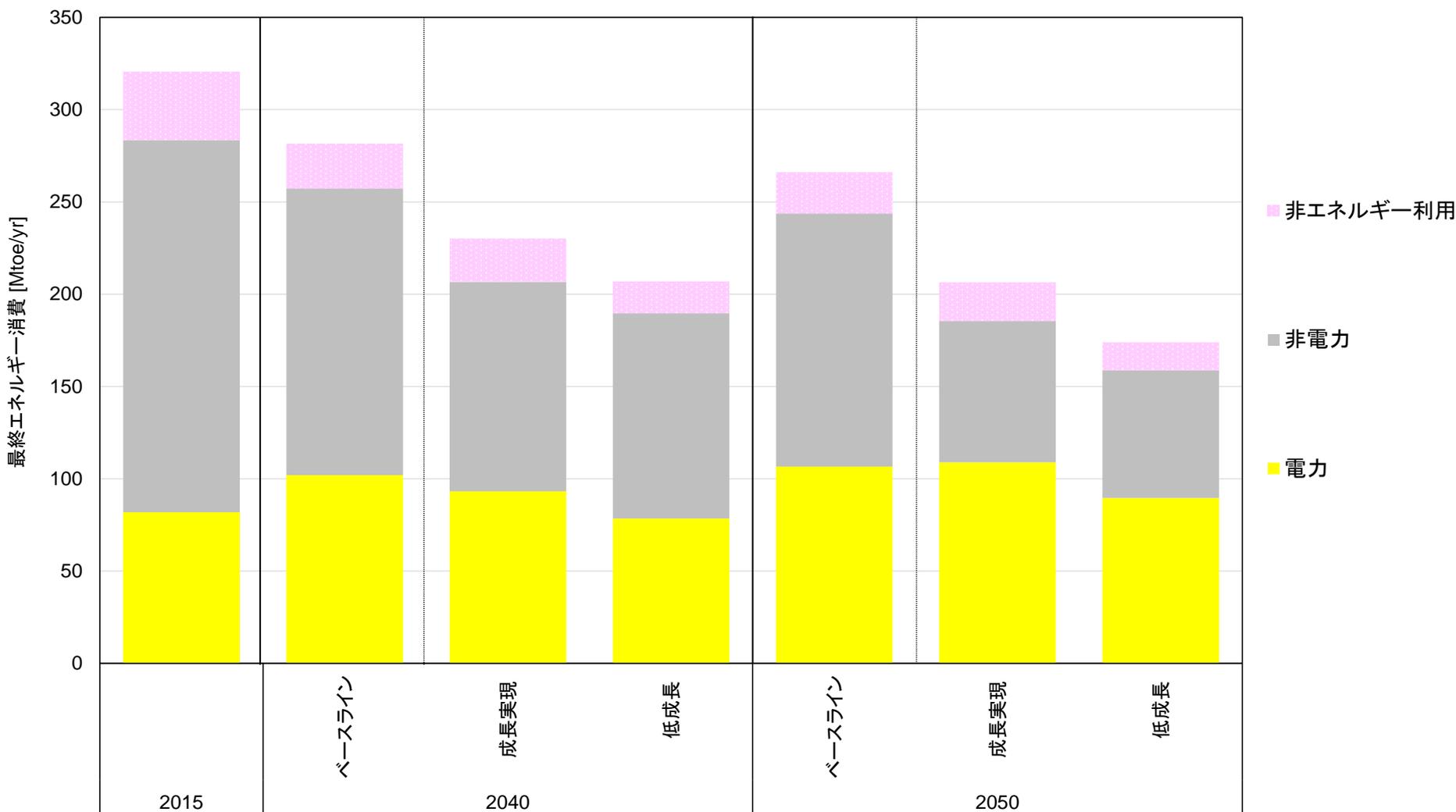
生産量・GDPの低下

ベースラインからの低減率	成長実現シナリオ (DEARS)		低成長シナリオ (価格弾性: ▲1.0、所得弾性: 1.0 + RAS法)	
	2040	2050	2040	2050
鉄鋼 (生産量 [億トン/年])	-6.9% (0.86)	-9.6% (0.85)	-41% (0.54)	-47% (0.50)
化学	-6.6%	-10.2%	-35%	-41%
窯業土石(セメント含)	-2.4%	-2.1%	-30%	-35%
非鉄金属	-1.9%	-1.9%	-35%	-41%
紙パ	-4.7%	-5.9%	-33%	-38%
輸送機械	-5.4%	-6.5%	-42%	-49%
GDP (CO2削減技術の海外市場獲得効果含まず)	-4.6%	-5.3%	-13%	-14%
GDP, GNI (海外市場獲得効果含む)	内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率を若干上回る水準 (海外市場獲得効果: +5%程度)		上記とほぼ同様 (海外市場獲得効果は期待できず)	
経済成長率: 2023年からの年成長率 ※ 人口低減見通しが含まれる	+1.1%/年	+0.7%/年	+0.5%/年	+0.3%/年

