

日本の2050年カーボンニュートラルの実現が
エネルギー構成および日本経済に与える影響分析
－E3MEマクロ計量経済モデルを用いた分析－

李 秀澈 (名城大学)

slee@meijo-u.ac.jp

何彦旻(追手門学院大学)・昔宣希(長崎大学)・諸富徹(京都大学)

Unnada Chewpreecha(Cambridge Econometrics)

本研究は、京都大学大学院経済学研究科再エネ講座とイギリスのCambridge Econometricsとの共同研究成果である。

CONTENTS

1

本研究の目的と背景

2

E3MEモデルの概要

3

ベースライン及び政策シナリオの設定

4

2050年カーボンニュートラルの日本のエネルギー構成およびマクロ経済へ与える影響

5

結論

6

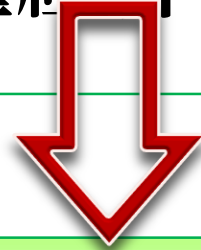
Appendix

本研究の目的と背景



本研究の目的

- 日本の2050年カーボンニュートラル達成のために必要な**政策パッケージの設定**と、その政策が実施された場合**日本のエネルギー構成とマクロ経済にどのような影響**を与えるのかを**マクロ計量経済モデル**により定量的に推定



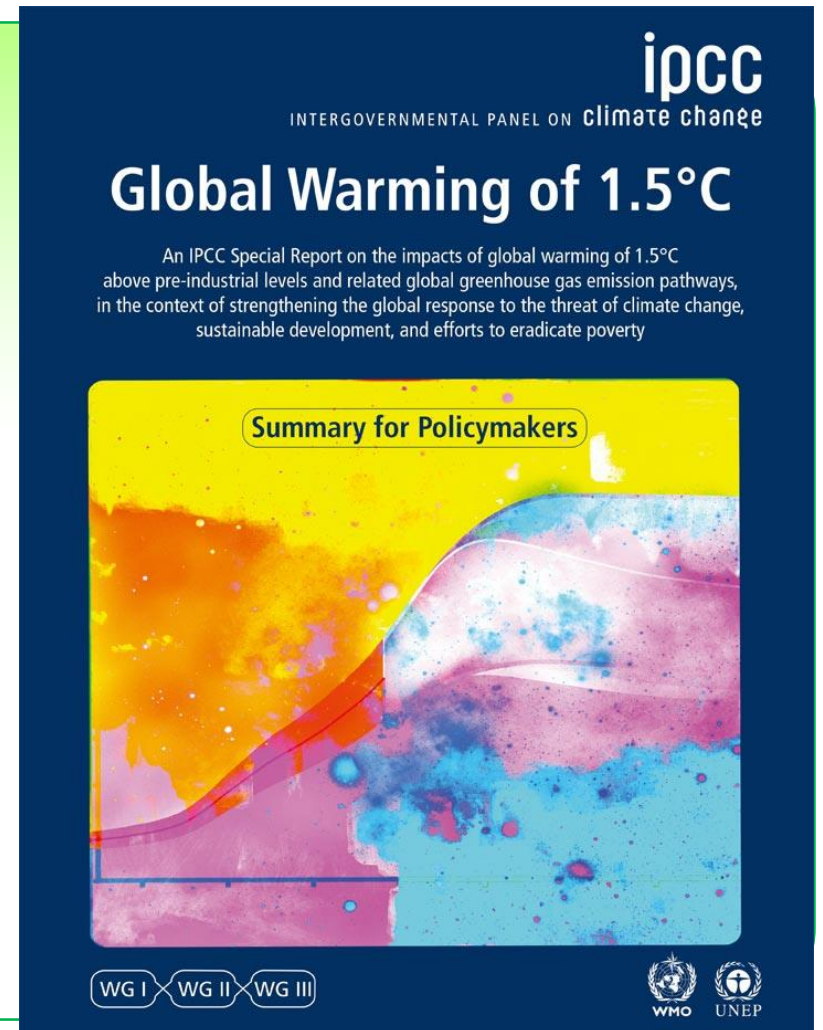
- 定量的に推定するためのツールとして、本研究では**E3ME (Energy-Environment-Economy Macro Econometrics) モデル**を用いる。

⇒2050年カーボンニュートラル達成に必要な政策手段、すなわち、カーボンプライシング・規制・補助金の政策パッケージを**基本政策シナリオとして設定**し、その政策シナリオが実施された場合、2050年までの日本のGDP、雇用、貿易などマクロ経済への影響と、電源構成に与える影響を推定する。

IPCC(2018)の「1.5°C特別報告書」



- 世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して、2°C未満に抑えるためには、2075年頃には脱炭素化する必要がある、さらに努力目標である1.5°Cに抑えるためには、2050年に脱炭素化が必要である。

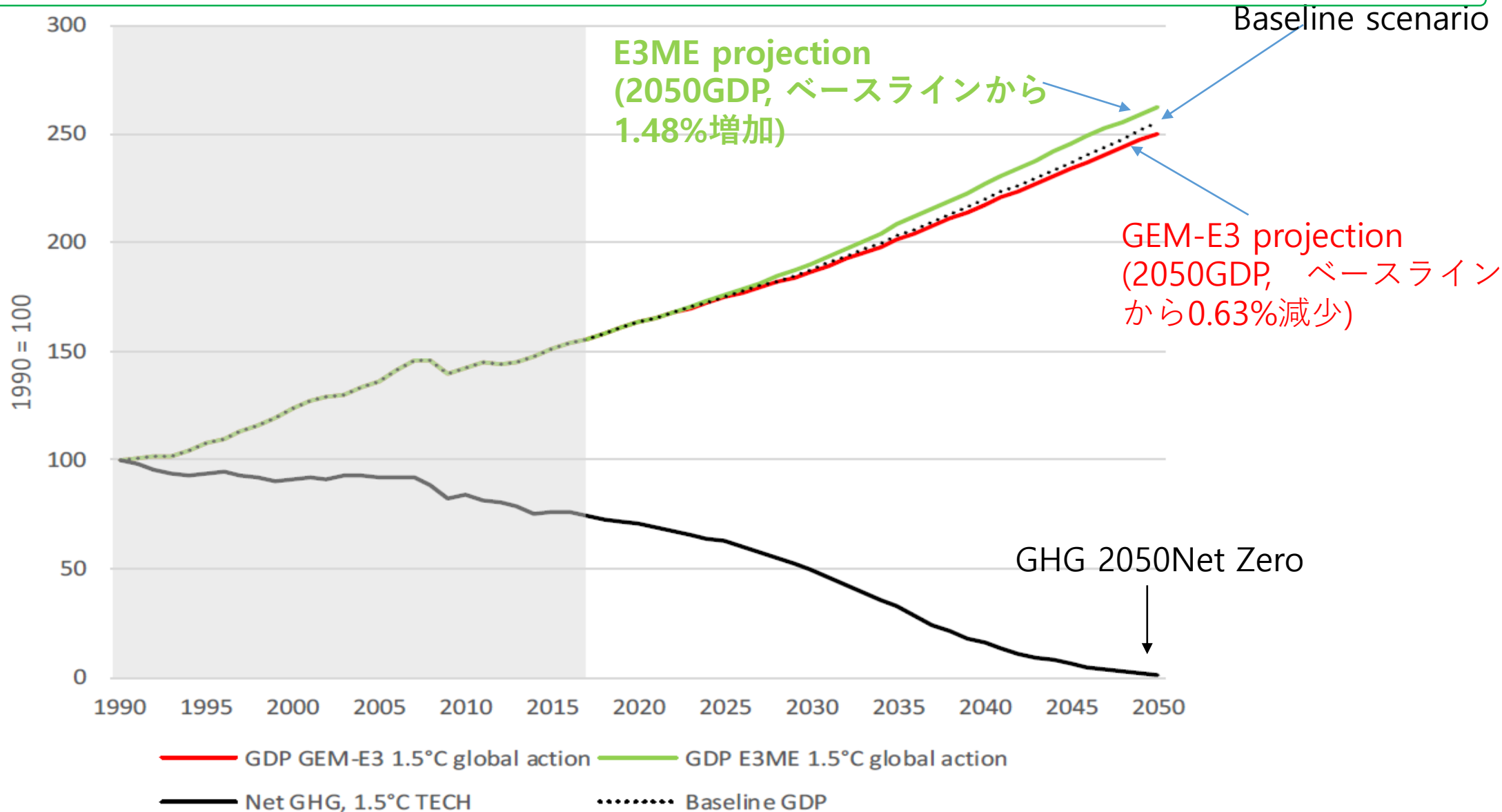


世界のカーボンニュートラルの状況



- Climate Ambition Allianceによれば2020年12月末基準で、**世界の123カ国・1地域**が2050年に二酸化炭素の排出分と吸収分が同量になる「**カーボンニュートラル (Carbon neutral)**」を宣言。
- EUは、2019年12月に「**欧州グリーンディール (European Green Deal)**」を公表し、2050年までにカーボンニュートラルを達成するためのロードマップを示し、さらに2020年3月に長期戦略を提出し「**2050年までに気候中立 (Climate Neutrality) 達成**」を明確化。
- イギリスは、**気候変動法 (2019年6月改正)**の中で、2050年カーボンニュートラルを規定。
- アメリカのバイデン大統領も、2035年の電力脱炭素の達成、2050年以前のネット排出ゼロを表明。

