本報告は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費
（1-2002、2-1908）の成果をもとにしたものである。

脱炭素社会の実現に向けた取り組みと役割

増井利彦
国立環境研究所

日本学術会議公開シンポジウム
2050年カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーシナリオ
オンライン
2022年4月1日

AIM ASIA-PACIFIC INTEGRATED MODEL
Asia-Pacific Integrated Model
http://www-iam.nies.go.jp/aim/index.html

NIES JAPAN

本日の内容

- 1.5℃目標に向けて世界が行うべきこと
- 日本における脱炭素社会への取り組み
- アジアにおける日本の役割

脱炭素社会への出発点：パリ協定とは？

- 2015年にパリで開催された気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）で採択された気候変動政策に関する国際協定。
  ※ 第3回締約国会議（COP3）は、1997年に京都で開催され、京都議定書が結ばれた。
- 2016年11月4日に発効。

パリ協定で示された長期目標

■気温：平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する。

■排出量：できるだけ早く頭打ちさせ、21世紀後半に、人為起源のGHG排出を正味ゼロにする。

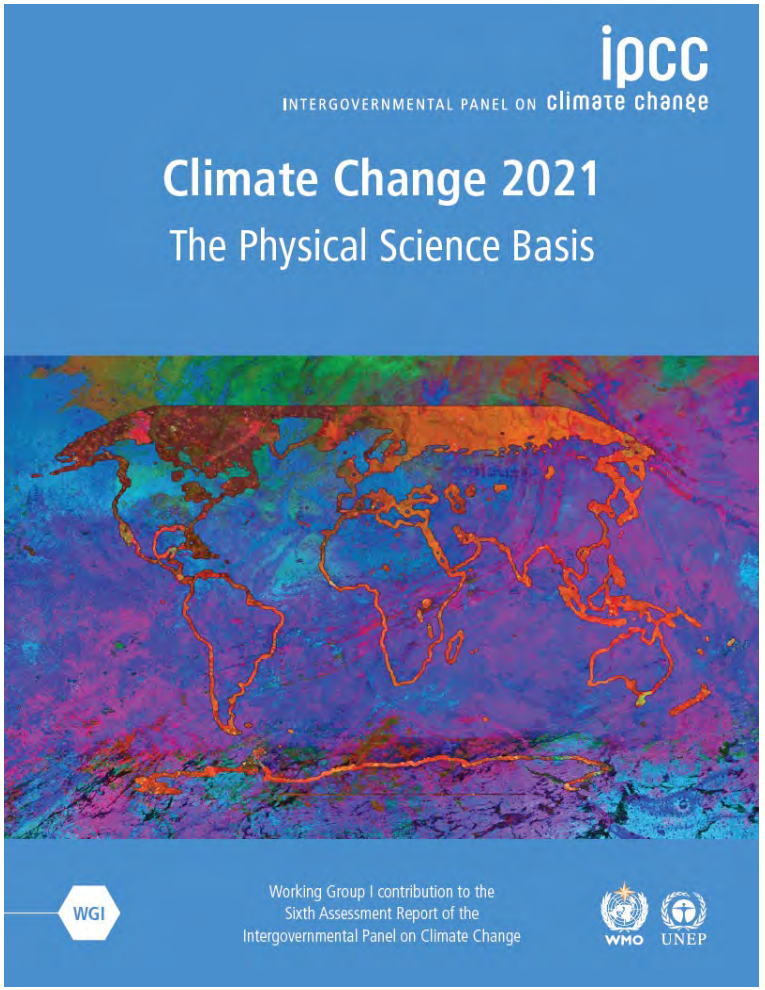
■適応：適応能力を拡充し、レジリエンスを強化し、脆弱性を低減させる世界全体の適応目標を設定する。

科学は気候変動をどのように評価してきたか？

IPCC WG1 第六次評価報告書（2021）

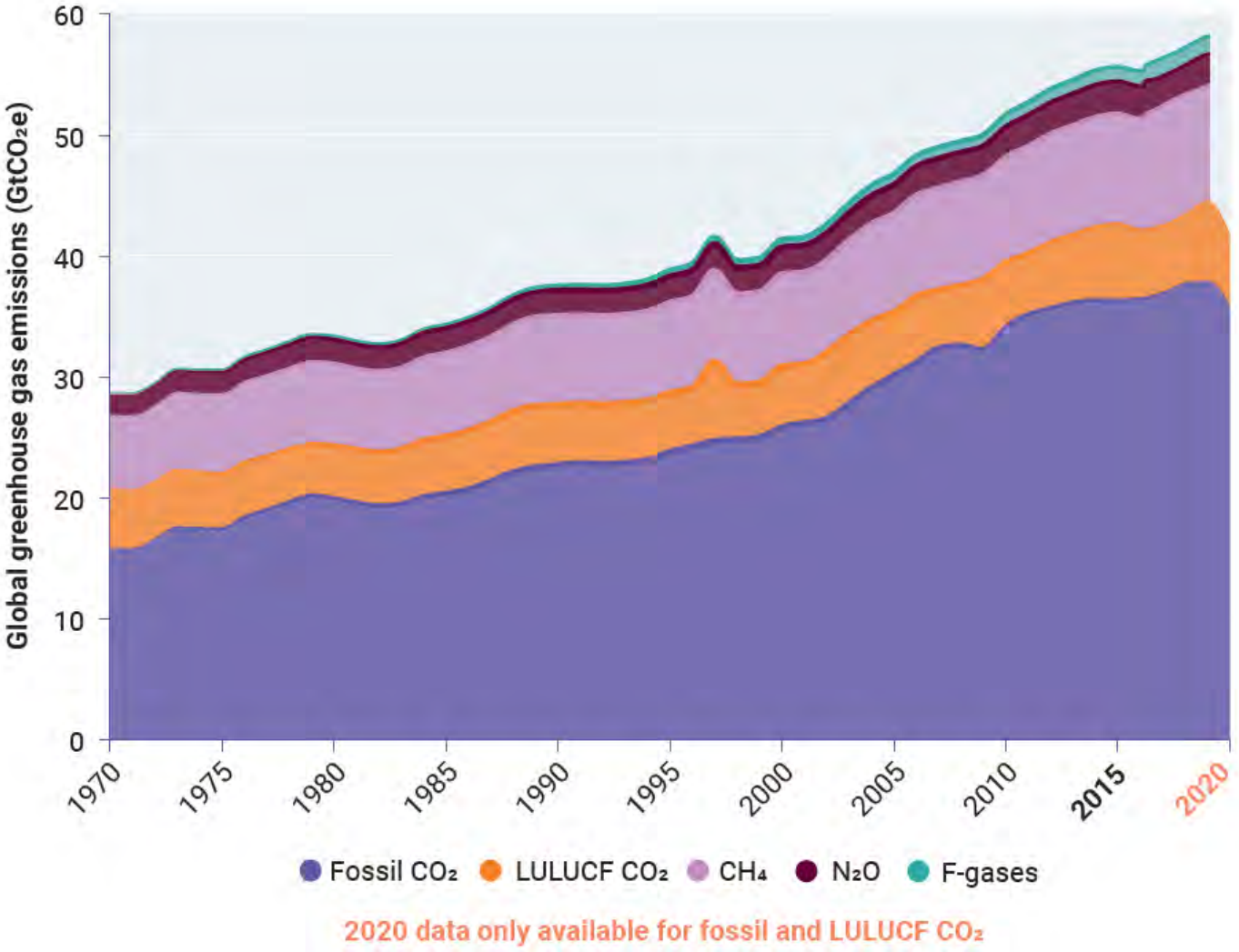
- 「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。」(IPCC WG1 AR6 SPM)

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.



第五次評価報告書「気候システムの温暖化については疑う余地がない。…人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い（95%以上）」(IPCC WG1 AR5 SPM)から踏み込んだ記述に。

世界の温室効果ガス排出量は依然増加傾向にある



UNEP (2021) Emission Gap Report 2021; Fig 2.1;
https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021

1.5℃目標の実現に向けて残された時間はわずかしない

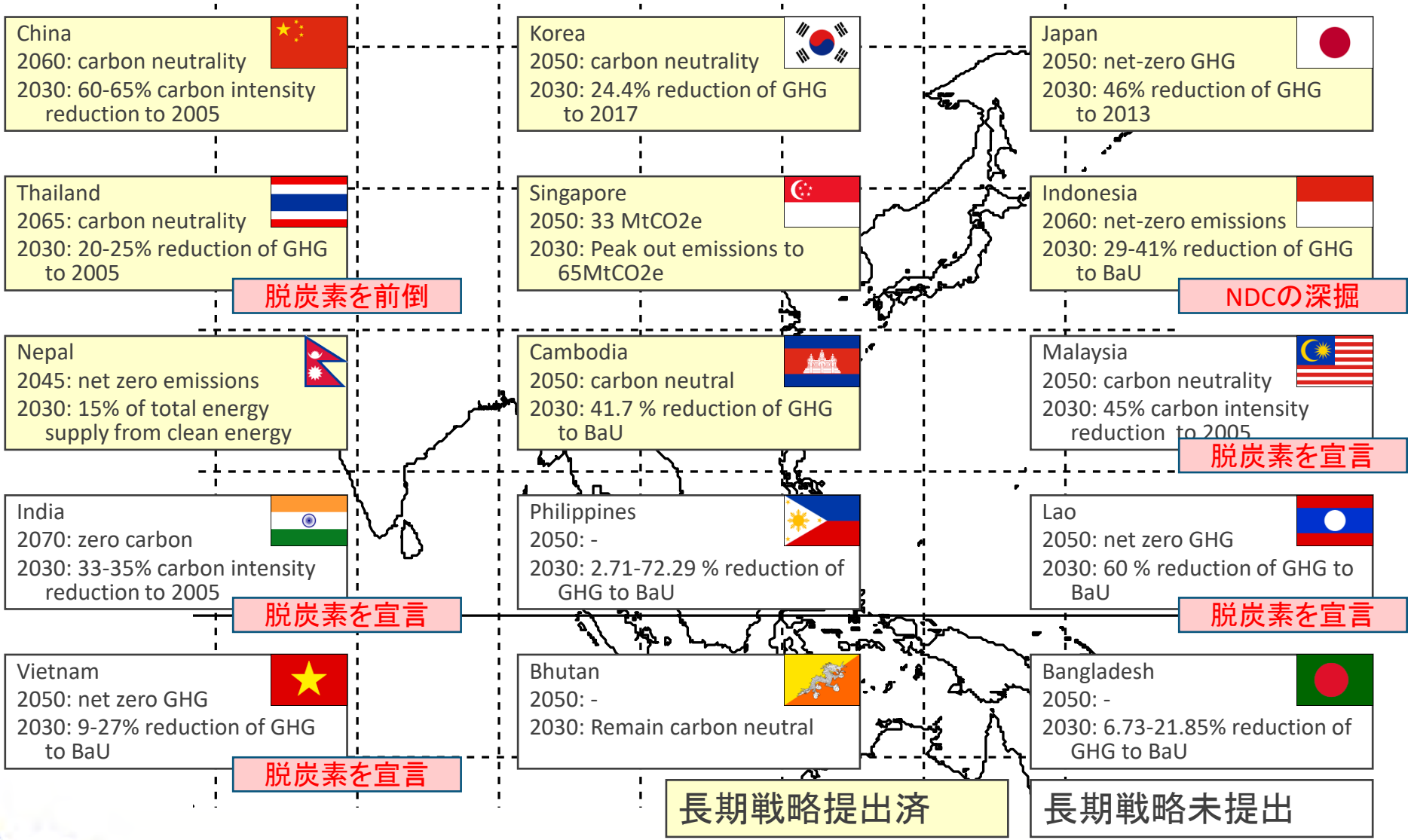
表SPM.2：過去のCO2排出量及び残余カーボンバジェット推定値

1850～1900 年から 2010～2019 年にかけての地球温暖化（°C）	1850～2019 年にかけての過去の累積 CO_2 排出量（$GtCO_2$）
1.07（*可能性が高い範囲*：0.8～1.3）	2390（*可能性が高い範囲*：± 240）

1850～1900 年を基準とする気温上限までのおおよその地球温暖化（°C）*(1)	2010～2019 年を基準とする気温上限までの追加的な地球温暖化（°C）	2020 年初頭からの残余カーボンバジェット推定値（$GtCO_2$）*気温上限までで地球温暖化を抑制できる可能性*(2)					非 CO_2［温室効果ガス］排出削減量のばらつき*(3)
		17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	非 CO2［温室効果ガス］排出削減量の増減により、左記の値は 220 $GtCO_2$ 以上増減しうる
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP_20210901.pdf

アジアにおける脱炭素に向けた動き
NDCと長期戦略に加えて、脱炭素の宣言・前倒しへ



https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs
https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies

日本の温室効果ガス排出削減目標

2030年の目標

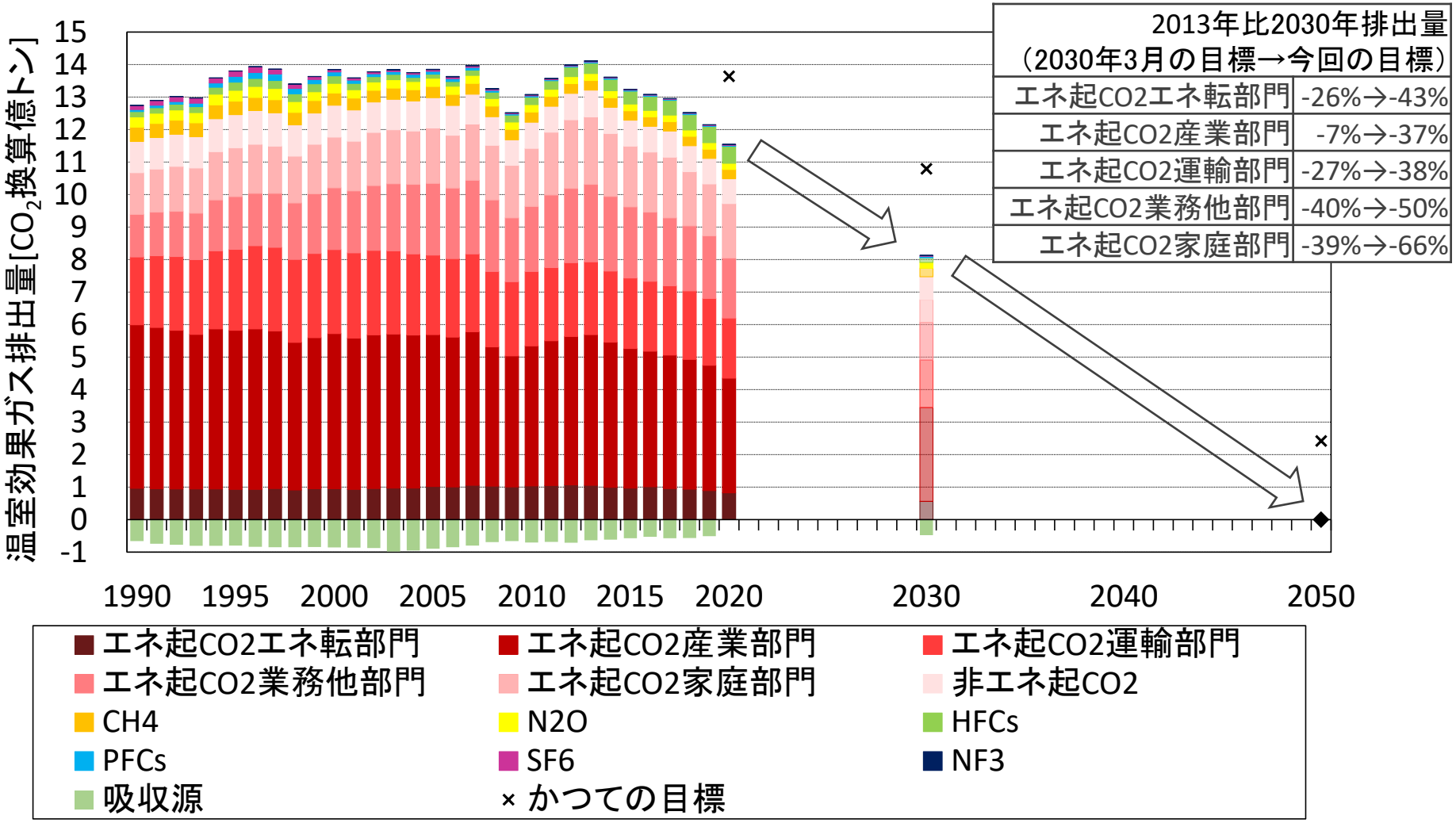
- 2021年10月に新たな「日本のNDC（国が決定する貢献）」が閣議決定；https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/ndc.html
  - 2030年GHG排出量を2013年比46%削減。さらに50%の高みに向けて挑戦。

2050年の目標

- 2021年10月に新たな「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が閣議決定；
  https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/chokisenryaku.html
  - 2050年カーボンニュートラル（温室効果ガス排出量を実質ゼロ）。

- 上記の基礎として、エネルギー基本計画、地球温暖化対策計画が見直され、2021年10月に閣議決定された。

日本の温室効果ガス排出量のこれまでの推移と将来目標

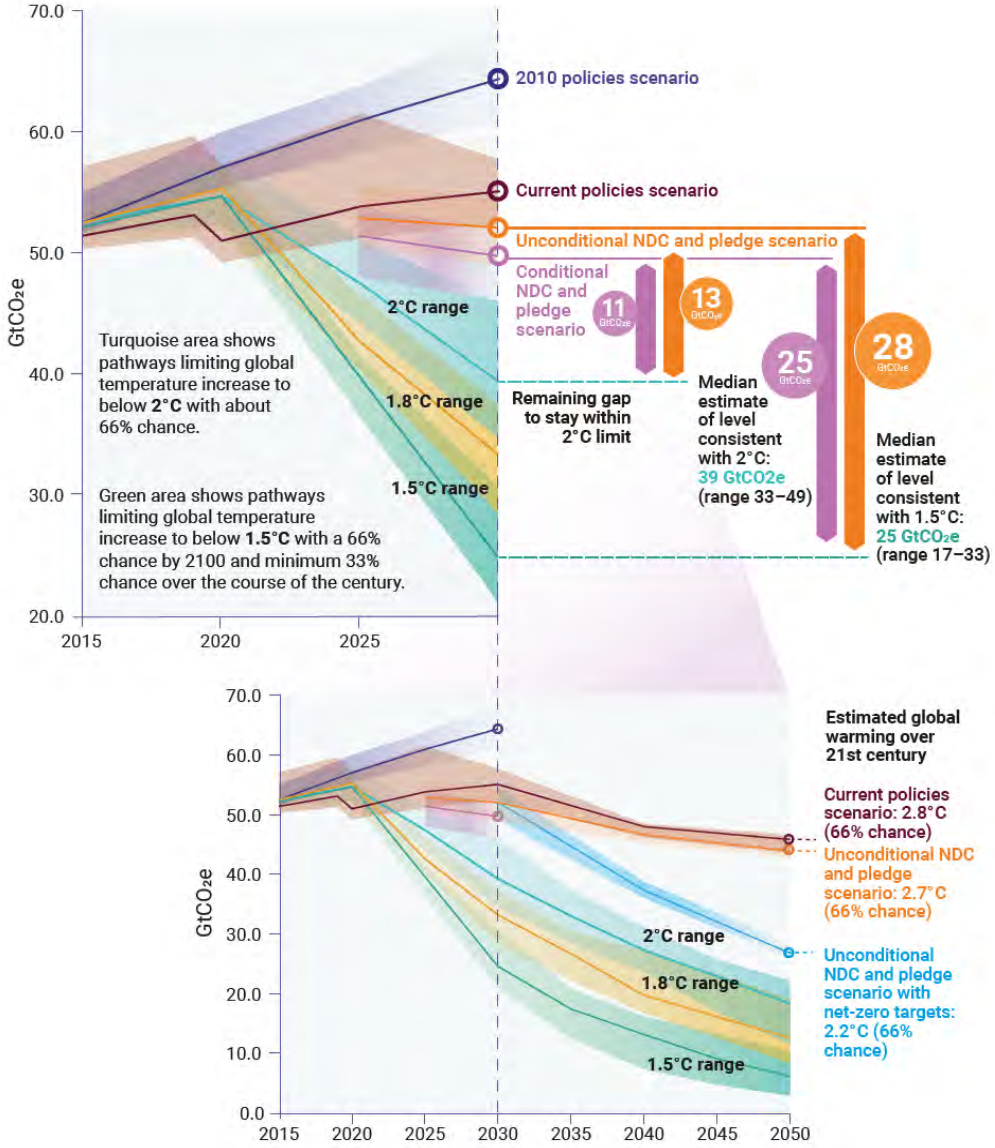


データ出典

過去の排出：国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス, https://www.nies.go.jp/gio/en/index.html

将来の目標：首相官邸 地球温暖化対策推進本部, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/

現状の取り組みで脱炭素社会は実現するか？



UNEPのEmission Gap Report 2021から、
現状のNDCでは、
1.5℃目標どころか
2℃目標の達成も厳しい。
→排出削減の深掘りが必要。

UNEP (2021) Emission Gap Report 2021; Fig ES.6;
https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021

2050年脱炭素社会の実現を見据えた取り組み

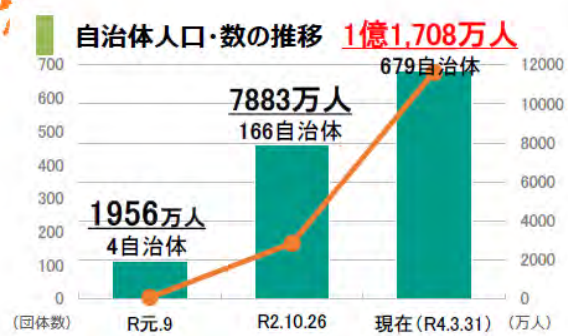
- 2050年まで残り30年もない…
  - 日本として、できるだけ早く2050年のGHG排出量の実質ゼロに向けたロードマップを明確にすること。
  - 単なる省エネでは不十分。再エネ導入など供給側の取り組みも。
  - 座礁資産を生まないために、早めに対策を。
  - 技術的な対応は重要だが、それだけでは不十分。社会のあり方を見直す必要がある（新しい技術も普及しなければ意味がない）。
  - 地球全体の脱炭素社会の実現に向けて、途上国に対する技術支援などへの取り組みも。

  - これまでと異なり、企業や自治体の関心も高い。
    - TCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）を通じた情報開示。
    - グローバルなサプライチェーンによる影響の拡大。
    - 自治体によるゼロカーボンシティ宣言
      https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html
    - 国立環境研究所でも金融業界と情報交換を開始
      https://www.nies.go.jp/social/news/report202202.html
  - 一方で何に取り組んでいいかという声も依然としてある。

ゼロカーボンシティを宣言した自治体

2022年3月末で679自治体（41都道府県、402市、20特別区、181町、35村、1億1708万人に相当）が宣言

表明都道府県（1億494万人）



表明市区町村（8,433万人）

北海道
古平町 札幌市 ニセコ町 石狩市 稚内市 釧路市 厚岸町 喜茂別町 鹿追町 羅臼町 富良野市 当別町 小樽市 紋別市 苫小牧市 足寄町 更別村 清水町 沼田町 旭川市 室蘭市 名寄市 大樹町 秩父別町 釧路町 弟子屈町 三笠市 妹背牛町 上士幌町 留寿都村 苫前町 白糠町 千歳市 枝幸町 北見市 登別市 士別市 函館市 音更町 せたな町 当麻町 美幌町 幌加内町 標茶町 下川町 東川町 比布町 月形町 知内町 鶴居村 八雲町 浜中町 鹿部町 京極町 真狩村 美深町 和寒町 斜里町 東神楽町

青森県
八戸市 七戸町 つがる市 深浦町 佐井村

岩手県
久慈市 二戸市 葛巻町 普代村 軽米町 野田村 九戸村 洋野町 一戸町 八幡平市 宮古市 一関市 紫波町 釜石市 岩泉町

宮城県
気仙沼市 富谷市 美里町 仙台市 岩沼市 名取市 多賀城市 登米市 塩竈市 亘理町 白石市

秋田県
大館市 大潟村 鹿角市 大仙市

山形県
東根市 米沢市 山形市 朝日町 高畠町 庄内町 飯豊町 南陽市 川西町 鶴岡市 尾花沢市 白鷹町 最上町 天童市 寒河江市

福島県
郡山市 大熊町 浪江町 福島市 広野町 楢葉町 本宮市 喜多方市 白河市 会津若松市 飯舘村

茨城県
水戸市 土浦市 古河市 結城市 常総市 高萩市 北茨城市 牛久市 鹿嶋市 潮来市 守谷市 常陸大宮市 那珂市 筑西市 坂東市 桜川市 つくばみらい市 小美玉市 茨城町 城里町 東海村 五霞町 境町 取手市 下妻市 ひたちなか市 笠間市 つくば市 日立市

栃木県
那須塩原市 大田原市 那須烏山市 那須町 那珂川町 鹿沼市 宇都宮市 日光市

群馬県
太田市 藤岡市 神流町 みなかみ町 大泉町 館林市 嬬恋村 上野村 千代田町 前橋市 みどり市 高山村 沼田市 片品村

埼玉県
秩父市 さいたま市 所沢市 深谷市 小川町 飯能市 狭山市 入間市 日高市 春日部市 久喜市 越谷市 草加市 三郷市 吉川市 八潮市 松伏町 川越市 本庄市 美里町 上尾市 鴻巣市 桶川市 吉見町 行田市 北本市 嵐山町 川口市 三芳町

千葉県
山武市 野田市 我孫子市 浦安市 四街道市 千葉市 成田市 八千代市 木更津市 銚子市 船橋市 佐倉市 館山市 南房総市 君津市 匝瑳市 白井市 市川市 松戸市 柏市

東京都
葛飾区 多摩市 世田谷区 豊島区 武蔵野市 調布市 足立区 国立市 港区 狛江市 中央区 新宿区 荒川区 北区 江東区 墨田区 利島村 中野区 杉並区 千代田区 府中市 小金井市 町田市 板橋区 目黒区 練馬区 小平市 文京区 八王子市 大田区 あきる野市 国分寺市 台東区 西東京市 青梅市

神奈川県
横浜市 小田原市 鎌倉市 川崎市 開成町 三浦市 相模原市 横須賀市 藤沢市 厚木市 秦野市 葉山町 茅ヶ崎市 寒川町 真鶴町 松田町 伊勢原市 逗子市 座間市 大井町 綾瀬市 平塚市