注) 気候変動による負の影響の緩和による便益は含んでいない。成長実現シナリオでは上記に追加的にGX⇒DXの正の経済効果もあり得る。

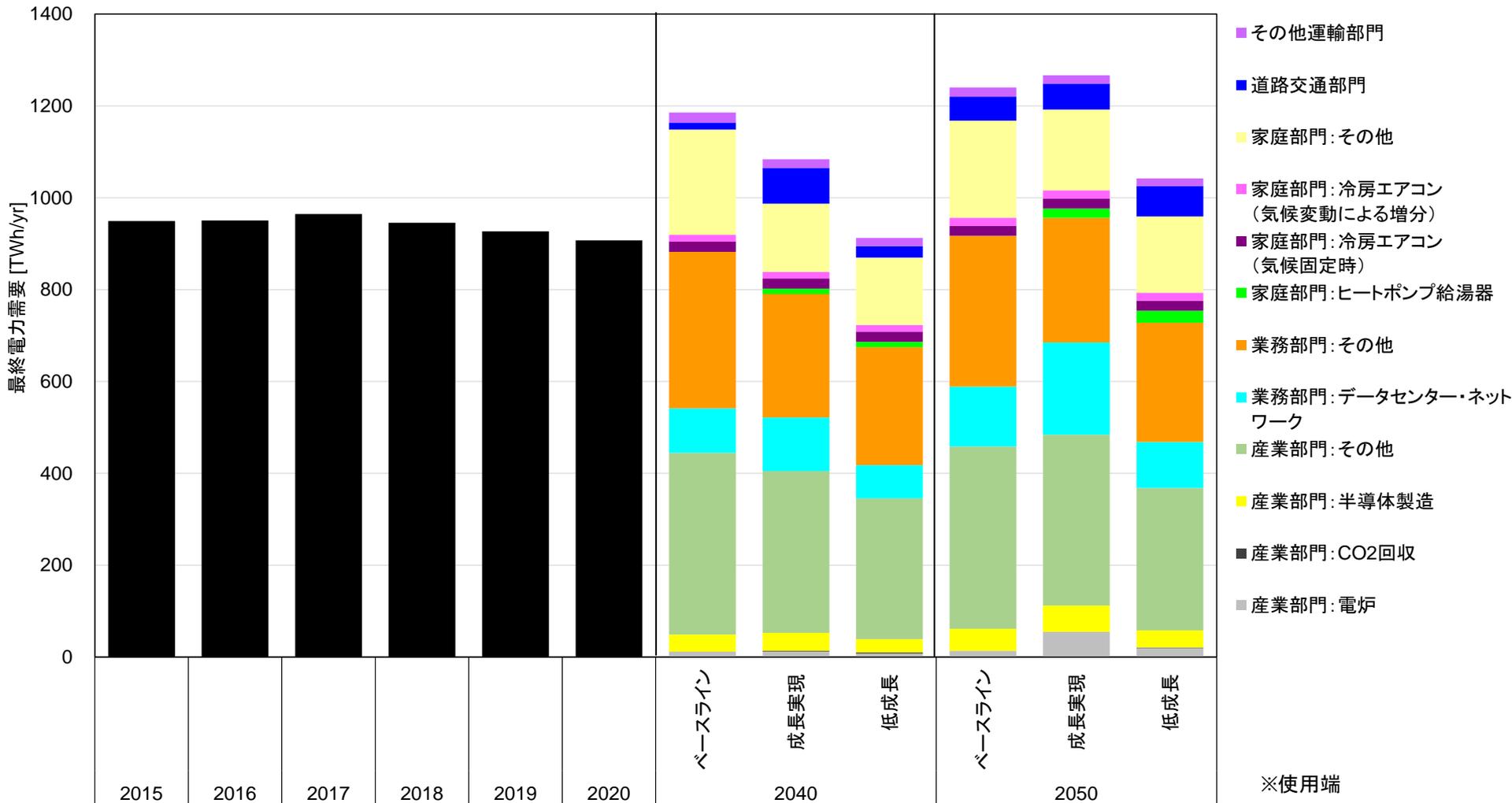
日本の相対的なエネルギー価格が高くなる「低成長シナリオ」では、経済成長率は低位。相対的なエネルギー価格差が小さい「成長実現シナリオ」では、排出削減対策の影響は相対的に小さく、CO2削減対策技術の国際的な優位性が加わることで、CNを実現しつつ内閣府の成長実現ケースの経済成長率(2040年まで1.0%/年)を若干上回る成長を達成

最終エネルギー消費量：電力・非電力・非エネルギー別



- ✓ 電力需要は増大、非電力需要は低下。「成長実現シナリオ」では電力需要は大きく増大
- ✓ とりわけ、「低成長シナリオ」では、経済成長が低く、電力需要、最終エネルギー消費量ともに相当抑制される。低経済成長によって、エネルギー需要が抑制され、CO2排出削減を実現