図表1.1 EU Commission(2018) Report on Carbon Neutral in 2050



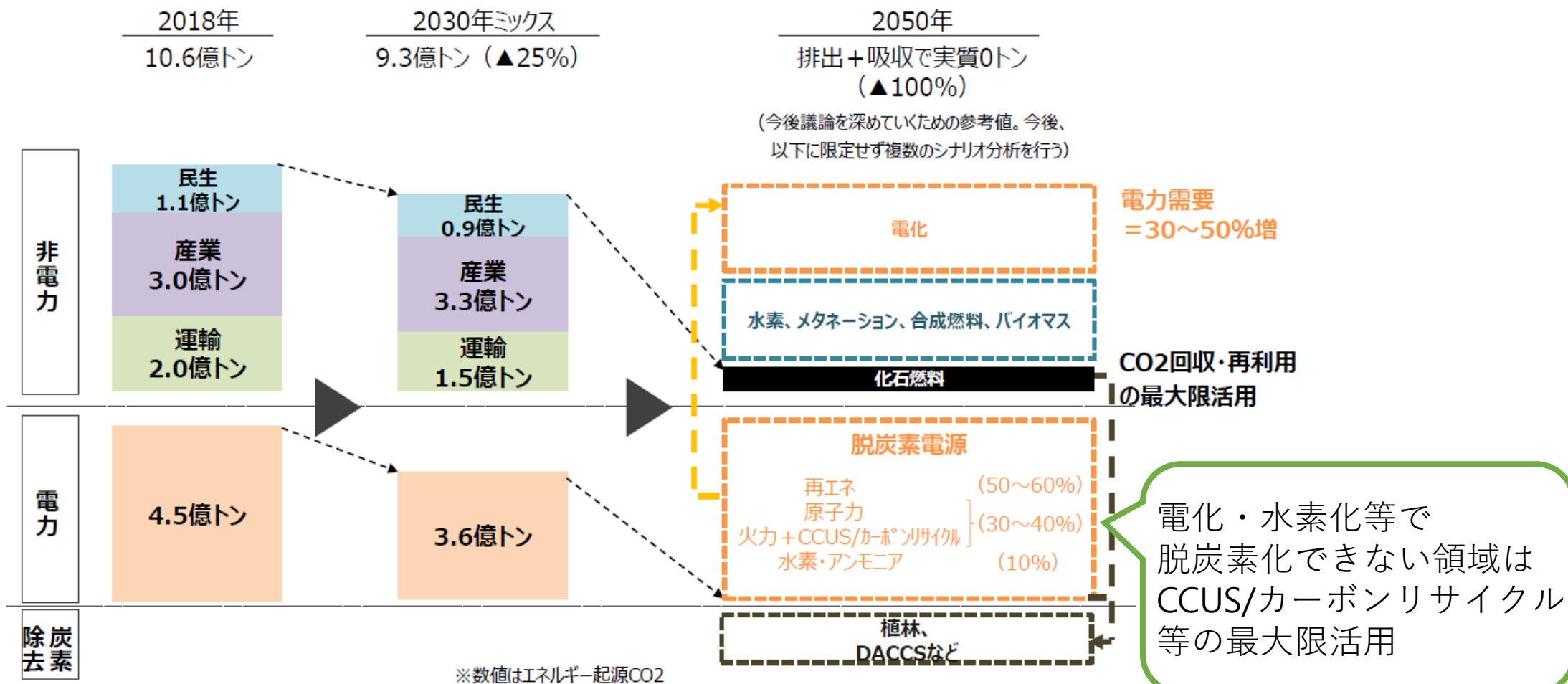
Source: European Commission(2018)A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy

日中韓のカーボンニュートラル表明



- **中国の習近平主席**は、2020年9月の国連総会の演説で、2060年までにカーボンニュートラルを目指すと表明。
- **日本の菅義偉総理**は、10月26日就任後の所信表明演説で「2050年までに温室効果ガスの排出実質ゼロ（カーボンニュートラル）を目指す」と宣言。
- **韓国の文在寅大統領**も10月28日の国会施政方針演説で「2050年に国内の温室効果ガス排出をゼロにする目標を挙げる」と表明。

図表1.2 日本政府の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」における部門別2050年カーボンニュートラルの勘定



注：数値はエネルギー起源二酸化炭素排出量

出所：内閣官房/成長戦略会議（2020）

図表1.3 日本政府の2050年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14成長分野



出所：内閣官房/成長戦略会議(2020)



E3ME-FTTモデル概要

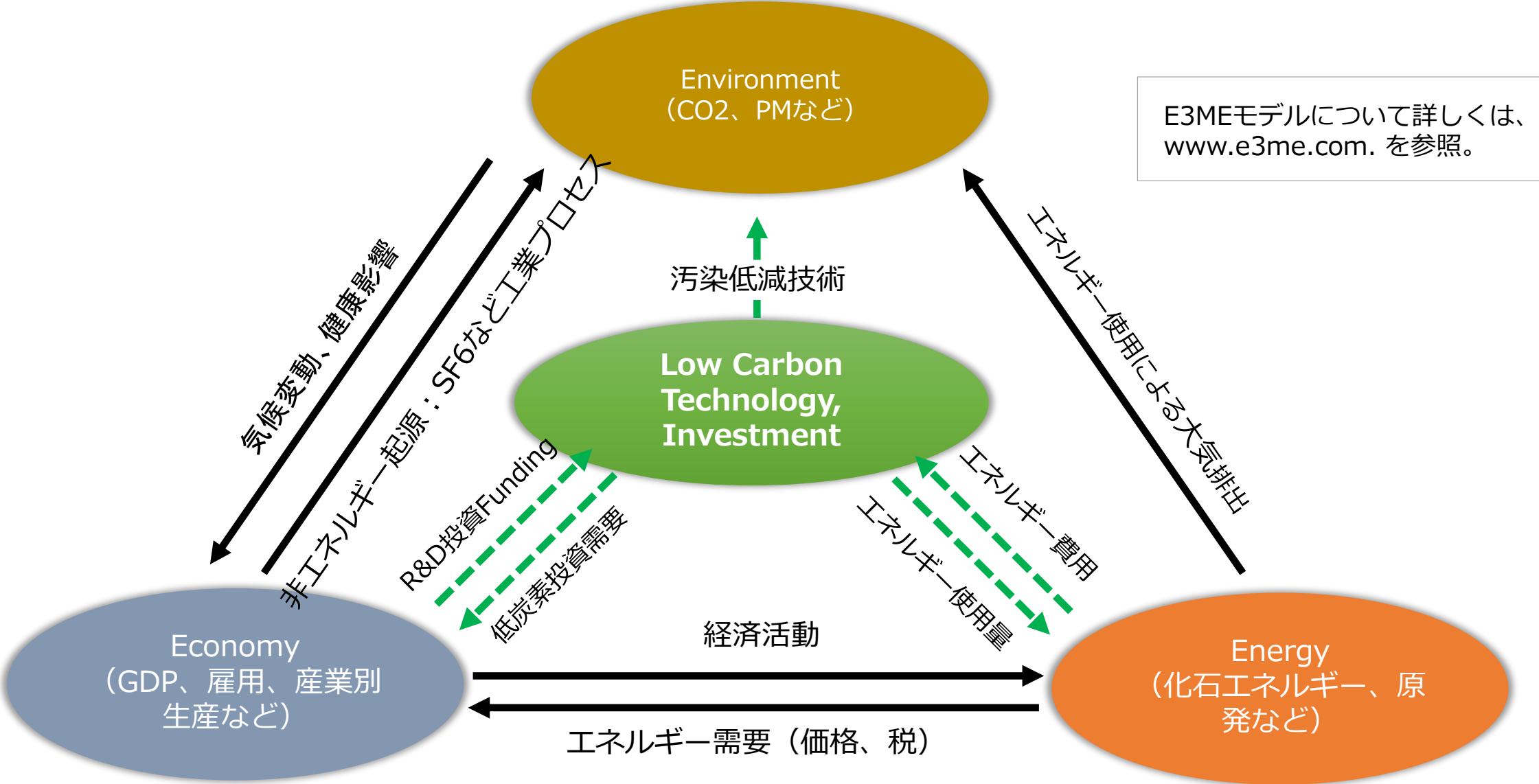
E3MEモデルの概要と特徴

E3MEモデル (Energy-Environment-Economy Macro Econometrics Model : E3MGモデルの新バージョン) は、1970年代にケンブリッジ大学とケンブリッジエコノメトリックス研究所が開発したコンピュータベースの計量経済モデルである。



- E3MEモデルは、**EU委員会(European Commission)**や**イギリス政府**などの**エネルギー・気候変動政策策定**に重用されてきたモデルであり、特に**IPCCの第4次報告書**では、マクロ計量経済モデルとしては唯一分析に採用されたモデルでもある。
- 2012年から日本の**東アジア環境政策研究会 (www.reeps.org)** と共同開発により、アジアでも分析できるようになり、多数の論文、単行本が発表されている。
- E3MEモデルは、一般均衡モデル (CGE) などとは異なる経済理論に基づいており (たとえば、財政赤字、不完全雇用などが一般的であることと想定)、炭素税などカーボンプライシングにより炭素費用が上昇すると、**経済主体の低炭素技術革新や関連投資が経済に与える効果**が良く反映される特徴を有している。

