

第24回SNWシンポジウム

2024年10月1日

中長期電力需要の見通しについて ～IT需要の増大と産業等の電化～

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

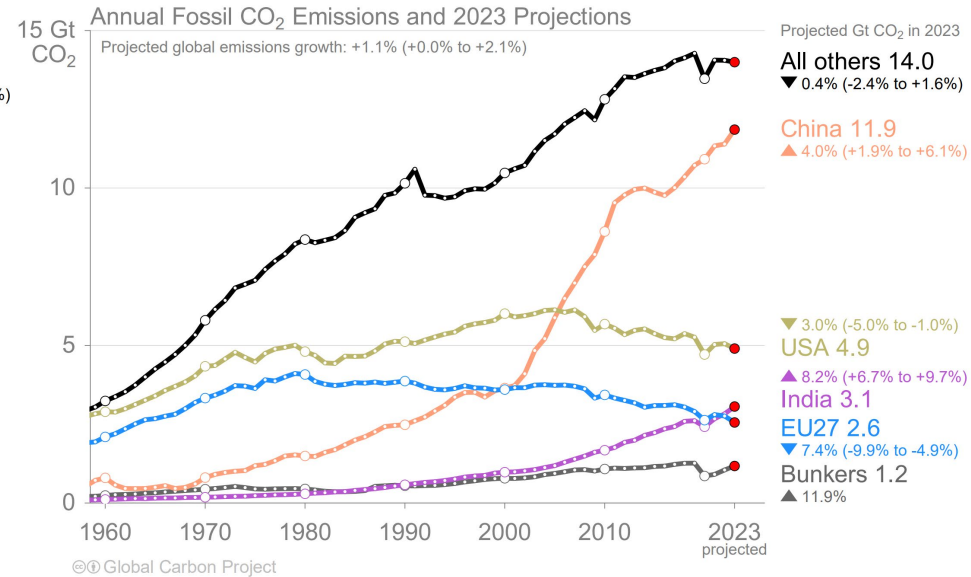
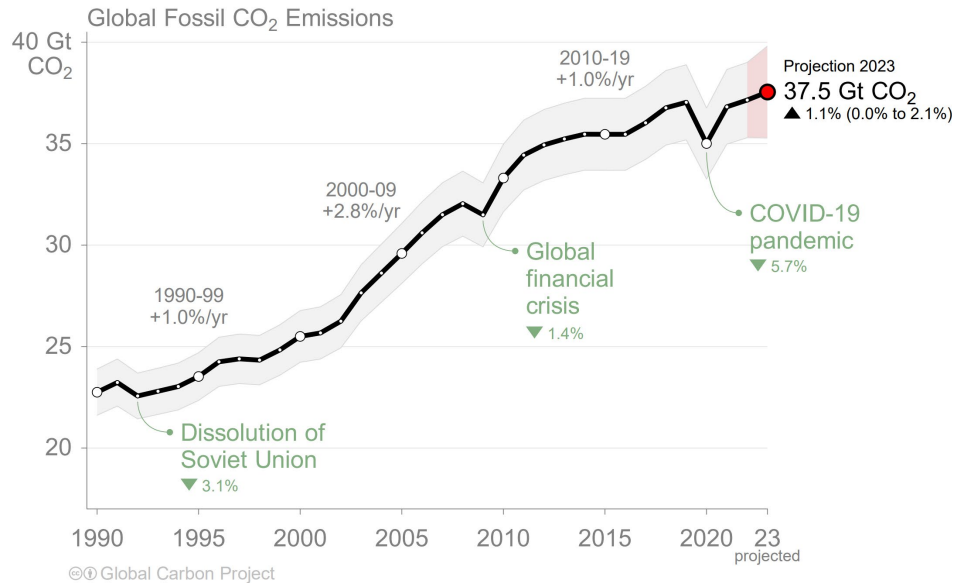
システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾

(東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授)