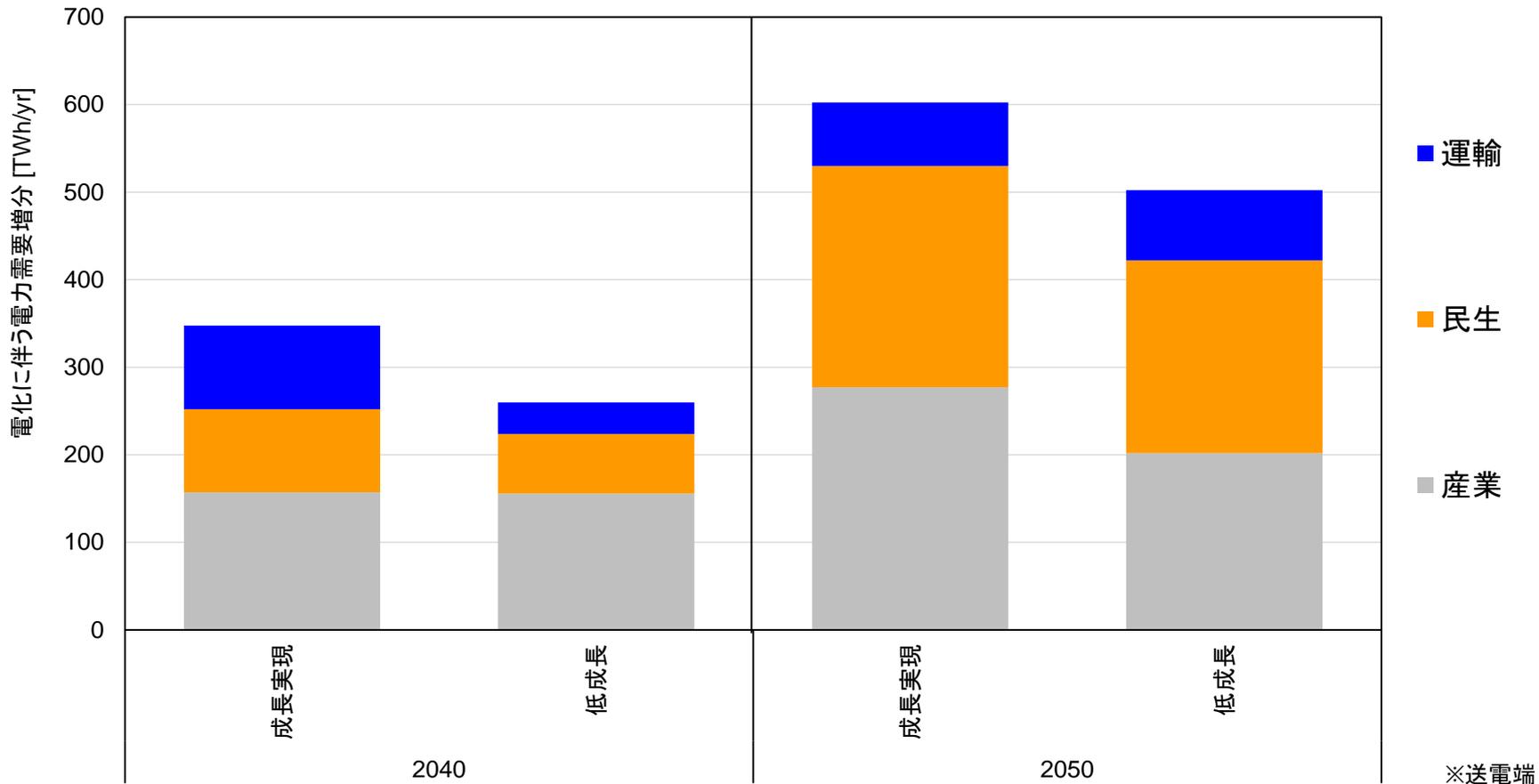
最終エネルギー消費量：部門別電力需要



- ✓ 「低成長シナリオ」では、2040年まで電力需要はほぼ横ばい。2050年では、CN達成のため電化が必要で若干の需要増。ただし、エネルギー多消費産業は国外流出
- ✓ 「成長実現シナリオ」では、高経済成長とともに、IT需要増、海外との相対的な電力価格差も小さく、電力需要は大きく増大

電化に伴う電力需要増分

【定義】電化に伴う電力需要増分 = 基準年(2019年)比での電化率の上昇分 × 最終エネルギー消費量



- ✓ 大幅なCO₂排出削減に向けて、すべての部門における電化の進展は重要であり、これに伴う電力需要の増大も大きい。
- ✓ ただし、1.5℃目標の実現可能性は高くない。国際的な相対的エネルギー価格を調和させようとした場合の現実的な電化の水準の認識も他方で必要

An aerial photograph of a cityscape. In the foreground, there is a large, well-maintained green golf course with several trees. A road curves through the middle ground, separating the golf course from a residential or commercial area. In the background, there are several tall, modern skyscrapers and other buildings, suggesting a dense urban environment. The sky is clear and blue.

