

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1702及び2-1908)により実施された。

わが国における2050年のゼロ排出に向けた 可能性と課題

増井 利彦(国立環境研究所)

masui@nies.go.jp

大城 賢(京都大学)

地球温暖化対策を考えるためのエネルギー・シナリオ分析:

2050年とその後を見据えて

東京大学経済学研究科学術交流棟・小島ホール

2019年5月31日



Asia-Pacific Integrated Model

<http://www-iam.nies.go.jp/aim/index.html>



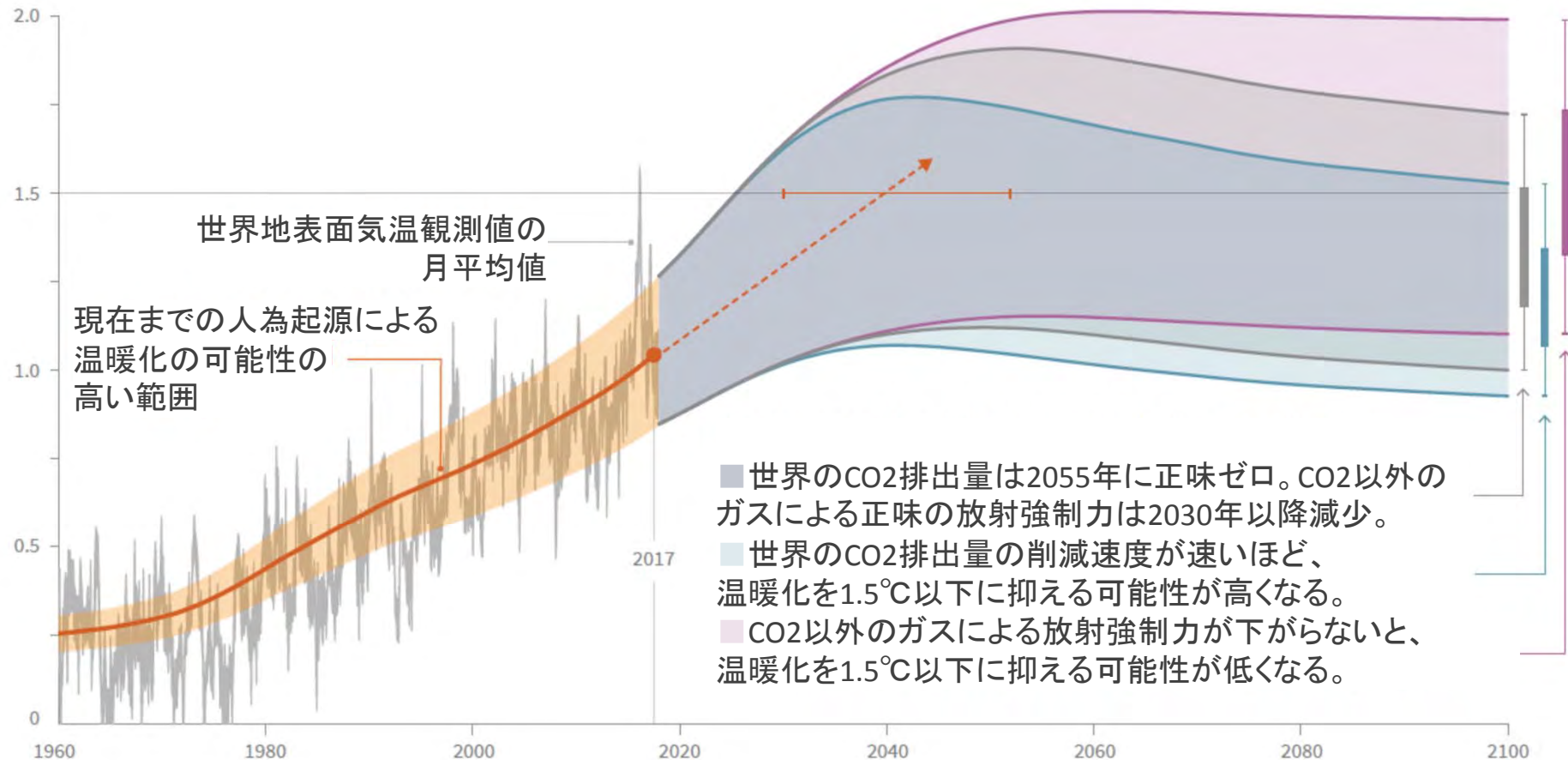
IPCCの『1.5°C特別報告書』: 2018年10月6日に採択



- **Global Warming of 1.5 ° C**
an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 ° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty
- 気候変動の脅威、持続可能な開発と貧困の根絶への努力への世界的な対応を強化するという意味での産業革命前から1.5°Cの地球温暖化の影響と世界の温室効果ガス排出経路に関するIPCC特別報告書

地球温暖化は、現在のトレンドが続けば、2030～2052年の間に1.5℃に達する可能性が高い(確信度が高い)。

1850～1900年からの世界平均気温の変化(℃)

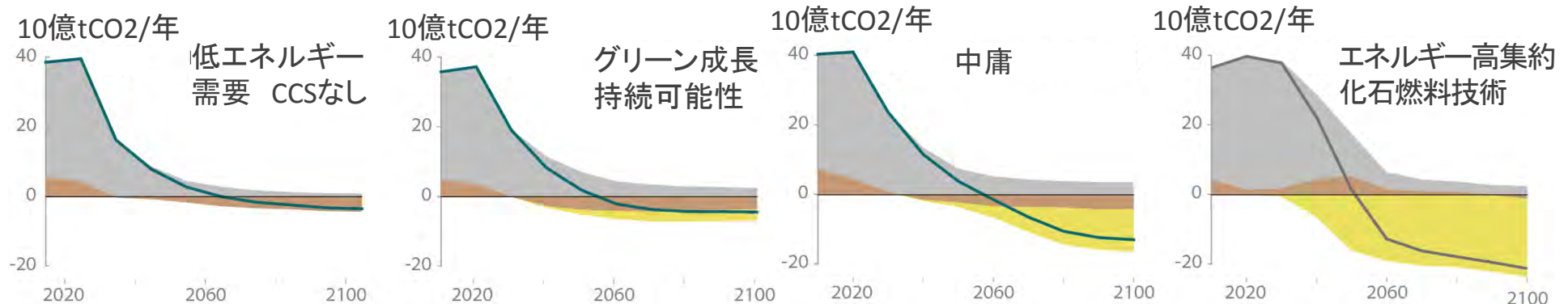


1.5°C特別報告書

SPM3b: 4つの代表的排出経路の例

世界の正味CO₂排出量の排出経路の分析

- 化石燃料と産業起源
- 農業・土地利用変化
- バイオマスCCS
- 純排出量



P1: 社会、ビジネス、技術革新により2050年までにエネルギー需要は下がるが、生活レベルは上がる。特に発展途上国で、小規模エネルギーシステムによるエネルギー供給の脱炭素化が推進される。新規植林のみがCDRとして考慮される。CCS付の化石燃料発電やBECCSは使われない。