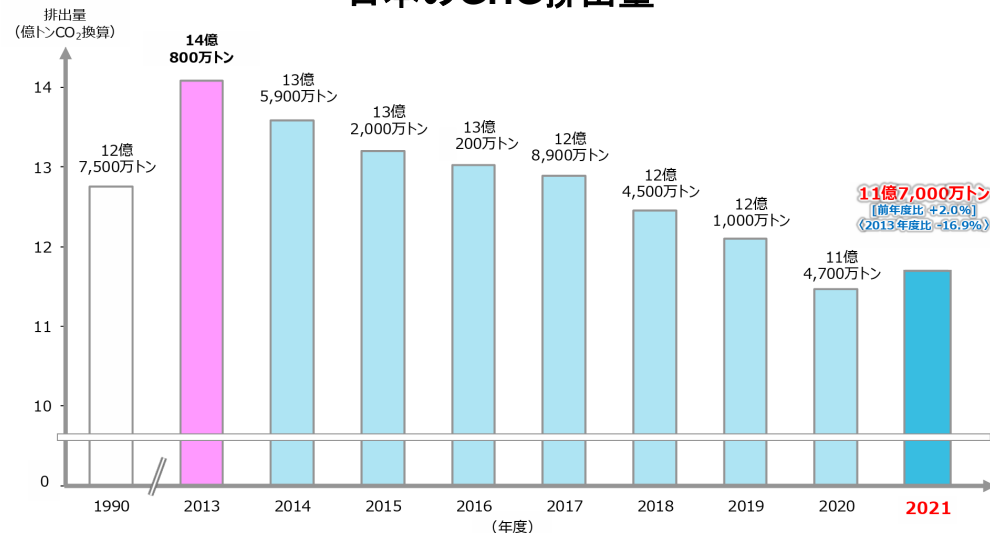
世界・主要国のCO₂排出量の推移



出典) Global Carbon Project, 2023

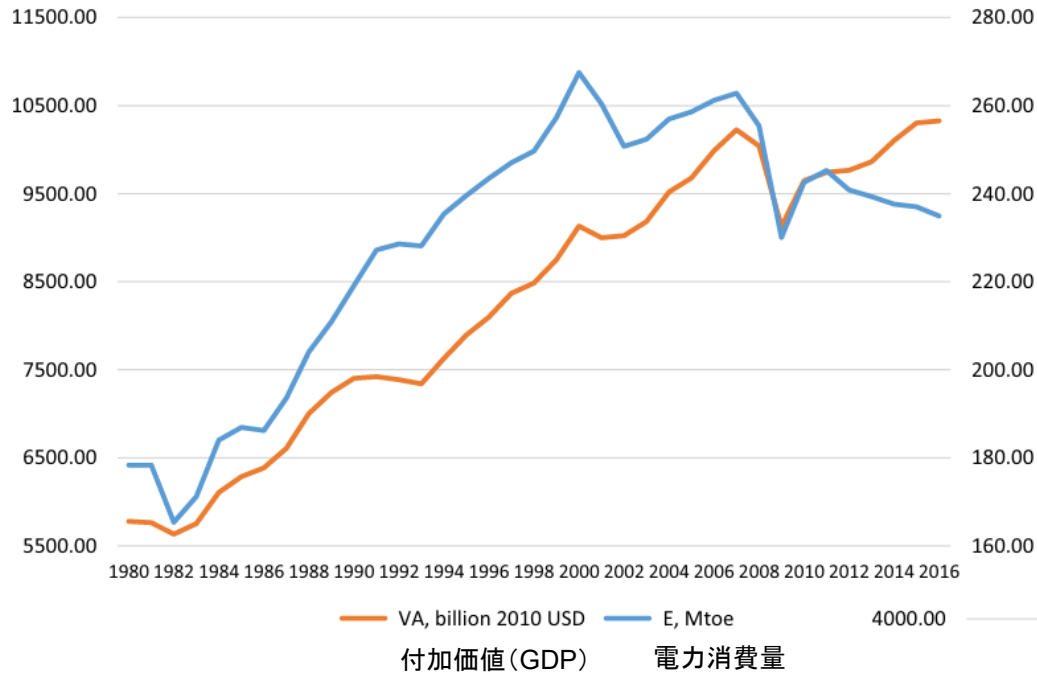
- 世界全体では、経済とCO₂排出量のカップリングは続いている。CO₂排出が大きく減少したときは、経済(GDP、所得)も悪化している状態。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。
- EU、米国、日本は、国内排出量としては、継続的に低減が続いている。
- 先進国から、途上国へ、とりわけCO₂原単位の高い製造業の移転が起こっている。