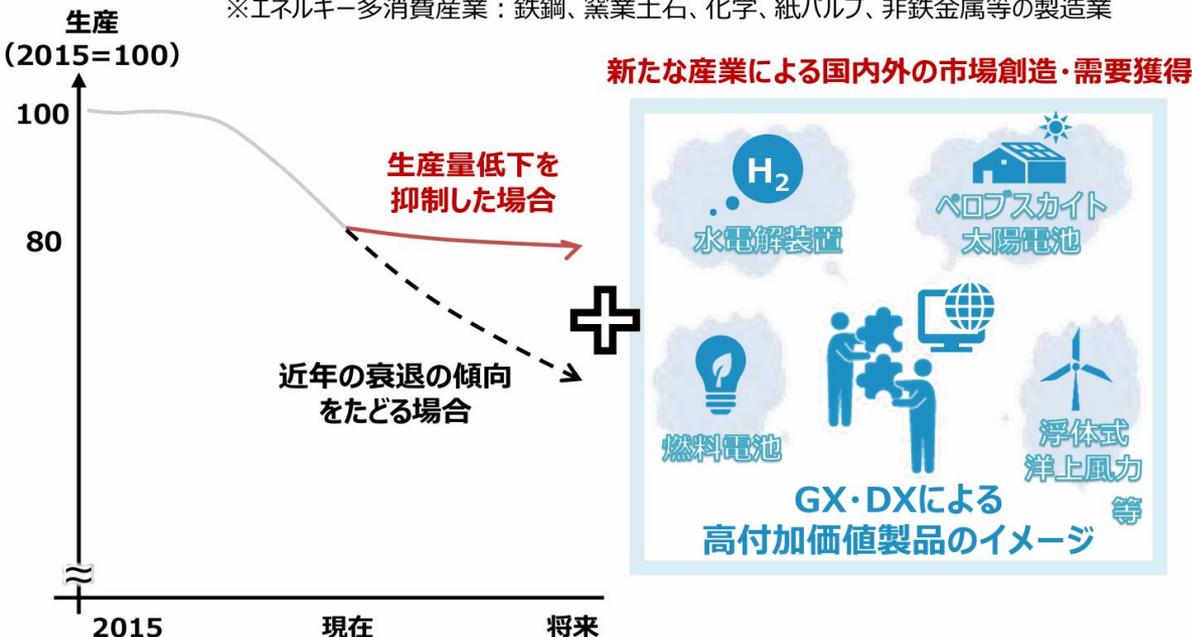
3. まとめと政策展望

GX実行会議(8月27日)資料での整理

- NDC水準をパリ協定で示された1.5度目標と統合的な水準で維持し続けた場合においても、経済成長を実現していくためには、以下の状態を実現していく必要。
 - ① GX×DXなどによる技術革新を進展させ、海外との相対的なエネルギー価格差を縮小させる
 - ② 多排出産業の生産減少を国内需要減に伴う減少程度にとどめ、GX製品を含む日本の高付加価値製品による海外市場開拓を加速させる
- こうした前提が整わない状況において、脱炭素の取組のみを先行させれば、低成長に陥るリスクも高まる。
- 今後、こうした点も踏まえ、2040年を見通したエネルギー需給構造の議論を加速させる。

日本のエネルギー多消費産業の生産 (イメージ)

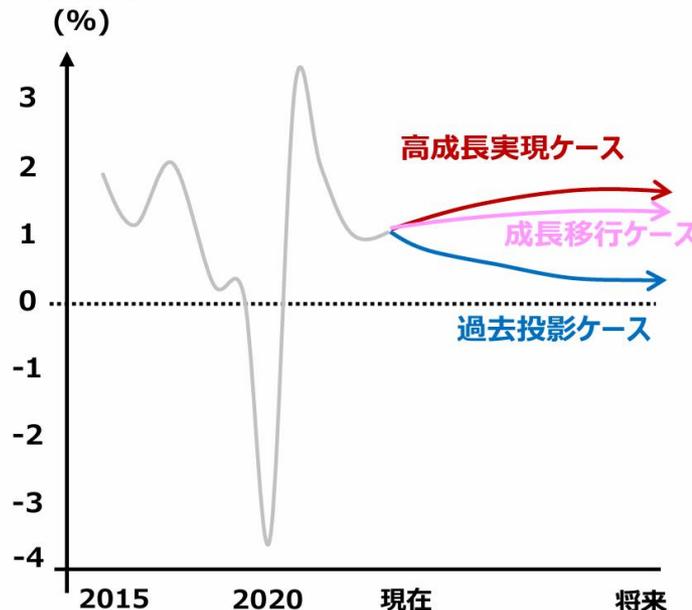
※エネルギー多消費産業：鉄鋼、窯業土石、化学、紙パルプ、非鉄金属等の製造業



- ▶ 日本が成長実現シナリオの軌道に乗るためには、エネルギー多消費産業の生産減衰を抑制し、さらに国内における新たな産業のサプライチェーンの構築と高付加価値製品の海外展開・市場獲得が重要である。

日本のGDP成長率の推移 (イメージ)

実質GDP成長率 (%)