新潟県
佐渡市 妙高市 十日町市 新潟市 柏崎市 津南町 村上市 新発田市 胎内市 小千谷市

富山県
魚津市 南砺市 立山町 富山市 小矢部市

石川県
加賀市 金沢市 白山市 小松市 かほく市 野々市市

福井県
坂井市 福井市 大野市 鯖江市 敦賀市 越前市 勝山市

山梨県
南アルプス市 甲斐市 笛吹市 上野原市 中央市 市川三郷町 富士川町 昭和町 北杜市 甲府市 富士吉田市 都留市 山梨市 大月市 韮崎市 甲州市 早川町 身延町 南部町 道志村 西桂町 忍野村 山中湖村 鳴沢村 富士河口湖町 小菅村 丹波山村

長野県
白馬村 池田町 小谷村 軽井沢町 立科町 南箕輪村 佐久市 小諸市 東御市 松本市 上田市 高森町 伊那市 飯田市 岡谷市 大町市 諏訪市

岐阜県
大垣市 郡上市 羽島市 中津川市 大野町 関市 美濃加茂市 輪之内町 飛騨市 恵那市

静岡県
御殿場市 浜松市 静岡市 牧之原市 富士宮市 御前崎市 藤枝市 焼津市 伊豆の国市 島田市 富士市 磐田市 湖西市 裾野市 袋井市 沼津市 三島市 小山町

愛知県
豊田市 みよし市 半田市 岡崎市 大府市 田原市 武豊町 犬山市 蒲郡市 小牧市 春日井市 常滑市 知多市 稲沢市 豊橋市 長久手市 刈谷市 西尾市 知立市 日進市 幸田町 東海市

三重県
志摩市 南伊勢町 桑名市 多気町 明和町 大台町 大紀町 紀北町 度会町 尾鷲市

滋賀県
湖南市 近江八幡市 草津市 長浜市 大津市

京都府
京都市 与謝野町 宮津市 大山崎町 京丹後市 京田辺市 亀岡市 福知山市 綾部市 城陽市 京丹波町 宇治市 木津川市

大阪府
枚方市 東大阪市 泉大津市 大阪市 阪南市 豊中市 吹田市 高石市 能勢町 河内長野市 堺市 八尾市 和泉市 熊取町 岸和田市 太子町 泉佐野市 摂津市 茨木市 岬町 河南町 池田市 交野市

兵庫県
明石市 神戸市 西宮市 姫路市 加西市 豊岡市 芦屋市 三田市 尼崎市 宝塚市 高砂市 淡路市 丹波篠山市 加古川市 宍粟市

奈良県
生駒市 天理市 三郷町 田原本町 葛城市

和歌山県
那智勝浦町 日高川町

鳥取県
北栄町 南部町 米子市 鳥取市 境港市 日南町 倉吉市

島根県
松江市 邑南町 美郷町 出雲市 安来市 津和野町

岡山県
真庭市 岡山市 津山市 玉野市 総社市 備前市 瀬戸内市 赤磐市 和気町 早島町 久米南町 美咲町 吉備中央町 倉敷市 奈義町 西粟倉村 新見市

広島県
尾道市 広島市 大崎上島町 東広島市 三原市

山口県
下関市 山口市 柳井市

徳島県
阿南市 北島町 三好市

香川県
善通寺市 高松市 東かがわ市 丸亀市 坂出市 宇多津町 観音寺市 三木町 多度津町

愛媛県
松山市 新居浜市 伊予市

高知県
四万十市 宿毛市 南国市 高知市 黒潮町 本山町 梼原町 日高村 いの町

福岡県
大木町 福岡市 北九州市 久留米市 大野城市 鞍手町 小竹町 太宰府市 みやま市 篠栗町 宗像市 古賀市 みやこ町 吉富町 中間市 うきは市 朝倉市 新宮町 直方市 那珂川市 須恵町 粕屋町 久山町

佐賀県
武雄市 佐賀市 基山町 小城市

長崎県
平戸市 五島市 長崎市 長与町 時津町 西海市 南島原市 佐世保市

熊本県
熊本市 菊池市 宇土市 宇城市 阿蘇市 合志市 美里町 玉東町 大津町 菊陽町 高森町 西原村 南阿蘇村 御船町 嘉島町 益城町 甲佐町 山都町 荒尾市 球磨村 あさぎり町 八代市 五木村 人吉市

大分県
大分市 宇佐市 日田市 国東市 別府市 杵築市

宮崎県
串間市 宮崎市 都農町 五ヶ瀬町 日南市 木城町 高鍋町

鹿児島県
鹿児島市 知名町 指宿市 薩摩川内市 瀬戸内町 肝付町 南大隅町 錦江町 阿久根市 長島町 日置市 和泊町 南九州市 鹿屋市 志布志市 南さつま市 宇検村

沖縄県
久米島町 竹富町 沖縄市 宮古島市

＊朱書きは表明都道府県、その他の色書きはそれぞれ共同表明団体、市区町村の表明のない都道府県名は省略

https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html

金融界との連携

国際的な取引の観点から、企業の関心も高くなっている。
一方で、科学的な知見に対する理解はまだまだ十分ではない。

国際的にも、中央銀行および監督当局の集まりであるNGFS（Network for Greening the Financial System）がシナリオを作成。

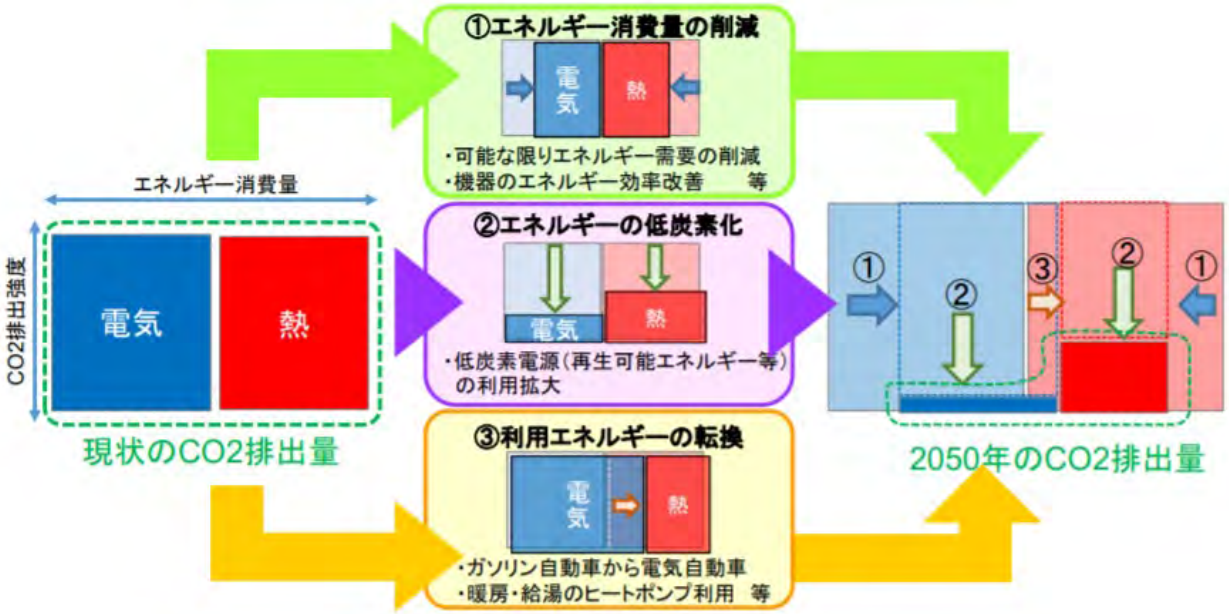
https://www.nies.go.jp/social/news/report202202.html

脱炭素社会の実現に向けた対策の方向性

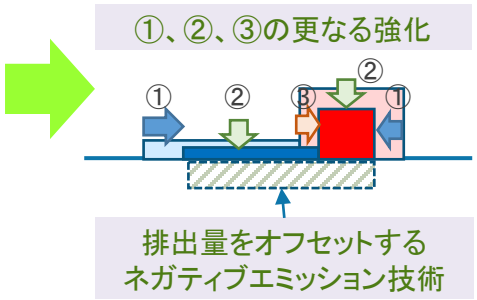
総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第44回）において報告した内容から
https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/2021_2050Japan/20210630_NIES.pdf

○ 脱炭素社会の実現のためには、①エネルギー消費量の削減、②使用するエネルギーの低炭素化、③利用エネルギーの転換を総合的に進めていくことが重要である。
○ カーボンニュートラルを実現するためには、①～③の強化とともに、④ネガティブエミッション技術※の導入が不可欠になる。

脱炭素社会実現に向けた方向性について（イメージ図）



ネットゼロのための
ネガティブエミッション技術



（出典）環境省（2015）温室効果ガス削減中長期ビジョン検討会 とりまとめ（破線までの図）

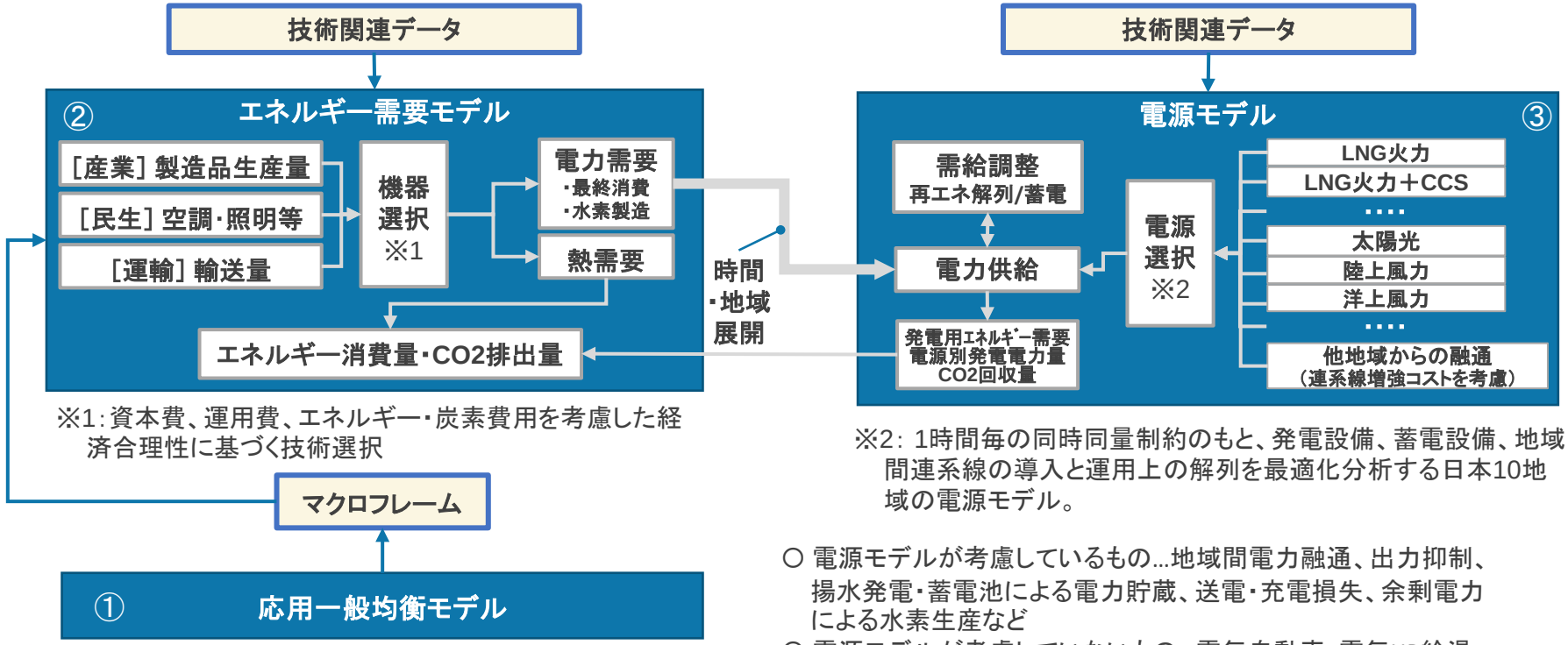
○ 上記の技術的対応に加えて、さらに⑤社会変容（消費行動や生産の見直し）も重要となる。

※ ネガティブエミッション技術：大気中のCO2を人為的に回収または吸収させ、それを再放出しない形で、長期的に貯留する技術・実践・行為。植林・再植林、バイオ炭、土壌炭素貯留、湿地・沿岸再生（ブルーカーボン）、バイオマスエネルギー炭素回収貯留（BECCS）、風化促進、直接炭素貯留（DAC）、海洋アルカリ化、鉱物炭化など。（参考文献：Minxら(2018) Negative Emissions—Part 1: Research Landscape and Synthesis, UNEP(2017) The emission gap Report 2017）

AIM（国立環境研究所等が開発した統合評価モデル）による詳細な分析の枠組み

https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/index_j.html

経済成長率や人口の想定を所与として、応用一般均衡モデルを用いて、将来におけるマクロフレームを設定（①）。続いて、エネルギー需要モデルにより、将来のエネルギー需要量を推計（②）。②で推計した年間電力需要量を1時間毎の地域別需要量に展開し、同時同量制約や地域間連系線制約を考慮できる費用最適化型電源モデルで発電設備構成及び供給構成を推計（③）。その結果をエネルギー需要モデルにフィードバックし、日本の全体のエネルギー需給量、CO2排出量を算定。