日本のGHG排出量



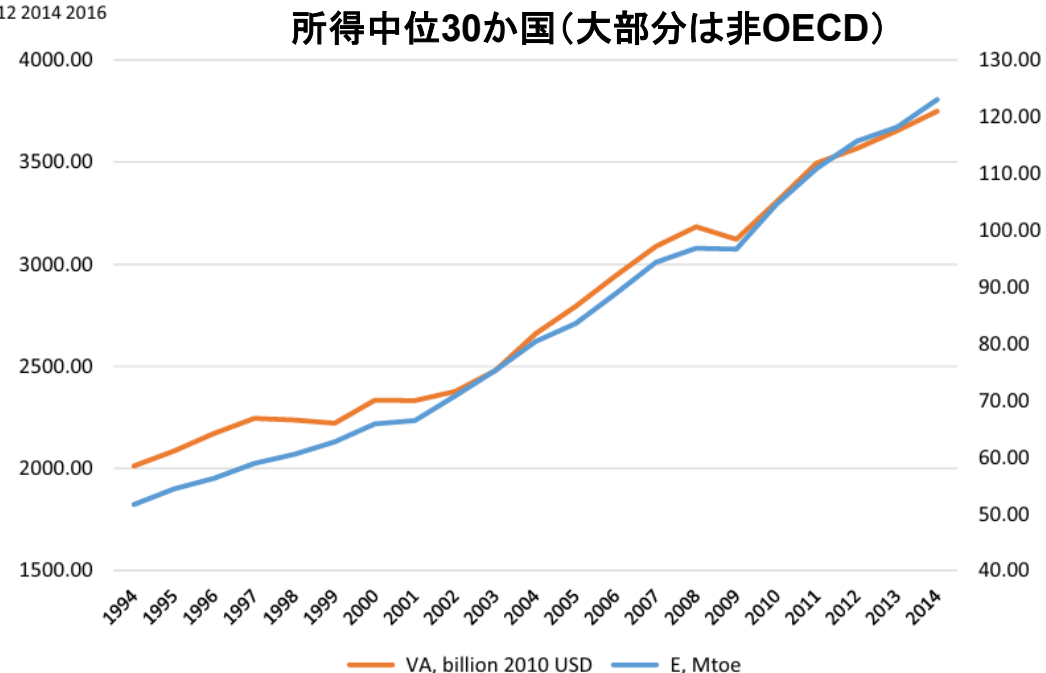
出典) 環境省, 2023

GDPと電力消費量の関係：所得による地域分類別

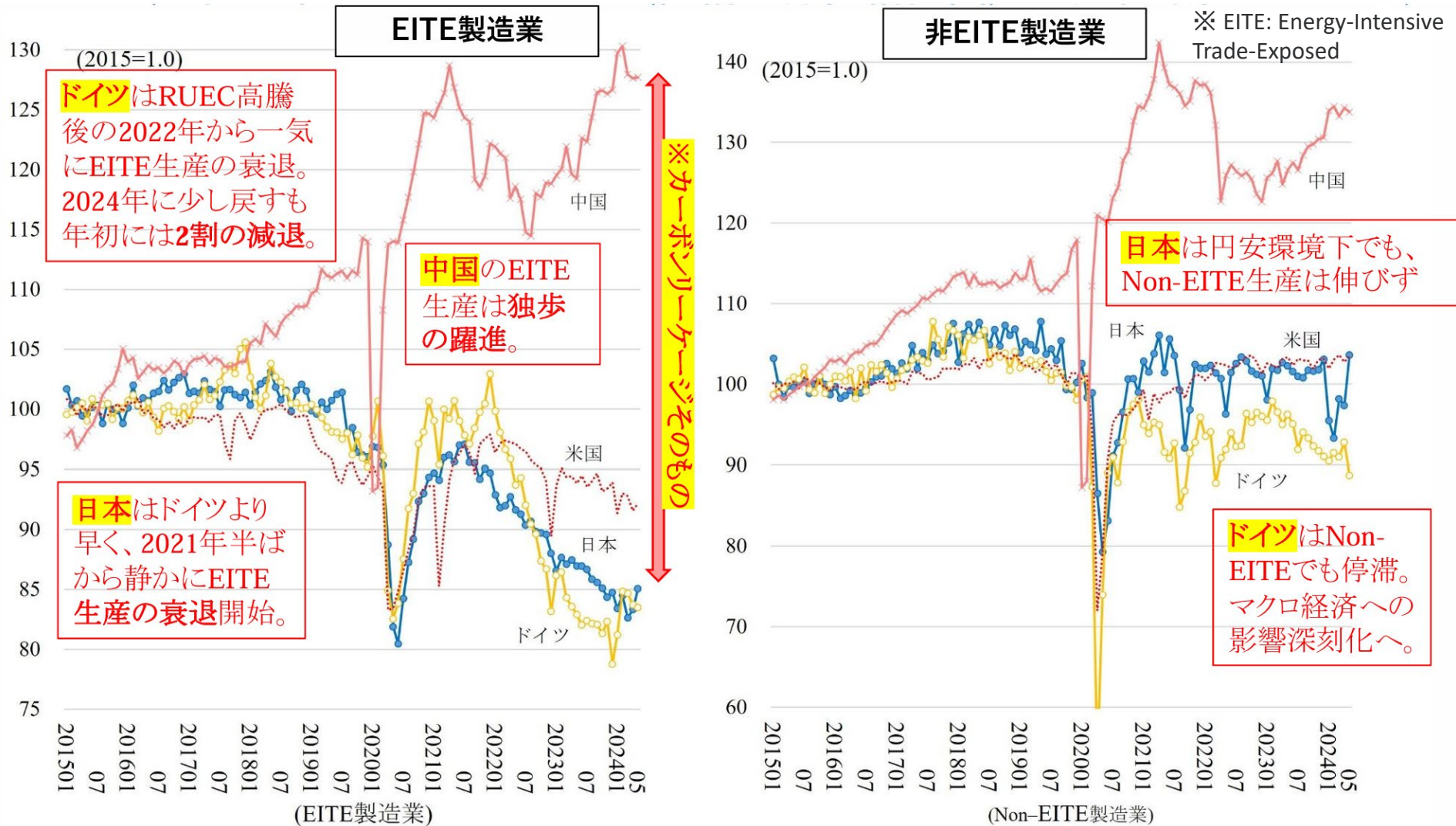


Brantley Liddle et al., Empirical Economics (2022)

- 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



日独米中の集計生産指数－産業のリーケージ

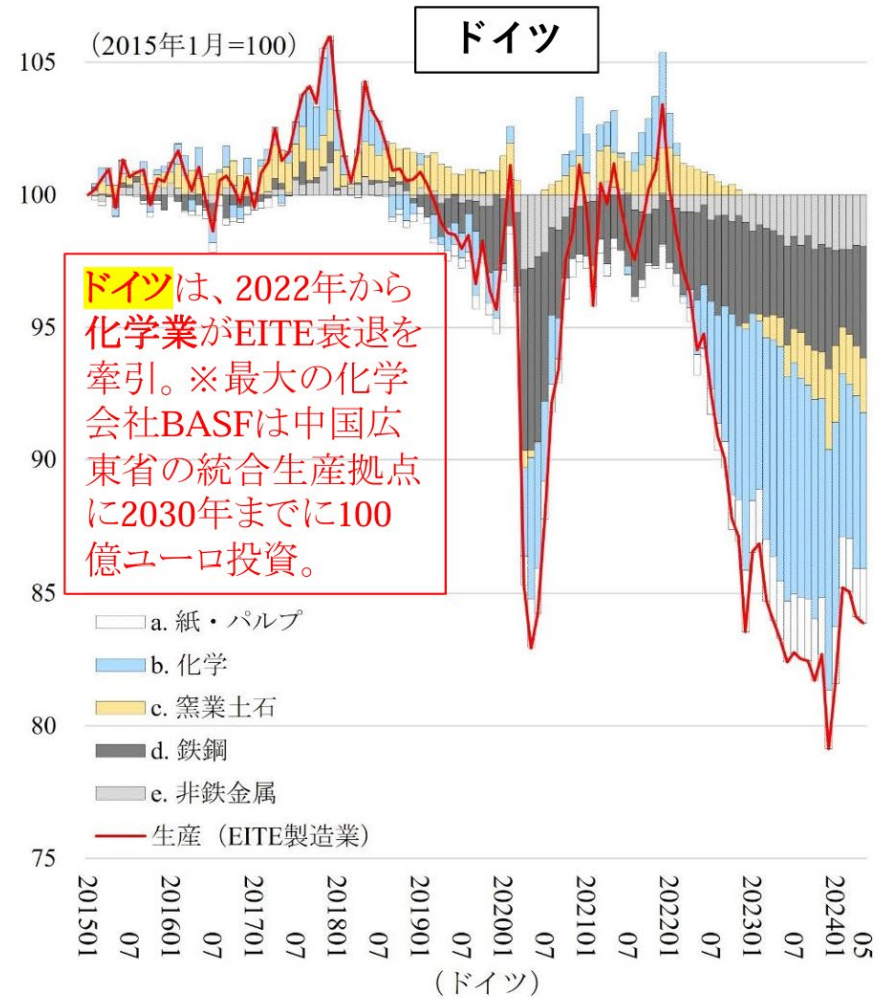
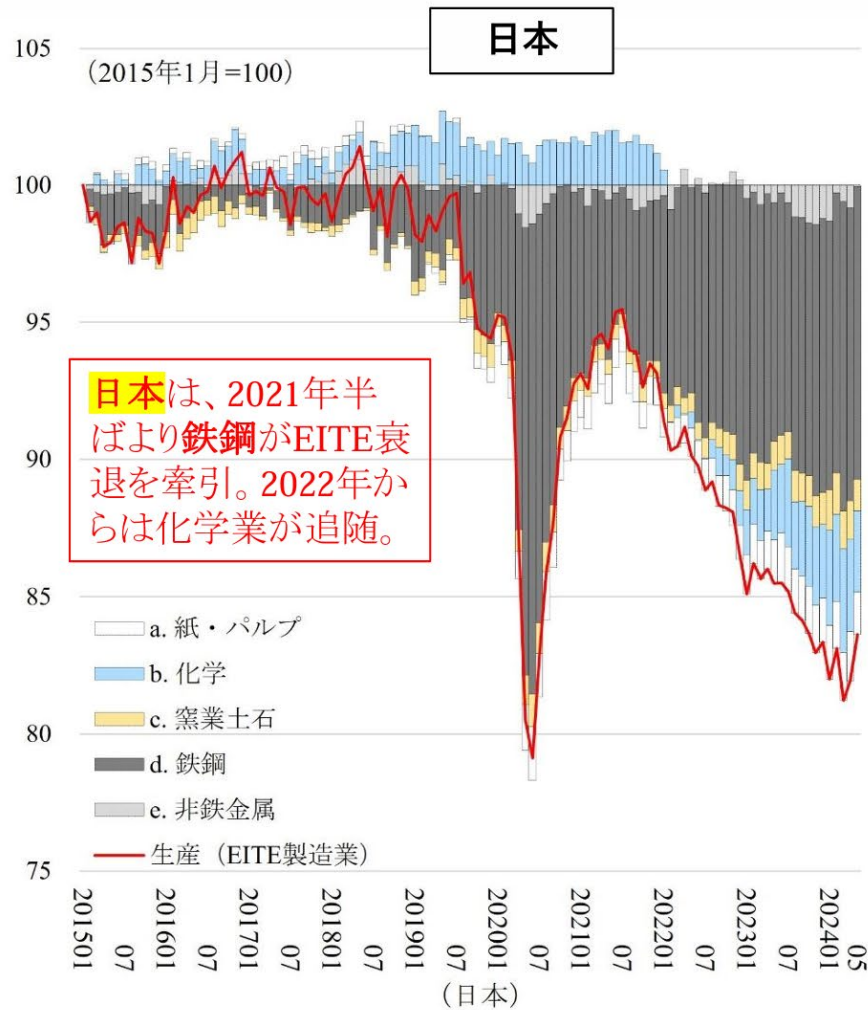


