

京大シンポジウム

2017.08.02

日本のパリ協定実現に向けた炭素税 制改革と持続可能な電源ミックス —E3MEモデルによる分析—

李 秀澈 (名城大学)

slee@meijo-u.ac.jp



本報告の目的

本研究の目的

● 本報告の目的は、まず、日本がCOP21のパリ協定に提出した2030年温室効果ガス削減の約束草案(NDC)を守るために必要な炭素コストが、**炭素税率として導入された際の電源ミックス**と、その電源ミックスの**経済への影響**を、E3ME (Energy-Environment-Economy Macro Econometrics) マクロ計量モデルを用いて推定する。

●また、**石炭火力と原子力発電に想定可能な規制、再生可能エネルギー発電への支援制度**(固定価格買取制度など)が実施されたときの日本の電源構成と、その際の電源部門における二酸化炭素排出と**経済への影響**を、同じくE3MEマクロ計量モデルを用いて、**評価する方法**について紹介する。



E3MEモデル概要と ベースラインシナリオ

分析のツール

e3me

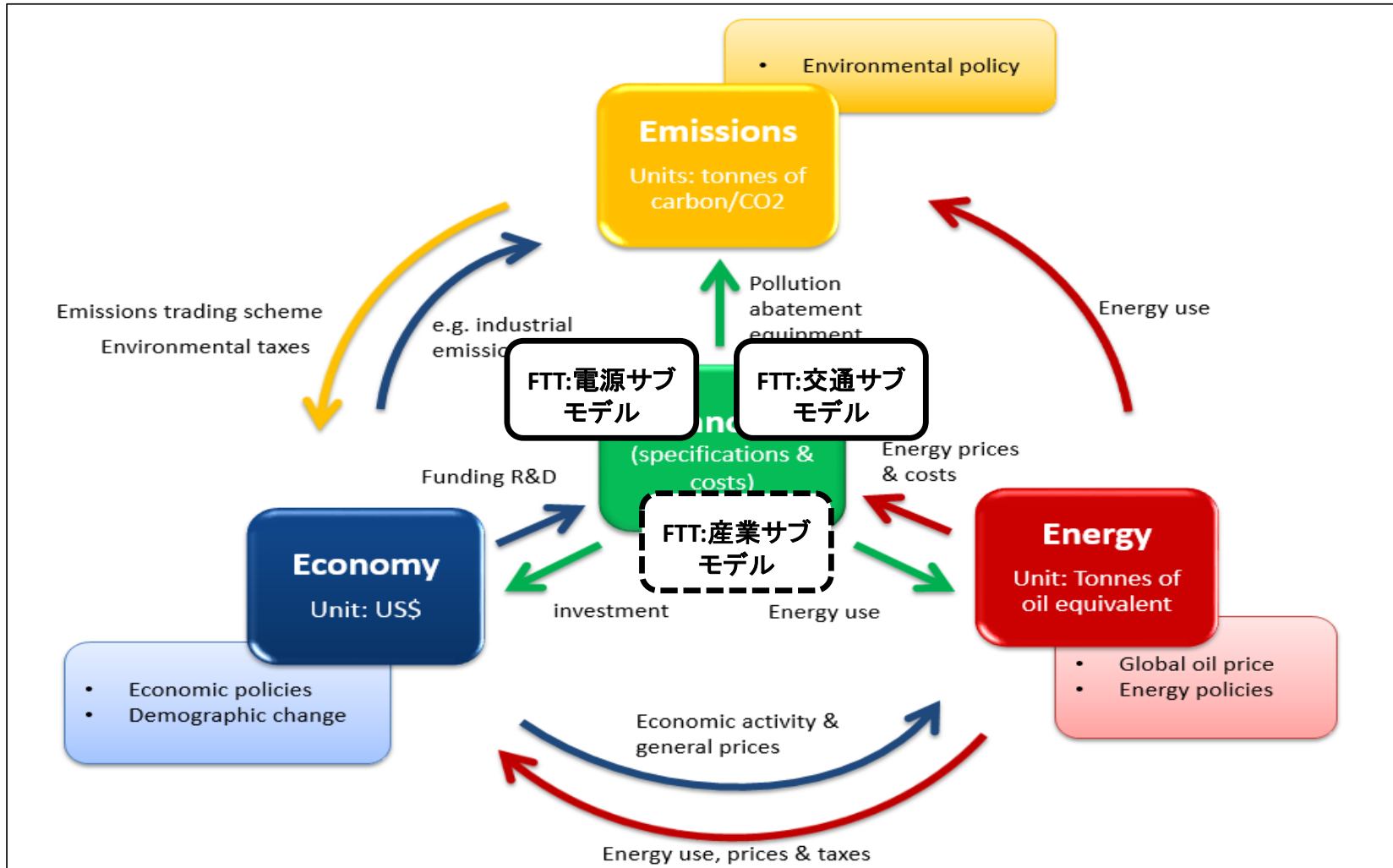
ce cambridge
econometrics

- Cambridge Econometricsによるマクロ計量モデル
過去40年間のデータとOECD/IEAの将来推計がベース
需要主導・均衡や最適化を前提としない
- 独立した電力部門モデル = FTT:Power
(University of CambridgeのCambridge Centre of Climate Change
Mitigation Researchによるモデル)

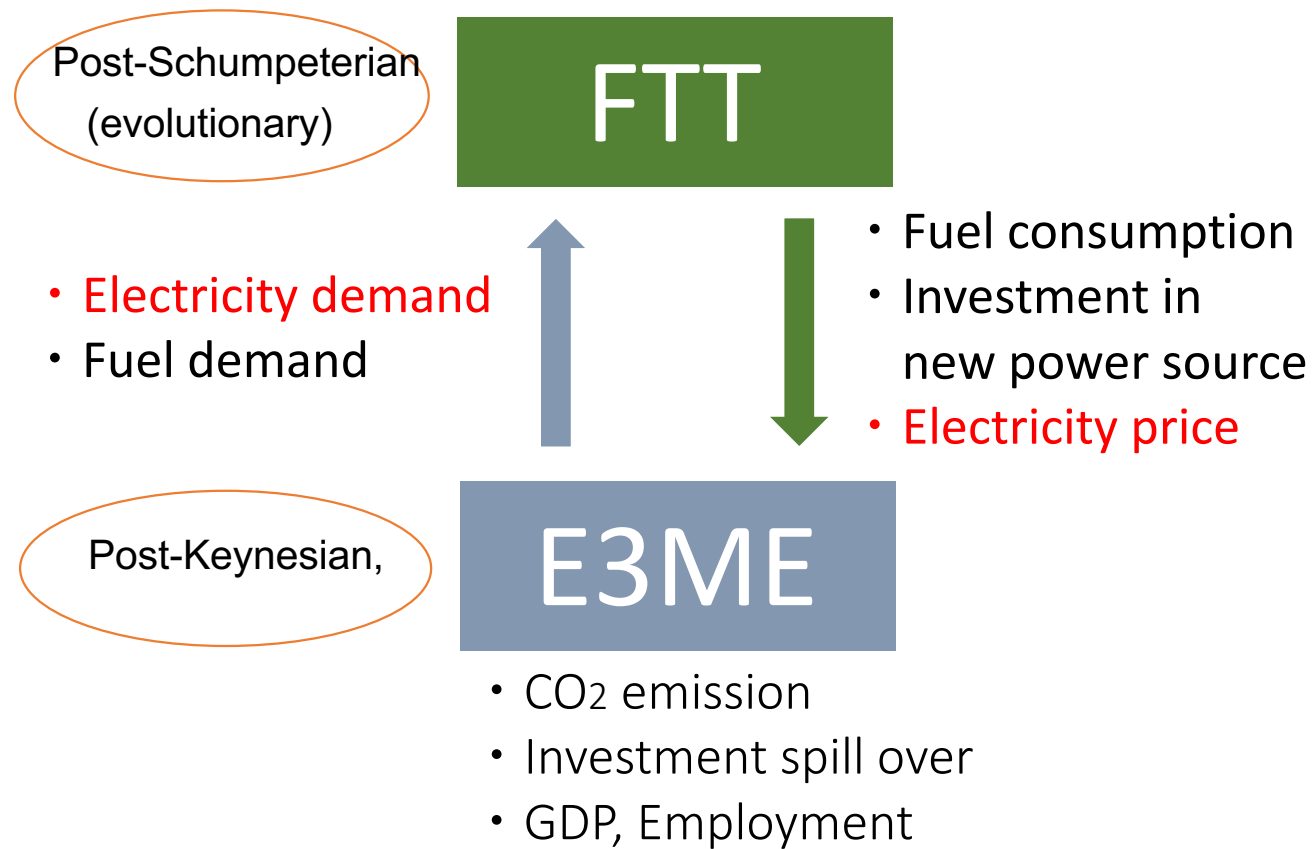
The E3ME model: Dimensions

- Econometric model
 - global coverage through 59 world countries and regions (EU, UK, Germany, France, ..., US, Japan, India, China, Mexico, Brazil, ASEAN, Indonesia, Malesia....)
 - 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, 24 power technology and 23 separate fuel user groups
 - 14 atmospheric emissions
 - long and short-term specification
 - annual solutions to 2050
- For more details see www.e3mgmodel.com

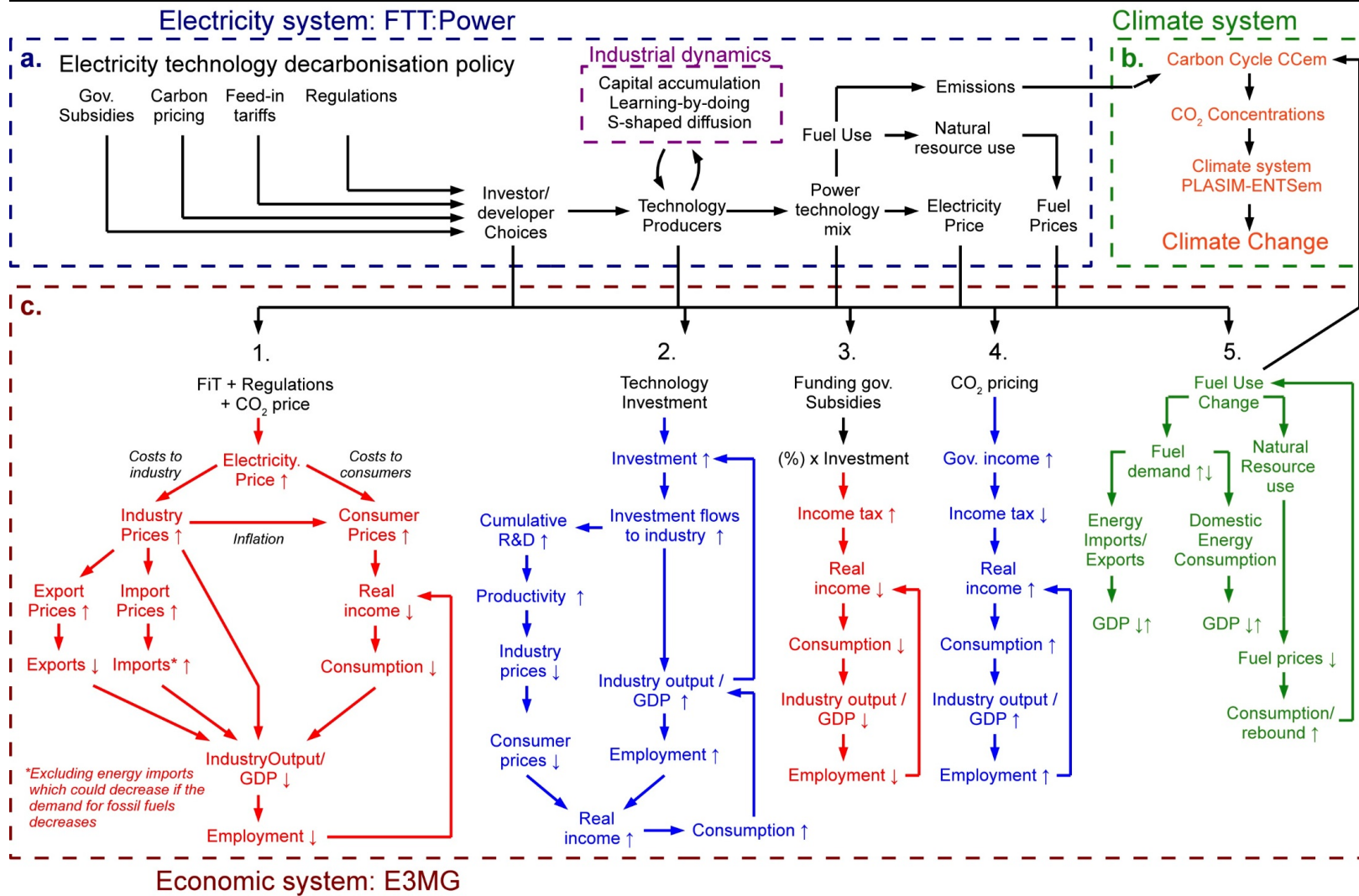
図表 1 E3MEモデルの概要



図表2 発電部門における E3MEとFTT(Future Technology Transformation)の関係

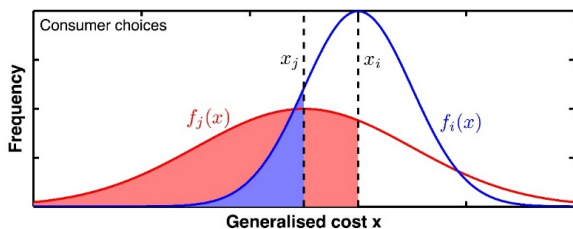
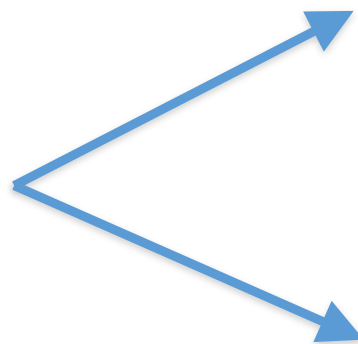