※1：資本費、運用費、エネルギー・炭素費用を考慮した経済合理性に基づく技術選択

※2：1時間毎の同時同量制約のもと、発電設備、蓄電設備、地域間連系線の導入と運用上の解列を最適化分析する日本10地域の電源モデル。

○ 電源モデルが考慮しているもの…地域間電力融通、出力抑制、揚水発電・蓄電池による電力貯蔵、送電・充電損失、余剰電力による水素生産など

○ 電源モデルが考慮していないもの…電気自動車・電気HP給湯機など蓄エネ設備やダイナミックプライシングを活用した需要サイドのエネルギー管理、域内の送配電網、慣性力確保など

分析に用いたマクロフレーム

・人口は社人研中位推計、GDPは2030年までは内閣府成長実現ケース、2030年以降はIPCCで用いられている社会シナリオのうち中庸シナリオ（SSP2）における日本の成長率を適用。それらの前提を用いて、応用一般均衡モデルから部門別生産額などを推計し、さらに部門別の活動量を設定した。

	将来見通し	
人口	126,440千人（2018）→ 101,923千人（2050）	社人研見通し
世帯数	53,889千世帯（2018）→ 47,241千世帯（2050）	社人研見通しをもとに40年以降推計
GDP成長率	2020～2030 1.7%/年　2031～2050 0.5%/年	2030年まで 内閣府 成長実現ケース 2030年以降 SSP2
粗鋼生産量	10,289万トン（2018）→ 8,570万トン（2050）	上記GDPの想定をもとにAIM/CGEによって推計された産業構造より推計
セメント生産量	6,023万トン（2018）→ 6,039万トン（2050）	
エチレン生産量	618万トン（2018）→ 541万トン（2050）	
紙板紙生産量	2,603万トン（2018）→ 2,348万トン（2050）	
機械製品生産量	100（2015）→ 141（2050）	
業務床面積	1,903百万m2（2018）→ 1,671百万m2（2018）	同上、学校・病院については人口構造などより推計
運輸旅客	1兆4,590億人km（2018） → 1兆1,790億人km（2050）	人口推移より推計
運輸貨物	4110億tkm（2018）→ 4190億tkm（2050）	上記GDPの想定をもとにAIM/CGEによって推計された産業構造より推計

想定したシナリオ

- 本分析では、省エネ、再エネ、電化など脱炭素技術の普及によって、ネットゼロ排出を実現する「技術」シナリオと、脱炭素技術の普及に加えて、デジタル化・サーキュラーエコノミーの進展などを前提とする「技術＋社会変容」シナリオ、2つのシナリオについて将来排出量などの分析を実施。
- 「社会変容」シナリオについては、IPCC 1.5℃特別報告書のLEDシナリオを参考にしている。
- 対策の導入量の想定については、参考資料を参照のこと。

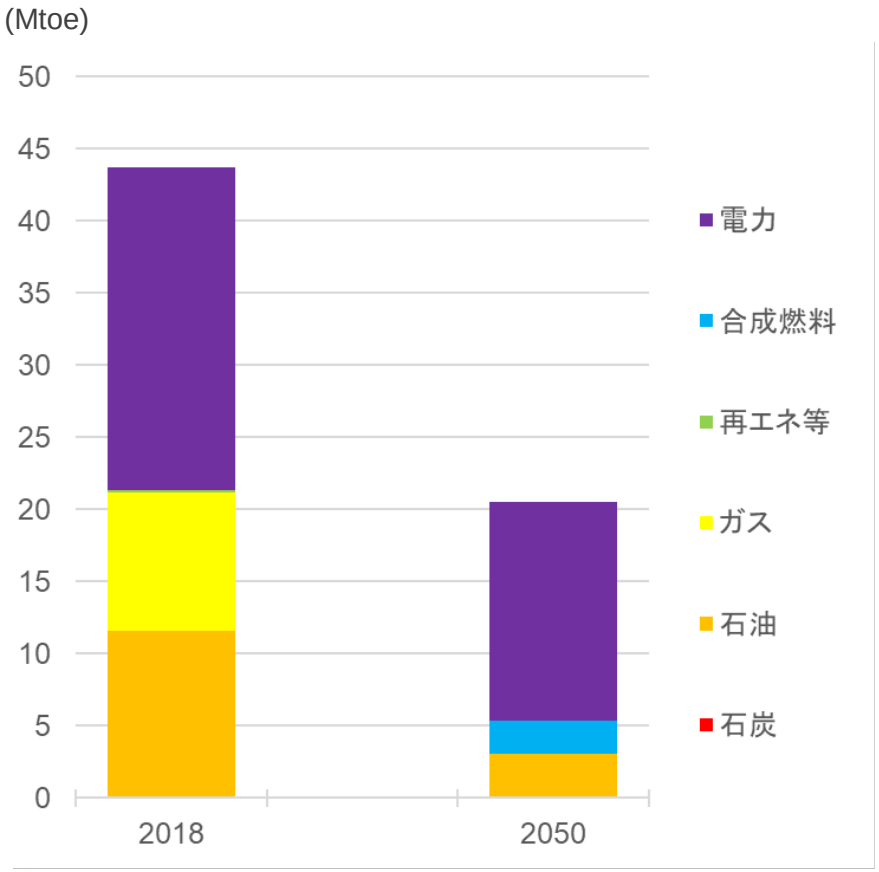
技　術	×	社会変容
○ エネルギー効率改善技術		○ マテリアルの効率的利用 ・シェアリング、循環利用による製品・素材利用率の向上 ・長寿命化、省資源設計、木材利用による鉱物資源由来製品（鉄・セメントなど）の生産低減 ・デジタル化による紙生産の低減　など ⇒ 産業部門 財生産量 2050年▲15%
○ 再生可能エネルギー大量普及		
○ 電化（電動自動車、ヒートポンプなど）		
○ 新燃料（水素、合成燃料、アンモニアなど）		
○ CCUS		○ 業務・通勤移動の低減 ・バーチャルリアリティによる移動代替　など ○ 貨物輸送の低減・物流効率の改善 ・マテリアルの効率的な利用による貨物輸送の低減 ・高度ICT利用や3Dプリンタによる物流効率の改善　など ⇒ 運輸部門 旅客・貨物輸送量 2050年▲20%
○ ネガティブエミッション技術		

【家庭部門】排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

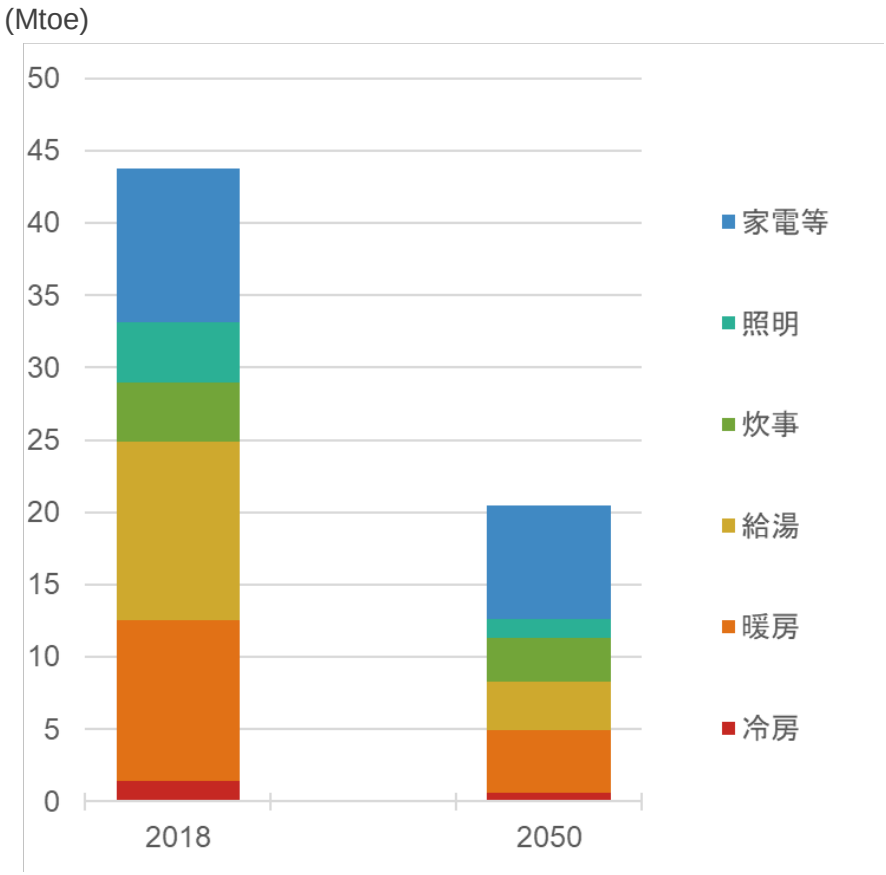
・家庭部門では脱炭素社会の実現に向けて、❶サービス需要の低減、❷エネルギー効率の改善、❸電化の推進、❹エネルギーの脱炭素化（脱炭素電力・新燃焼の利用拡大）を各エネルギー使用用途において実施。

【家庭部門】エネルギー消費量の推移

- 2050年における家庭部門のエネルギー消費量は2018年比 53%減。電力が占める割合は、空調、給湯の電化促進により、2018年51%から2050年74%と大幅に増加。
- 用途別では暖房、給湯、照明用のエネルギー消費量が大幅に低減。