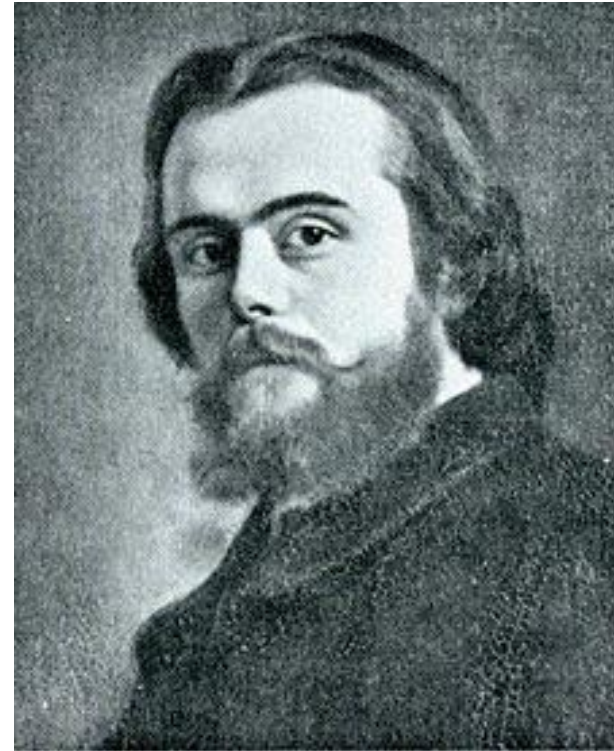
図表2.1 E3MEモデルの基本構造とメカニズム



Keynes v.s. Walras



https://en.wikipedia.org/wiki/John_Maynard_Keynes

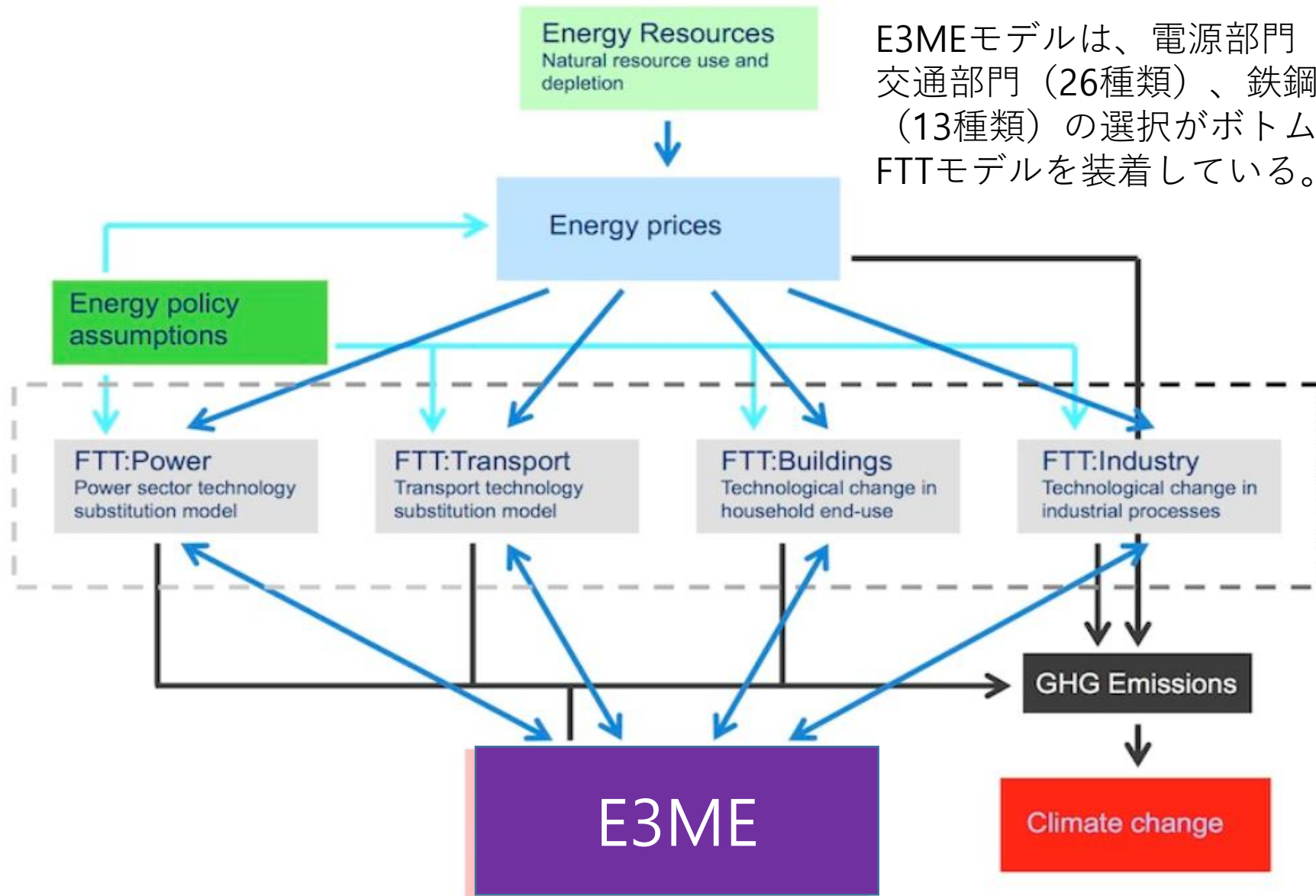


https://en.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Walras

E3MEモデル : Dimensions

- Econometric model
 - **cover world 59 regions**, including explicit representation of all G20 countries and all EU Member States. The model has recently been expanded to cover many **East Asia and South East Asia regions explicitly including Japan, China, Korea, Taiwan and Indonesia**. Other ASEAN countries are grouped together.
 - based on the system of national accounts
 - includes intermediate and all components of final demand
 - detailed treatment of the labor market
 - **22 stochastic equation sets**, also covering energy and prices
 - large sectoral disaggregation: **42 industries, 28 consumption** categories
 - **12 different fuel types**, and **22 separate fuel user groups**
 - **14 atmospheric emissions**
 - long and short-term specification
 - annual solutions to 2050
- For more details see www.e3memodel.com

図表2.2 The FTT family of E3ME

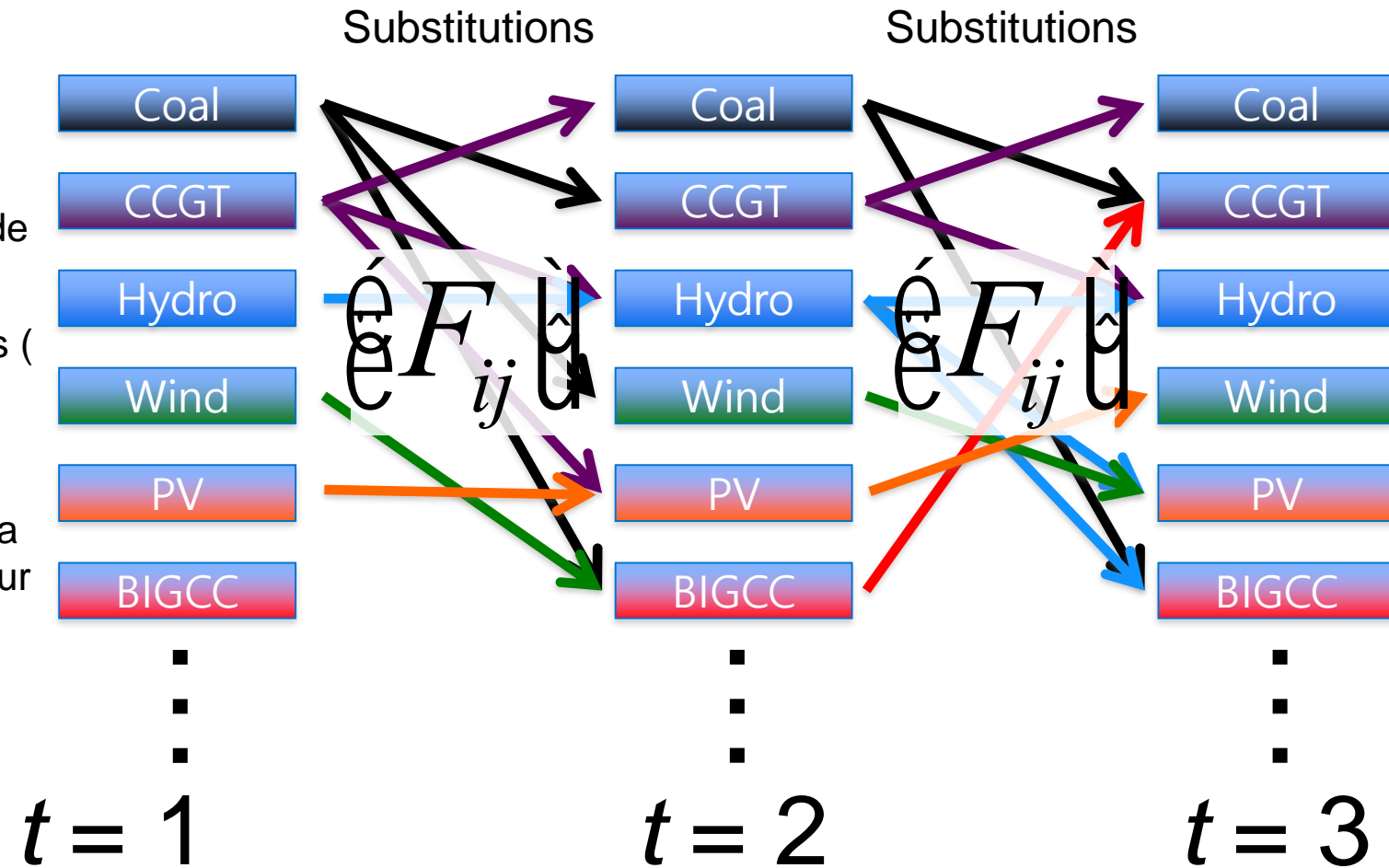


E3MEモデルは、電源部門（24technologies(種類)）、交通部門（26種類）、鉄鋼部門（26種類）、空調部門（13種類）の選択がボトムアップで決定されるFTTモデルを装着している。

图表2.3 FTT: Power Modeling technology substitution

Simulates:

- The future replacement and diffusion
- Of power technologies
- By power generation sectors worldwide (59 world regions)
- Based on dynamical shares equations (the FTT method – no optimisation)
- Useful energy demand by country as an exogenous driver (depending on future levels of construction/generation)





ベースラインおよび政策 シナリオの設定

3-1. ベースラインシナリオの設定

ベースラインシナリオの設定(BA)



- 日本エネルギー経済研究所(IEEJ)の2020年版のOUTLOOK2021のレファレンスシナリオ(現在の政策基調などが維持された場合のケース)を採用
 - ➡日本の**GDP**は、2018年6兆1900億ドル(2010年不変価格)から**2050年までに年平均0.8%成長**し、2050年には7兆7440億ドルになることを予測
 - ➡**最終エネルギー消費**は2018年の283(石油換算Mt)から2050年には224(石油換算Mt)へ、**年平均0.8%減少**
 - ➡**電力消費**は2018年の**1050TWh**から2050年には**1082TWh**へ微増
 - ➡**再エネ発電**の割合は2018年**18.8%**から2050年には**34.4%**へ増大
 - ➡**二酸化炭素排出量**は、2050年には2018年対比**31.7%減少**

図表3.1 ベースラインシナリオ上の主要指標の見通し

指標	2018年	2030年	2040年	2050年
GDP(10億US\$,2010年価格)	6,190	6,693	7,234	7,744
最終エネルギー消費(百万toe)	283	263	244	224
発電量(TWh)	1,050	1,079	1,093	1,082(100.0)
(原発)	65	157	141	141(13.0)
(再エネ発電)	154	202	241.7	372(34.4)
(石炭火力)	339	291	289	262(24.2)
(ガス火力)	378	329	330	288(26.6)
二酸化炭素排出量(百万CO ₂ t)	1,081	940	852	738