P2: 持続性に幅広く焦点を当てたシナリオ。エネルギー強度、人材育成、経済的収束、国際協力、及び持続的、健康的消費パターン、低炭素技術へのシフトなどが考慮される。CDRは使われるが、量は道筋によって違う。BECCSの社会的受容性には制約があり、その中で土地システムは適切に管理される。

P3: 社会および技術発展はこれまでのパターンに沿っている途半ばのシナリオ。排出削減は主にエネルギーと生産の方法を変えることで達成され、需要削減はあまり行われない。

P4: 資源とエネルギー集約のシナリオ。経済発展とグローバル化により、温室効果ガス排出量の高い交通燃料や生活用品などが使われる温室効果ガス排出量の多い生活様式。排出量削減は主に技術に手段によって行われ、BECCSの実施によるCDRに強く依存している。

2050年国内ゼロ排出シナリオの定量化

- Rogelj et al. (2015)では、世界平均気温を産業革命前と比較して1.5°C以下に抑えるには、世界のCO₂排出量を2050年に実質ゼロにする必要があると指摘。
- その上で、2050年までの日本のCO₂排出量を実質ゼロにすることが可能であるかを、技術積み上げ型モデルのAIM/Enduse [Japan]を用いて評価。

評価の視点：

- 2°C目標(2050年までに80%削減に相当)におけるエネルギーシステムとどれだけ異なるか？
- 技術(排出をマイナスにする技術や原子力)の役割は？
- 技術オプションとして、BECCS(バイオエネルギー+CCS)をAIM/Enduse [Japan]に加えてシミュレーションを実施。
- 詳細は、以下の論文を参照： Oshiro, K., Kainuma, M., & Masui, T. (2018).

Transformation of Japan's energy system
to attain net-zero emission by 2050.

Carbon management 9(5),

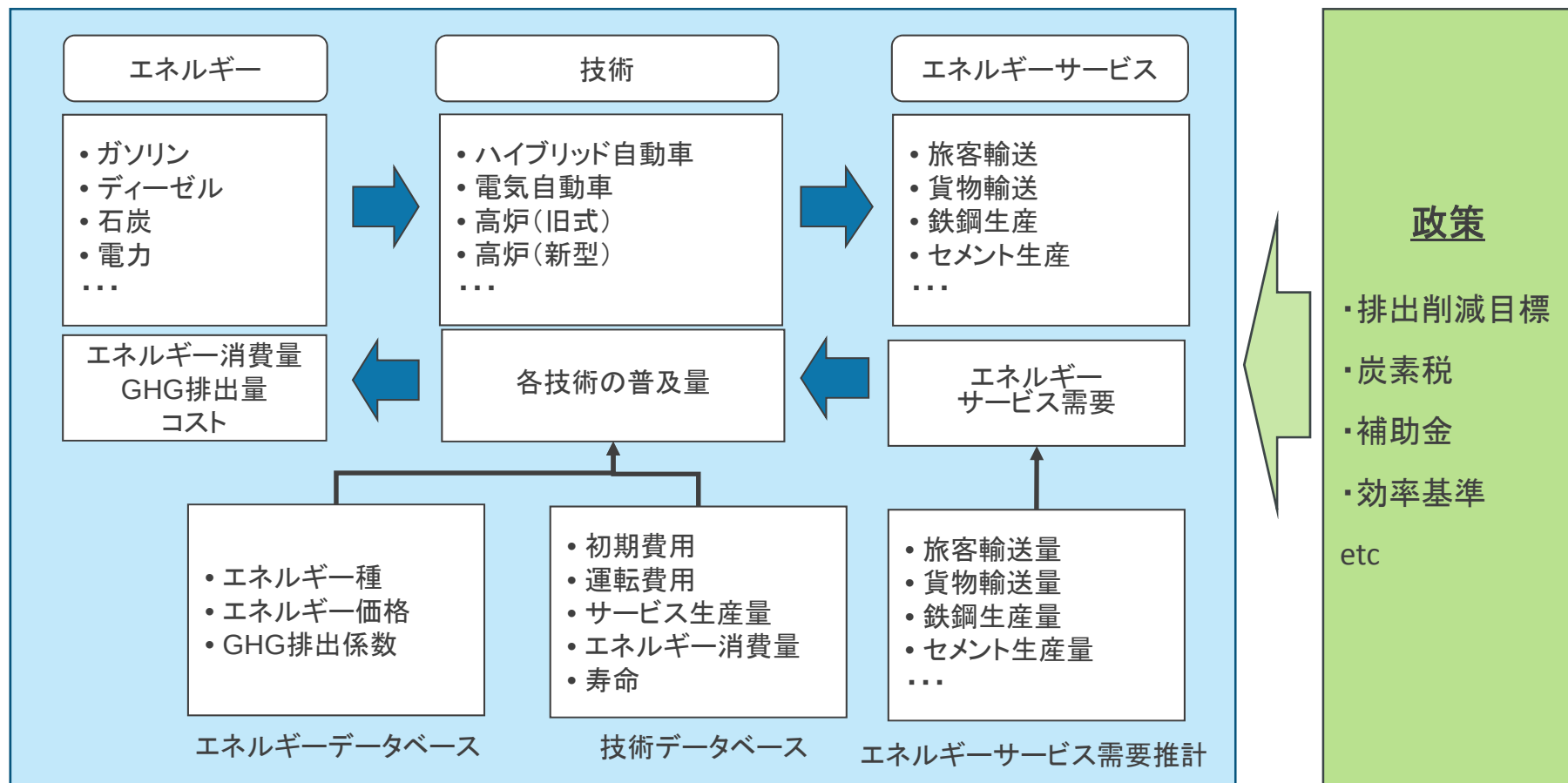
<https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1396842>