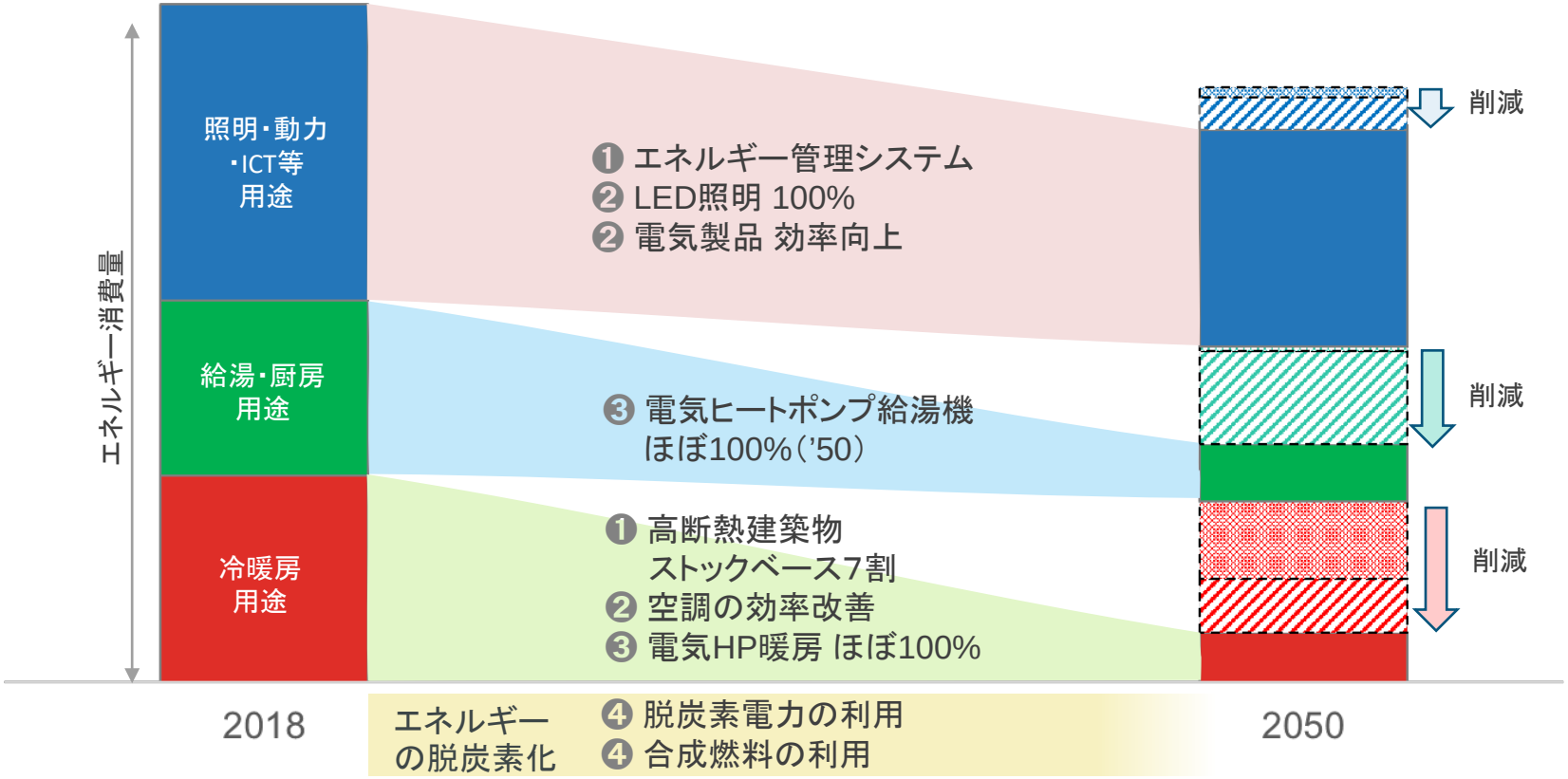
＜エネルギー種別エネルギー消費量＞



＜用途別エネルギー消費量＞

【業務部門】排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

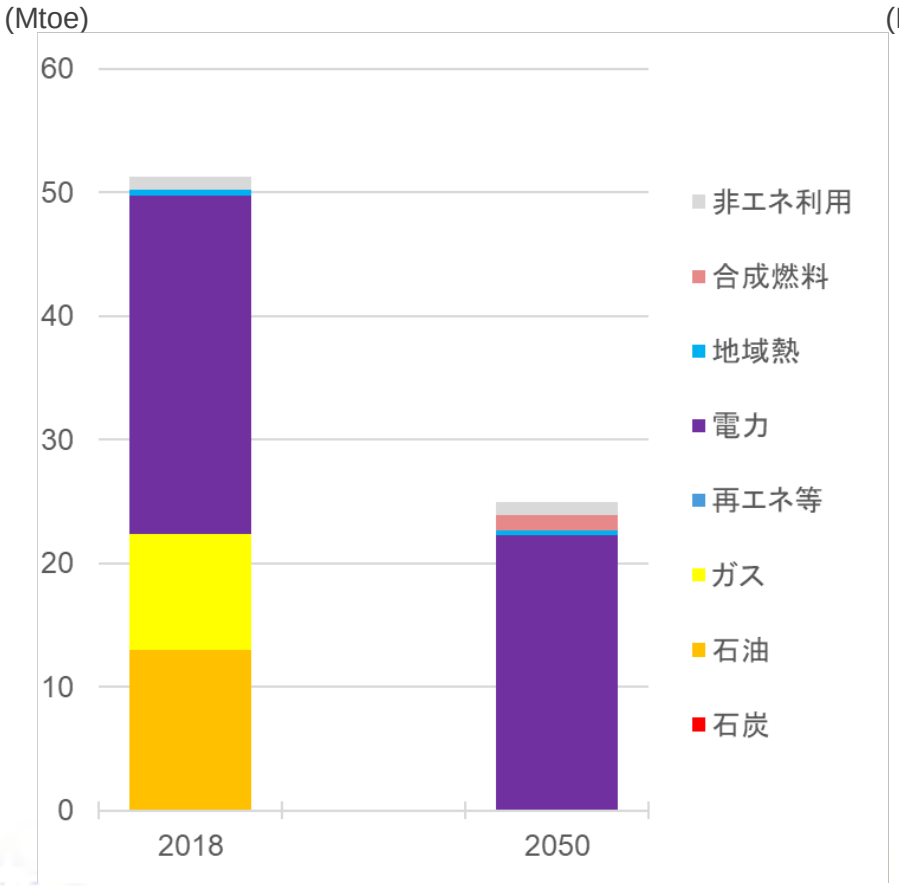
・業務部門では脱炭素社会の実現に向けて、❶サービス需要の低減、❷エネルギー効率の改善、❸電化の推進、❹エネルギーの脱炭素化（脱炭素電力・新燃料の利用拡大）を各エネルギー使用用途において実施。



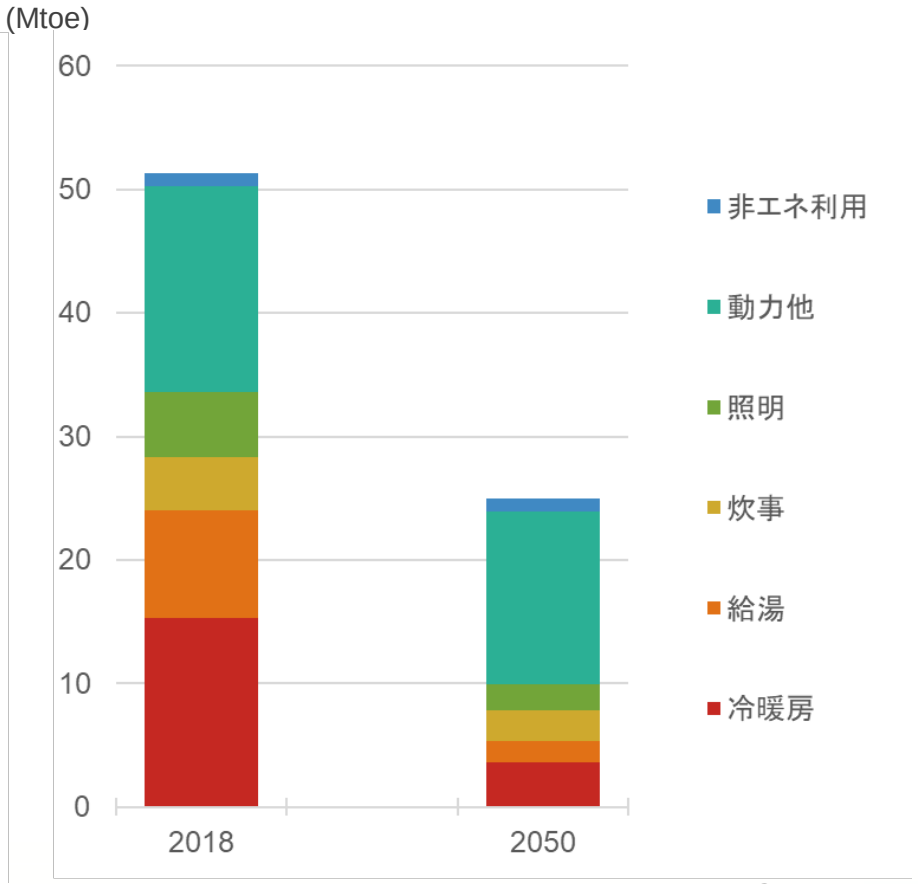
【業務部門】エネルギー消費量の推移

- 2050年における業務部門のエネルギー消費量は2018年比 51%減。電力が占める割合は、空調、給湯の電化促進により、2018年54%から2050年93%と大幅に増加※ 。
- 用途別では冷暖房、給湯、照明用のエネルギー消費量が大幅に低減。

※ 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。



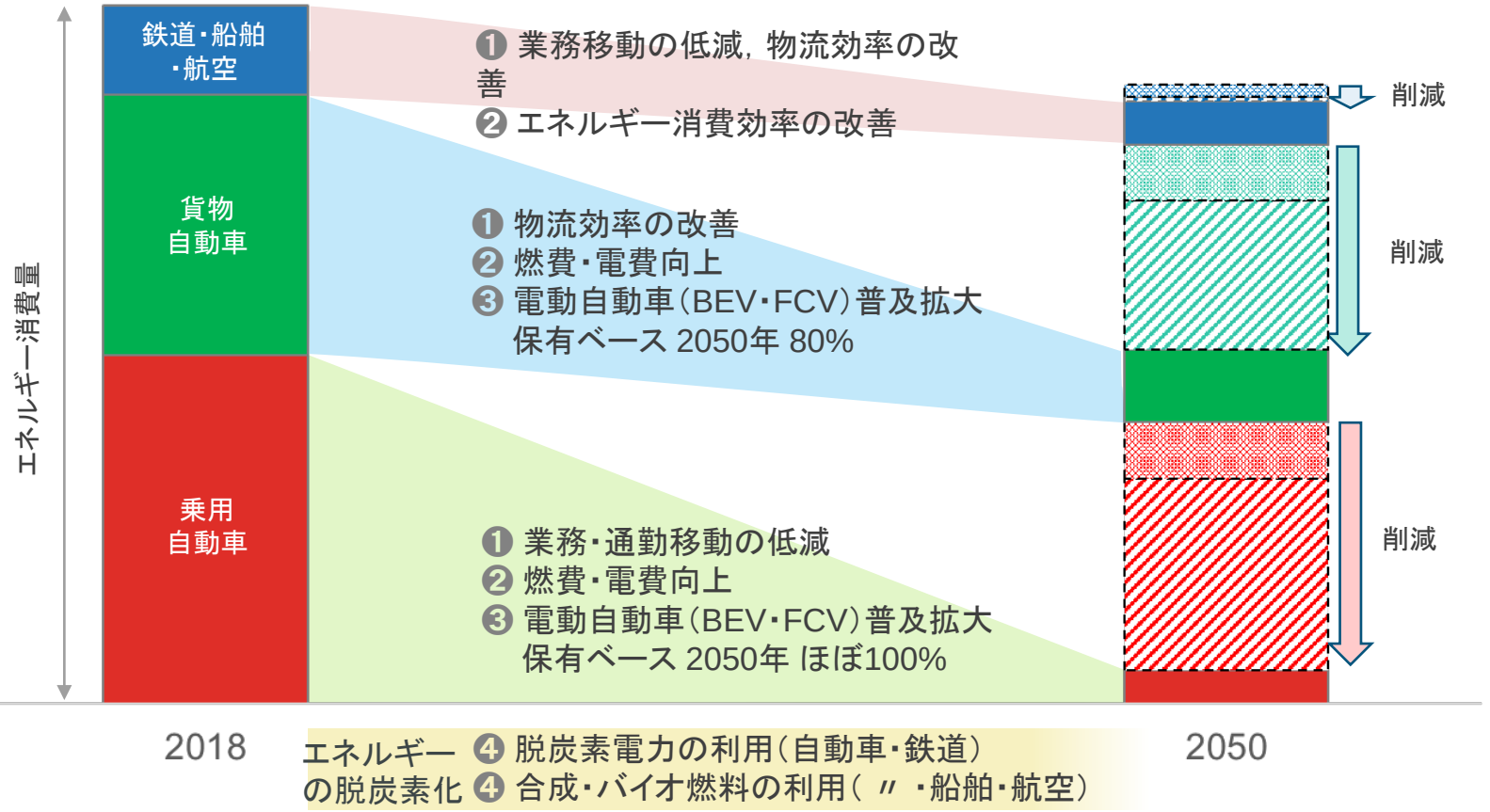
＜エネルギー種別エネルギー消費量＞



＜用途別エネルギー消費量＞

【運輸部門】排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

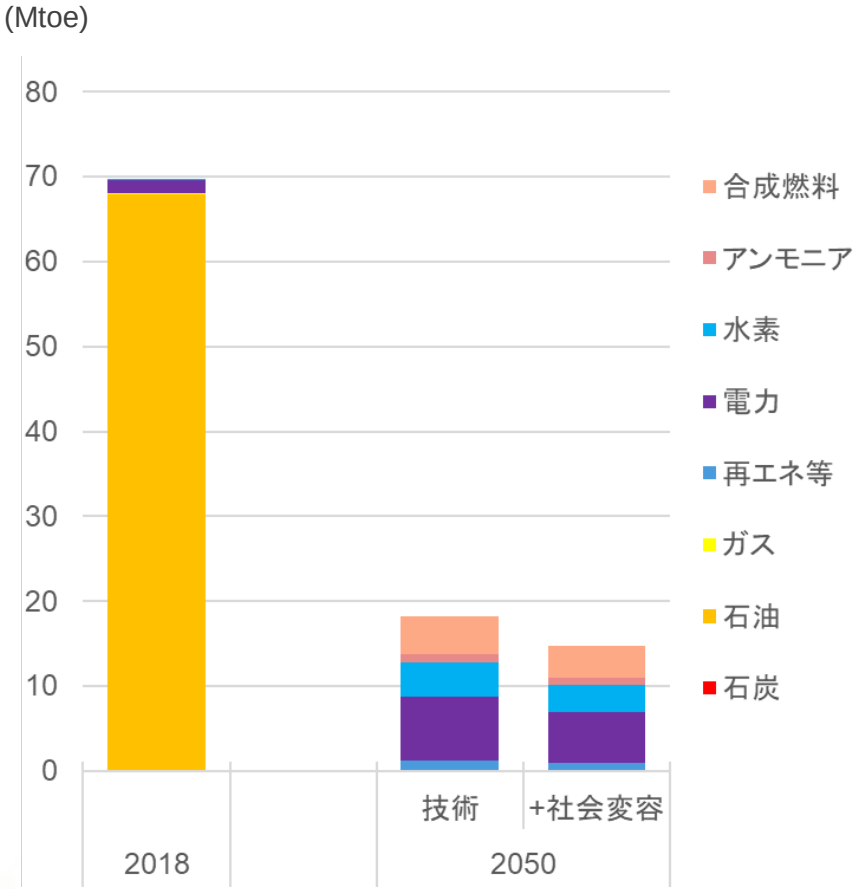
・運輸部門では脱炭素社会の実現に向けて、❶サービス需要の低減、❷エネルギー効率の改善、❸電化の推進、❹エネルギーの脱炭素化（脱炭素電力・新燃料の利用拡大）を各輸送手段において実施。