出所： IEEJ OUTLOOK 2021(2020)

3-2. 政策シナリオの設定

政策シナリオの設定 (1)



(1) 原発

①電源の中で**原発のシェア**をOUTLOOK2021のレファレンスシナリオに従う。

➡すなわち、**原発電源シェア**が2018年に6.2%から2050年に13%へ拡大することを想定

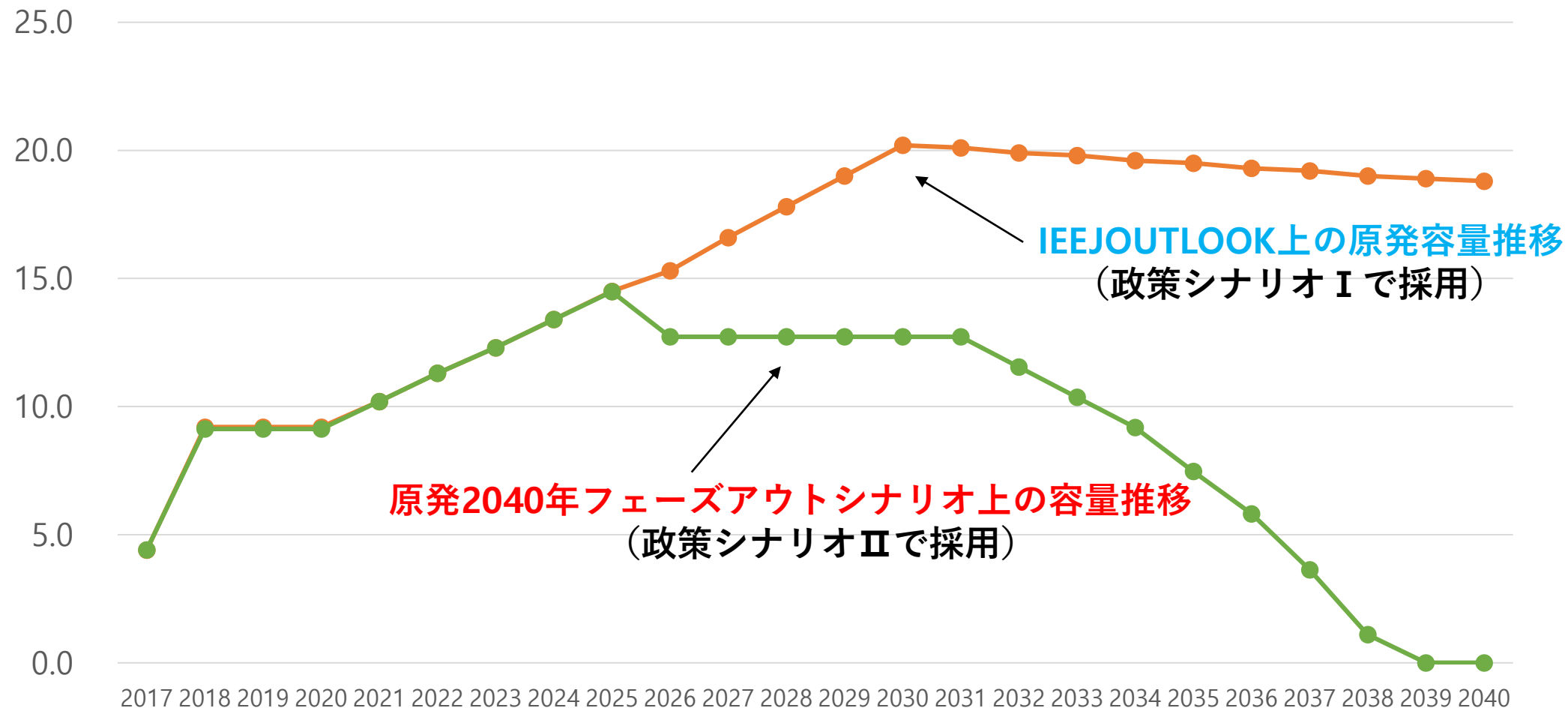
②**原発を2040年にフェーズアウト**する。

➡2018年以降**原発の新規建設**は行われず、稼働歴が基本的に40年に達する順で廃止するシナリオである。

*政策シナリオは、大きく、**原発ありの政策パッケージの政策シナリオⅠ**、そして**原発無しの政策パッケージの政策シナリオⅡ**によって構成

図表3.2 原発の政策シナリオ設定

(単位:GW)



出所：本研究による設定

政策シナリオの設定(2)



(2) 炭素税

●2021年から50米ドル/CO₂・tの税率を比例的に増加し、**2040年には400米ドル/CO₂・tになるように設定**し、2041年から2050年までには、400米ドル/CO₂・tを維持