エネルギーコスト・モニタリング (ECM) ECM_JPN_202407 © 2024 慶應義塾大学産業研究所 野村研究室

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



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

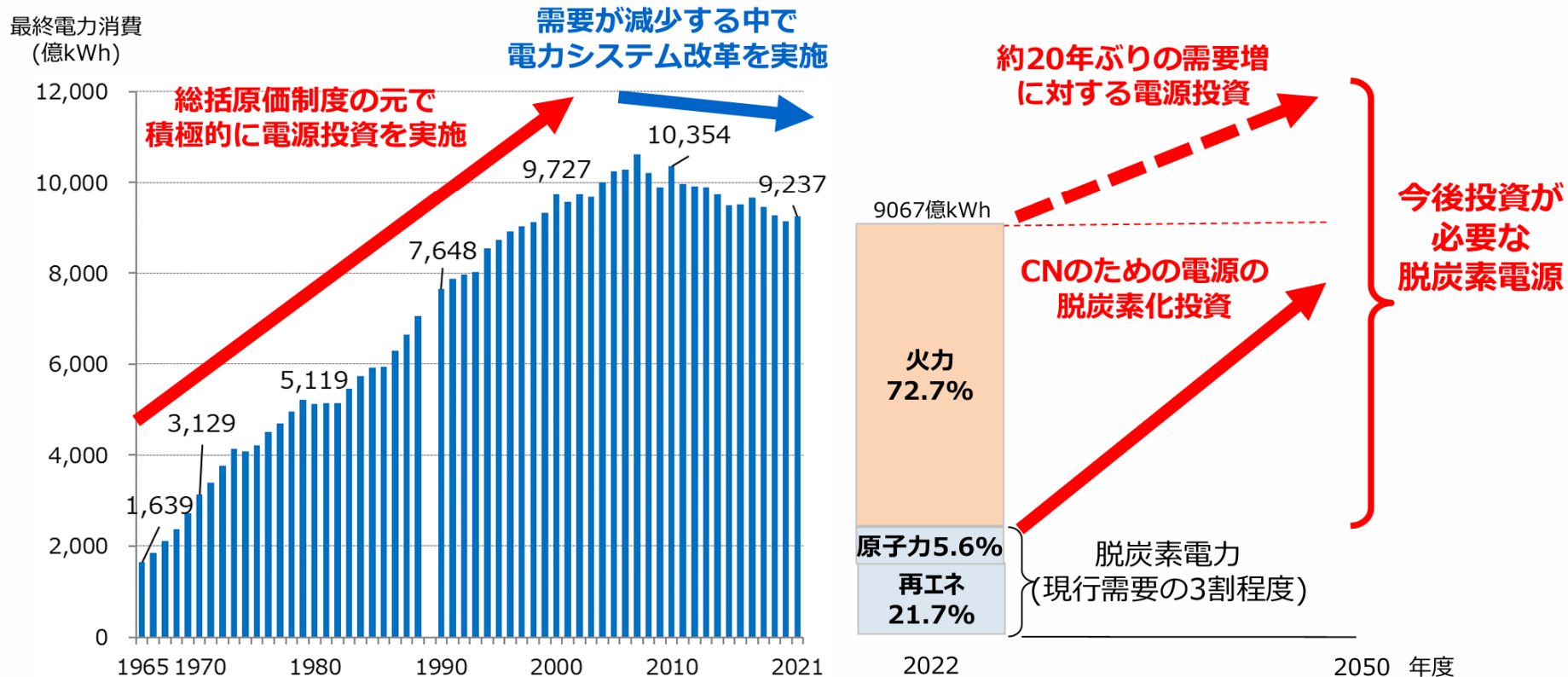
単位: 2015年1月値 = 100。出典: ECM_JPN_202407 (慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表)。測定の詳細はNomura and Inaba (2024) "Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries," RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.