Bottom-up Schumpeterian meeting Top-down Post-Keynesian: the E3ME model



図表3 技術の選択と拡散：発電部門(FTT: Power)

新技術の導入：
イノベーション－選択－拡散

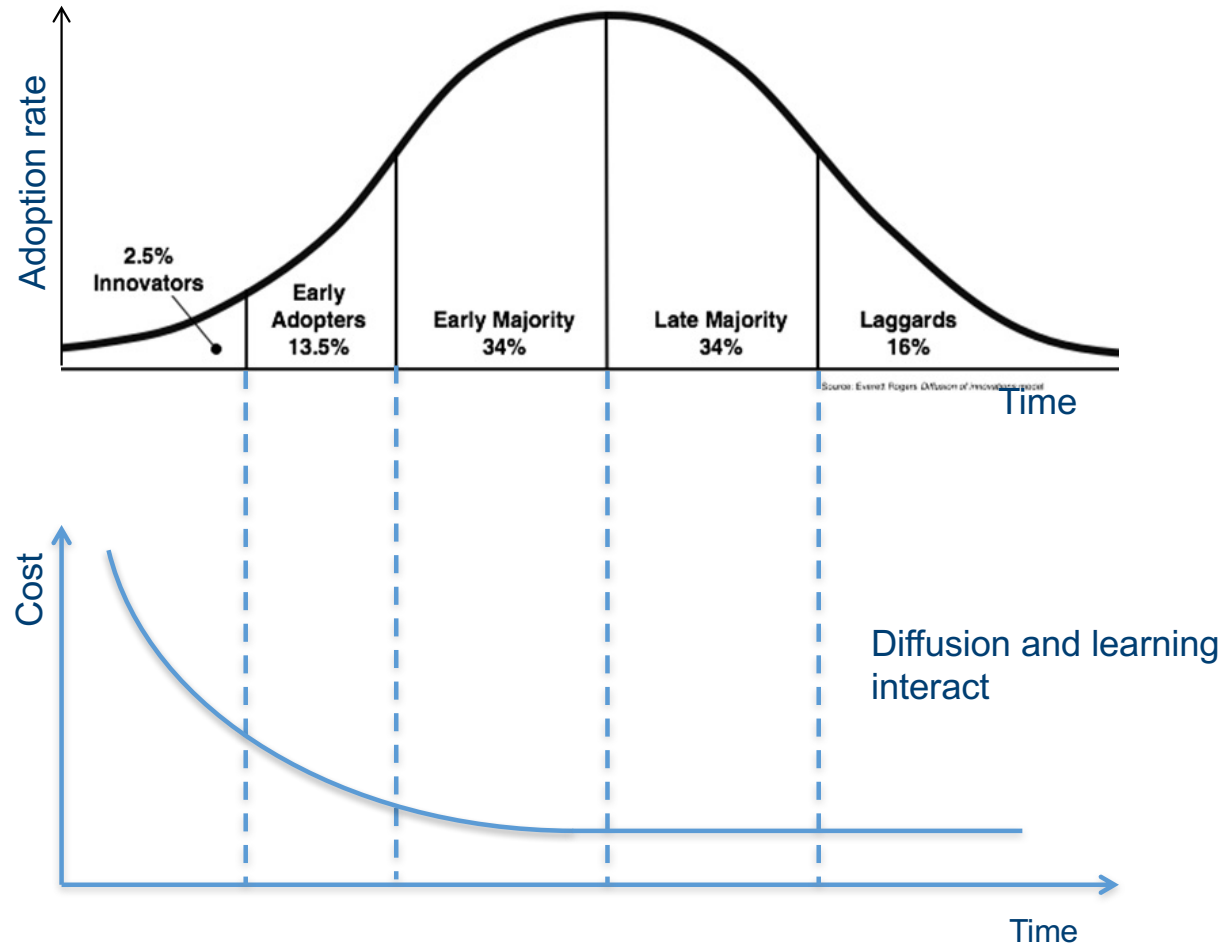


t



$t + \Delta t$

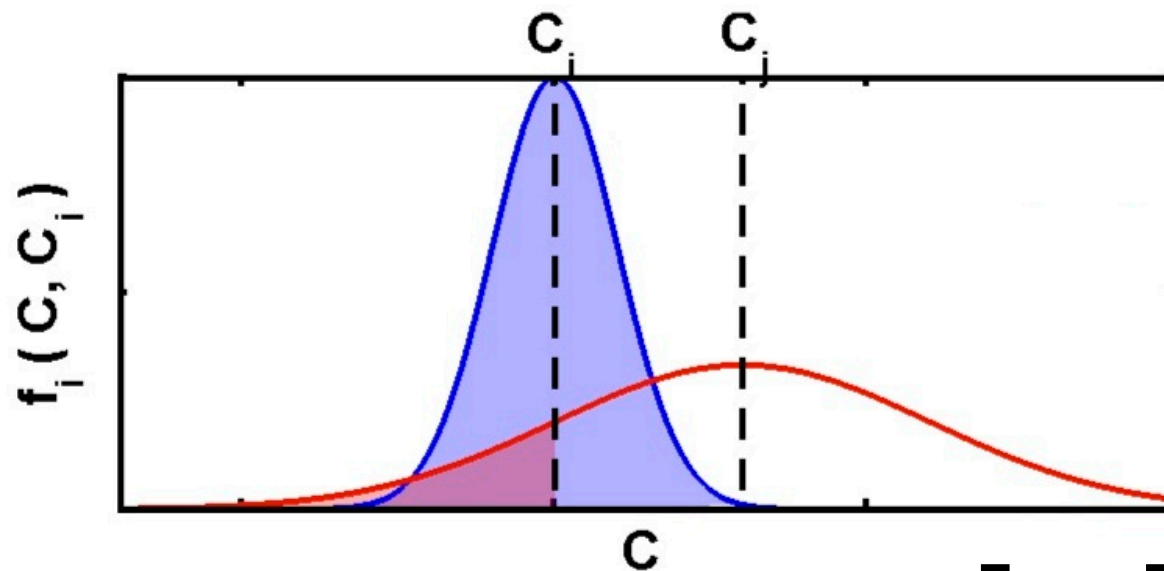
图表4 Typical patterns of technology diffusion



E.M. Rogers, Diffusion of Innovations, Fifth Edition p281 (2010)

図表5 FTTモデル (1)

2種の技術について確率的に選択を行う

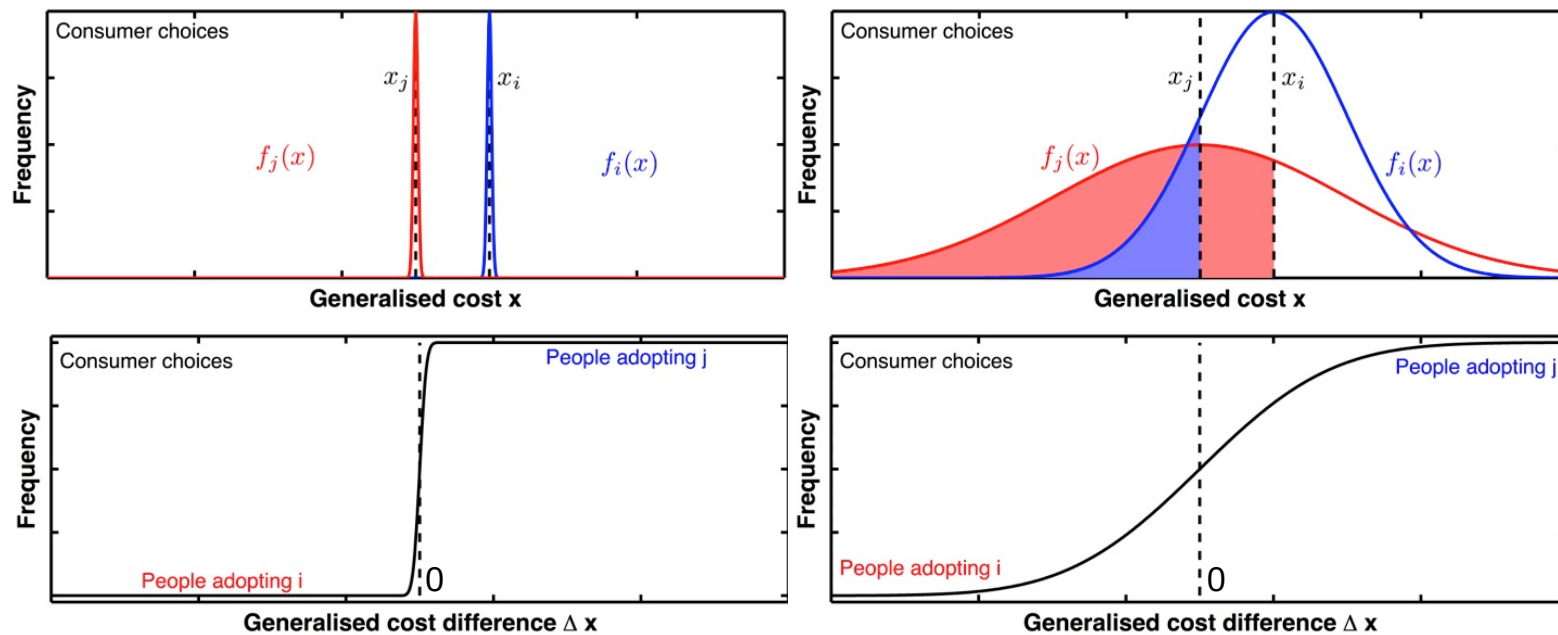


確率的選択行列: $\left[F_{ij} \right]$

J.-F. Mercure, Energy Policy 48, 799-811 (2012)

図表6 FTTモデル (2)

コストの分布によって選択確率も分布

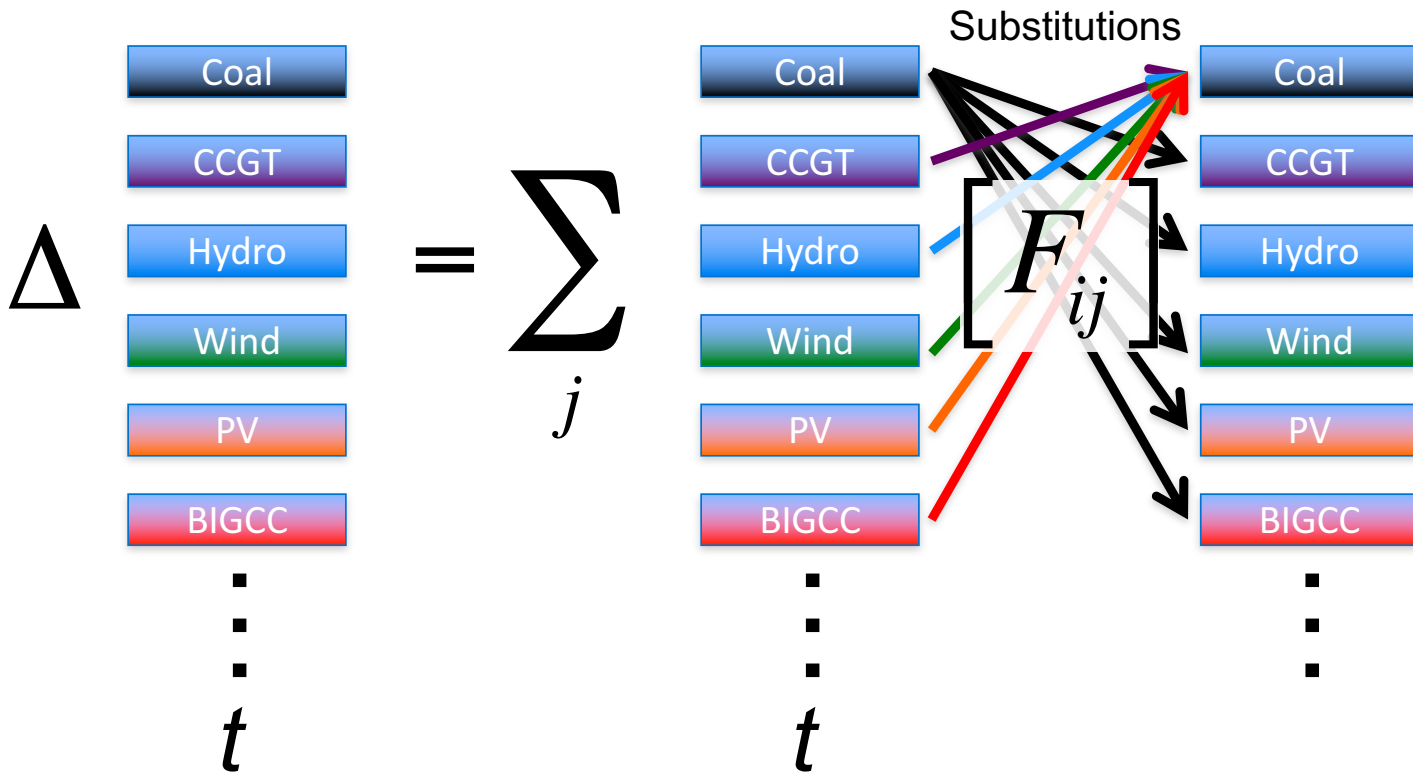


※ $\Delta x = x_i - x_j$

投資主体の多様性が選択確率に現れる

図表7 FTTモデル (3)