➡この炭素税シナリオによる発生する税収は、税収中立原則に基づき、低・脱炭素投資、FIT、火力発電フェーズアウトに伴う費用に充当

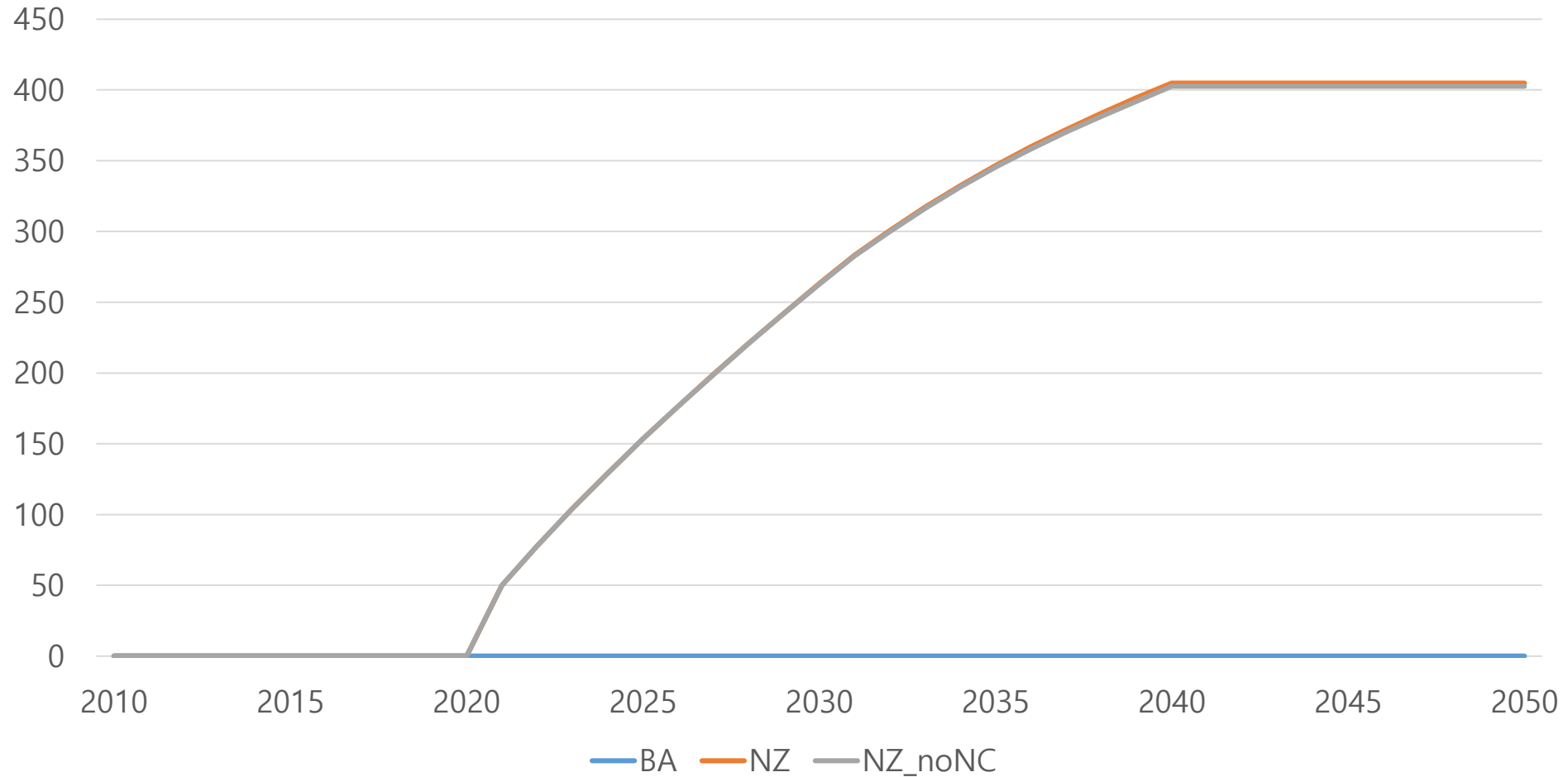
(3) 発電部門

①**石炭火力**は、2021年から非効率的かつ稼働歴の長いものの順に廃止し、**2040年にはフェーズアウト**するシナリオを設定

②**風力、バイオマス発電**には、**2021年～2035年に現行のFIT**を適用し、**太陽光電**にはFITを適用しないシナリオを設定

図表3.3 炭素税の設定

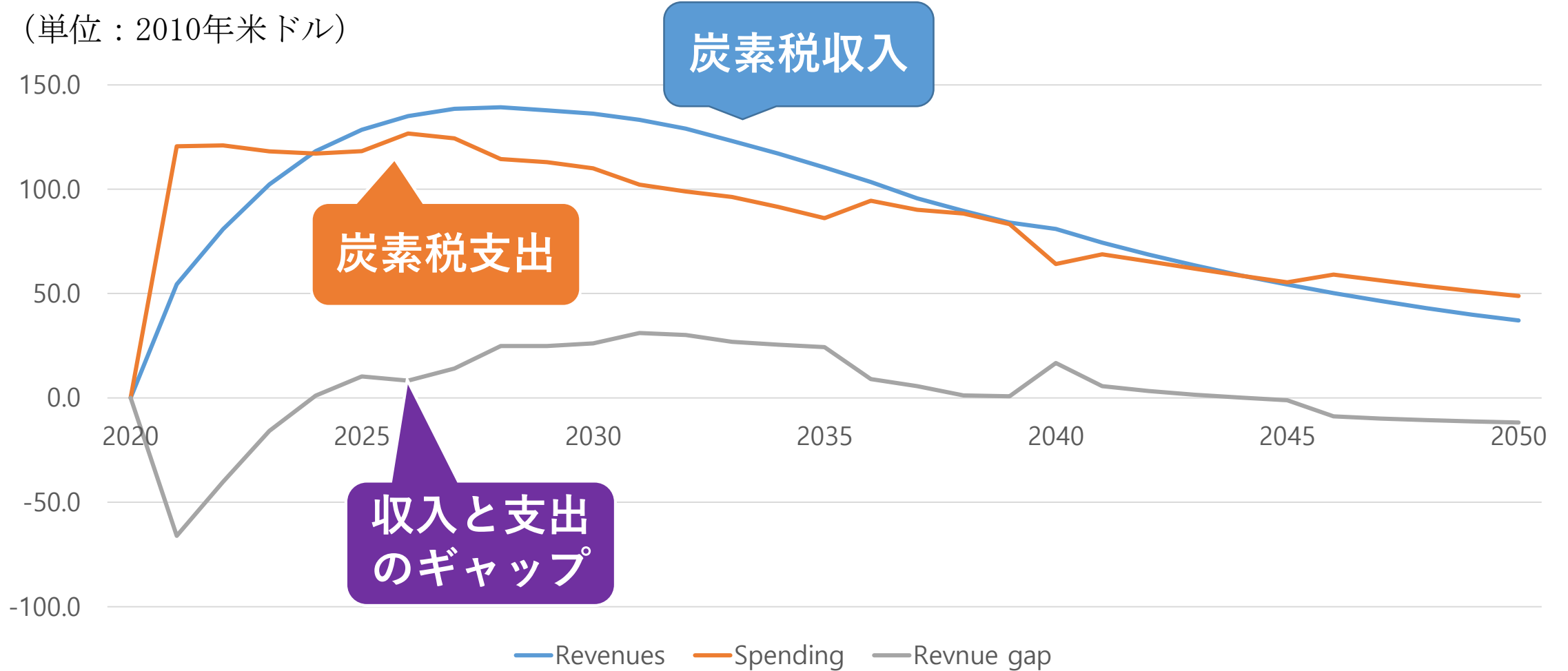
(単位：2010年米ドル)



出所：本研究のE3MEの推定による

図表3.4 炭素税収入と支出のシミュレーション

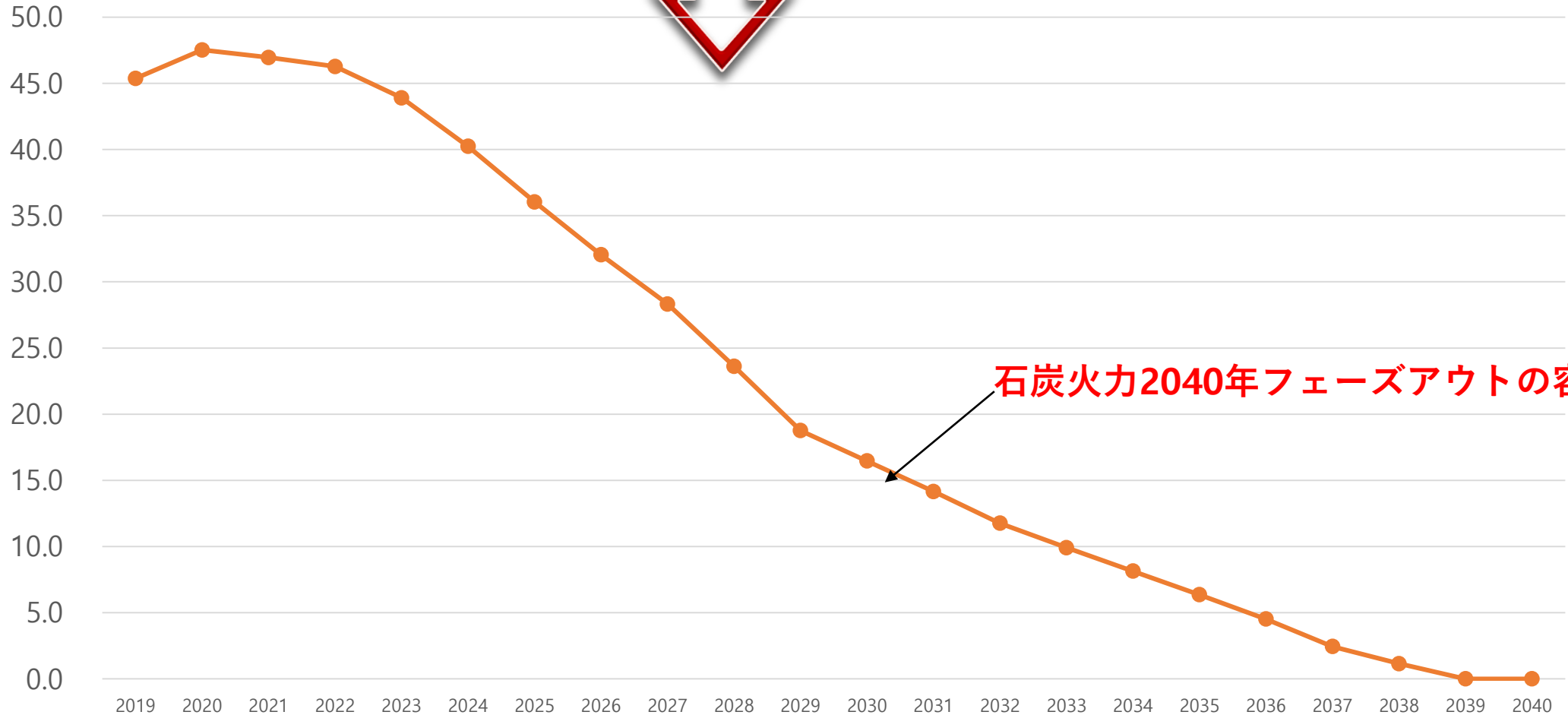
(単位：2010年米ドル)



出所：本研究のE3MEの推定による

図表3.5 2040年石炭火力フェーズアウトの経路

(単位: GW)



出所：本研究による設定

政策シナリオの設定(3)



(4) 交通部門

- ①内燃機関のみの自動車は、2035年販売しないように設定
- ②電気自動車(EV)については、2025年までに購入時に1台当たり搭載蓄電池容量によって8,000~13,000米ドル支給するように設定
- ③貨物自動車と航空機燃料については、バイオ燃料使用義務を徐々に高め、2050年まで100%の使用義務を設定

(5) 産業部門

- ①鉄鋼部門では、高炉部門の二酸化炭素排出量を2050年までにフェーズアウトする規制シナリオを設定
 - ▶経済全体のエネルギー起源二酸化炭素排出量の12.7%、産業部門中では約40%を占めている鉄鋼部門のみ対象にして政策シナリオの設定
- ②鉄鋼部門以外の部門はE3MEモデルの本体で低炭素補助をトップダウン方式により決定

(6) ビル部門

- 化石燃料を使用するボイラーを2050年までにフェーズアウトするように設定

図表3.5 政策シナリオ設定の詳細

設定項目	シナリオ設定内容	備考	
炭素税 Carbon tax	○税率は2021年に50米ドル/CO ₂ ・tから比例的に増加し、2040年には400米ドル/CO ₂ ・tになるように設定。2041年から2050年までには、400米ドル/CO ₂ ・tを維持。	○炭素税収は、税収中立に基づき、低炭素投資、FIT、火力発電フェーズアウトに伴う費用に充当	
発電部門 Power	原子力発電	○OUTLOOK2021のレファレンスシナリオ ○2040年フェーズアウト	○2050年電源割合：13% ○2040年電源割合：ゼロ
	石炭火力	○2040年にフェーズアウト	○2040年電源割合：ゼロ
	再エネ発電	○2021年～2035年に、風力、バイオマス発電にFITを適用 ○バイオマス+CCSは、スタートアップ電源として補助政策を採用	○太陽光はFITを設定しない ○2030年までに初期投資の60%を補助
交通部門 Transport	乗用車販売	○2035年からガソリン・ディーゼル車販売規制	○ハイブリッド車は販売維持
	EV補助金	○2025年までに車両購入補助金維持	○蓄電容量ベースに8,000～13,000米ドルを補助
	Bio-fuel mandate	○貨物自動車と航空機の燃料にバイオ燃料義務率を設定	○2021年に5%から徐々に増やし、2050年に100%を設定
鉄鋼部門 Steel	○2050年までに高炉からの排出をゼロとする		
ビルのボイラーboiler	○2050年までに化石燃料のボイラーをフェーズアウトする		