- ▶ 将来の日本のGDP成長率の推移は、官民による重点領域への投資促進の如何によって、成長実現か低成長へと進むか道が分かれ得る。

- ◆ 電化促進効果も相まって、最終エネルギー需要量は低下が見込まれるが、IT関連の需要増と電化によって、電力需要量は大きく増大する可能性がある。「成長実現シナリオ」では、2040年1080、2050年1270 TWh/年程度の見通し
- ◆ 他方、海外との相対的なエネルギー価格が高い場合（「低成長シナリオ」）は、エネルギー多消費産業の国際的な競争力低下により、海外移転が進み、電力およびエネルギー需要量は低位に推移する可能性もある。このとき、経済成長も低位となる可能性が高い。
- ◆ なお、民間企業の投資は、リスク回避的になりやすいので、「低成長シナリオ」が実現しない予見性を高めることは政府の重要な役割。それが「経済と環境の好循環」を実現する上で必須条件
- ◆ ここで提示したシナリオは、世界で1.5°C未満の目標達成、また、米国を含め、主要先進国は2030年NDC、2050年CN実現を前提とした分析としている。しかし、その目標達成は相当難しいとの見方もある。仮に日本以外の国が、本分析で想定した目標を達成せず、日本のみが想定した排出削減目標を達成する場合には、日本と他国とのCO2限界削減費用の差異はここでの分析結果以上に大きくなり、産業の海外移転は一層進むこととなるため、ここで提示した「低成長シナリオ」を更に下回る結果となり得る。
- ◆ 逆に言えば、「成長実現シナリオ」は、海外との相対的なエネルギー価格が大きいことが前提であるため、このシナリオの経済成長実現においては、海外の状況に応じて、日本の排出削減目標も柔軟性を有した対応が必要
- ◆ 当面は、低排出な化石燃料としての天然ガスの活用は、比較的柔軟性がありバランスが良いことから、不確実性が大きいながら、潜在的に高まってきている電力需要に対する安定供給にとっても重要と考えられる。

付録

価格弾性値の推計比較

	DNE21+ の標準想定	DEARS (内生)	Hunt and Ninomiya (2005)	Otsuka (2024)	Al-Rabbai and Hunt (2006)	Nrayan et al. (2007)	Chang et al. (2019)	Labanderi an et al. (2017)	Liddle et al. (2022)	Csereklyei (2020)
対象国	全世界	日本/ EU/ OECD	日本	日本 (都道府 県別)	OECD	G7	先進国20 国	世界各国 (既往文献 428本の サーベイ)	高所得国	EU
推計期間		GTAP9 (2011)	1887-2001	1990- 2015	1960-2003	1978- 2003	1978- 2013	1990-2016 (文献年)	1978- 2016	1996-2016
全エネル ギー		-0.40~ -0.62	-0.2		-0.4	[民生] -1.45~ -1.563	-0.234 (別推計の 提示も有)	-0.52 (平均値)		
電力	[マクロ評 価の需要 (主にエネ 寡消費産 業,民生)] -0.3	-0.21~ -0.30		[産業] -0.25~ -0.74 [民生] -0.55~ -1.0				-0.37 (平均値)	-0.25~ -0.27	[産業] -0.75~ -1.01 [民生] -0.53~ -0.56
非電力	[マクロ評 価の需要 (主にエネ 寡消費産 業,民生)] -0.4	-0.56~ -0.60								
エネルギー 多消費	基本的に 内生	-0.36~ -0.70					-0.529			
エネルギー 寡消費	基本的に 外生(上記 どおり: -0.4~-0.3	-0.27~ -0.56					-0.299			

注)いずれも長期弾性値

「低成長シナリオ」推計の手順について

【手順1】

長期価格弾性値▲1.0の想定の下、最終エネルギー消費量を推計

【手順2】

1.で得られた**最終エネルギー消費量**（ベースラインと低成長シナリオ）と、想定所得弾性値（付加価値弾性値）、価格弾性値から、**付加価値**変化を算定

産業連関表の各項目の推計

			需要サイド							
			中間需要				最終消費	投資	輸出入	国内生産
			産業1	産業2	・・・	エネルギー				
供給サイド	中間投入	産業1								
		産業2								
		・・・								
		エネルギー								
	付加価値									
	国内生産									

【手順3】

KEO-RAS法*やDEARSモデル想定関数を活用しつつ、部門別**国内生産**変化や**輸出入**変化(他国との貿易価格の相対変化を考慮)などを算定。

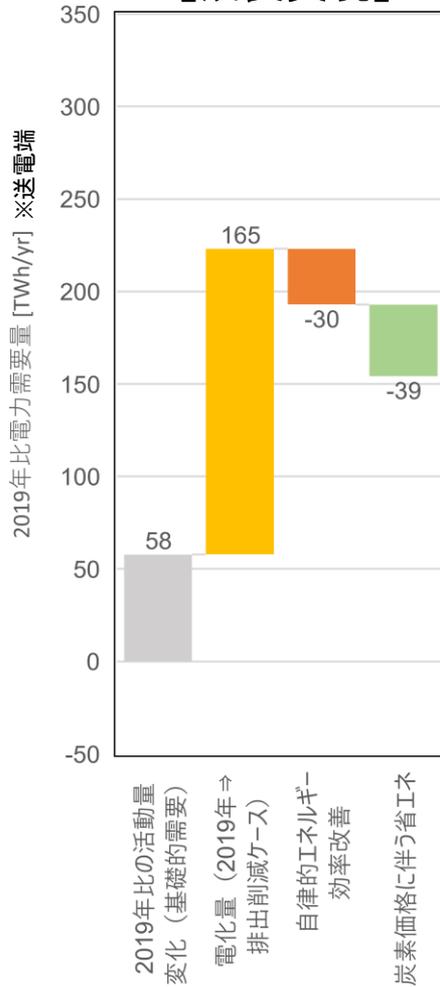
KEO-RAS法とは、未知の産業連関表を推計する最適化手法（黒田他, 1997）。産業連関表の中ですでに決定・推計されている数値を利用して、他の未知数を推定するための手法で、産業連関分析では伝統的によく用いられるRAS法（収束計算法）の近似解が得られる。最終的に得られた推計結果は、産業連関表の枠組みに基づき、各産業の需給が均衡している。