技術の代替を合計



J.-F. Mercure, Energy Policy 48, 799-811 (2012)

図表8 FTTモデル (4)

選択の総和として各技術のシェアを決定

$$\Delta S_i = \sum_j S_i S_j (A_{ij} F_{ij} - A_{ji} F_{ji}) \Delta t$$

J.-F. Mercure, Energy Policy 48, 799-811 (2012)

S_i : 技術iのシェア

A_{ij} : 技術iの稼働年数と技術jのリードタイム

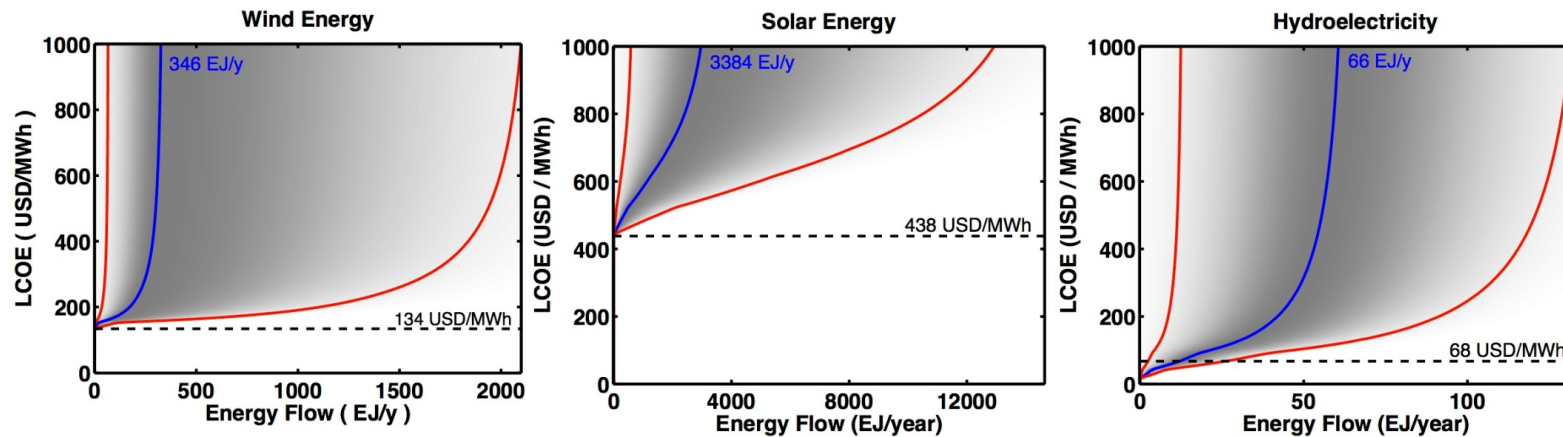
F_{ij} : 技術iと技術jのうち技術iが選択される確率

t : 時間

図表9 FTTモデル (5)

自然資源の賦存量に関する制約

= Cost-Supply Curve



Mercure & Salas, Energy 46, 322-336 (2012)

普及が進み利用量が大きくなるに従ってコストも増加する

Energy and emission classifications in E3ME Version 6

FU:23 (fuel users)

1. Power Generation
2. Own use
3. Hydrogen production
4. Iron & Steel
5. Non-ferrous Metals
6. Chemicals
7. Mineral Products
8. Ore-extraction
9. Food, Drink & Tob.
10. Tex., Cloth. & Foot.
11. Paper & Printing
12. Engineering etc
13. Other Industry
14. Construction
15. Rail Transport
16. Road Transport
17. Air Transport
18. Other Transport serv.
19. Households
20. Agriculture, forestry, etc.
21. Fishing
22. Other Final Users
23. Non-energy use

J:12 (fuels)

1. Hard coal
2. Other coal etc
3. Crude oil etc
4. Heavy fuel oil
5. Middle distillates
6. Other gas
7. Natural gas
8. Electricity
9. Heat
10. Combustible waste
11. Biofuels
12. Hydrogen

EM:14 (air emissions)

1. CO₂
2. SO₂
3. NO_x
4. CO
5. Methane
6. Black smoke
7. VOC
8. Nuclear - air
9. Lead - air
10. CFCs
11. N₂O (GHG)
12. HF₆ (GHG)
13. PFC (GHG)
14. SF₆ (GHG)

Energy and emission classifications in E3ME Version 6

Power technology

- 1 Nuclear
- 2 Oil
- 3 Coal
- 4 Coal + CCS
- 5 IGCC
- 6 IGCC + CCS
- 7 CCGT
- 8 CCGT + CCS
- 9 Solid Biomass
- 10 S Biomass CCS
- 11 BIGCC
- 12 BIGCC + CCS
- 13 Biogas
- 14 Biogas + CCS
- 15 Tidal
- 16 Large Hydro
- 17 Onshore
- 18 Offshore
- 19 Solar PV
- 20 CSP
- 21 Geothermal
- 22 Wave
- 23 Fuel Cells
- 24 CHP

Road transport technology

- 1 Petrol Econ
- 2 Petrol Mid
- 3 Petrol Lux
- 4 Adv Petrol Econ
- 5 Adv Petrol Mid
- 6 Adv Petrol Lux
- 7 Diesel Econ
- 8 Diesel Mid
- 9 Diesel Lux
- 10 Adv Diesel Econ
- 11 Adv Diesel Mid
- 12 Adv Diesel Lux
- 13 LPG Econ
- 14 LPG Mid
- 15 LPG Lux
- 16 Hybrid Econ
- 17 Hybrid Mid
- 18 Hybrid Lux
- 19 Electric Econ
- 20 Electric Mid
- 21 Electric Lux
- 22 motorcycles Econ
- 23 motorcycles Lux
- 24 Adv motorcycles Econ
- 25 Adv motorcycles Lux

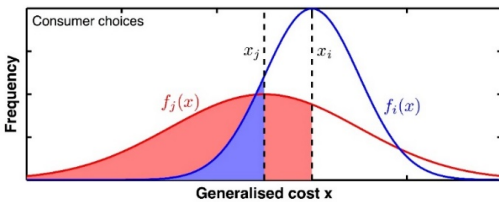
図表10 技術の選択と拡散: 交通部門 (FTT: Transportation)

新技術の導入:
イノベーション - 選択 - 拡散



FCV (Fuel Cell Vehicle)

||
燃料電池自動車

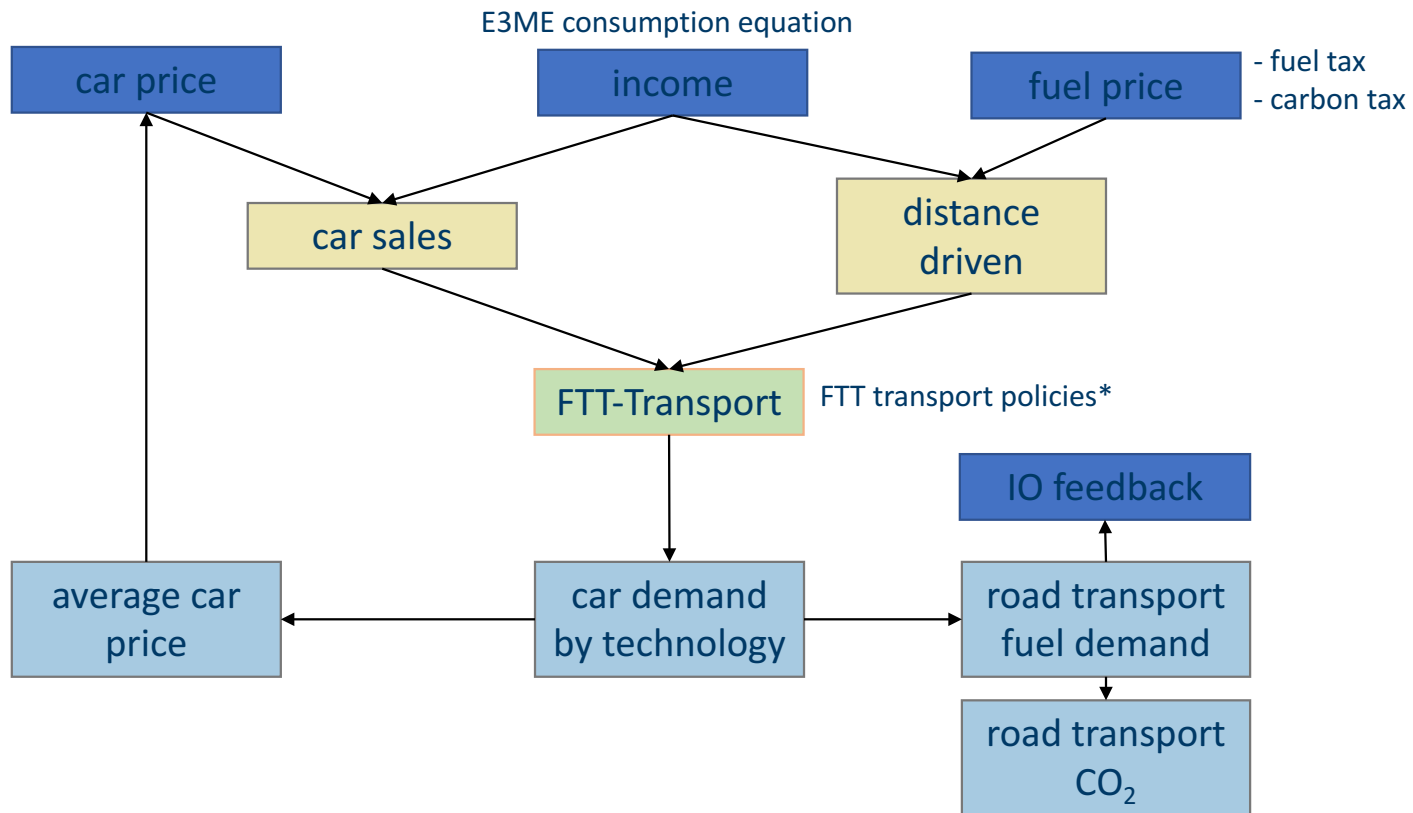


t

$t + \Delta t$

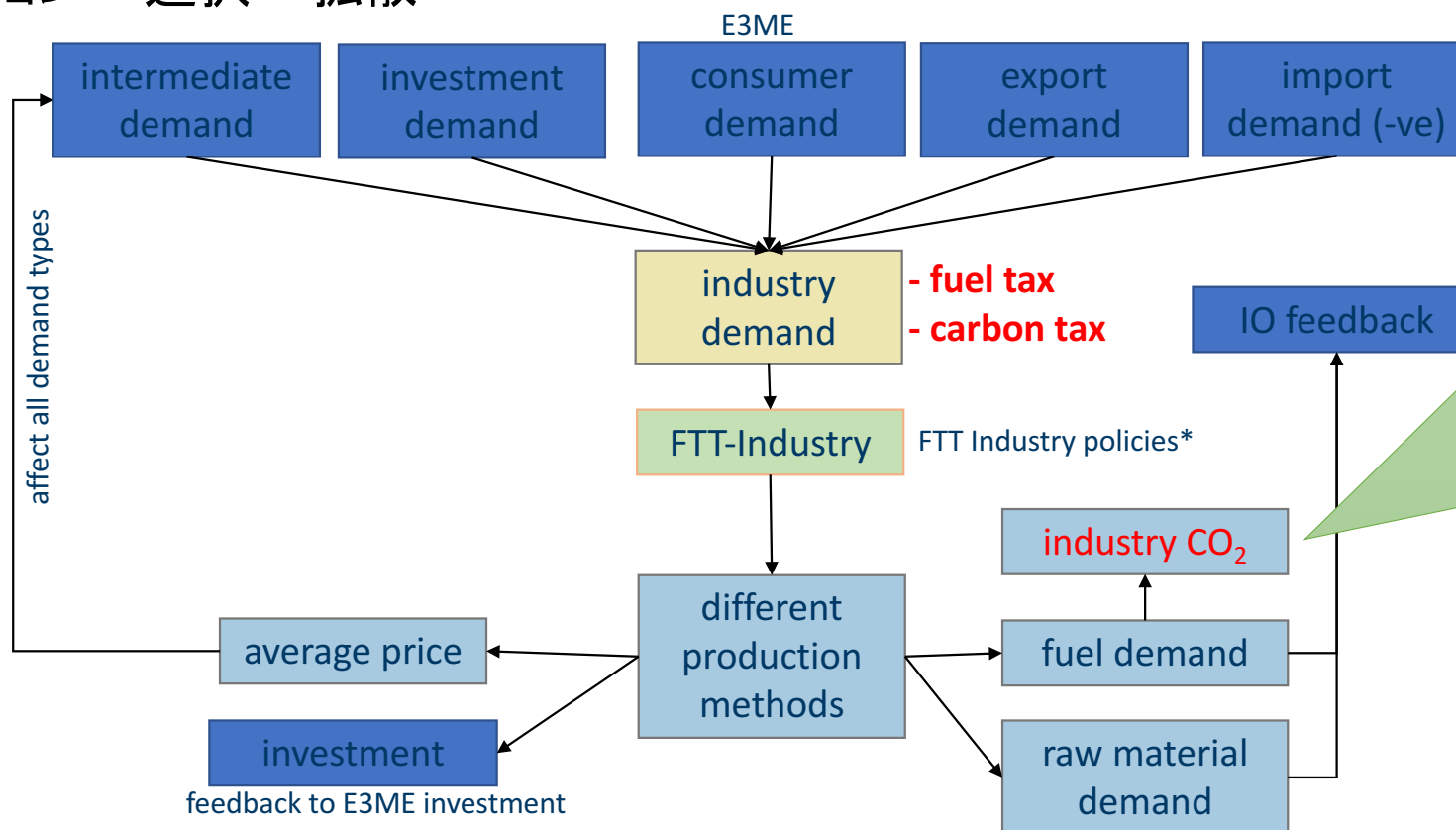
J.-F. Mercure, *Energy Policy* 48, 799-811 (2012)