出典) 野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

IT需要による電力需要変化の兆し

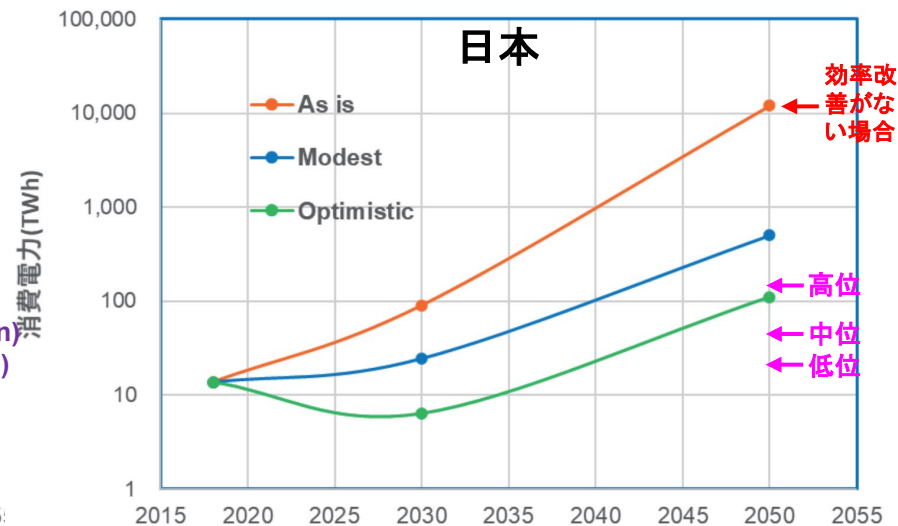
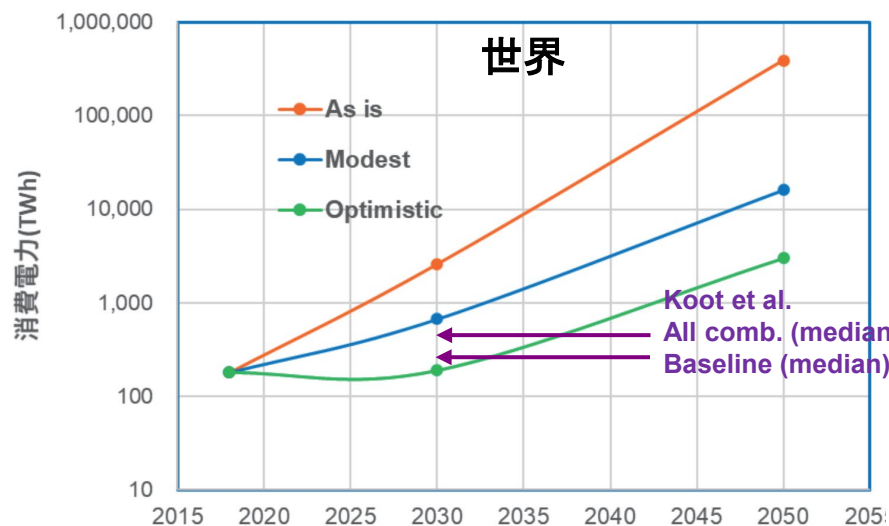
■ 半導体工場の新規立地、データセンター需要に伴い、国内の電力需要が約20年ぶりに増加していく見通し。2050CNに向けた脱炭素化とあいまって、大規模な電源投資が必要な時代に突入。これまでの電力システム改革時には必ずしも想定されていなかった状況変化が生じている。

■ 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）。

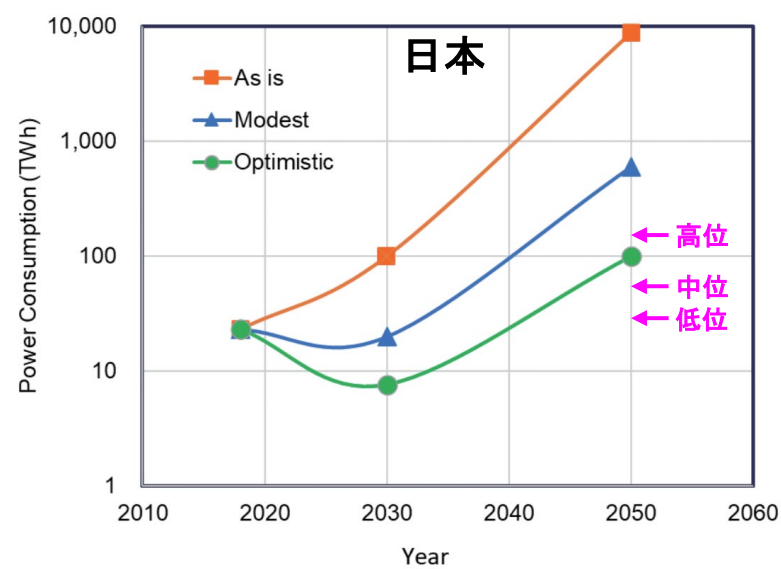
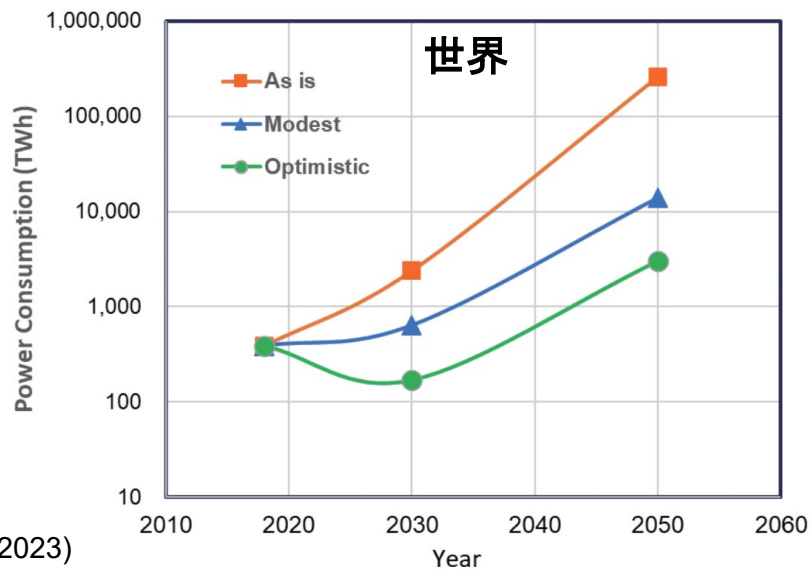