- 未知の産業連関表の行列A（産業×産業）に対して各行の比率（投入比率）及び各列の比率（配分比率）の残差自乗和を同時に最小化する最適化問題を解き、未知の変数が決定される。

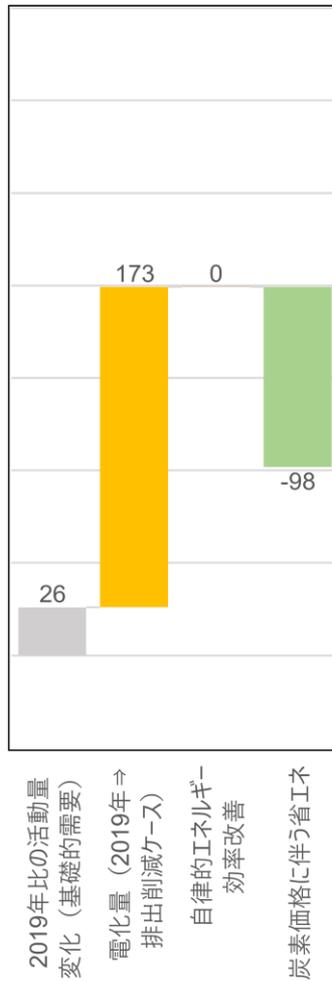
産業：基礎的需要、電化、省エネ（省電力）

2040年

【成長実現】

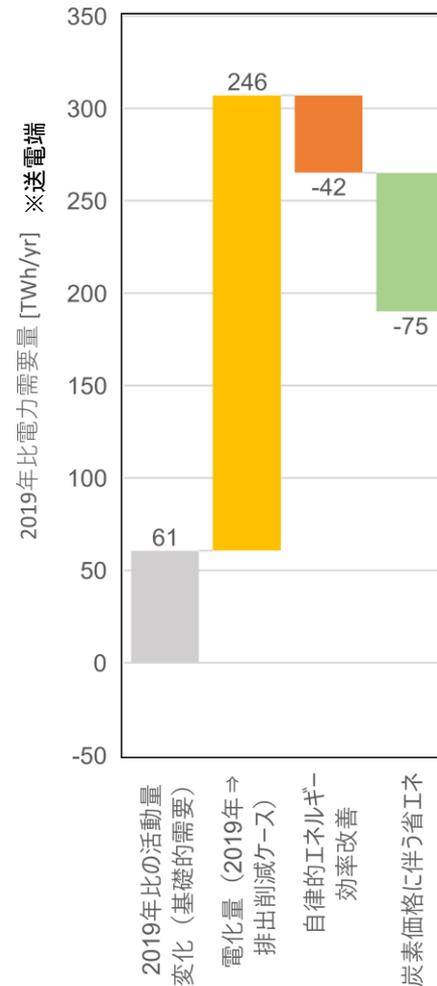


【低成長】

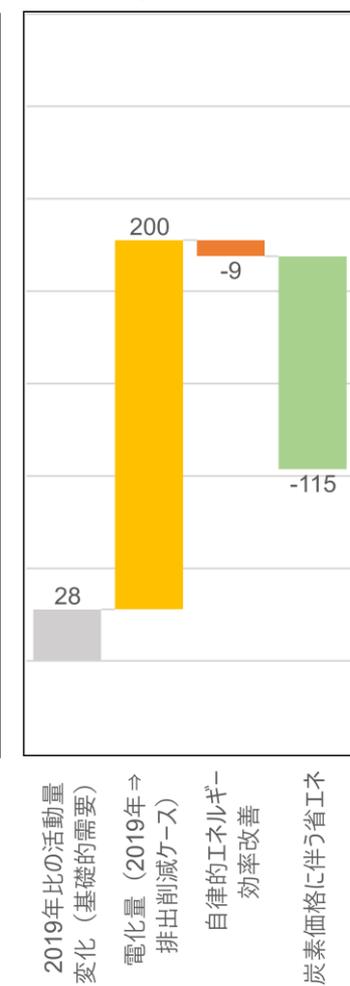


2050年

【成長実現】



【低成長】

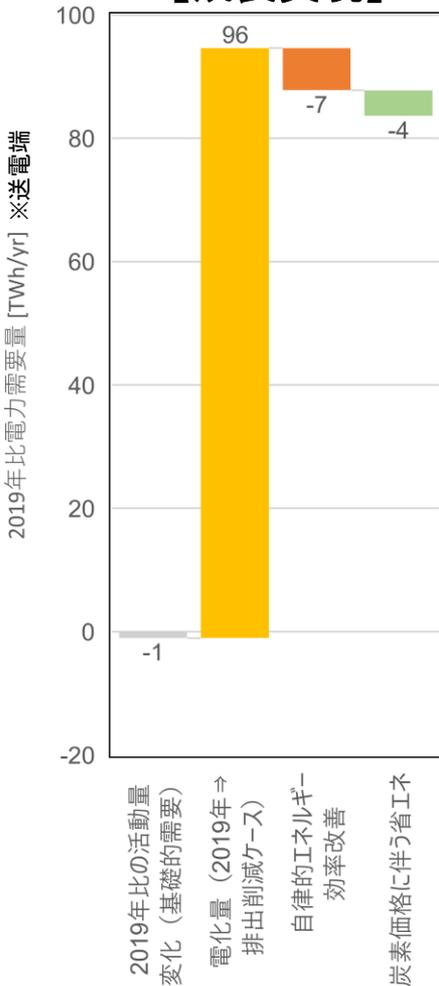


- ✓ 「成長実現シナリオ」では、アフォーダブルな電力価格の実現により、産業の電化も一層進展
- ✓ 「低成長シナリオ」では、電力価格が高いため、「成長実現シナリオ」以上の大きな省電力が必要