E3ME-FTT Transport



図表11 技術の選択と拡散：産業部門(FTT: Industry)

新技術の導入：
イノベーション – 選択 – 拡散

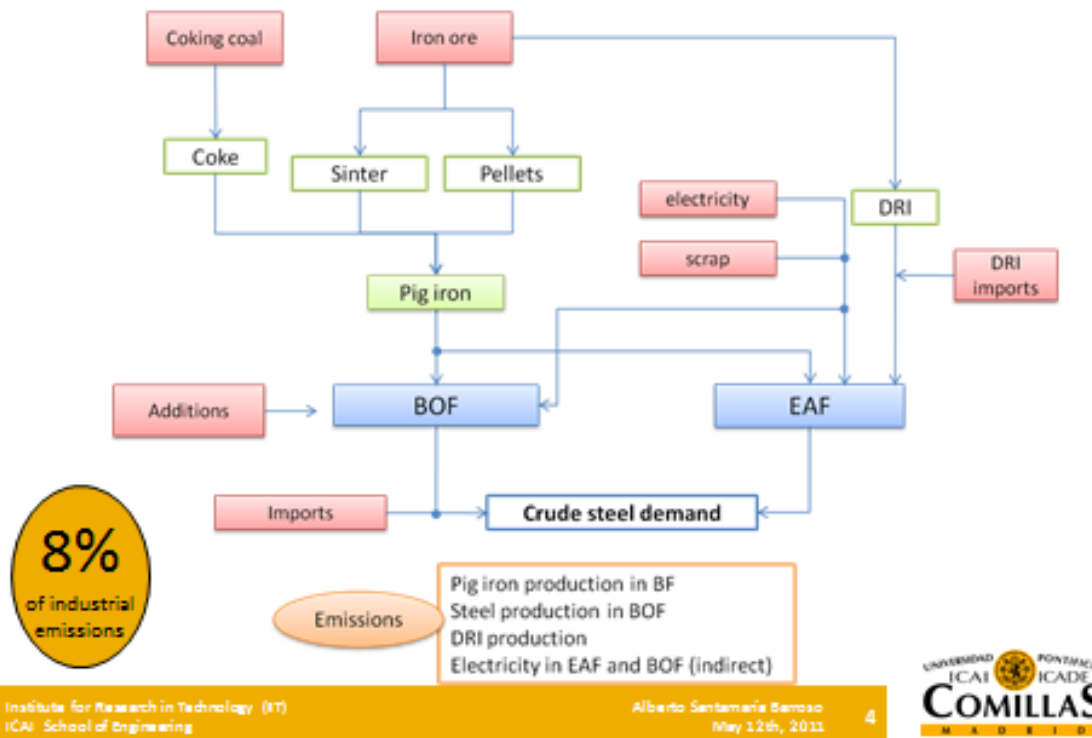


産業内技術革新によるCO2削減効果が内生的に決定され、目標達成のための必要なカーボンのコストが大きく軽減されることが、モデルで表現される。

Preliminary – subject to change

E3ME-FTT Industry – 鉄鋼業の例

Models and results: STEEL



© Xi'an Abundance Electric Technology Co.,Ltd

高炉の鉄鋼1トンの製造時に生じる二酸化炭素)は単純計算では約2.0kg、電気炉の鉄鋼は約0.5kgになるので、二酸化炭素排出量は電気炉のほうが高炉より約1/4節約可能となる

CGEモデルとマクロ計量モデルの比較

CGE Model

- perfect competition
- constant returns to scale
- equilibrium solution
- full employment
- projection based on one year's data
- guess-estimated parameters

E3ME

- varying competition over sectors and varying returns to scale
- product supply-demand balance
- unemployment
- projection based on 40-years' data used for econometric estimation

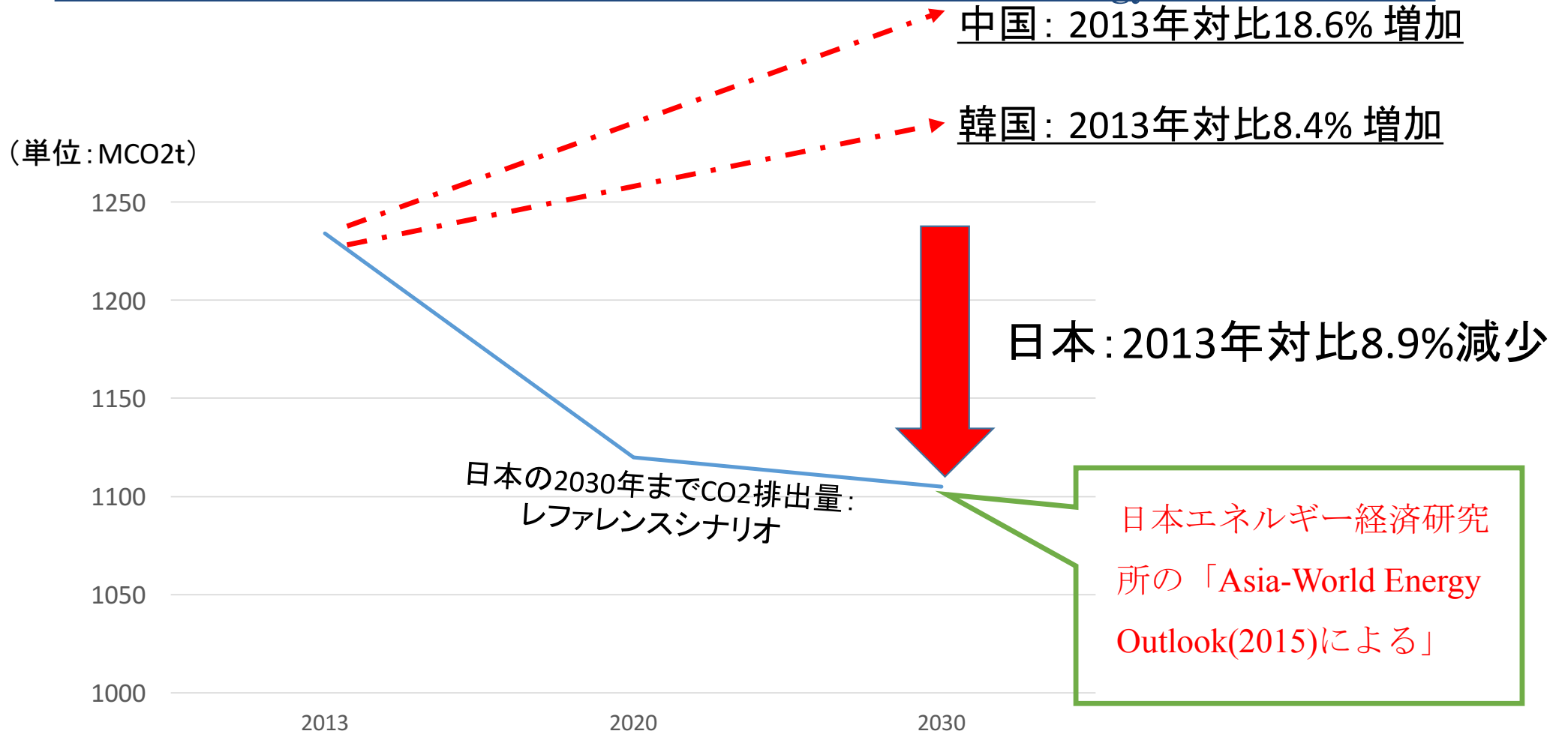
シナリオの設定

基準ケース
(Base Line)

分析の基準となる・各シナリオに共通の設定

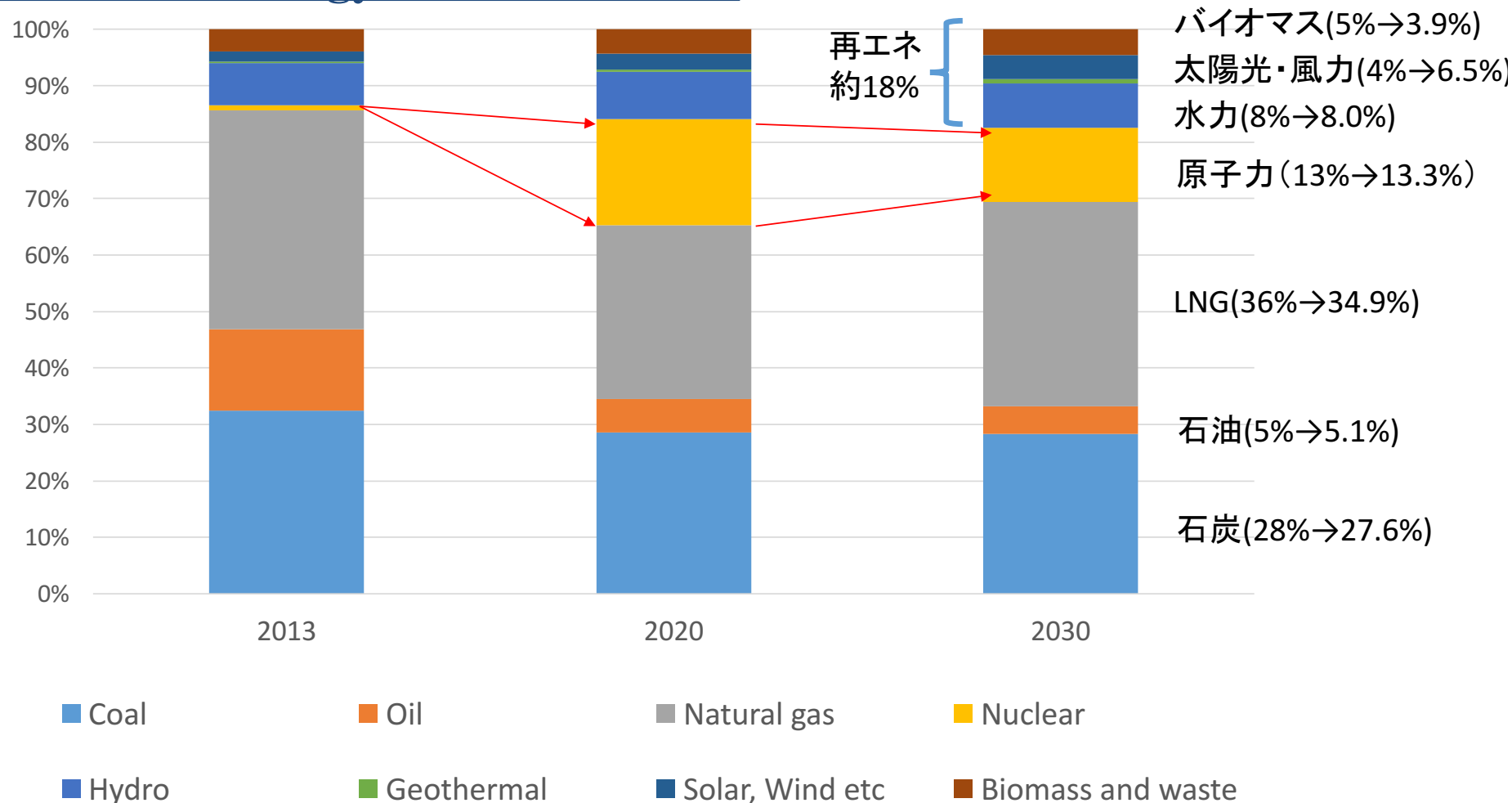
政策シナリオ

図 12 日本のCO2レファレンスシナリオ (Asia/World Energy Outlook 2015)