**Transformation of Japan's energy system to attain
net-zero emission by 2050**

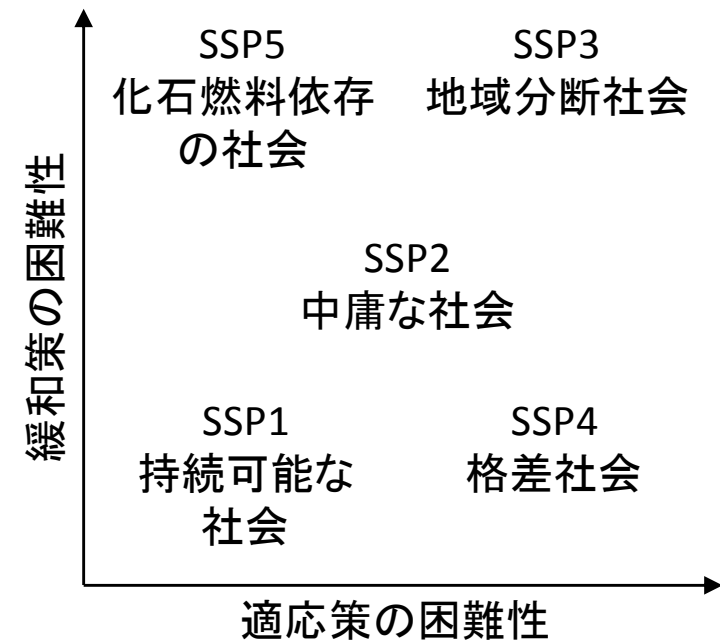
分析に用いたモデル: AIM/Enduse [Japan]

- 日本を10地域に分割した技術選択モデルAIM/Enduse [Japan]を利用。
将来のエネルギーサービス需要(交通需要量や鉄鋼生産量、冷暖房需要など)を所与として、固定費用と運転費用の合計が最小となるように技術とエネルギーを選択する。



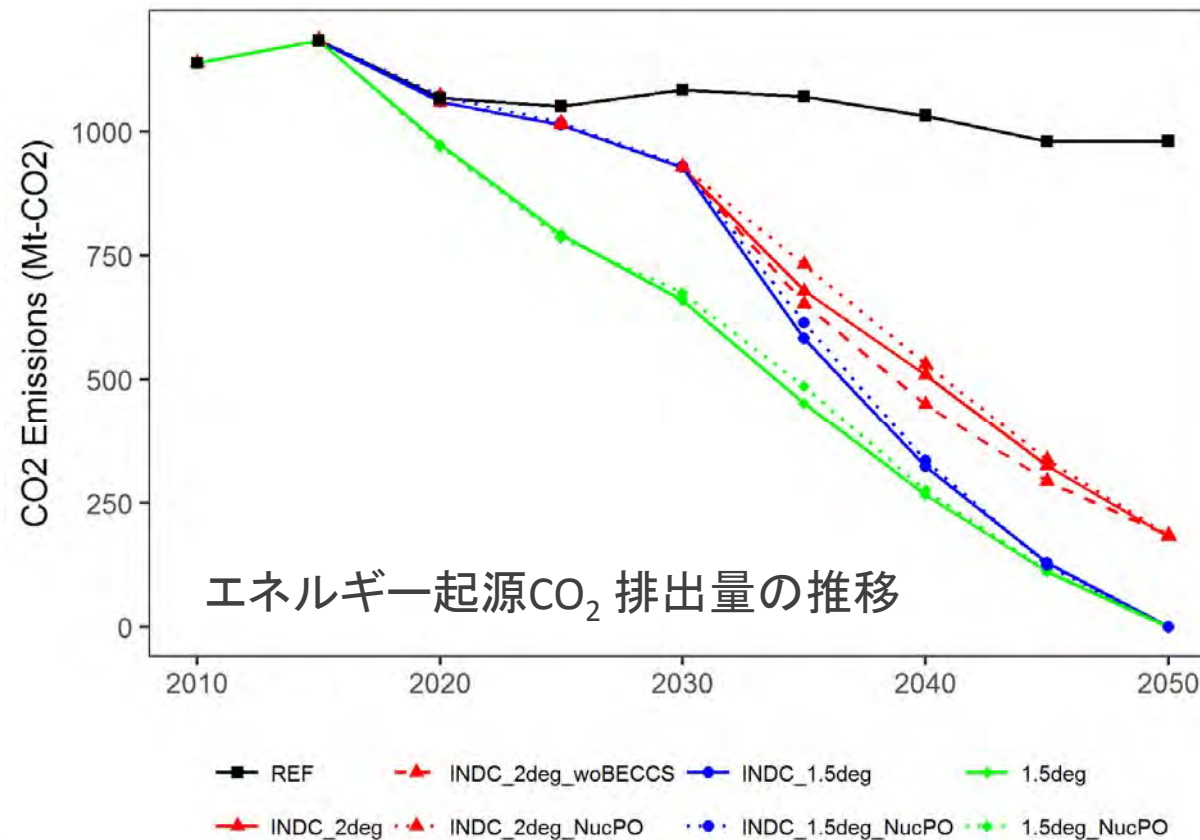
想定した将来シナリオ

- Shared Socio-economic Pathwaysで示される5つの将来像のうち、SSP2(中庸な社会)を前提とする。
 - GDP: 2010年から2050年に36%増加
 - 人口: 2010年から2050年に14%減少
(2030年についてNDCでの見通しとは異なる)
- CO2排出量に関する技術の想定
 - REF: —■— なりゆき
 - 2°Cシナリオ
 - ▲— INDC_2deg: すべての技術利用可能
 - ▲ - INDC_2deg_woBECCS: BECCS利用不可
 -▲..... INDC_2deg_NucPO: 原子力フェーズアウト
 - 1.5°Cシナリオ+2030年NDC
 - INDC_1.5deg: すべての技術利用可能
 -●..... INDC_1.5deg_NucPO: 原子力フェーズアウト
 - 1.5°Cシナリオ+2015年取り組み開始
 - ◆— 1.5deg: すべての技術利用可能
 -◆..... 1.5deg_NucPO: 原子力フェーズアウト