出所：本研究の設定による

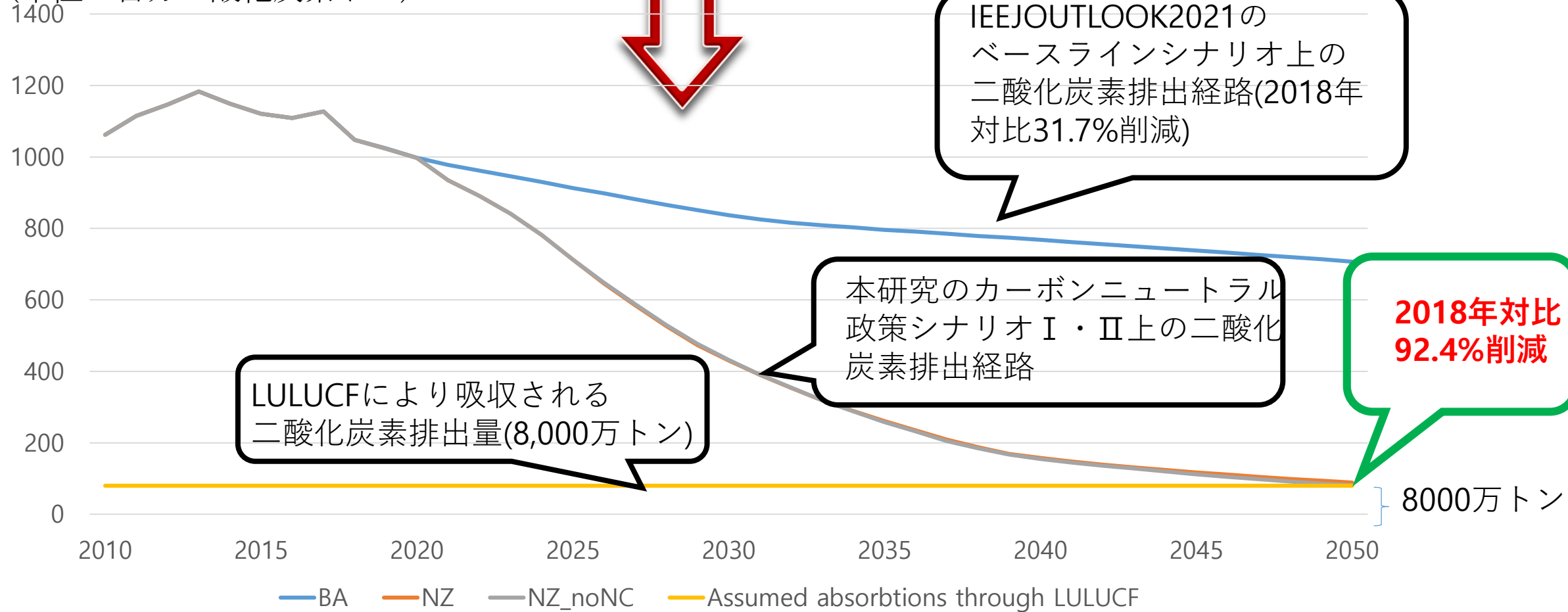


2050年カーボンニュートラルの日本のエネルギー構成とマクロ経済に与える影響

4-1.エネルギー構成へ与える影響

図表4.1 カーボンニュートラルの二酸化炭素排出経路

(単位：百万二酸化炭素トン)



注：BAはベースライン、NZは政策シナリオ I、NZ_noNCは政策シナリオ II を意味。
出所：本研究による推定

図表4.2 政策シナリオによる部門別二酸化炭素削減率

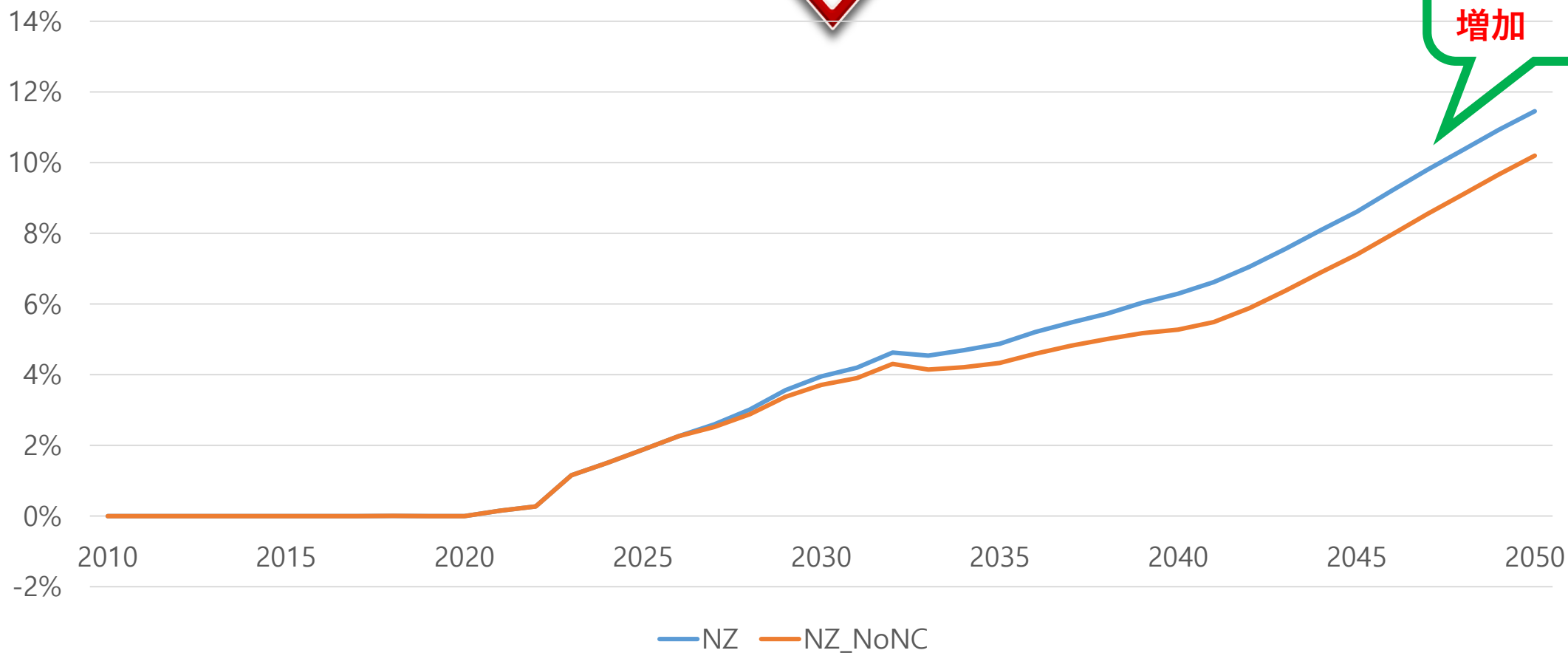
(ベースライン対比2030年および2050年削減率、%)



出所：本研究による推定

図表4.3 カーボンニュートラル政策シナリオによる電力需要予測

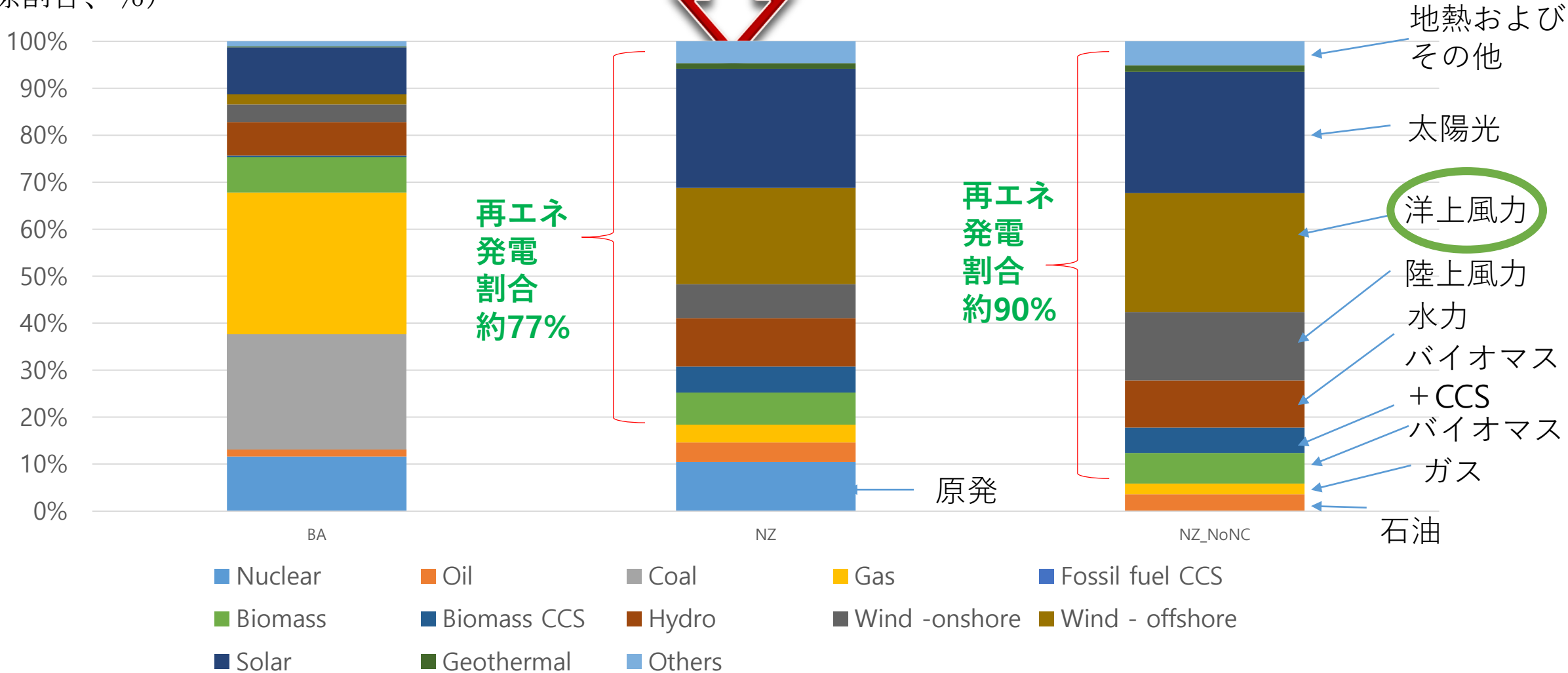
(ベースライン対比、%)



出所：本研究による推定

図表4.4 カーボンニュートラル政策シナリオによる2050年電源構成予測

(電源割合、%)