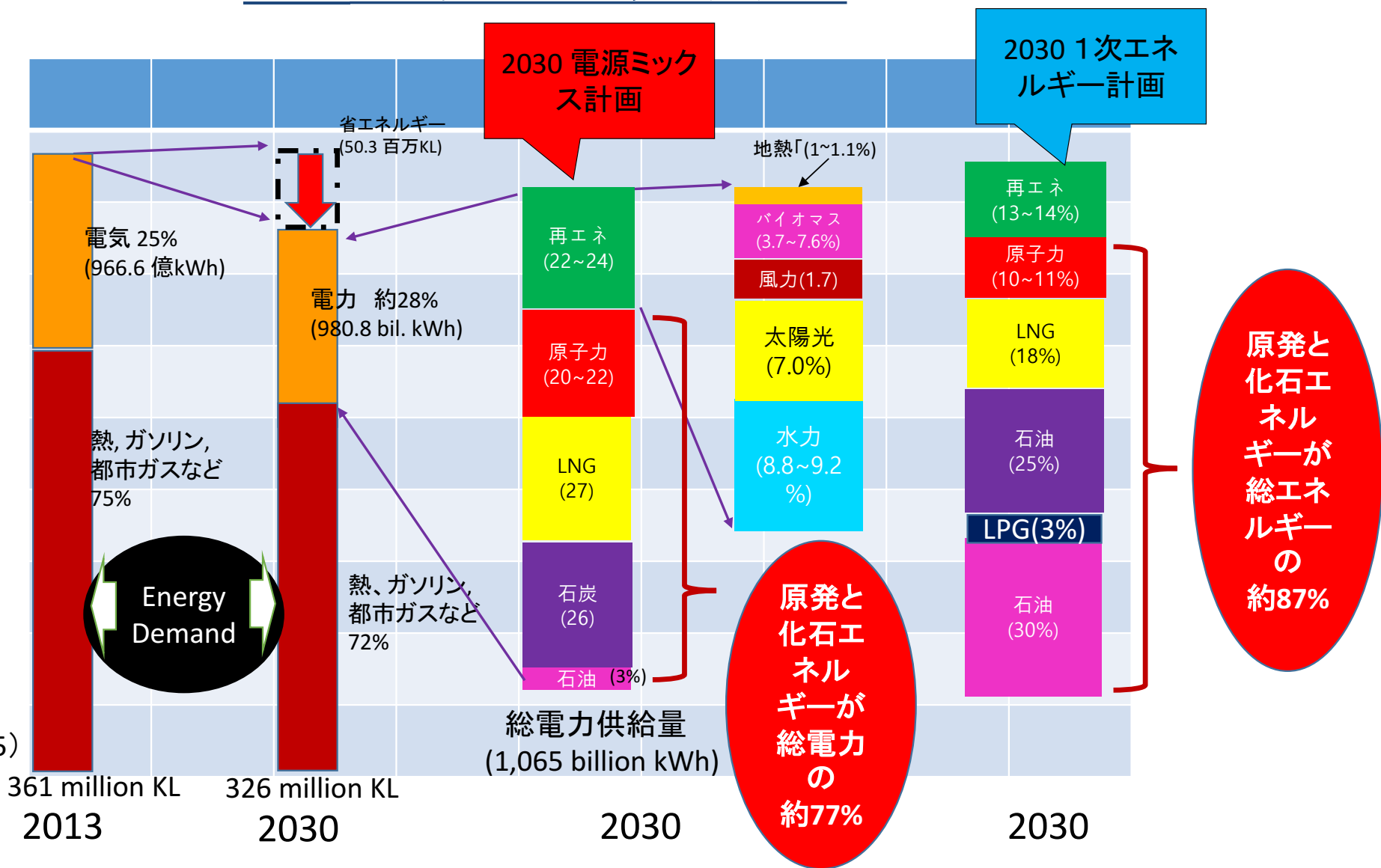
Source(s): Asia/World Energy Outlook 2015 (IEEJ 2016). 1316 1201 1075

図表13 2030年レファレンスシナリオによる日本の2030年電源ミックス (Asia/World Energy Outlook 2015)



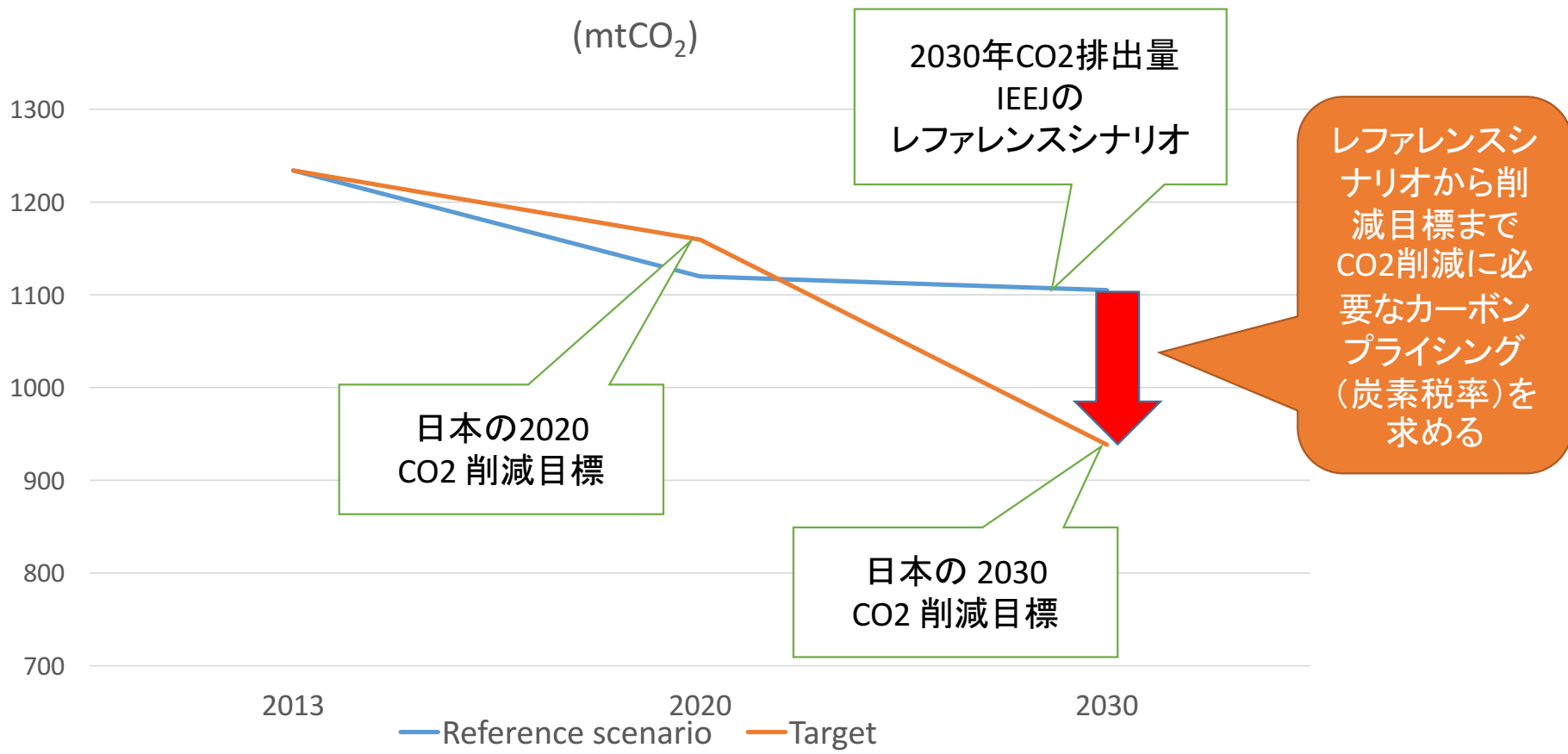
Source(s): Asia/World Energy Outlook 2015 (IEEJ 2016).

図 14 日本の2030年電源計画



Source: METI (2015)

図表15 日本の2020年および2030年のCO2削減目標と レファレンスシナリオ比較



図表16 政策シナリオの設定

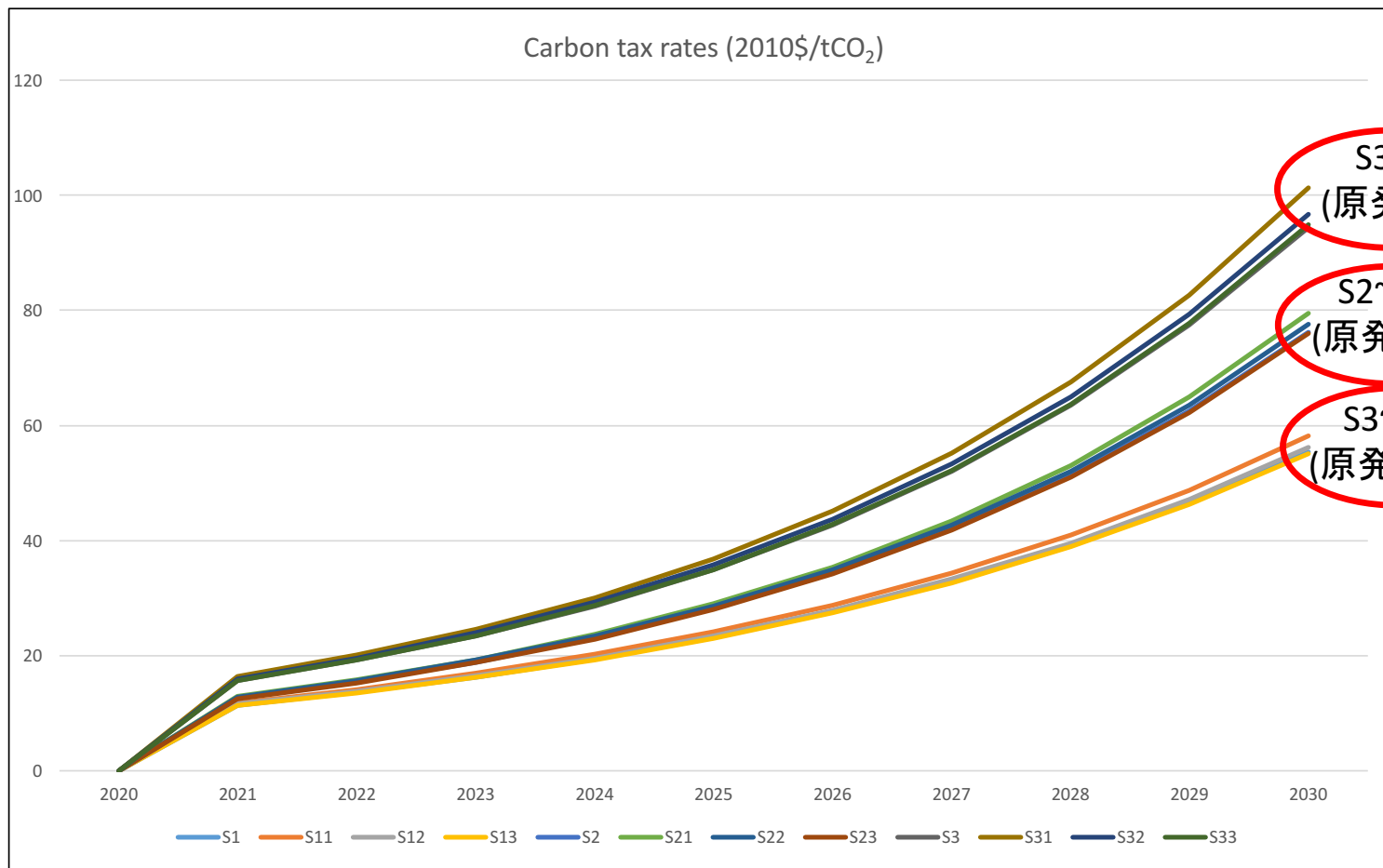
Scenario	Description	Nuclear share
Baseline	日本エネルギー経済研究所の Asia/World Energy Outlook 2015 レファレンスシナリオ	13% (IEEJ)
Scenario 1	日本の2030年NDC達成するために必要なカーボンコスト(炭素税のみ)の賦課	20%
Scenario 1.1	Scenario1+炭素税収を消費税減税財源として活用	20%
Scenario 1.2	Scenario1+炭素税収を所得税減税財源として活用	20%
Scenario 1.3	Scenario1+炭素税収を企業の社会保障関連費用削減財源として活用	20%
Scenario 2	日本の2030年NDC達成するために必要なカーボンコスト(炭素税のみ)の賦課	10%
Scenario 2.1	Scenario2+炭素税収を消費税減税財源として活用	10%
Scenario 2.2	Scenario2+炭素税収を所得税減税財源として活用	10%
Scenario 2.3	Scenario2+炭素税収を企業の社会保障関連費用削減財源として活用	10%
Scenario 3	日本の2030年NDC達成するために必要なカーボンコスト(炭素税のみ)の賦課	0%
Scenario 3.1	Scenario3+炭素税収を消費税減税財源として活用	0%
Scenario 3.2	Scenario3+炭素税収を所得税減税財源として活用	0%
Scenario 3.3	Scenario3+炭素税収を企業の社会保障関連費用削減財源として活用	0%



モデルシミュレーション結果と分析

3-1. 炭素税率とCO₂削減

図表17 シナリオ別炭素税率



● 2030年二酸化炭素削減目標を達成するための炭素税率は、シナリオ別に \$55~\$100/tCO₂ と推定された。

● 原発シェアの高いほうが低いほうより炭素税率は低く推定された。

S3~S33
(原発 0%)

S2~S23
(原発 10%)

S3~S33
(原発 20%)

図表18 シナリオ別部門別日本の2030年 CO₂ 排出量

(%、ベースラインからの乖離)