データセンター・ネットワークの電力消費の増大の見通し

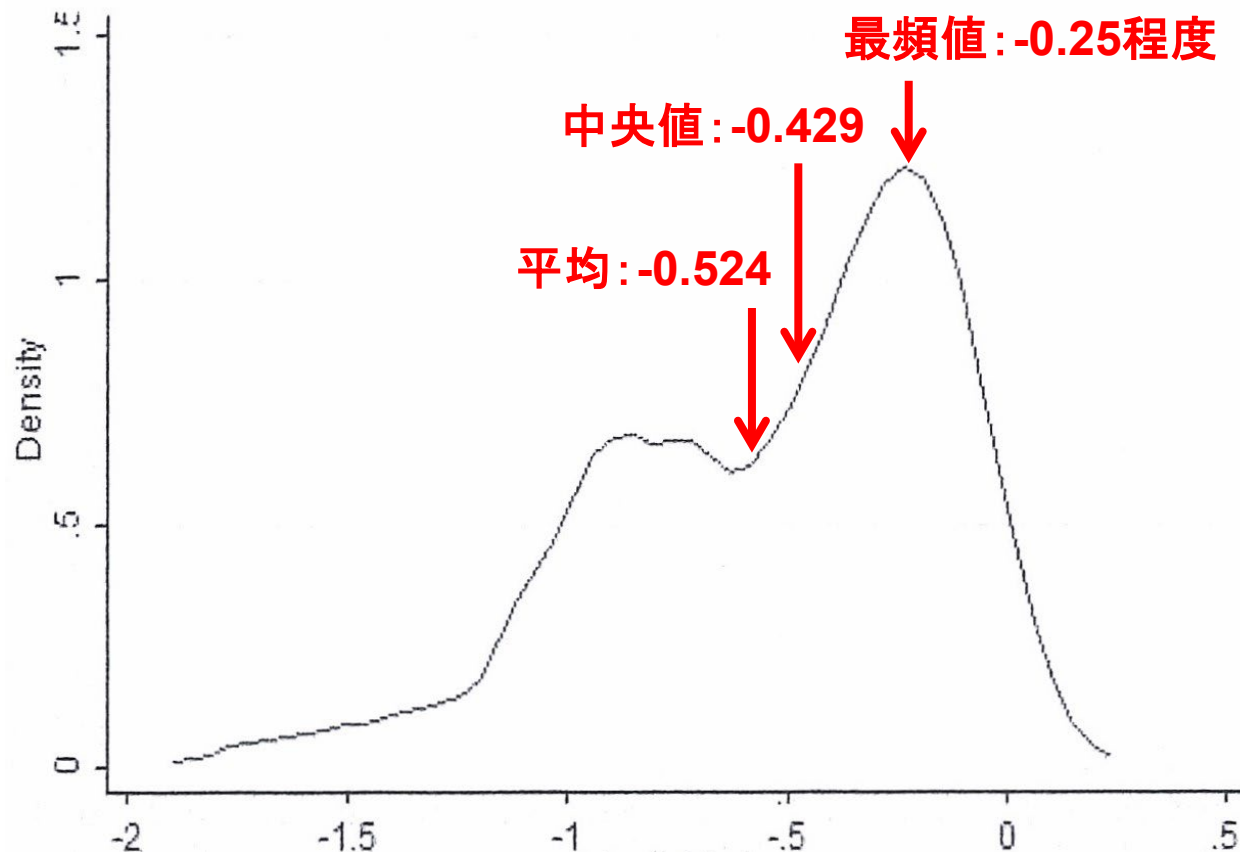
データセンター電力需要



情報通信ネットワーク(ルーター・無線基地局)電力需要



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

Dependent variable: Ln Household Electricity Consumption per capita	(1) Residential BE	(2) Residential BE	(3) Residential IV	(4) Residential 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

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.

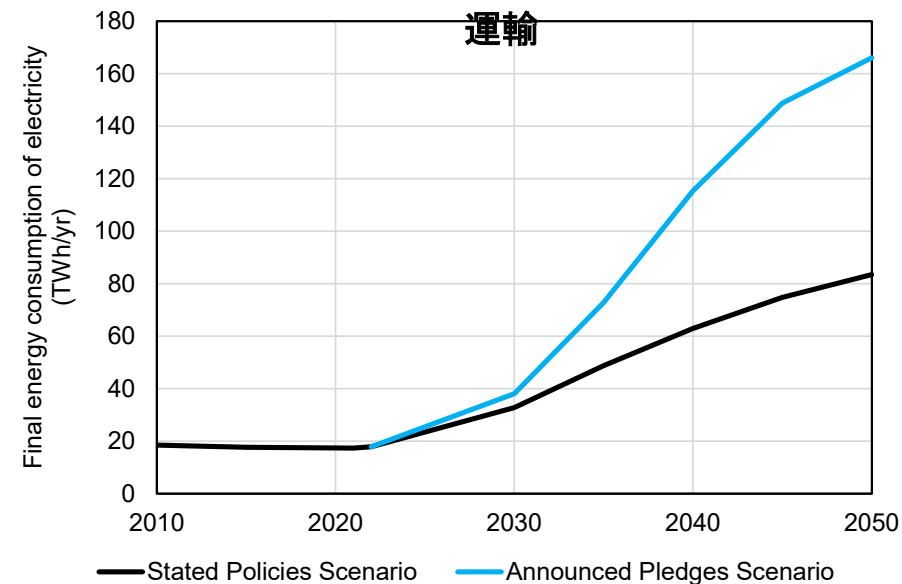
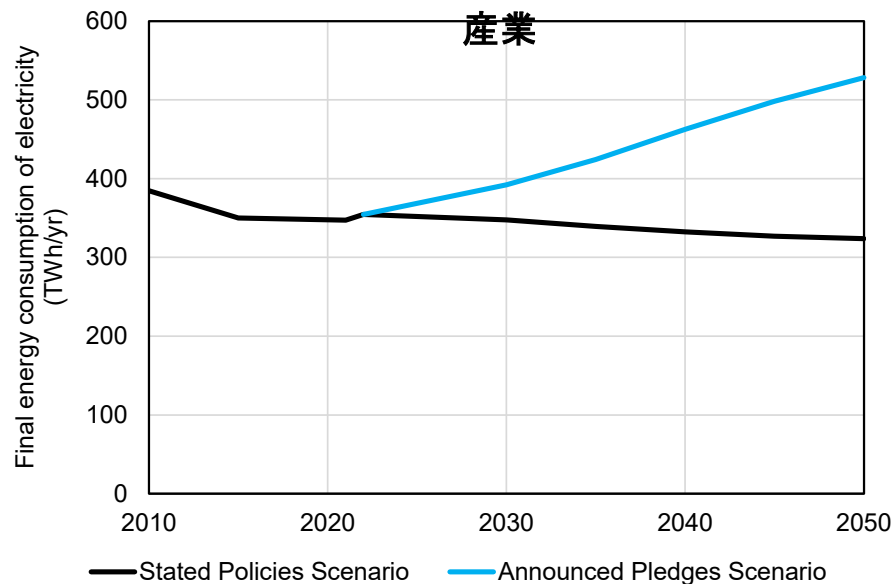
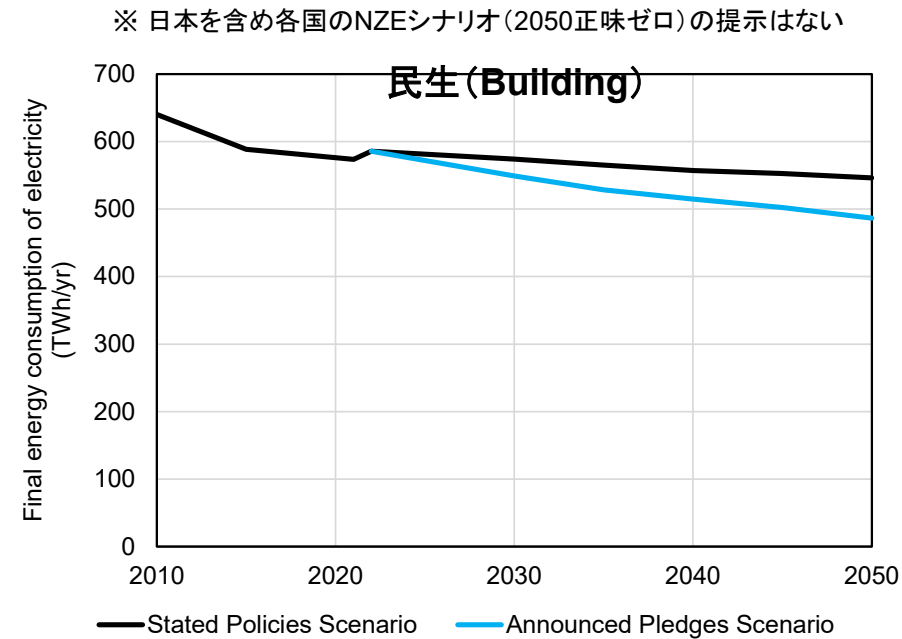
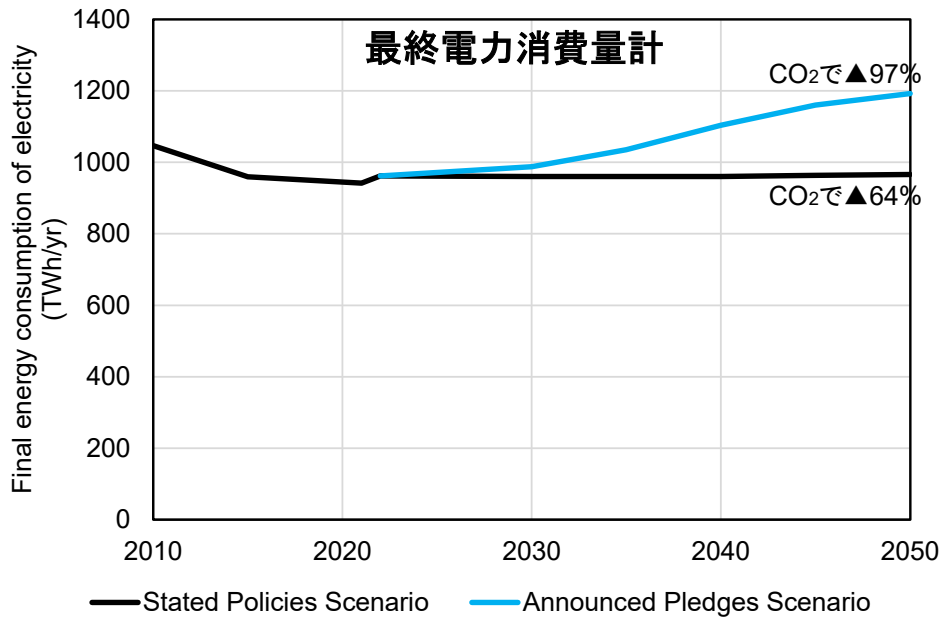
Between estimates of industrial electricity consumption 1996-2016