出所：本研究による推定

図表4.5 カーボンニュートラル政策シナリオによる2050年電源構成予測

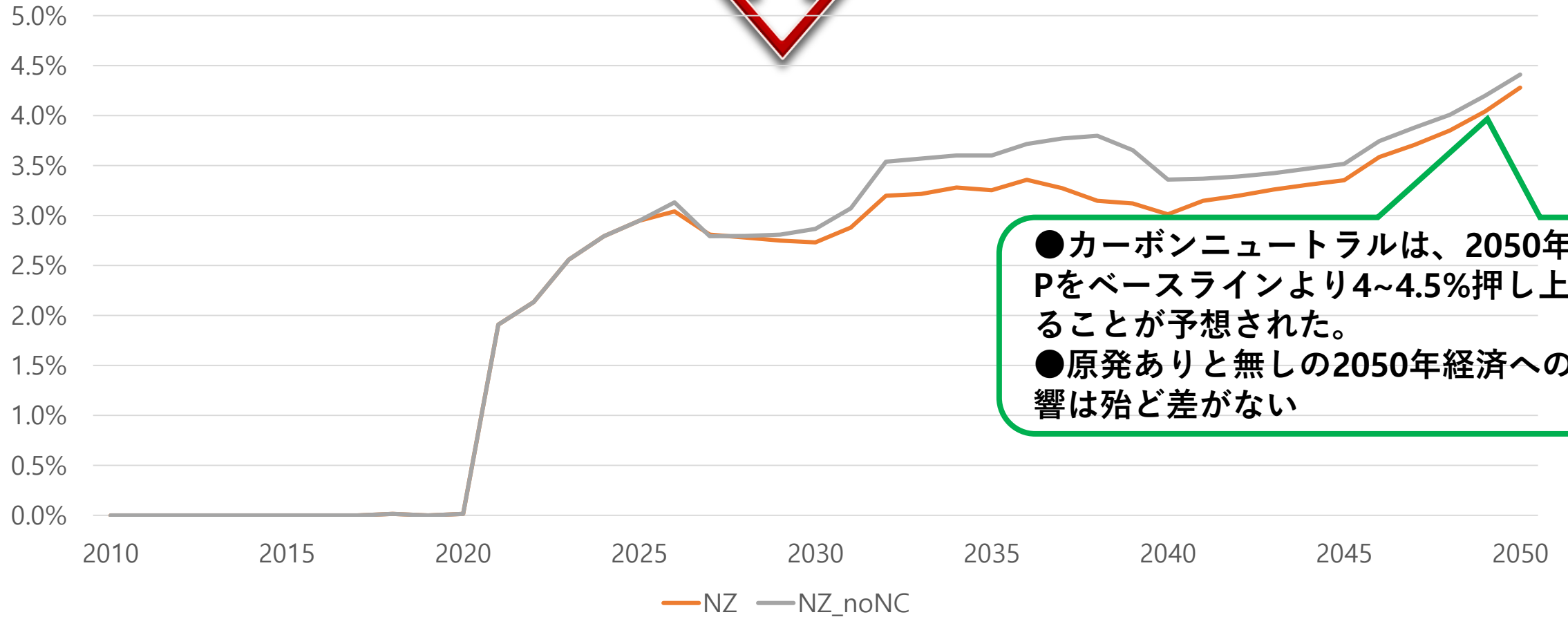
	2018年	2050年		
		BA	政策シナリオ I	政策シナリオ II
石炭火力	339(32)	262(24)	-	-
石油火力	52(4.9)	-	55(4.1)	47(3.5)
LNG火力	378(36)	288(27)	51(3.8)	30(2.3)
原発	65(6.2)	141(13)	140(10.5)	-
再エネ発電	198(18.8)	372(34.4)	1029(77.0)	1181(89.1)
水力	81(7.7)	94(8.7)	138(10.3)	133(10.0)
地熱	2.5(0.2)	13(1.2)	16(1.2)	19(1.4)
太陽光	63(6.0)	123(11)	339(25.4)	342(25.8)
風力	7.5(0.7)	64(5.9)	371(27.7)	528(39.8)
バイオマス	44(4.2)	78(7.2)	91(6.8)	87(6.6)
バイオマス+CCS	-	-	74(5.5)	72(5.4)
その他	19(1.8)	19(1.8)	62(4.7)	67(5.2)
合計	1050(100.0)	1082(100.0)	1337(100.0)	1325(100.0)

出所：本研究による推定

4-2.マクロ経済への影響

図表4.6 カーボンニュートラル政策シナリオによるGDP予測

(ベースライン対比、%)

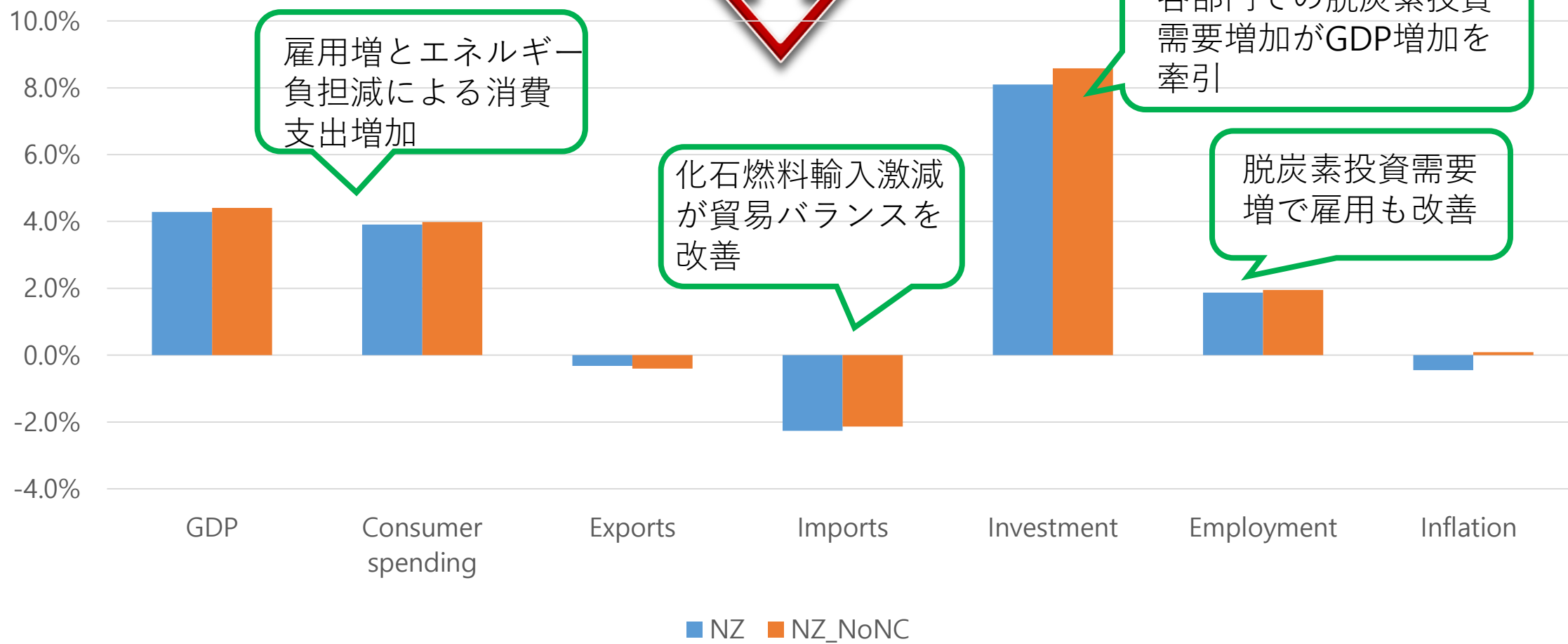


●カーボンニュートラルは、2050年GDPをベースラインより4~4.5%押し上げることが予想された。
●原発ありと無しの2050年経済への影響は殆ど差がない

出所：本研究による推定

図表4.7 カーボンニュートラル政策シナリオによる部門別経済予測

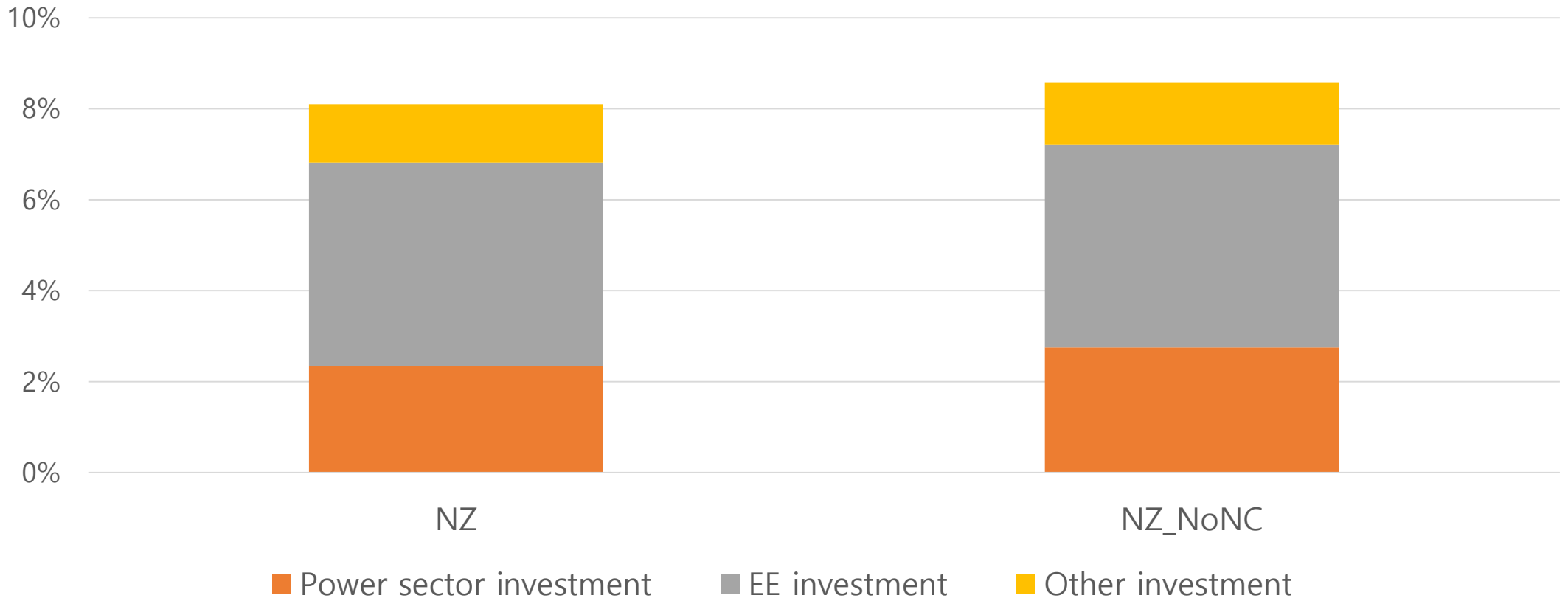
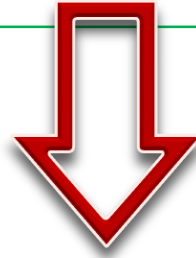
(ベースライン対比、%)