原発 20%シナリオ

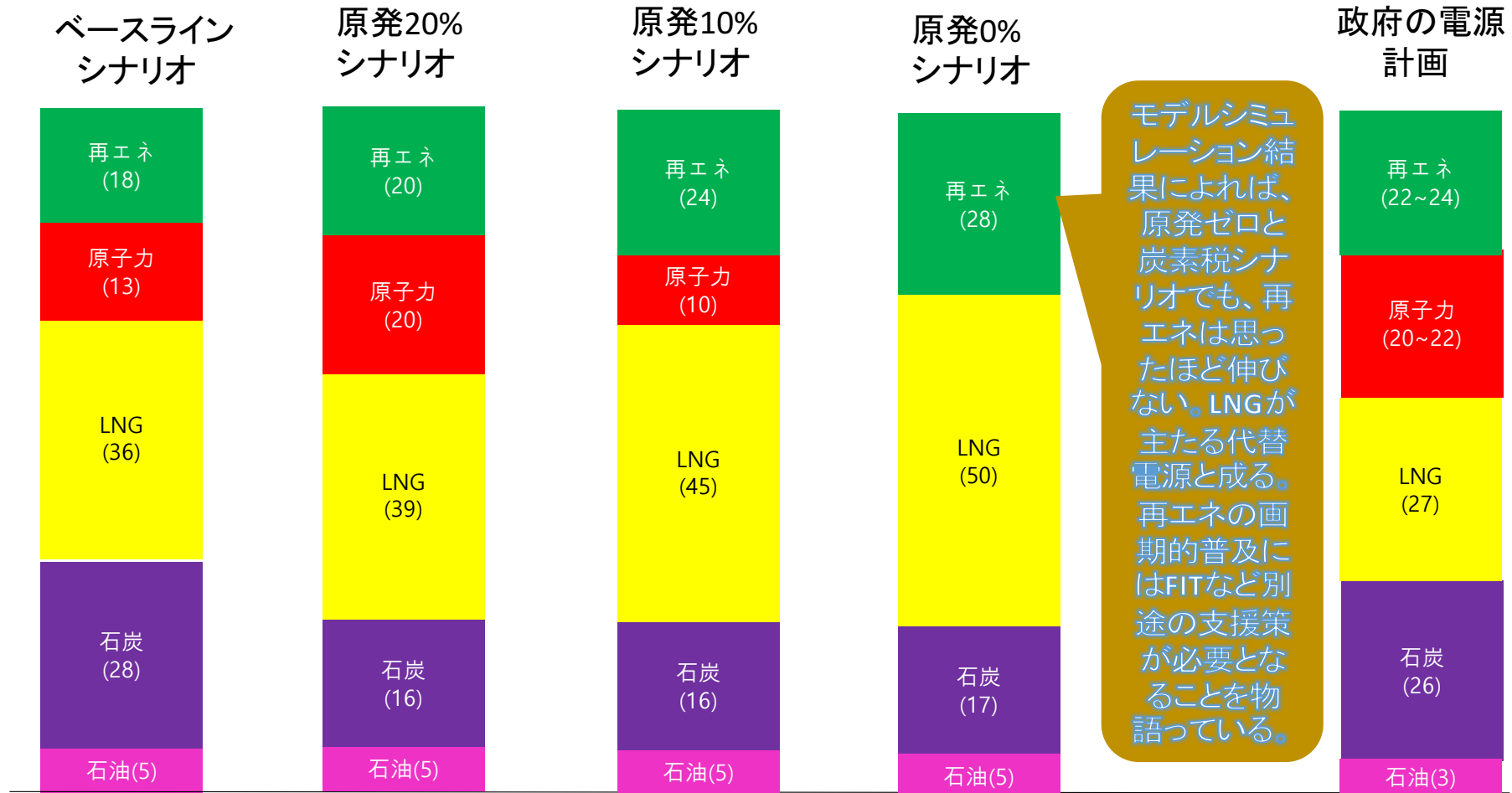
原発 10%シナリオ

原発 0%シナリオ

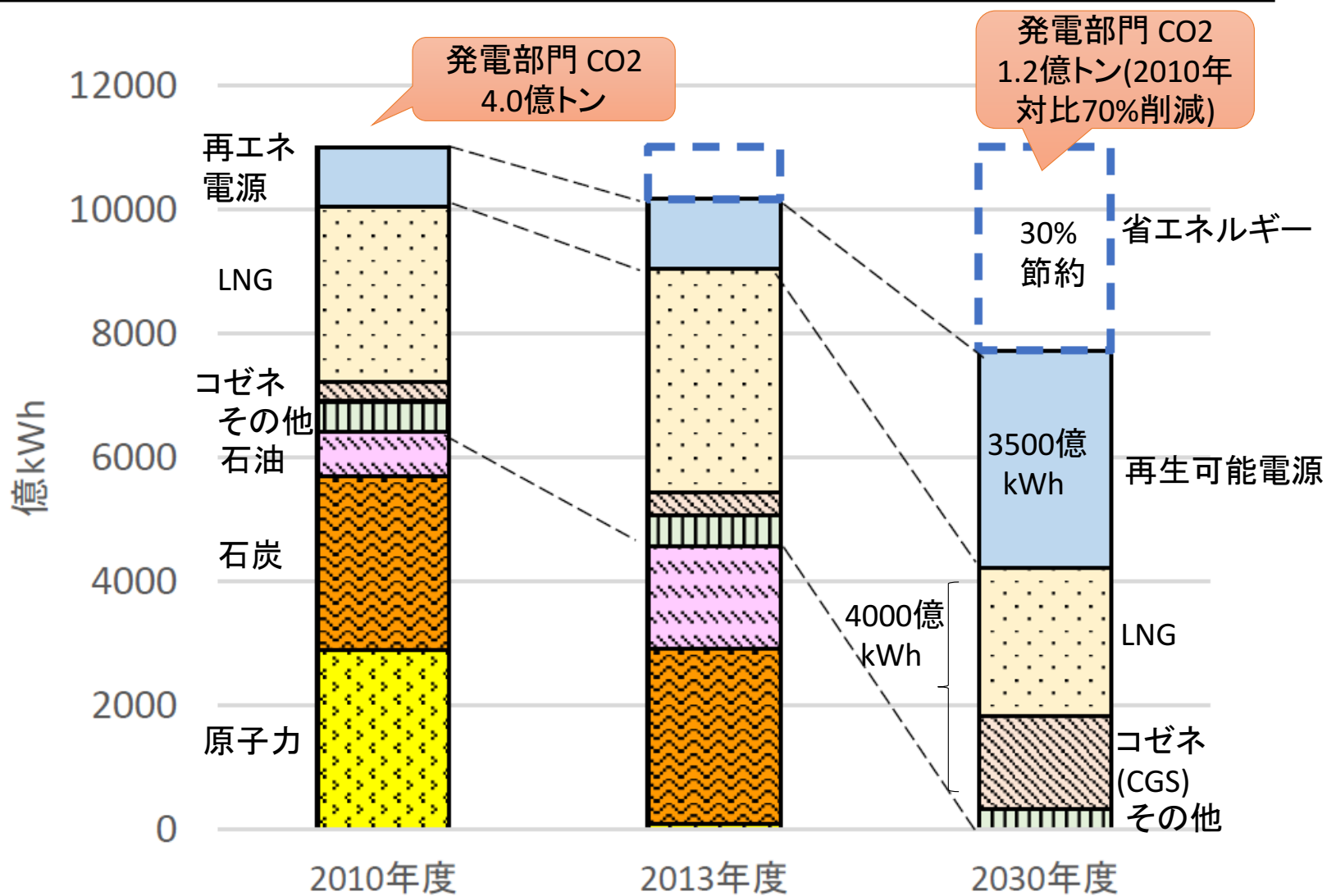
	原発 20%シナリオ				原発 10%シナリオ				原発 0%シナリオ			
	S1	S11	S12	S13	S2	S21	S22	S23	S3	S31	S32	S33
エネルギー転換部門	-19.9	-19.8	-19.9	-19.8	-16.7	-16.8	-16.7	-16.6	-14.3	-14.3	-14.5	-14.4
製造業	-21.9	-21.9	-21.9	-22.0	-27.9	-27.7	-27.9	-28.1	-31.7	-31.8	-31.8	-32.0
交通部門	-5.9	-5.8	-5.8	-5.8	-7.5	-7.3	-7.4	-7.4	-9.1	-9.0	-9.0	-9.0
家計部門	-2.5	-2.3	-2.3	-2.5	-3.3	-2.9	-3.1	-3.2	-4.0	-3.7	-3.8	-3.9
その他	-7.1	-7.4	-7.2	-7.1	-9.5	-9.8	-9.7	-9.4	-11.2	-11.6	-11.4	-11.1

Source(s): E3ME analysis

図表19 シナリオ別2030年電源ミックス予測（%、総電源の割合）



図表20 自然エネルギー財団の持続可能な再生可能エネルギー電源構成



出典;日本自然エネルギー財団(2015)