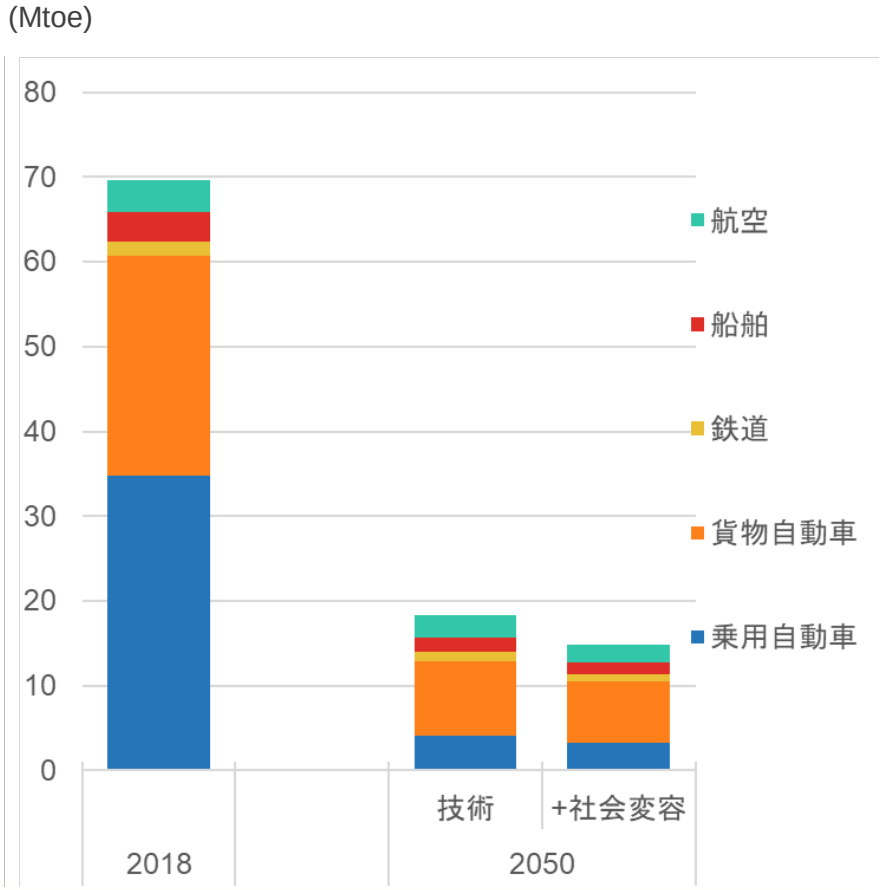
【運輸部門】エネルギー消費量の推移

・2050年における運輸部門のエネルギー消費量は2018年比 ▲74～▲79%。電力・水素が占める割合は、電気自動車、燃料電池自動車の大幅な普及拡大に伴い、2018年2%から2050年62～63%と大幅に増加※。

※ 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。



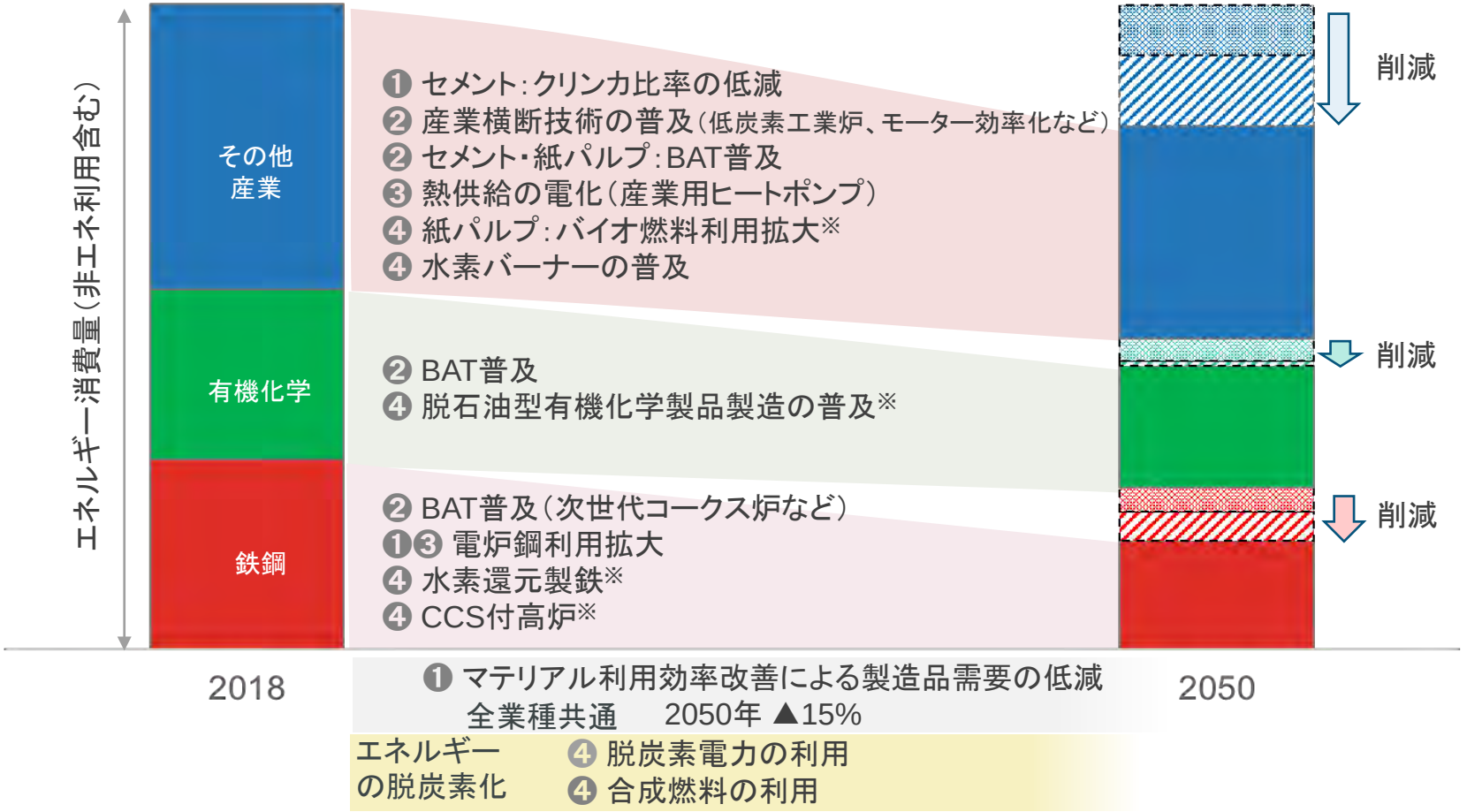
＜エネルギー種別エネルギー消費量＞



＜輸送手段別エネルギー消費量＞

【産業部門】排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

・産業部門では脱炭素社会の実現に向けて、❶サービス需要の低減、❷エネルギー効率の改善、❸電化の推進、❹エネルギーの脱炭素化（脱炭素電力・新燃料の利用拡大）を各業種において実施。