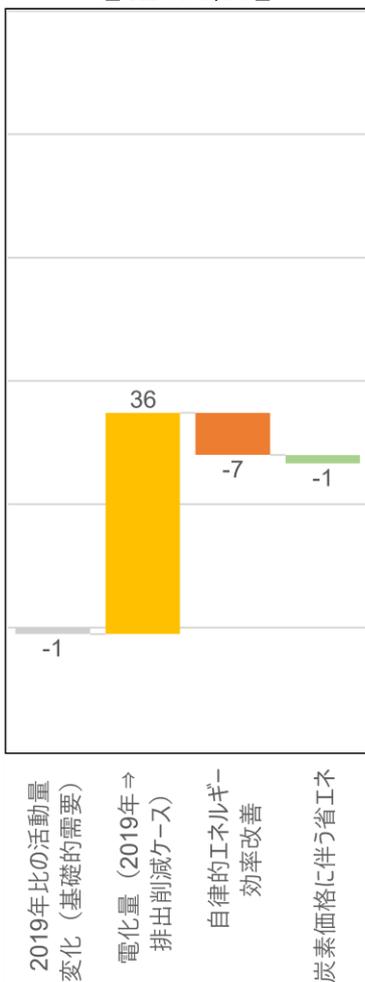
運輸：基礎的需要、電化、省エネ（省電力）

2040年

【成長実現】

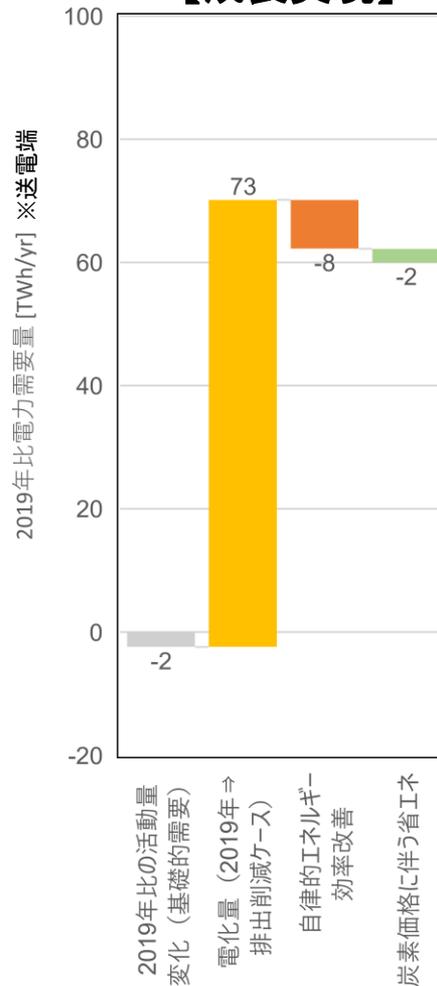


【低成長】

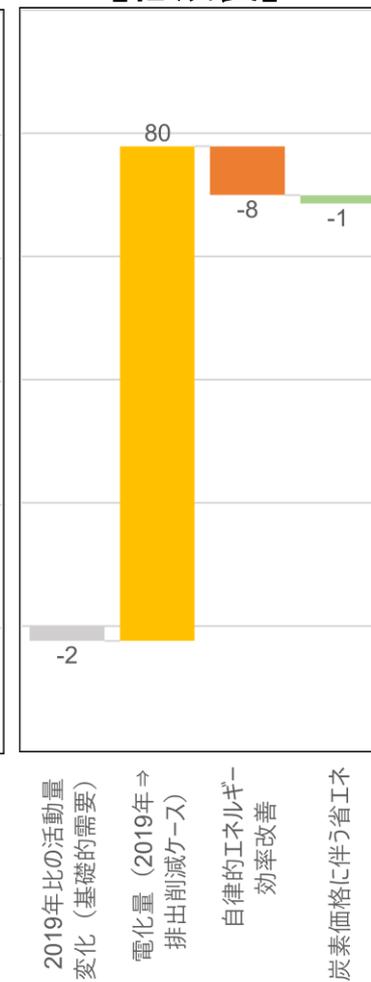


2050年

【成長実現】



【低成長】

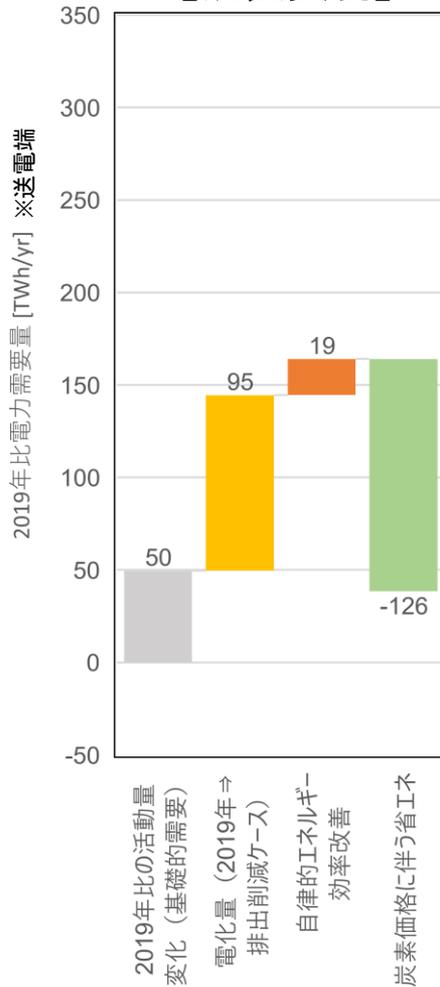


✓ 「成長実現シナリオ」の2040年では、EVバッテリー価格の低下に伴い、EVの普及が進み、電化が進展。2050年では、e-fuelsの大幅利用も経済効率的(「成長実現シナリオ」ではアフォーダブルに実現)