Dependent variable: Ln Industrial Electricity Consumption per capita	(1) Industrial BE	(2) Industrial BE	(3) Industrial IV	(4) Industrial 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.

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



分析シナリオ

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 原子力活用、新 増設・リプレイス有	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

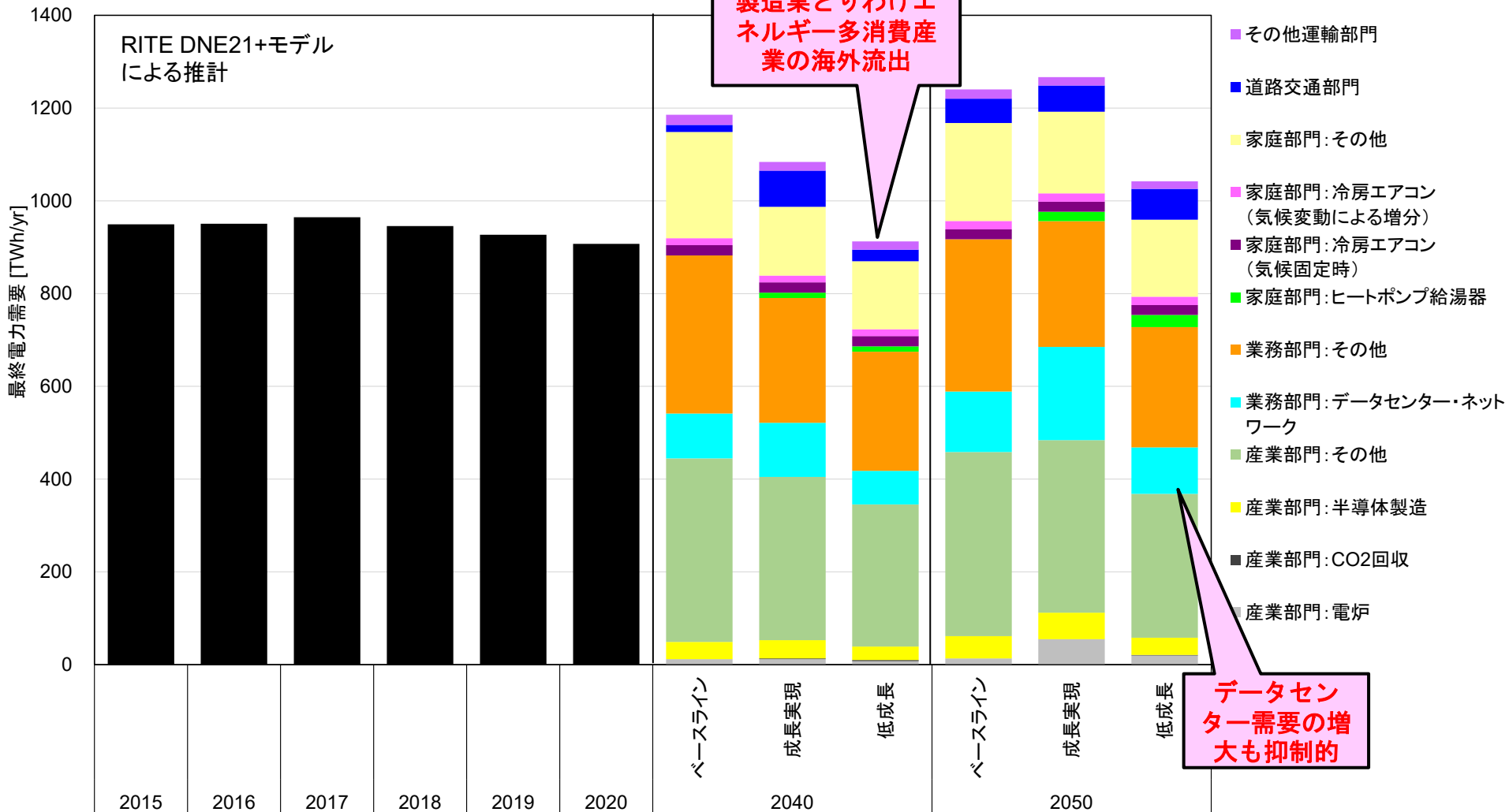
生産量・GDPの低下

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	-6.9%	-9.6%	-41%	-47%
(生産量 [億トン/年])	(0.86)	(0.85)	(0.54)	(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