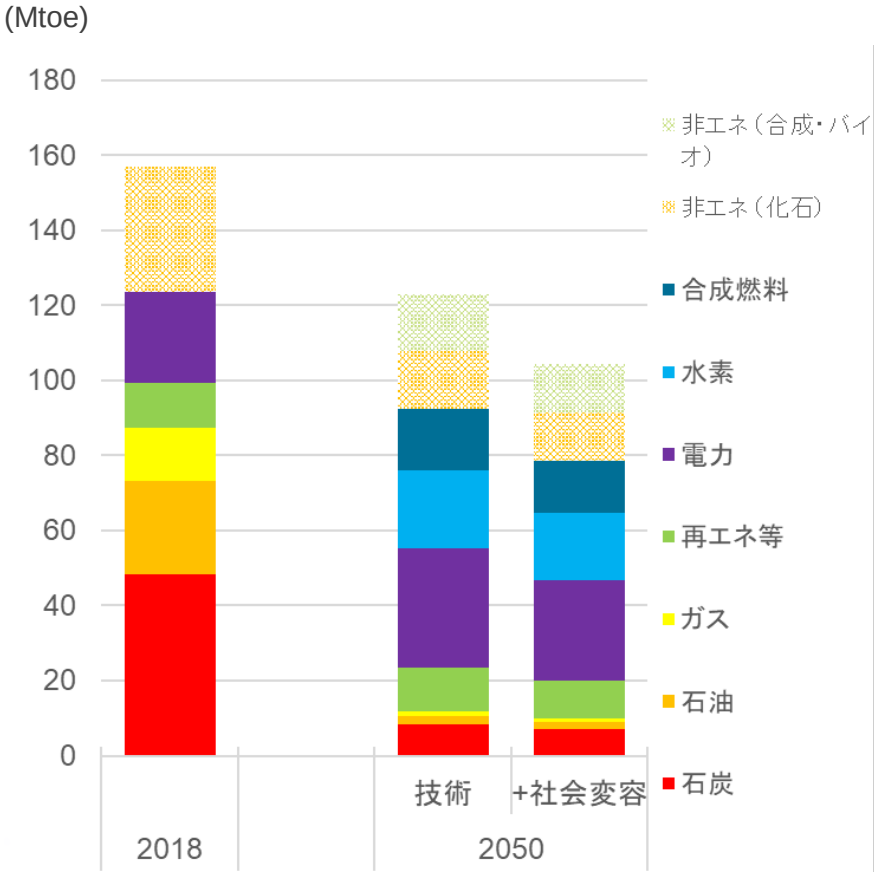


注※ これらの技術はCO2排出を削減する技術であるが、省エネ技術ではないため、エネルギー消費の削減には寄与していない。

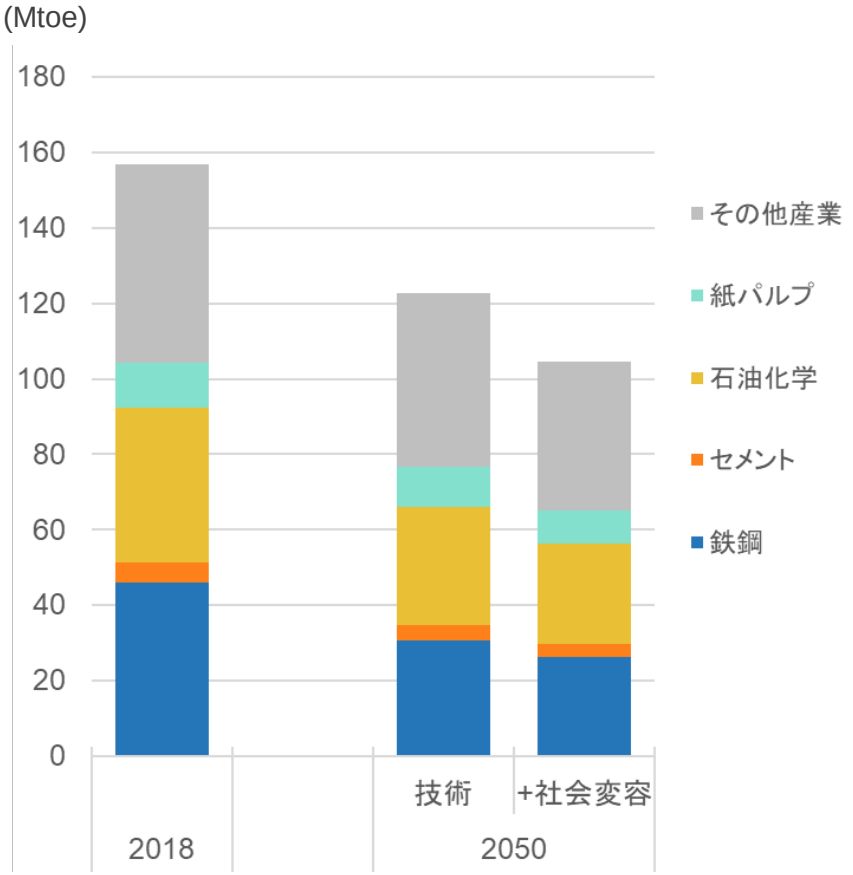
【産業部門】エネルギー消費量の推移

・2050年における産業部門のエネルギー消費量は2018年比 22~33%減。電力が占める割合は2018年20%から2050年34%と大幅に増加※。

※ 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。



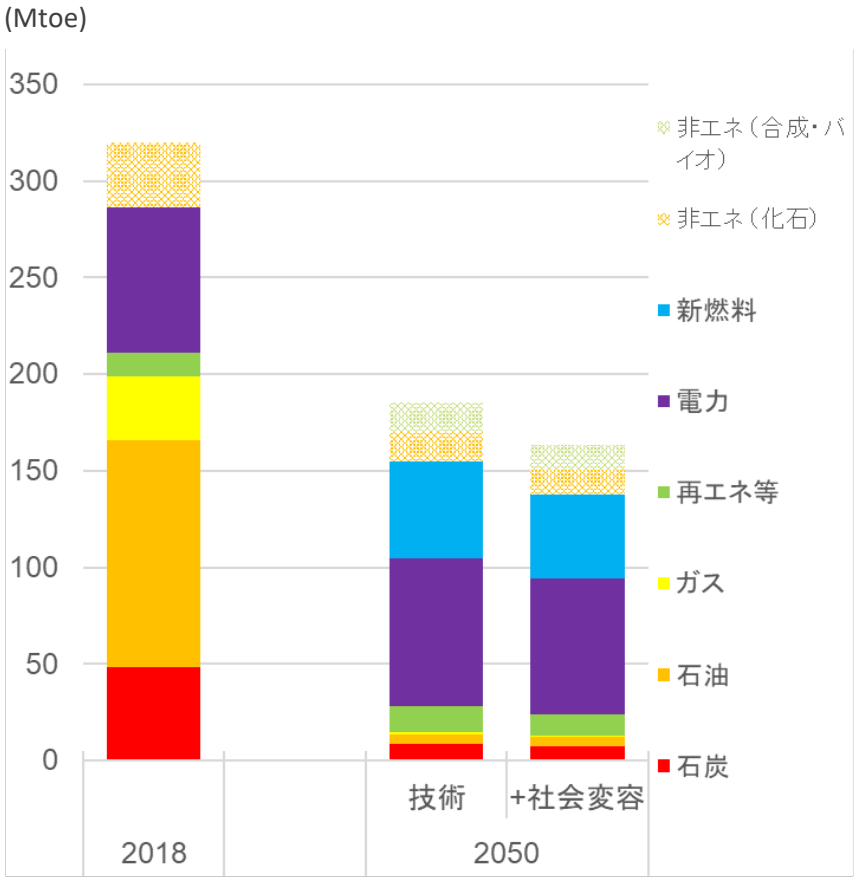
＜エネルギー種別エネルギー消費量＞



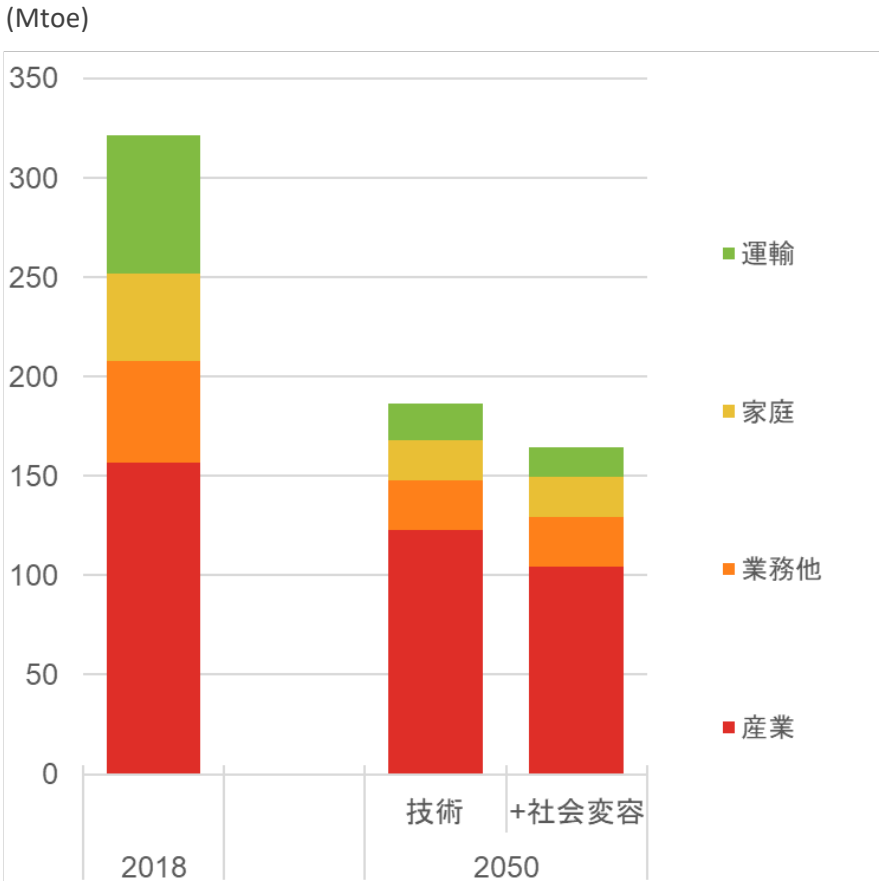
＜部門別エネルギー消費量＞

【最終エネルギー消費部門※】エネルギー消費量の推移

・2050年における最終エネルギー消費量は2018年比 ▲42～▲49%。電力が占める割合は2018年26%から2050年49～51%と大幅に増加。（非エネ用除く）



＜エネルギー種別エネルギー消費量＞

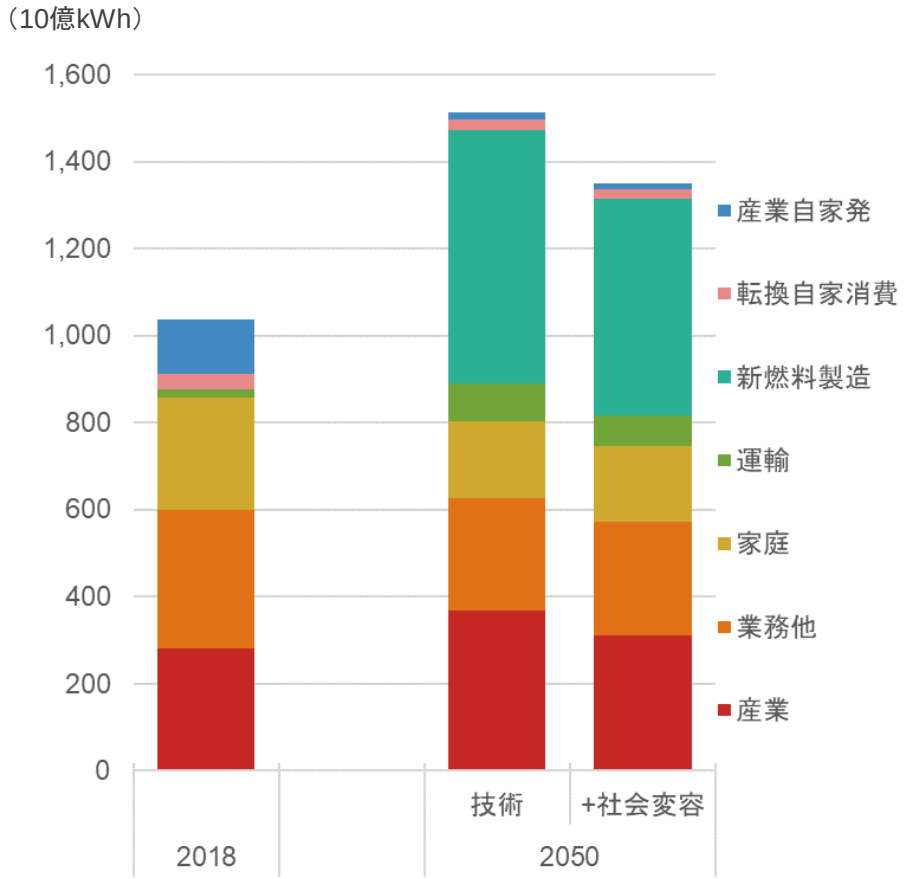


＜部門別エネルギー消費量＞

※ 産業部門＋業務部門＋家庭部門＋運輸部門
なお、業務部門と家庭部門は、技術シナリオと社会変容シナリオでの違いはない。

【発電部門】電力需要量

・電力需要量は2030年以降は大幅に増加し、2050年は30～46%増（2018年比）。最終消費部門（産業＋業務他＋家庭＋運輸）の需要量は横這もしくは減少するが、新燃料生産用（主に水素生産のための電気分解用途）の需要が急増。

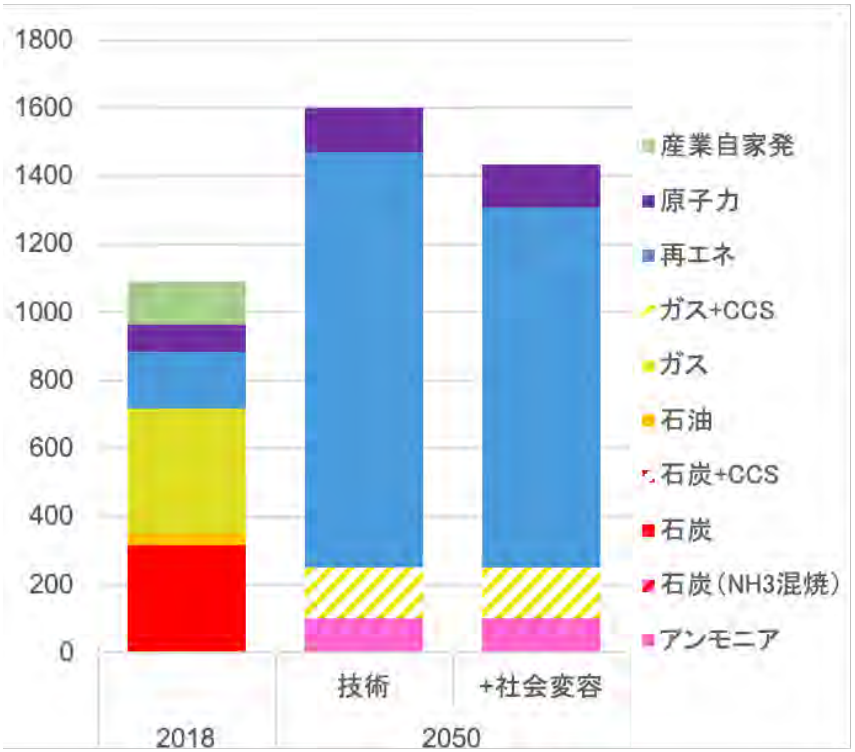


＜電力需要量＞

【発電部門】発電電力量

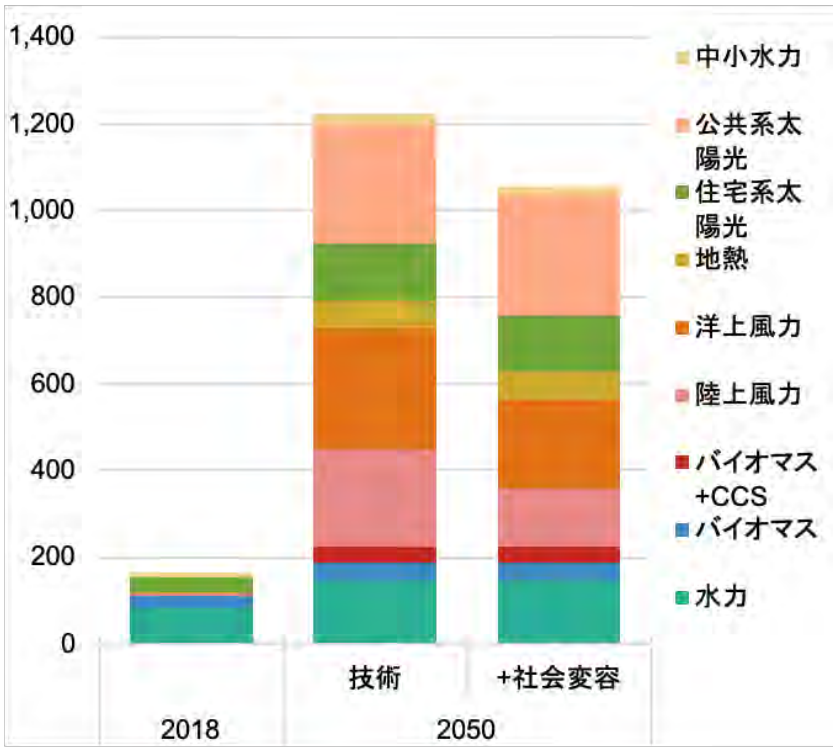
・発電電力量に占める脱炭素電源の割合は、2018年25%から2050年には100%に達している。
・発電電力量に占める再生可能エネルギー発電の割合は、2018年17%から2050年には73～76%に達している。太陽光、風力の発電の割合が大きく、太陽光は2050年4,030～4,050億kWh、陸上風力は2050年1,330 ～2,260億kWh、洋上風力は2050年2,050～2,760億kWh。

（10億kWh）



＜発電電力量＞

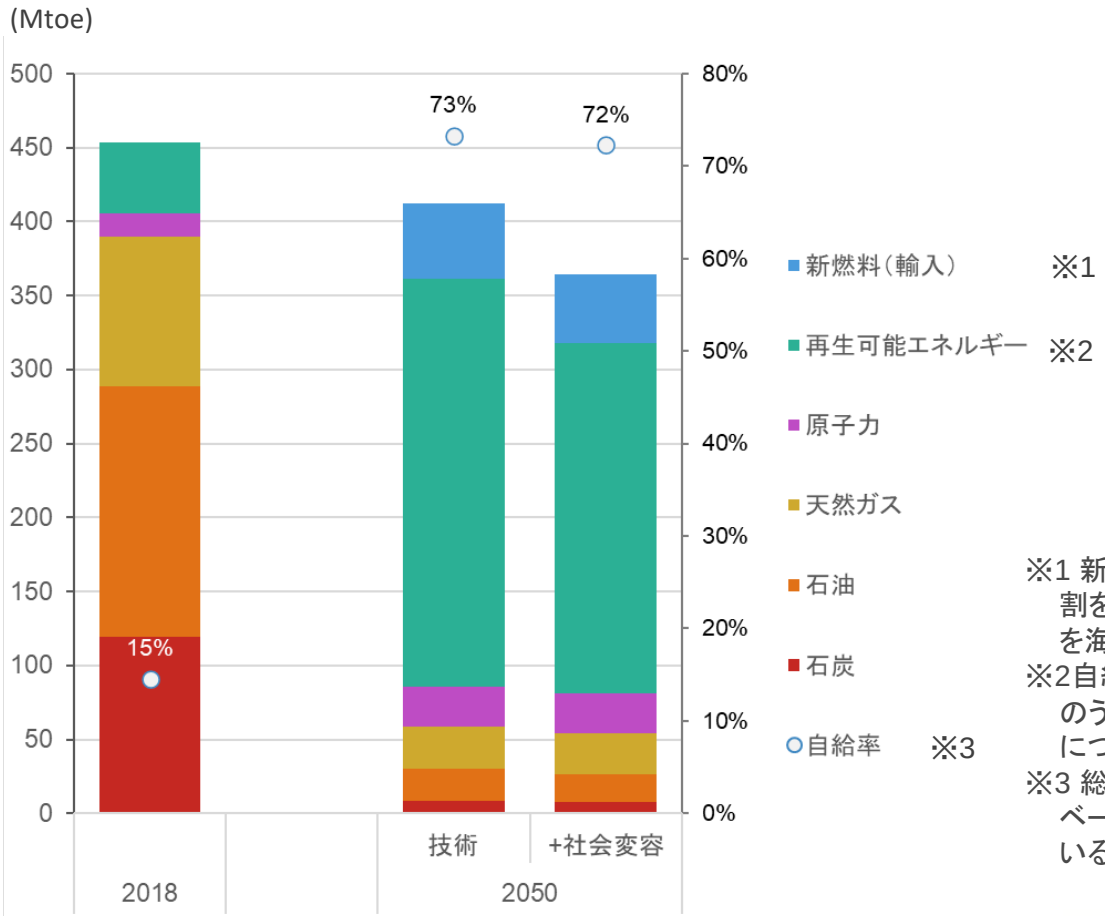
（10億kWh）



＜再生可能エネルギー発電電力量＞
（左図の■の内訳）

【一次エネルギー国内供給】一次エネルギー国内供給

・一次エネルギー国内供給は、現状は化石燃料が8割以上を占めるが、2050年には再生可能エネルギーが7割程度を占める。エネルギー自給率は2018年15%であるが、2050年には70%以上と大幅に改善。