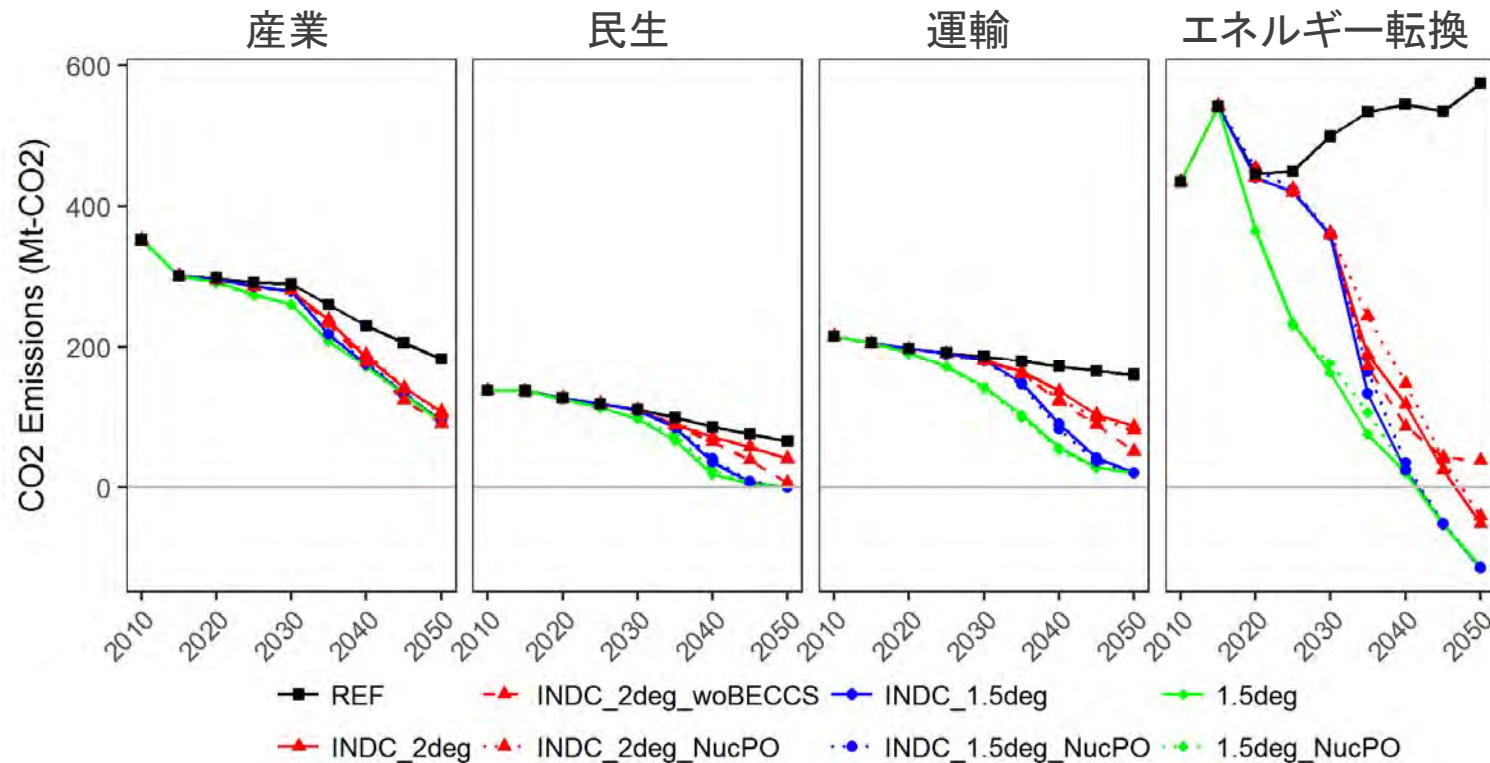
日本全体のCO2排出経路

- 2050年80%削減はBECCSなしでも達成可能であるが、今回の想定では2050年ゼロ排出はBECCSなしでは達成できなかった。
- 原子力がフェーズアウトする場合でも、2050年ゼロ排出を達成することが可能であった。
- 2030年の排出が約束草案(2013年比26%削減)の水準であれば、それ以降、大幅な削減が必要となる。



ゼロ排出達成時の各部門の排出経路

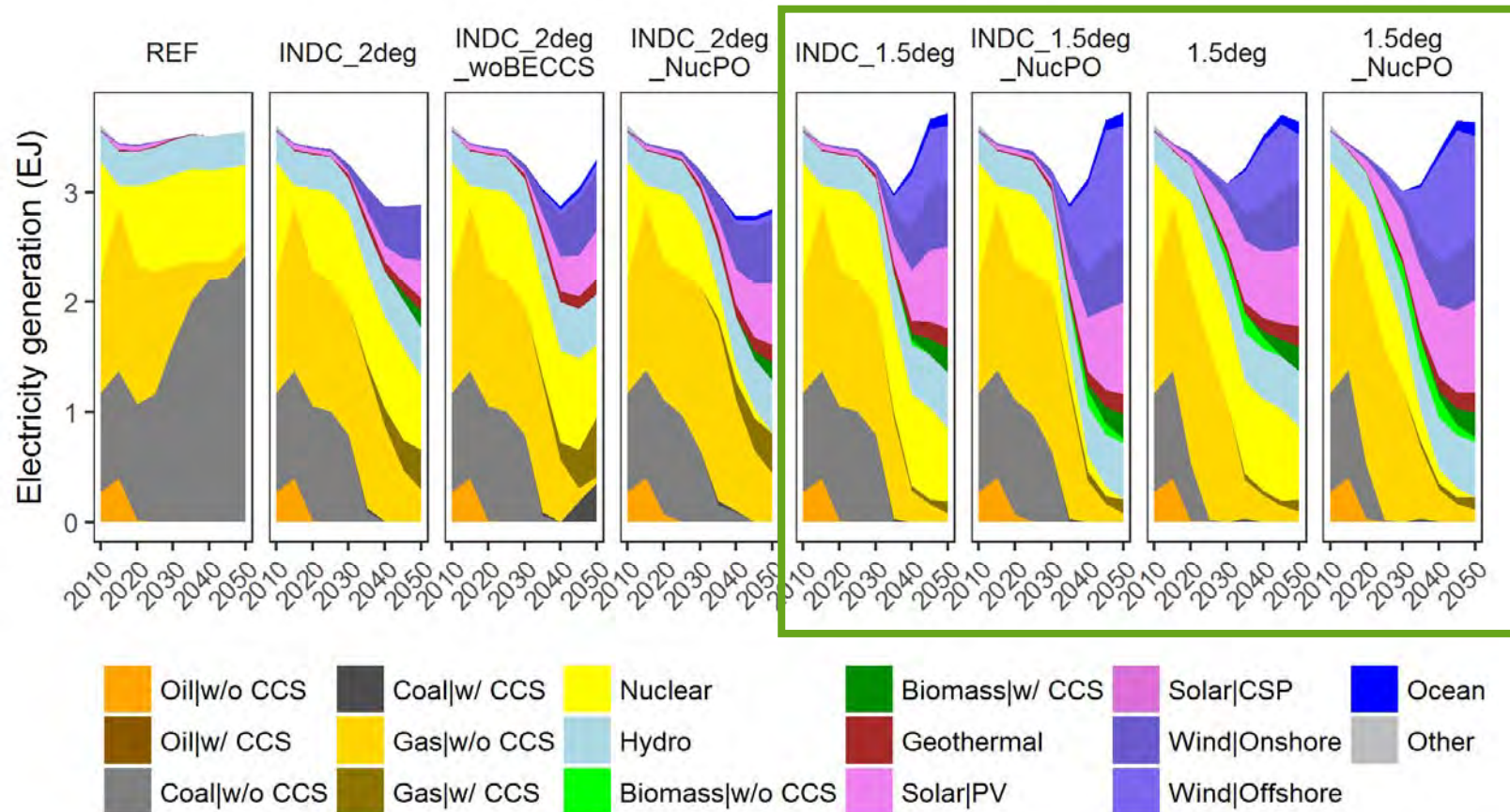
- 2050年ゼロ排出となるケースでは、BECCSを含む対策により、エネルギー供給部門からの排出は正味で負となる。
- 需要側では、運輸部門において大幅な追加削減が必要。民生では80%削減ケースでもほぼゼロ排出を達成。産業部門からの排出量が残存するため、その削減が課題。
- ゼロ排出となるケースでは、追加コスト・炭素価格が大幅に増加。今後は、多様な社会シナリオを踏まえた分析を進めていくことが必要。