**図表21 主要先進国の再生可能エネルギー供給割合計画
(総発電量の割合)**

日本：2030年までに 22～24%

EU：2030年までに 45%

ドイツ：2025年までに 40～45%

スペイン：2020年までに 40%

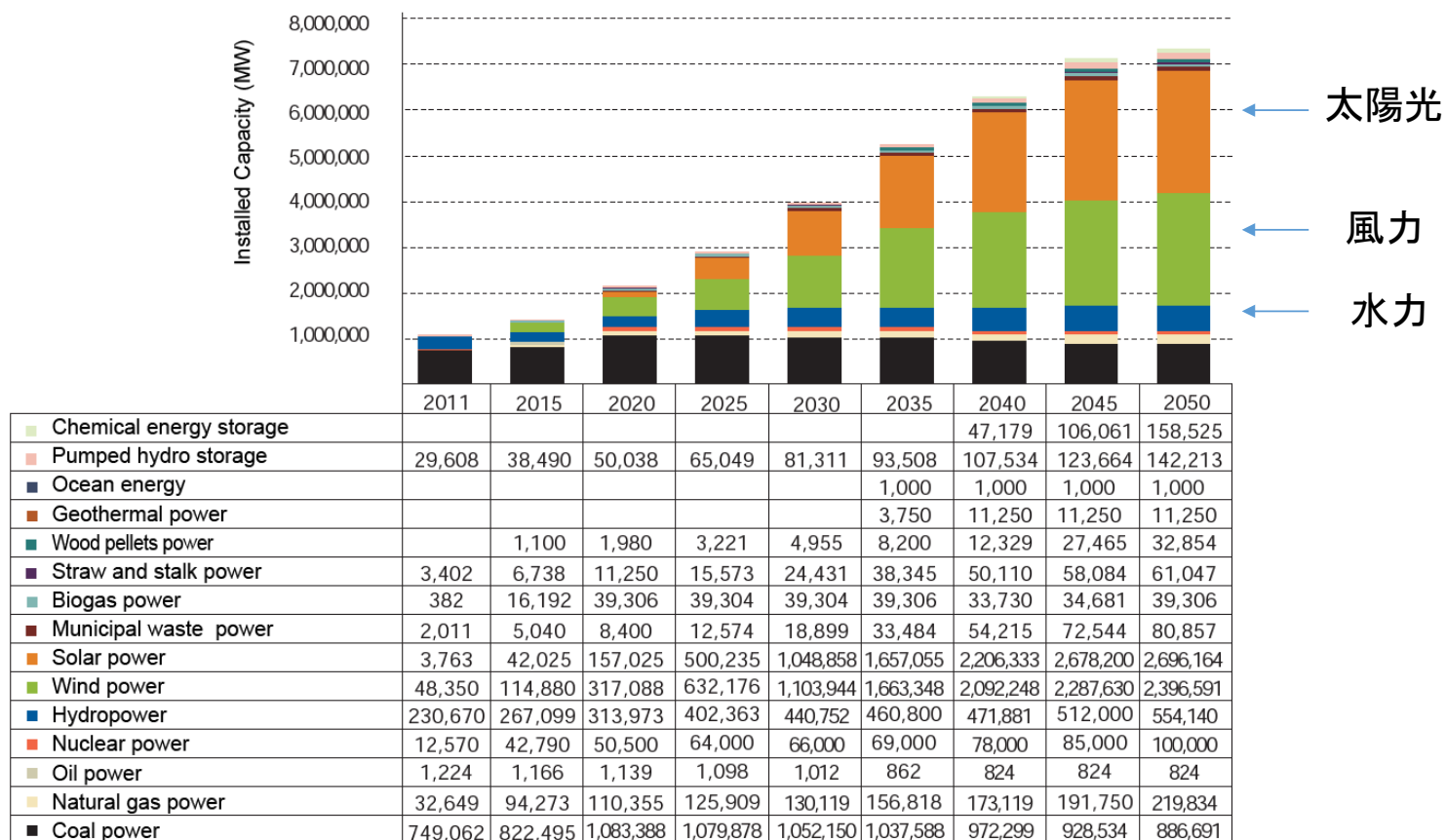
ポルトガル：2020年までに 60%

イギリス：2020年までに 30%

フランス：2030年までに 40%

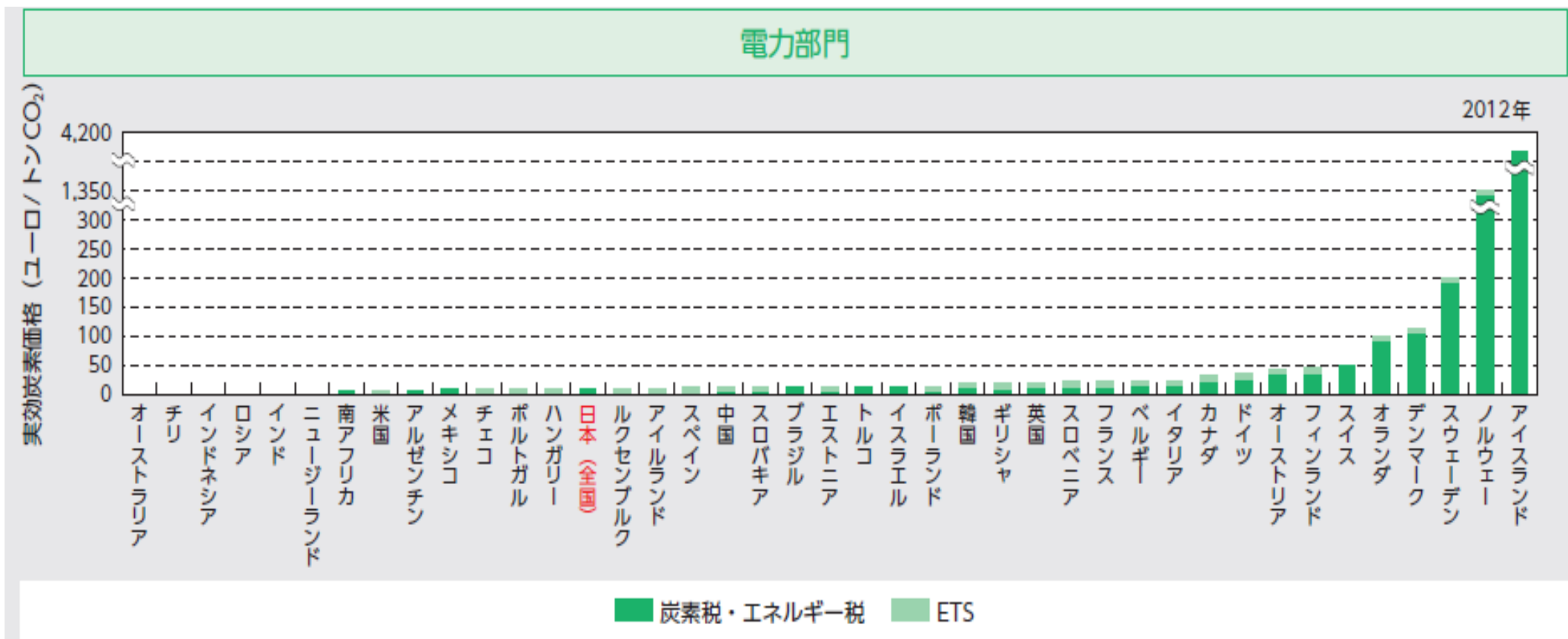
カリフォルニア：2030年までに 50%

図表22 中国は2030年に53%、2050年に86%を自然エネルギーで賄うことを計画



出典：中国国家発展改革委員会(2015) China 2050 High Renewable Penetration Scenario and Roadmap

図表23 電力部門における国家別実行炭素価格比較

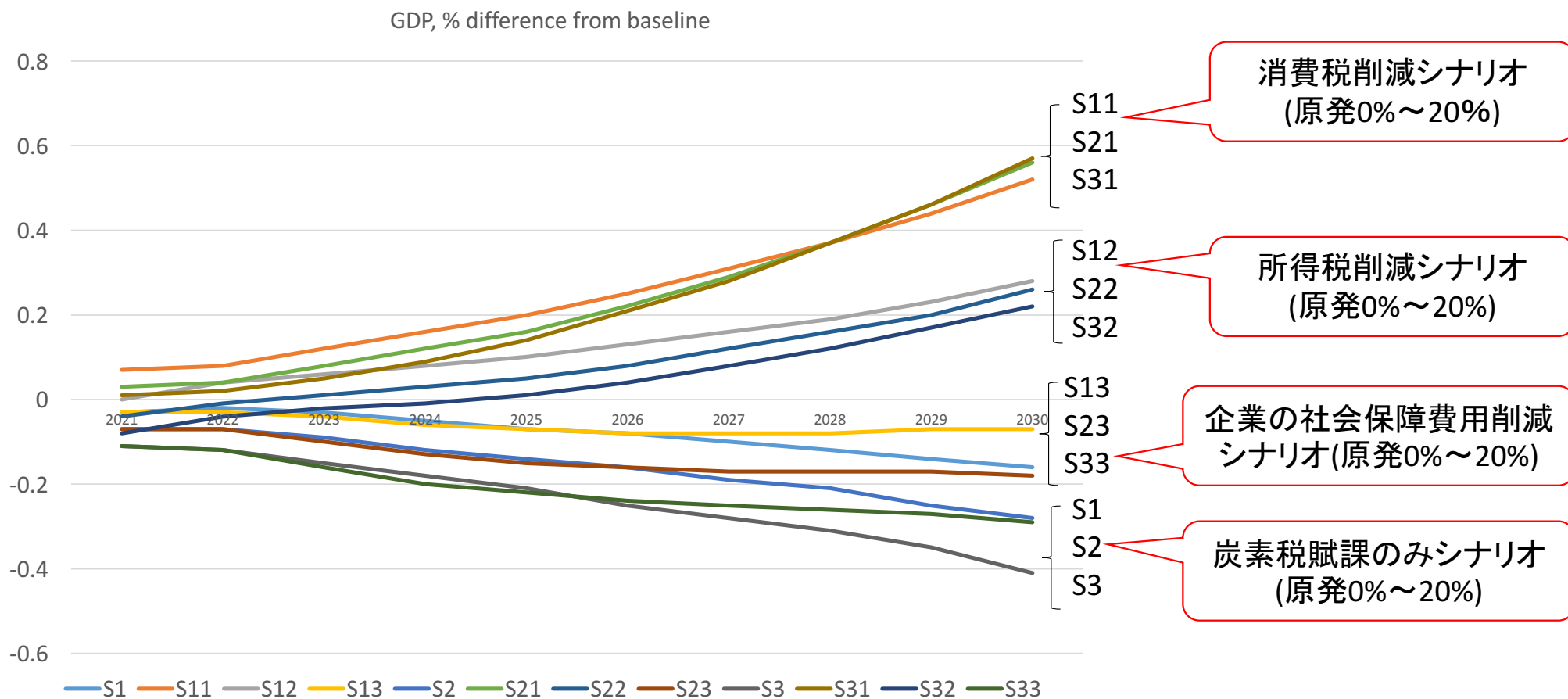


注：税及びETSそれぞれ課税対象が異なる国が複数あるが、ここでは全てを合計した最も高い実効炭素税率を採用している。


資料：OECD [Effective Carbon Rates] より環境省作成

3-2. マクロ経済への影響

図表24 シナリオ別日本の GDP 影響（%、ベースラインからの乖離）



Source(s): E3ME analysis



結論および 今後の課題

●本研究では、炭素税と炭素税収入による他の経済活動関連税の減税による**グリーン税制改革**により、日本の**2030年約束草案(NDC)達成と同時に経済の改善**(ベースライン対比)が実現された。

● E3ME モデルでは、原発0%シナリオの経済改善効果をもっとも弱く原発20%をもっとも高かったが、炭素税収が他の税の減税財源として活用される場合に**原発シナリオ別経済効果の差はあまり見られなかった(GDP0.1%前後)**。

●本研究の結論として、**日本は炭素税によるグリーン税制改革により経済への悪影響なしにNDC目標達成が可能であり、再生可能エネルギーの普及も進むが、持続可能な低炭素経済へ資するほどは進まないことが明らかになった**。

●これは、再生可能エネルギーの画期的な普及には、**石炭火力の規制、固形価格買取制度など再生可能エネルギー普及策の並行推進(ポリシーミックス)**が必要であり、これらの研究については今後の課題としたい。

補論

- 原発・石炭火力規制と電源ミックスの予測
- 再生可能エネルギーに影響を与える政策シナリオのオプション
- 東アジアの持続可能な低炭素社会に向けて

政策シナリオ

シナリオ設定：基準ケースの設定はいずれも保持

S1：原子力発電のシェアに対する制約

＜たとえば、東愛子・Unnada・李ほか(2017：未定稿)で計算されたように＞

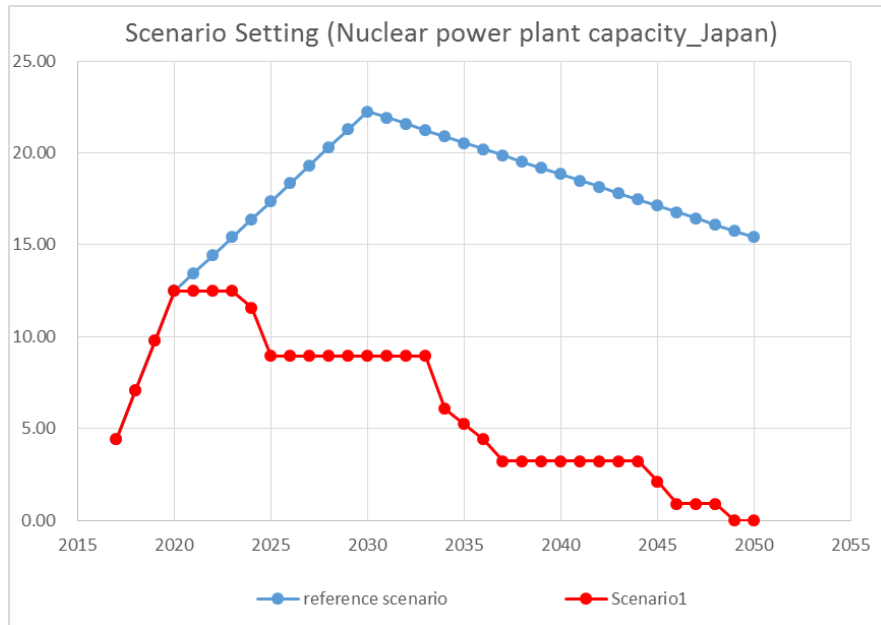
1. 再稼働の対象は、17時点で再稼働申請を行っている発電所（25基）に限る。
2. 2017年値は現在再稼働が認められた10基9248MWのうちすでに稼働した5基4410MW。
3. 2020年値の想定（要検討）。
 - ・（案1）2020年にはその10基（9248MW）に加えて、現在再稼働申請中で、2040年以降も運転が可能な発電所3基（計1248MW）が稼働すると想定。（再稼働申請中のすべての発電所が稼働すると、24848MWとなり、IEEJの2030年想定を超えるため。）
 - ・（案2）2020年にはその10基（9248MW）に加えて、現在再稼働申請中で、2035年以降も運転が可能な発電所6基（計1601MW）が稼働すると想定。→この想定は、1995年以降に運転を開始した発電所で、2020年時点で減価償却の終わっていない発電所の稼働を認める措置。

S2：石炭火力発電のシェアに対する制約

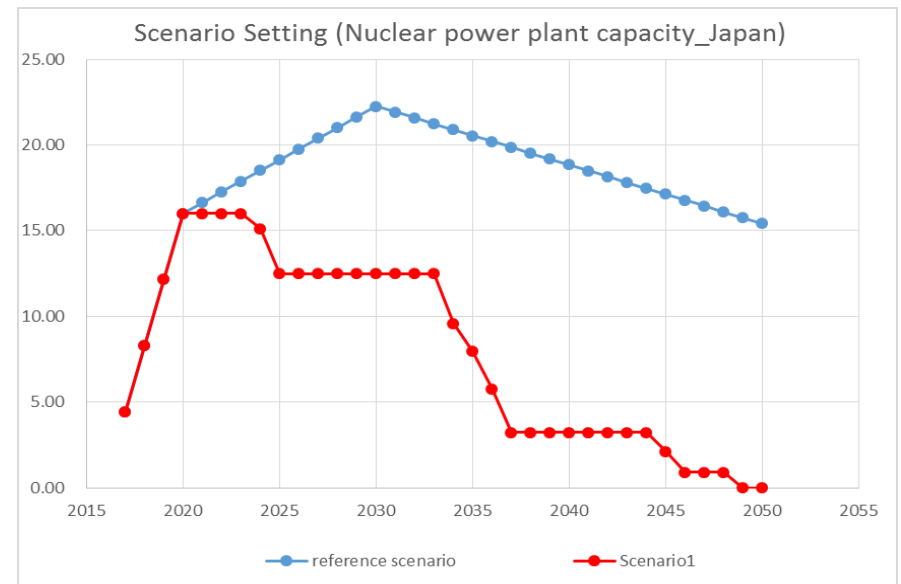
たとえば、2030年までは現在の設備容量を変化させず、2031～50年までに石炭火力容量をゼロにする。