出所：本研究による推定

図表4.8 カーボンニュートラル政策シナリオによる部門別低・脱炭素投資需要予測

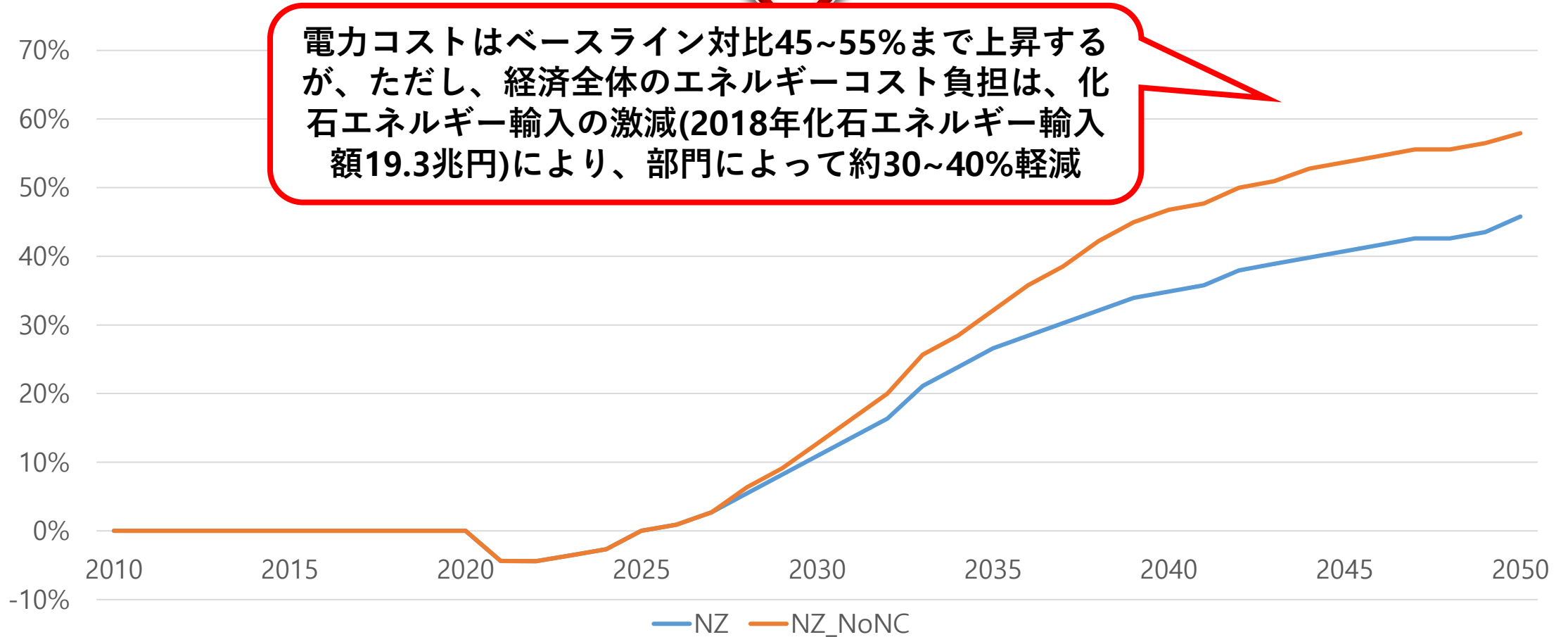
(ベースライン対比、%)



出所：本研究による推定

図表4.9 カーボンニュートラル政策シナリオによる電源コスト予測

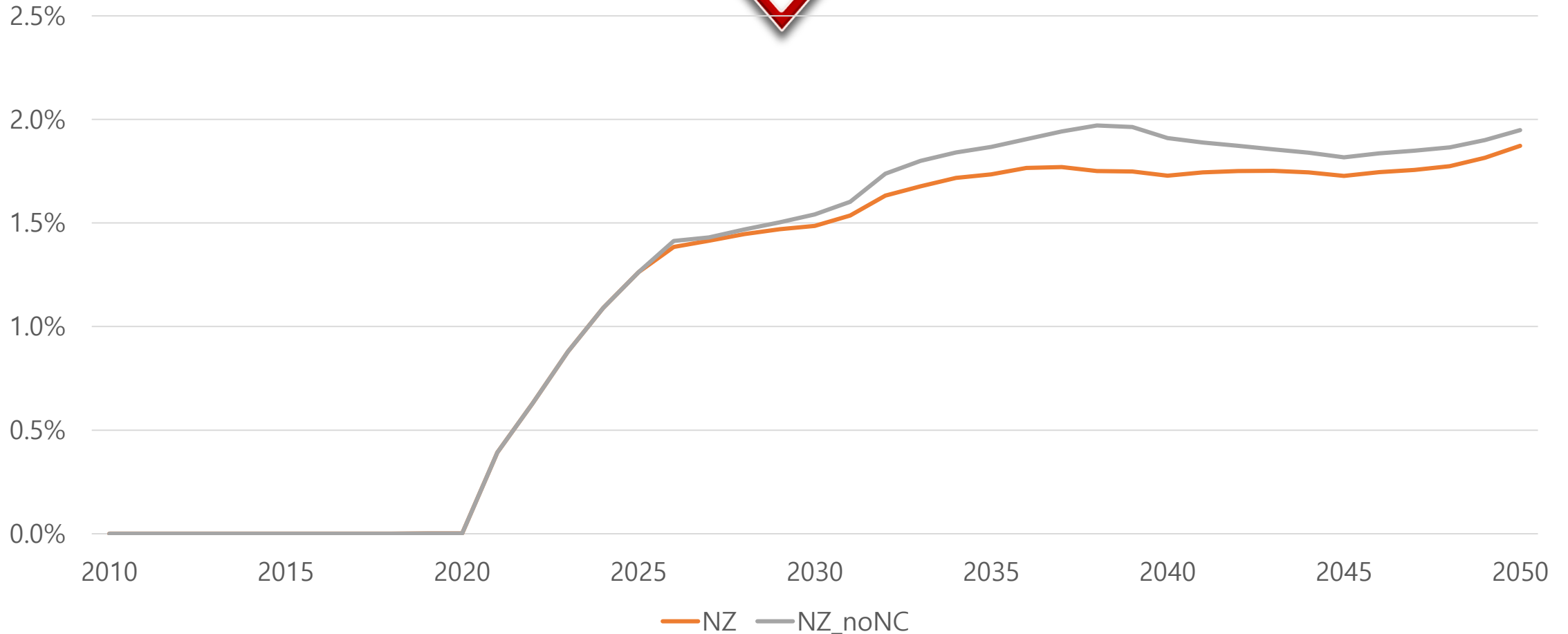
(ベースライン対比、%)



出所：本研究による推定

図表4.10 カーボンニュートラル政策シナリオによる雇用予測

(ベースライン対比、%)



出所：本研究による推定

結論と今後の課題



5-1.結論

●本研究では、日本が2050年にカーボンニュートラルを達成させるための炭素税をはじめ多様な低・脱炭素政策の組み合わせの政策シナリオが、現実の政策として実施されることを想定したE3MEモデルシミュレーション

➡2050年までのエネルギー構成の変化と日本のマクロ経済に与える影響について予測

●その際に、原発の特殊性を考慮し、原発あり（政策シナリオⅠ）と原発2040年フェーズアウト（政策シナリオⅡ）の2つケースについて政策シナリオを採用

➡その結果、いずれの政策シナリオにおいても2050年にカーボンニュートラルの達成と経済良好の両立が可能

●その主な要因として、発電部門の再生可能エネルギー投資拡大とともに経済各部門で多様な低・脱炭素投資需要の拡大、雇用増大による民間消費需要の増加、化石エネルギー輸入の大幅な縮小による貿易バランスの向上が挙げられる。

●また低・脱炭素政策によるエネルギーコスト上昇は、2050年になってもベースラインシナリオに比べて45%~55%上昇に留まり、化石エネルギー費用負担の大幅な縮小分を考慮すれば、経済にはあまり負担にならないことが明らかになった。

5-2. 今後の課題

(1) 日本のカーボンニュートラル政策評価

●今後、日本のカーボンニュートラル政策が、実質的にカーボンニュートラルの達成に十分であるか、またその際の経済への影響はどれほどなのかに関する政策評価

(2) 多様な低・脱炭素技術に関するFTTモデルの設定問題

●本研究における低・脱炭素技術革新のスピードをボトムアップで決めるFTTモデルでの、技術革新スピードの設定は標準ケースの学習曲線に従っている。

➡FTT:Steelにおいて水素還元技術、FTT:Transportにおいて燃料電池自動車やe-fuelなど、今後技術革新のスピードが速まることが予想される脱炭素技術についても、学習曲線の調整による低・脱炭素技術革新効果の適正な反映などが今後の課題

(3) ネガティブエミッション技術の扱い

●2050年カーボンニュートラル達成のためには、大気中のCO₂を人為的に回収または吸収ネガティブエミッションの役割も重要であるが、本研究では発電部門のバイオマス+CCSに留まった。

➡土壌炭素貯留、湿地・沿岸再生（ブルーカーボン）、バイオマス+CCS (BECCS)、直接空気回収 (DAC)、海洋アルカリ化などより多様なネガティブエミッションの技術の採用と進化方策については今後の課題。

(4) 雇用市場と低・脱炭素投資ファイナンスに関する細分化

- 本研究では、経済及び雇用効果はマクロ側面だけ考慮したが、低・脱炭素関連雇用とその他の雇用を分離することにより、**カーボンニュートラルの部門別新規雇用創出力**を図ることができる。
- 本研究では、低・脱炭素投資に対するファイナンスは主に政府（例えば炭素税の税込）から行うことを想定したが、今後は**民間部門からのファイナンスも考慮**する必要がある。
- ➡**民間部門からのファイナンスの拡大は、低・脱炭素政策の関連技術革新スピードをより早める可能性**がある。

(5) 日本以外の国のカーボンニュートラル政策

- 本研究のE3MEモデルの設定では、**日本が2050年カーボンニュートラルを達成**することを前提としたが、日本以外の国は現状の政策を維持することを想定
- ➡**日本以外の国もカーボンニュートラルの達成を前提とした場合、特に国際市場での日本の競争力構造に変化が起きる可能性があり、経済へ与える影響も多少変わる可能性もある。日本以外の国がカーボンニュートラル政策を実施した場合の日本経済へ与える影響に関する研究**

Thank you for your kind attention