部門別エネルギー起源CO₂排出量の推移

発電部門における特徴

- BECCSとともに、太陽光発電や風力発電などの変動性再生可能エネルギーへの依存が大きくなる。
- 原子力フェーズアウトの場合、変動性再生可能エネルギーをどう管理、統合するかが課題。

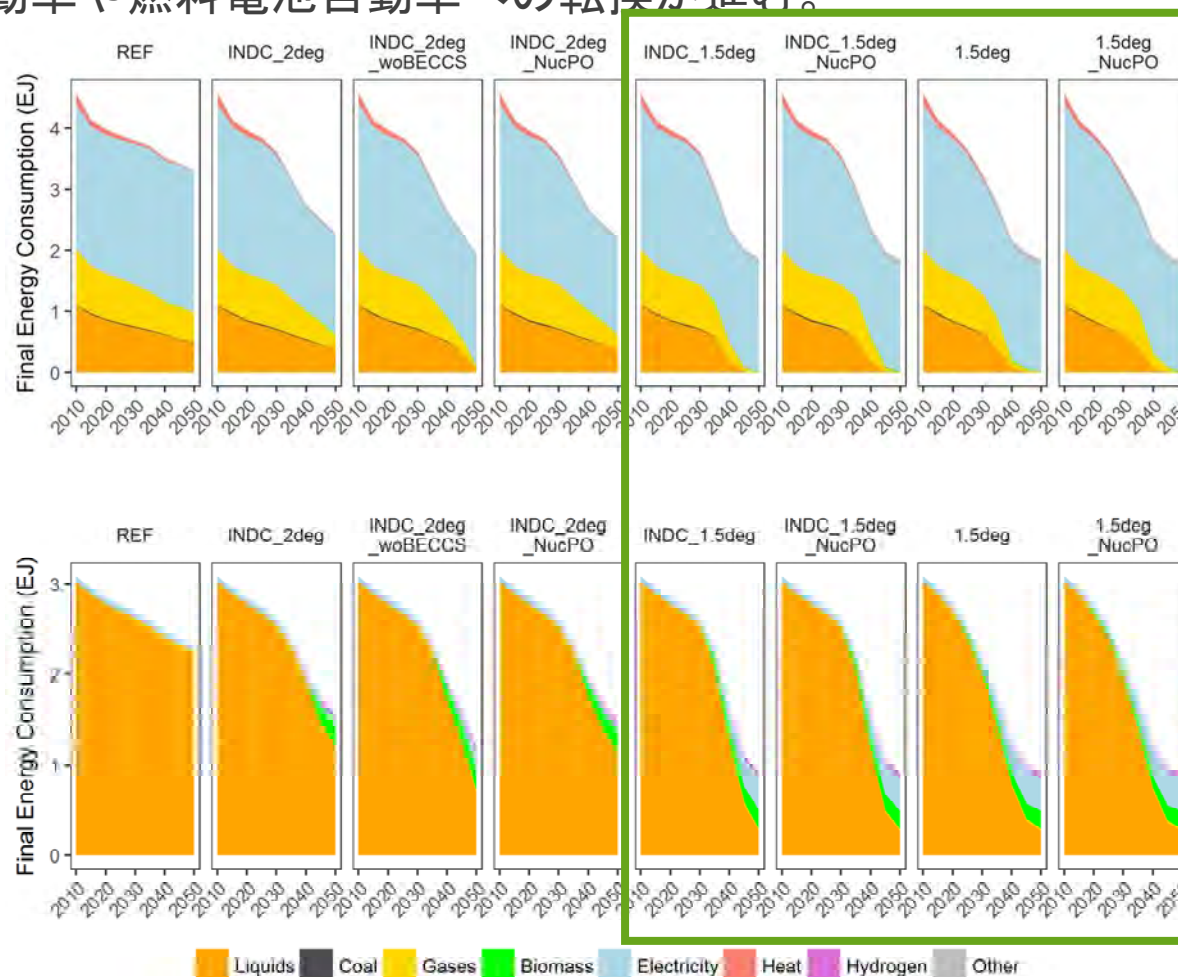


電源構成の推移

最終エネルギー需要部門における特徴

- 民生部門: 80%削減においても2050年までに電化が進む。
- 運輸部門: 電気自動車や燃料電池自動車への転換が進む。

民生部門

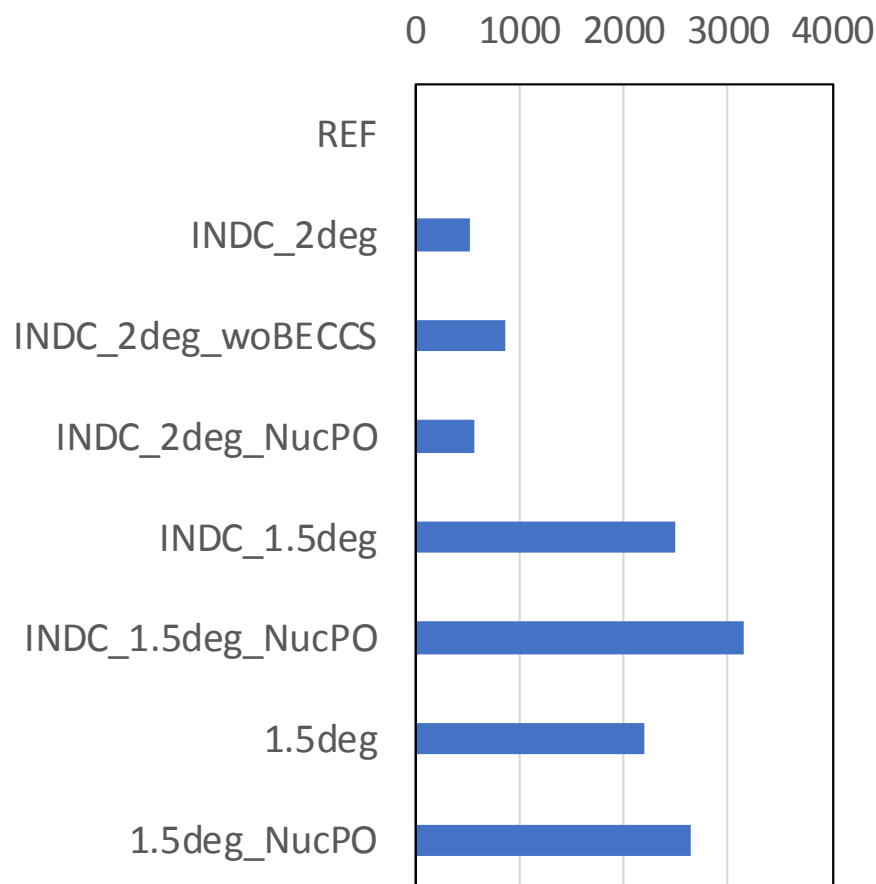


運輸部門

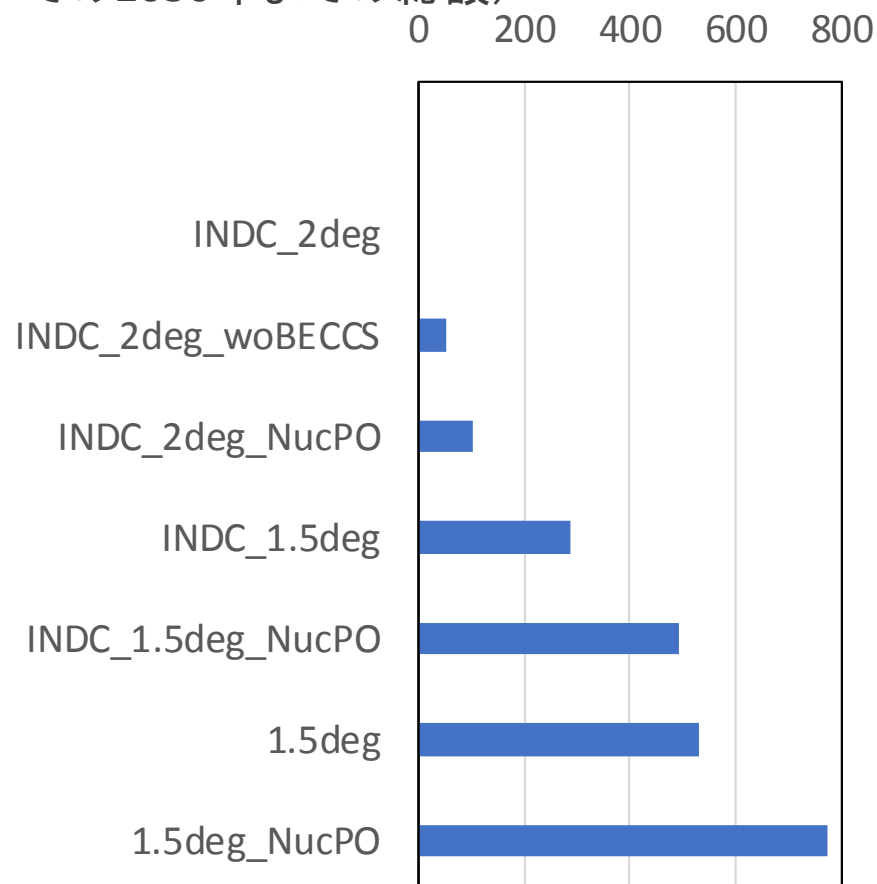
民生部門と運輸部門におけるエネルギー種別最終需要量

どれだけの費用が必要となるか？

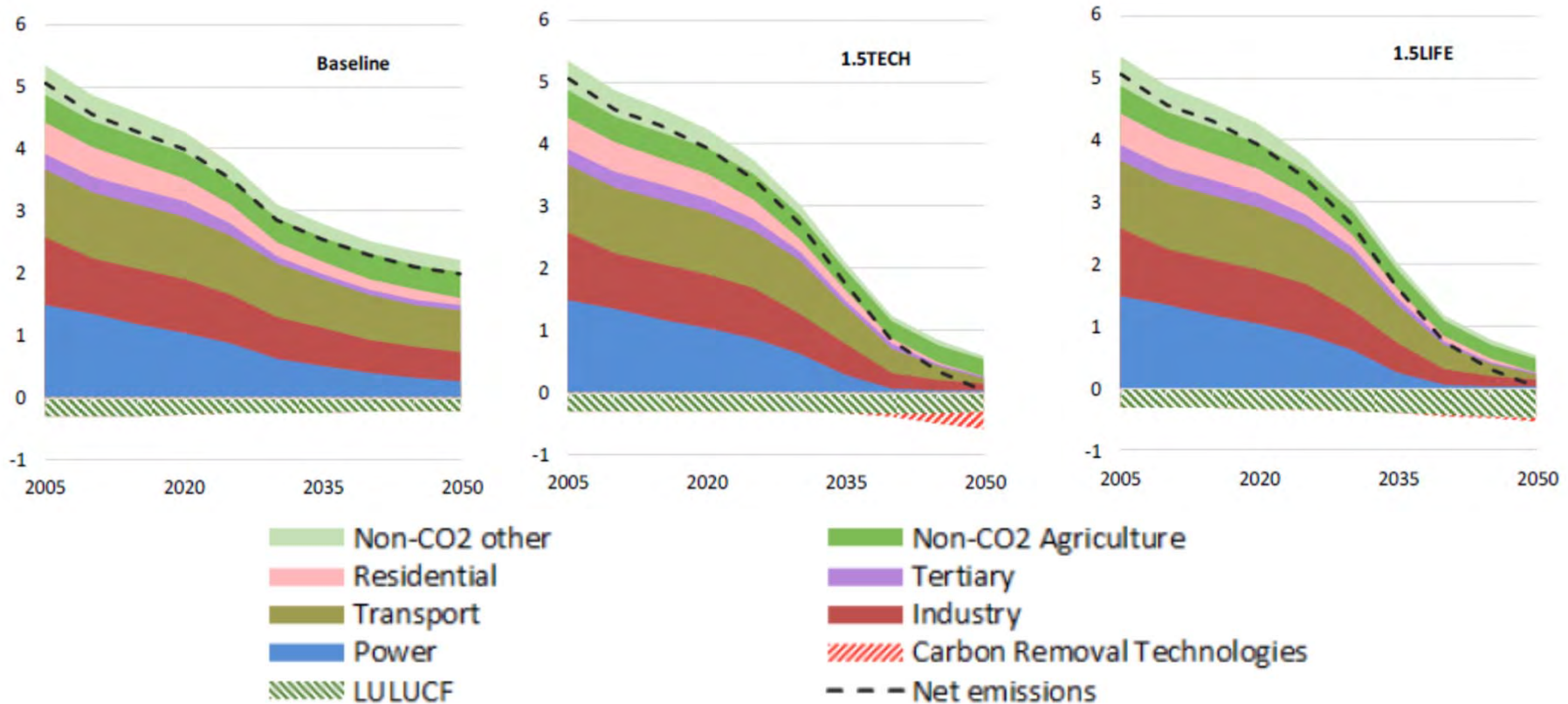
2050年の炭素価格 (2010年価格\$/tCO₂)



エネルギーシステム費用の増分 (NDC_2degを基準とした変化率; 割引率5% での2050年までの総額)



EUにおけるゼロ排出シナリオ



- AIM/Enduse [Japan]の結果と比較すると、EUのゼロ排出シナリオは、
- 運輸部門からの排出がより多い。
 - 産業部門からの排出がより少ない。

Source: 7.7 GHG Pathways towards 2050 (GtCO₂eq)
European Commission (2018) A Clean Planet for all; A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy
https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en.pdf