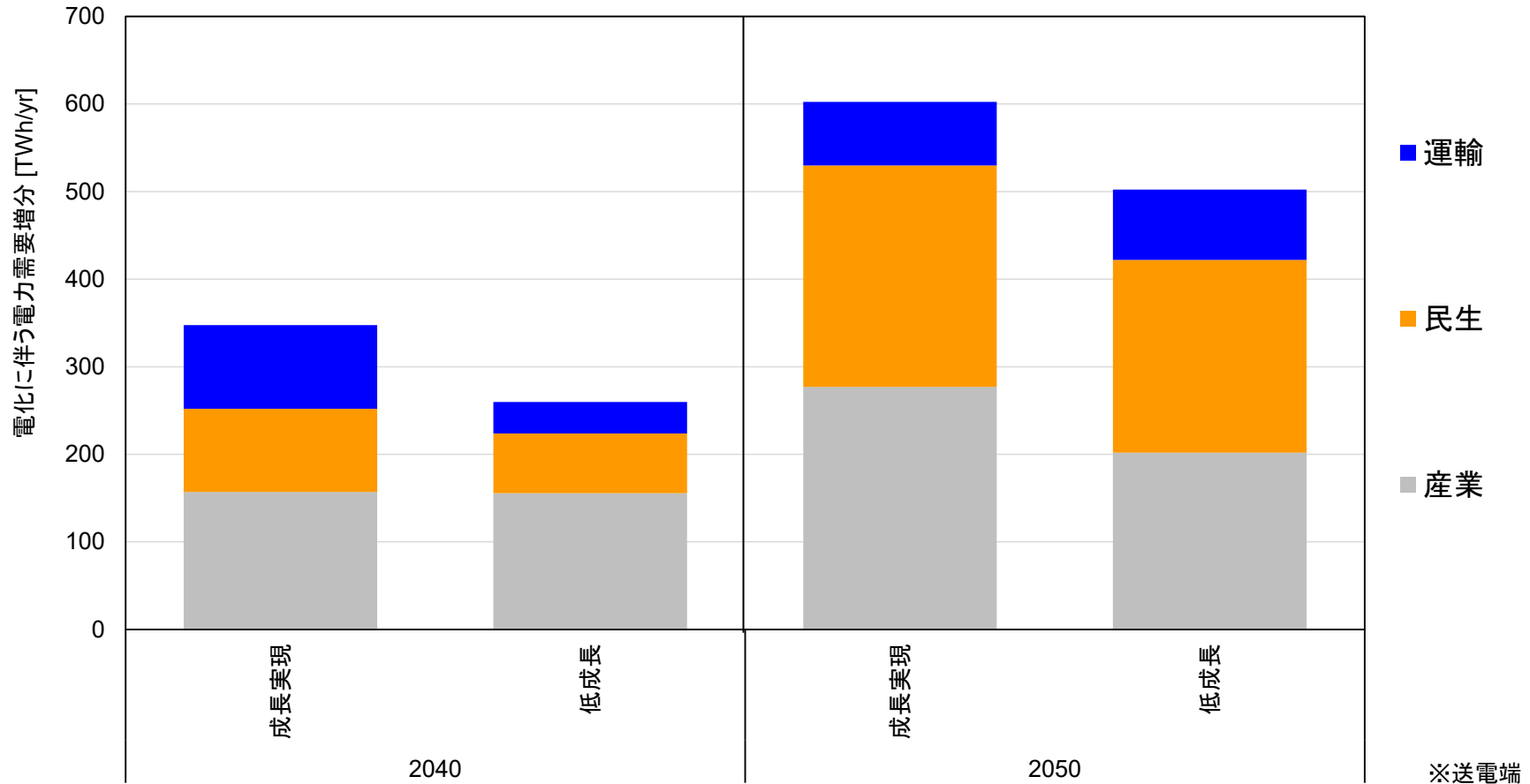
最終エネルギー消費量：部門別電力需要



- ✓ 「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（1.5℃目標、2050年CN）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

- ◆ 気候変動影響は深刻化。カーボンニュートラル(ネットゼロエミッション)早期実現の要請が強まっている。その実現のためには、原則的には、一次エネルギーは、再エネ、原子力、化石燃料+CCS/CDRのみとすることが求められる。
- ◆ 太陽光、風力発電のコスト低減は進んでいる。しかし、再エネの引き続きの拡大は必須であるが、とりわけ日本では設置できる土地の制約が厳しくなっている。また、太陽光、風力の導入量が増えると、系統安定化の費用は増大。
- ◆ 電力化率の向上と、低炭素、脱炭素電源化は、対策の重要な方向性
- ◆ CO₂排出削減に対応するための電化促進に加え、データセンター等のIT関連の需要増も予想される。今後、増大し得る電力需要に対して、安定的で低廉なコストでの電力供給は重要。とりわけ原子力発電の活用は重要
- ◆ 国際的に、総じて、原子力の一層の活用には舵が切り始められている。脱原発を進め、(海外との相対的な)エネルギー価格上昇に直面することとなったドイツは、製造業の苦境が鮮明になってきており、雇用喪失の危機に直面し始めた。
- ◆ 海外との相対的なエネルギー価格が高い場合、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。経済成長も低位となる可能性が高い。ドイツの二の舞。日本は更に厳しい。
- ◆ 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。投資の予見性を高める政策の立案が必要

付 録

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、天然ガス・合成メタン、電力、エタノール、水素、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、それらが整合的に評価可能
- ・ 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

- ・ 中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
- ・ 国内排出量取引制度の検討における分析・評価
- ・ 環境エネルギー技術革新計画における分析・評価

はじめ、気候変動政策の主要な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