1. 原発規制シナリオ

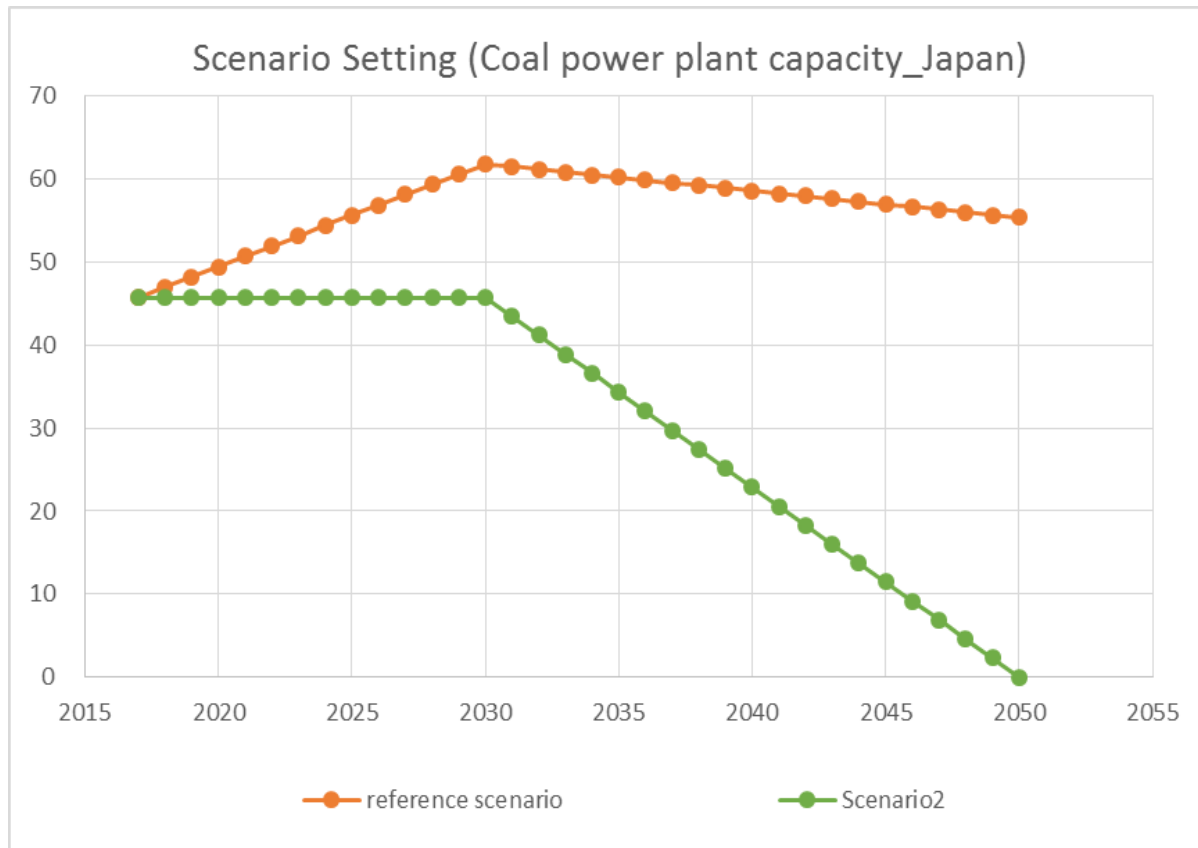
(案1) 2020年に13基の稼働を想定



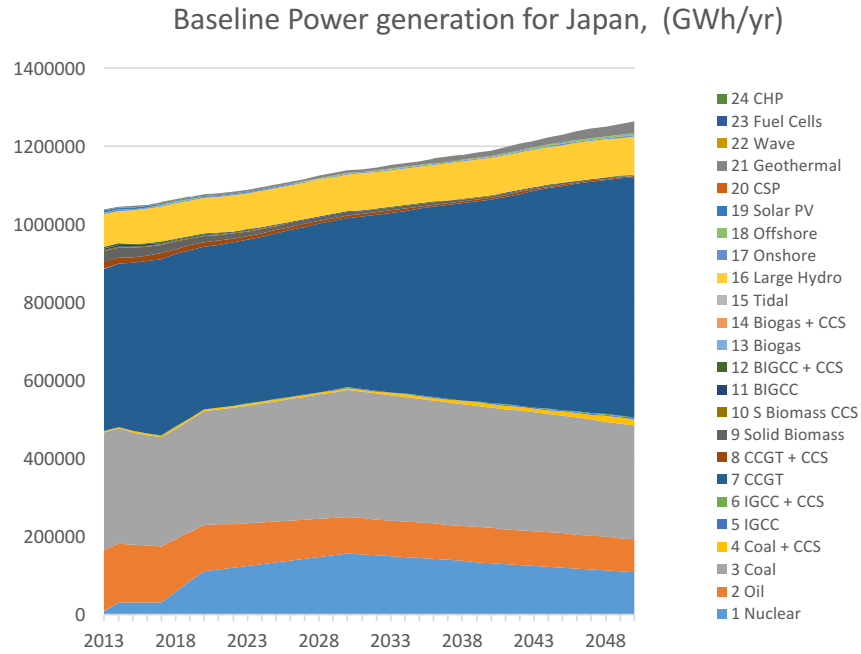
(案2) 2020年に16基の稼働を想定



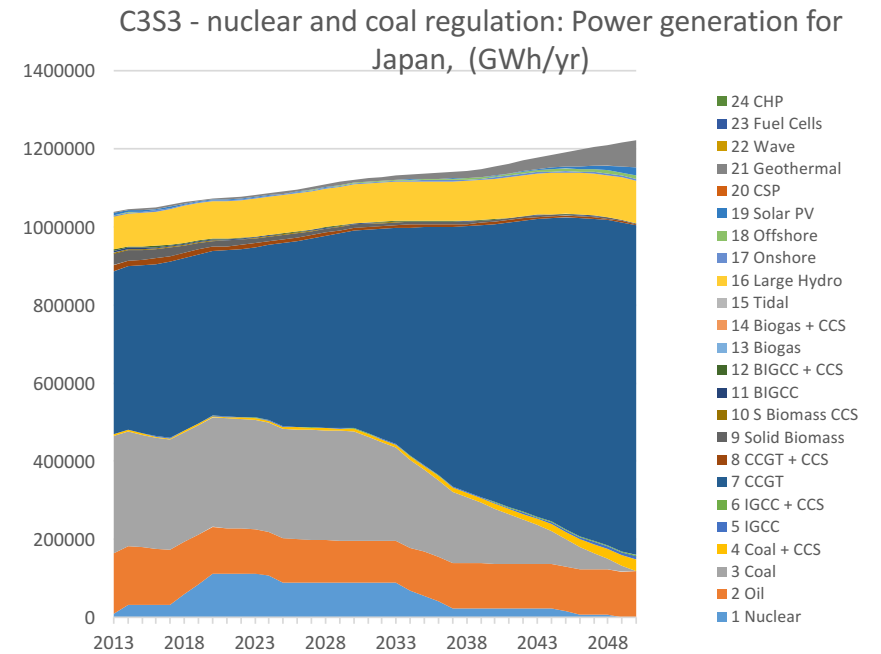
2. 石炭火力規制シナリオ



3. 日本エネルギー経済研究所のベースライン電源ミックス予測



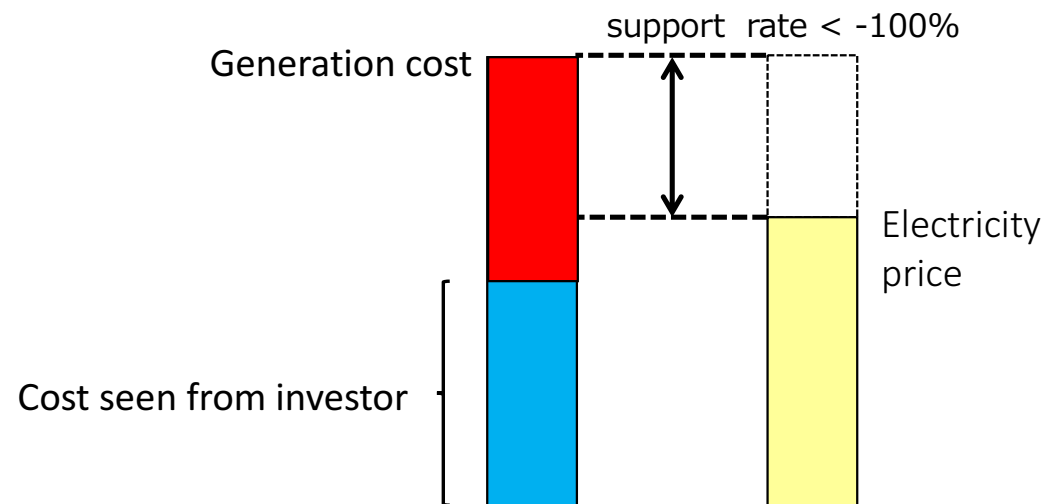
4. 原発と石炭火力規制時のE3MEモデルの電源ミックス予測



その他の政策シナリオ

再生可能エネルギーに対する支援

- 支援方法
 - 全て固定価格買取制度（FIT）としてモデル化
- 炭素税＋石炭規制＋FITのポリシーミックス
- 東アジアスーパーグリッドのモデル化

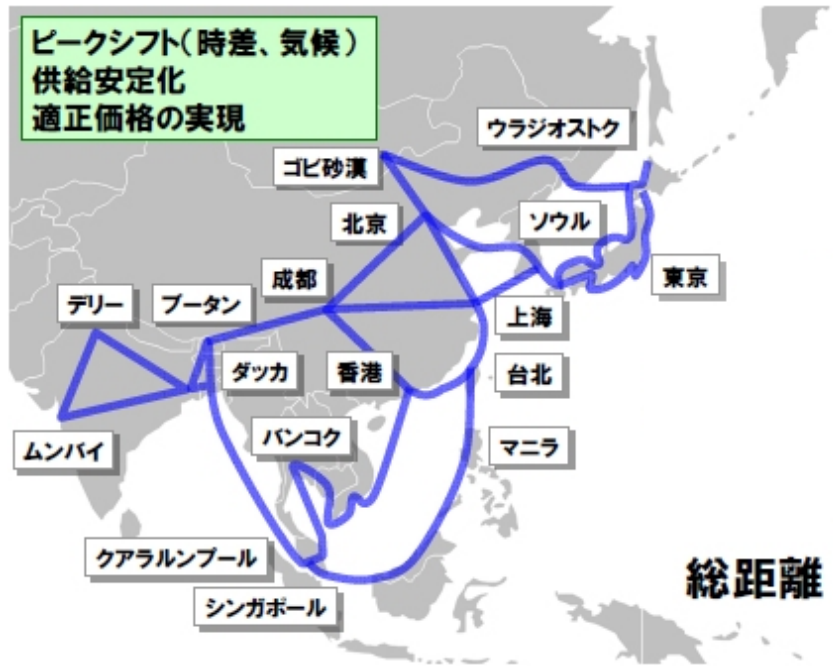




東アジア スーパーグリッド 構想

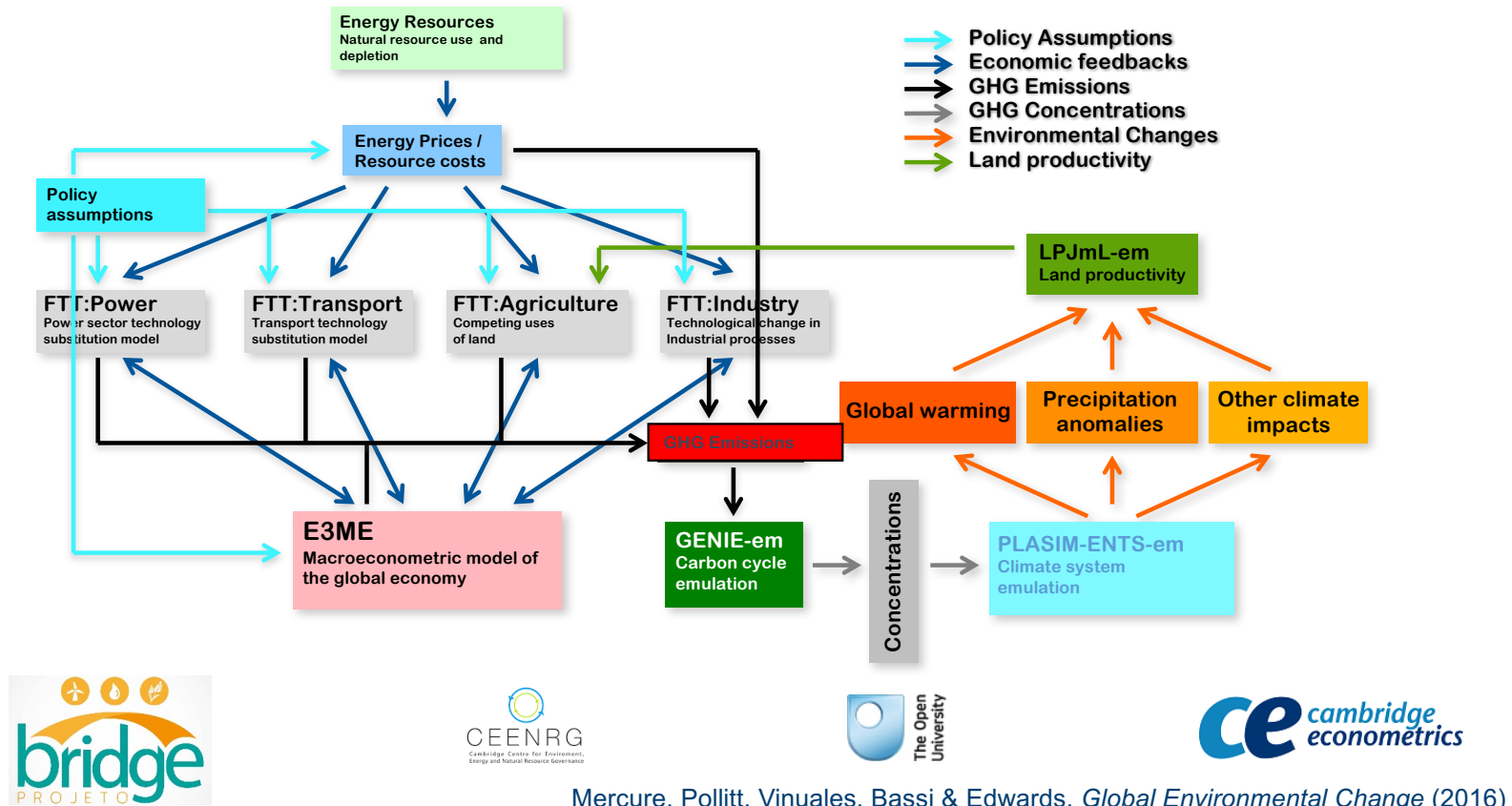
総距離 3,800km

ピークシフト(時差、気候)
供給安定化
適正価格の実現



総距離 36,000km

E3MEモデルの拡張



Mercure, Pollitt, Vinuales, Bassi & Edwards, *Global Environmental Change* (2016)

東アジアの持続可能な未来に向けて

(1) 原子力の規制と低炭素制度設計による持続可能なエネルギー・電源ミックスの実現

(2) 環境税制改革による環境と経済の両立と、人的資本生産性の向上、分配問題の緩和、そして財政赤字問題の解消

(3) 低炭素・エネルギー問題における東アジアの政策協調ができる東アジア低炭素パートナーシップ(環境エネルギー共同体)の実現

Thank you for your kind attention!