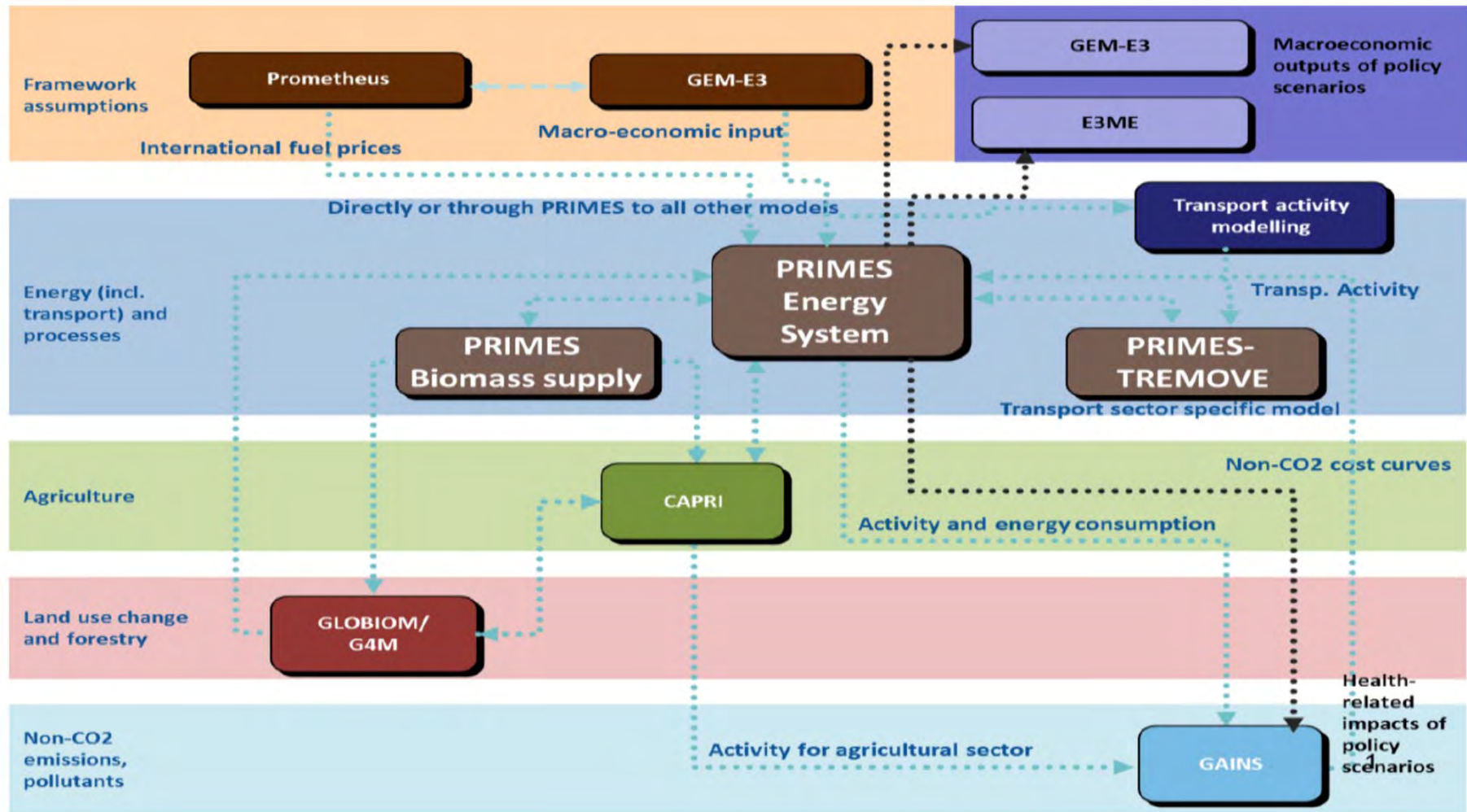
EUの長期戦略における8つのシナリオ

	Electrification (ELEC)	Hydrogen (H2)	Power-to-X (P2X)	Energy Efficiency (EE)	Circular Economy (CIRC)	Combination (COMBO)	1.5°C Technical (1.5TECH)	1.5°C Sustainable Lifestyles (1.5LIFE)
Main Drivers	Electrification in all sectors	Hydrogen in industry, transport and buildings	E-fuels in industry, transport and buildings	Pursuing deep energy efficiency in all sectors	Increased resource and material efficiency	Cost-efficient combination of options from 2°C scenarios	Based on COMBO with more BECCS, CCS	Based on COMBO and CIRC with lifestyle changes
GHG target in 2050	-80% GHG (excluding sinks) ["well below 2°C" ambition]					-90% GHG (incl. sinks)	-100% GHG (incl. sinks) ["1.5°C" ambition]	
Major Common Assumptions	- Higher energy efficiency post 2030 - Deployment of sustainable, advanced biofuels - Moderate circular economy measures - Digitilisation - Market coordination for infrastructure deployment - BECCS present only post-2050 in 2°C scenarios - Significant learning by doing for low carbon technologies - Significant improvements in the efficiency of the transport system.							
Power sector	Power is nearly decarbonised by 2050. Strong penetration of RES facilitated by system optimization (demand-side response, storage, interconnections, role of prosumers). Nuclear still plays a role in the power sector and CCS deployment faces limitations.							
Industry	Electrification of processes	Use of H2 in targeted applications	Use of e-gas in targeted applications	Reducing energy demand via Energy Efficiency	Higher recycling rates, material substitution, circular measures	Combination of most Cost-efficient options from “well below 2°C” scenarios with targeted application (excluding CIRC)	COMBO but stronger	CIRC+COMBO but stronger
Buildings	Increased deployment of heat pumps	Deployment of H2 for heating	Deployment of e-gas for heating	Increased renovation rates and depth	Sustainable buildings			CIRC+COMBO but stronger
Transport sector	Faster electrification for all transport modes	H2 deployment for HDVs and some for LDVs	E-fuels deployment for all modes	Increased modal shift	Mobility as a service			- CIRC+COMBO but stronger - Alternatives to air travel