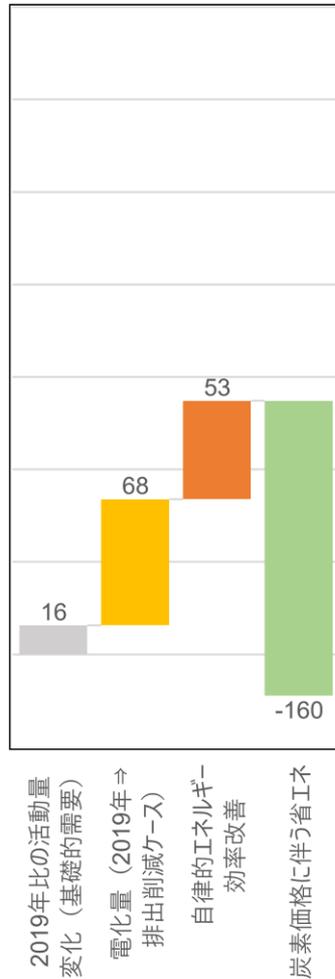
民生：基礎的需要、電化、省エネ（省電力）

2040年

【成長実現】

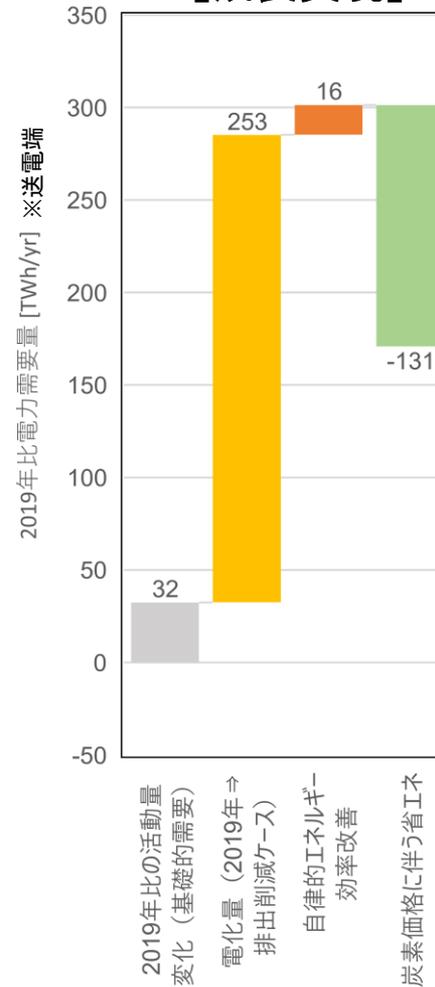


【低成長】

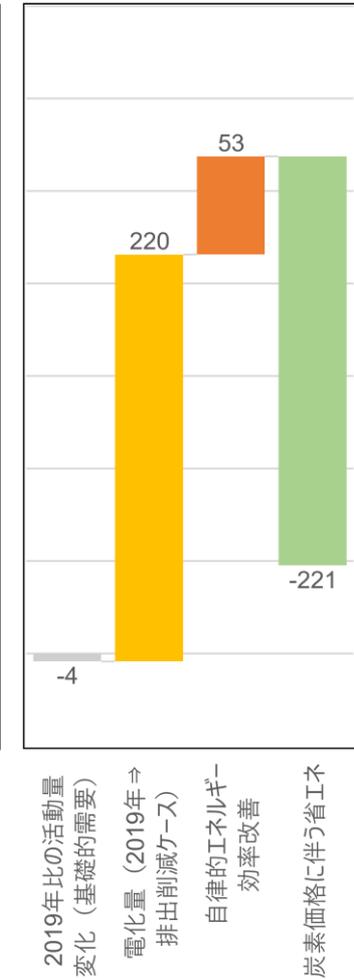


2050年

【成長実現】



【低成長】



✓ 「低成長シナリオ」では、電力価格が高いため、「成長実現シナリオ」以上の大きな省電力が必要。これは簡単に言えば相当な無理をした省電力でもあり、結果、経済は低成長