Other Drivers		H2 in gas distribution grid	E-gas in gas distribution grid				Limited enhancement natural sink	- Dietary changes - Enhancement natural sink

出典： European Commission (2018) In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM (2018) Table 1

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

EUの長期戦略におけるゼロ排出シナリオの評価



出典： European Commission (2018) In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM (2018) Figure 128

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

日本の長期戦略から見える将来のビジョン

パリ協定が掲げる1.5℃努力目標にも貢献するため、長期戦略の成果を世界と共有

「脱炭素社会」、すなわち実質排出ゼロを掲げ、
それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現

日本が目指す10の”ゼロ”

エネルギーで”ゼロ”

再生可能エネルギーの主力電源化
低コスト化・地域との共生によりCO2フリー電力を供給

CCS・CCUによる”ゼロ”

産官学連携してイノベーションを推進し、実用化したものを世界に輸出

CO2フリー水素による”ゼロ”

製造コストを10分の1にして水素社会を実現

ものづくりで”ゼロ”

ゼロカーボン・スチールによる“ゼロ”

高炉での水素還元拡大や高炉を用いない水素還元製鉄に挑戦

フロン類で”ゼロ”

グリーン冷媒やIoTによる統合管理で中長期的に廃絶

移動で”ゼロ”

“Well-to-Wheel”で”ゼロ”

エネルギーインフラとしての活用やオープン・イノベーションを推進

地域・くらしで”ゼロ”

住宅やオフィス等で”ゼロ”

今世紀後半のできるだけ早期にストック平均でZEB・ZEH相当に

農林水産業で“ゼロ”

ICTを活用した「スマート農業」やバイオマス利用でCO2ゼロエミッション

プラスチック資源循環

リデュース・リユース・リサイクルやバイオマスプラスチックにより脱炭素化

可能な地域・企業から”ゼロ”

1.5℃レポートを踏まえ2050年を待たずに野心的な取組を後押し

2050年ゼロ排出に向けた課題

- 2050年までにCO2排出量を実質ゼロにすることは技術的には可能。
費用の面からの検討は必要だが、誰がその費用を受け取るのか？
ただし、多様な将来像(IPCC1.5°C特別報告書のP1-P4に相当)については更なる検討が必要。特に2050年をどのような社会にしたいのかという絵姿の検討が十分ではない。
- 大幅な社会変化を想定しない場合、BECCSはゼロ排出の実現に向けて必要な技術。
一方で、BECCSについては制約も多く、代替的な経路、技術、社会像についても検討が必要。

■今回の試算での限界

- 想定した将来像は1つ。利用可能な技術についてのみ変化を仮定。人口減少、高齢化など社会そのものが変わりうる。
- 脱炭素時代に必要となる大幅な行動変化や新しい技術は想定されていない。
- エネルギーサービス需要量は前提:コストによってはサービス需要量も変化するはず。
→ モデル側も変わらなければならない。

◆モデルの役割

- 入力条件に対して整合的な結果が得られる。→入力が変われば結果が変わる。
- 社会のどこにイノベーションが必要となるかが明らかになる。

●では、どうすればいいのか？

- モデルの構造や入力について透明性を高める。
- 多様な意見をモデルで評価し、国民全体の議論の場にわかりやすい形で提供する。

本報告に関連するお知らせ

統合評価モデリングコンソーシアム(IAMC) 第12回年次会合

<http://www.globalchange.umd.edu/iamc/2019/05/twelfth-annual-meeting-of-the-iamc/>

- 2019年12月2-4日に、つくば国際会議場で開催
- 2019年6月25日がアブストラクト提出の締切

IPCC AR6(第六次評価報告書) 第3作業部会への貢献

- 論文投稿締切: 2020年6月15日
- 論文受理締切: 2021年1月19日