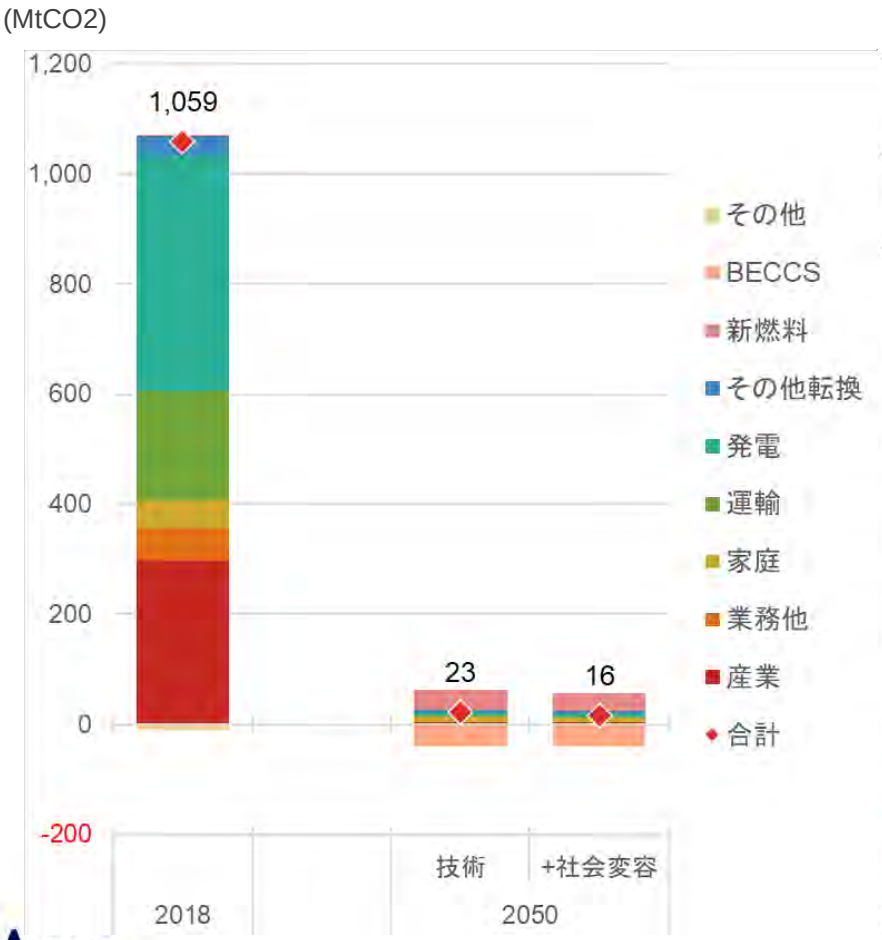


※1 新燃料のうち、合成燃料と水素については、3割を海外依存とし、アンモニアについては10割を海外依存と想定した。
※2自給率の推計にあたり、再生可能エネルギーのうち、バイオマスについては、現状からの増分について、3割を海外依存と想定した。
※3 総合エネルギー統計で採用している発熱量ベースで計算した自給率であり、IEAが採用している方法とは異なる。

＜一次エネルギー国内供給・エネルギー自給率＞

GHG排出量・エネルギー起源CO2排出量

- 2050年におけるエネルギー起源CO2排出量は合成燃料（化石燃料起源の炭素分）からの排出が多くの割合を占める。
- 2050年には脱炭素対策を推し進めてもある程度の排出は不可避となる。そのため、GHG排出量をネットゼロとするためにはネガティブ排出技術が必要となる。



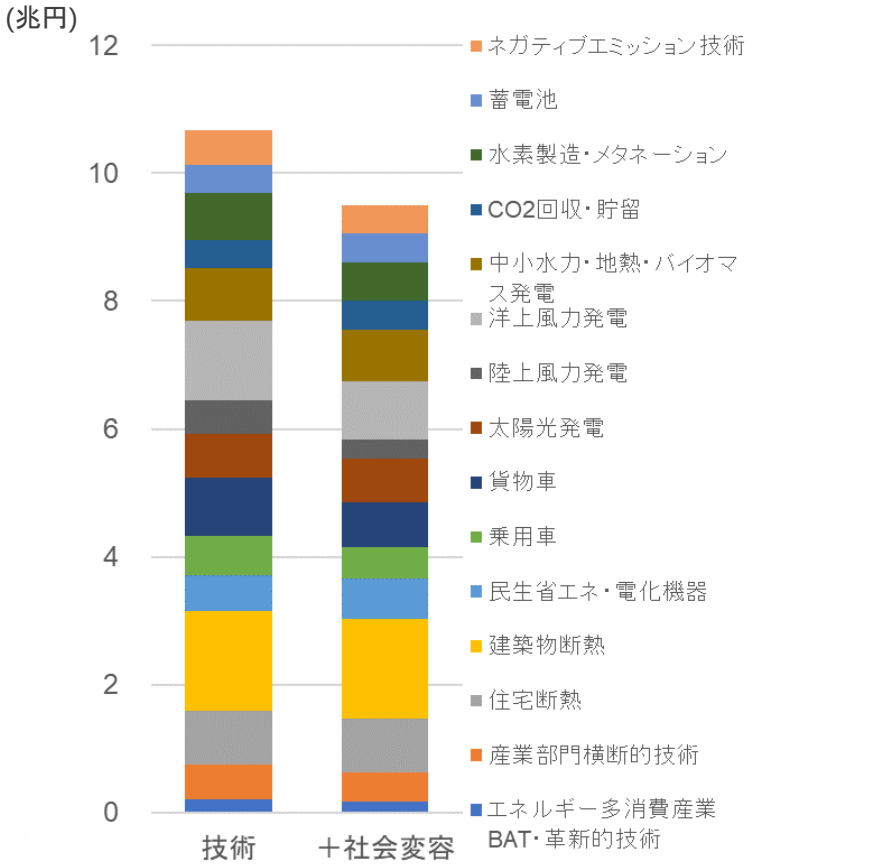
＜エネルギー起源CO2排出量＞

＜GHG排出量＞

地下貯留分はBECCSとCCS（化石燃料、石灰石由来）の合計で約1億tCO2。この他に、合成燃料・製品用に利用される49～57百万tCO2がCO2回収されている。

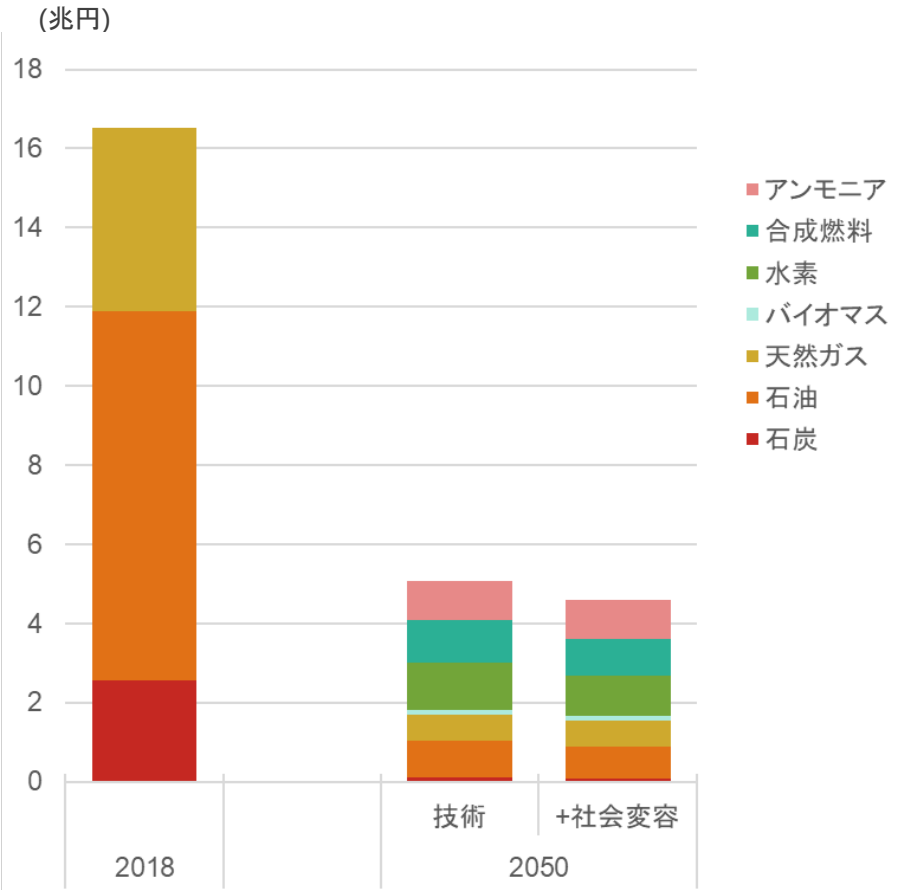
脱炭素投資額とエネルギー輸入額

- 脱炭素社会実現のために必要な追加投資額については、住宅・建築物の断熱、再生可能エネルギーに対する投資額が大きな割合を占めている。
- 2018年のエネルギー純輸入額は16兆円程度であるが、化石燃料に対する依存の低下によって輸入額は2050年には約12兆円低下する。



※需要側の機器については在来型の機器の価格との差分を計上。再エネ発電については、資本費を全て計上。人件費等の維持管理は含めていない。

＜脱炭素追加投資額※（年平均：2041～50年）＞



＜エネルギー純輸入額＞

【分析結果からの主な示唆①】各部門の姿

○家庭部門・業務他部門
- 暖房、給湯の電化が進むが、住宅・建築物の高断熱化や機器の省エネ進展により、電力消費の増加にはつがらない。
- 燃料消費が残存する需要については、合成燃料が供給され、排出はほぼゼロに近づく※。

○運輸部門
- 電動自動車（バッテリー電気自動車、燃料電池自動車）の早期の普及が必要となる。
- 残存する内燃機関を有する自動車、非電化区域の鉄道、船舶、航空は、合成燃料、水素、バイオ燃料などが利用され、排出はほぼゼロに近づく※。

○産業部門
- 鉄鋼では水素還元製鉄、セメント製造ではクリンカ代替素材、有機化学ではCO2原料化などの革新的技術が開発・普及している。また、残存する化石燃料の消費については、CO2回収がなされ、合成燃料・製品利用、地中隔離などが行われている。
- どの部門においても、BAT技術は普及し、また、熱利用については産業用HP利用が普及し、電化進んでいる。高温の熱需要については、合成燃料が利用されている。

○新燃料製造
- 民生、運輸、産業における水素や合成燃料の需要に対して、電気分解による水素生産によって国内生産を行う。そのため、電力需要は大幅に増加するが、水素生産のための電力需要は時間に対して制約が緩く、電力供給に余裕がある時間帯での生産が可能である。

※ 更なる省エネ対策の推進（断熱基準の強化、機器の省エネ基準の強化など）は、ネットゼロ排出実現の不確実性を低減することにつながる。

※ 合成燃料の炭素分には、化石燃料起源のものを一部含まれるために、その利用についてはCO2が排出されることに留意する必要がある。

【分析結果からの主な示唆②】その他

●本分析では、必要投資額は燃料輸入額削減の範囲内であった。脱炭素化は国富流出を抑制するプラスの影響をもたらす可能性が示唆された。

必要な投資額は年平均約10~11兆円程度と積算された。この投資は海外依存が高い化石燃料に対する需要量を大幅に低減し、2050年におけるエネルギー純輸入額の約12兆円の程度の抑制に繋がる。

●本分析では、毎時の同時同量を確保しつつ、コスト最適で電源構成を分析した結果、再エネ比率は70～80%程度となった。この際の平均発電コストは現状と同程度となった。

主力電源となる太陽光発電と風力発電は変動性の高い電源であるが、多様な電源の組み合わせと蓄電、地域間融通の実施によって柔軟性を確保。さらに、気象条件などが良好で電力需要を上回る時間帯も多く存在し、その電力を活用して、水素や合成燃料が生産され、Power to Xも含めエネルギーシステム全体で活用を図る。平均発電コストは、電力安定化のための投資が増大するものの、太陽光発電や風力発電のコスト低下とその利用シェアの拡大が価格上昇を程度相殺し、現状から1割増未満となった。

●社会変容を起こせば、脱炭素社会実現の確実性を高める可能性が示唆された。社会変容シナリオの利点と課題をさらに検討することが重要。

ネットゼロ排出を実現するための手段である新たなネガティブエミッション技術の開発・普及、新燃料の海外依存などについては、技術的・社会的な制約・不確実性がある。そのため、脱炭素社会の実現性を高めるためには、デジタル化やサーキュラーエコノミーの推進などにより、より少ない環境負荷でより高い便益・効用を得られる社会へと変容させていく取組が脱炭素社会の実現には重要になってくる。

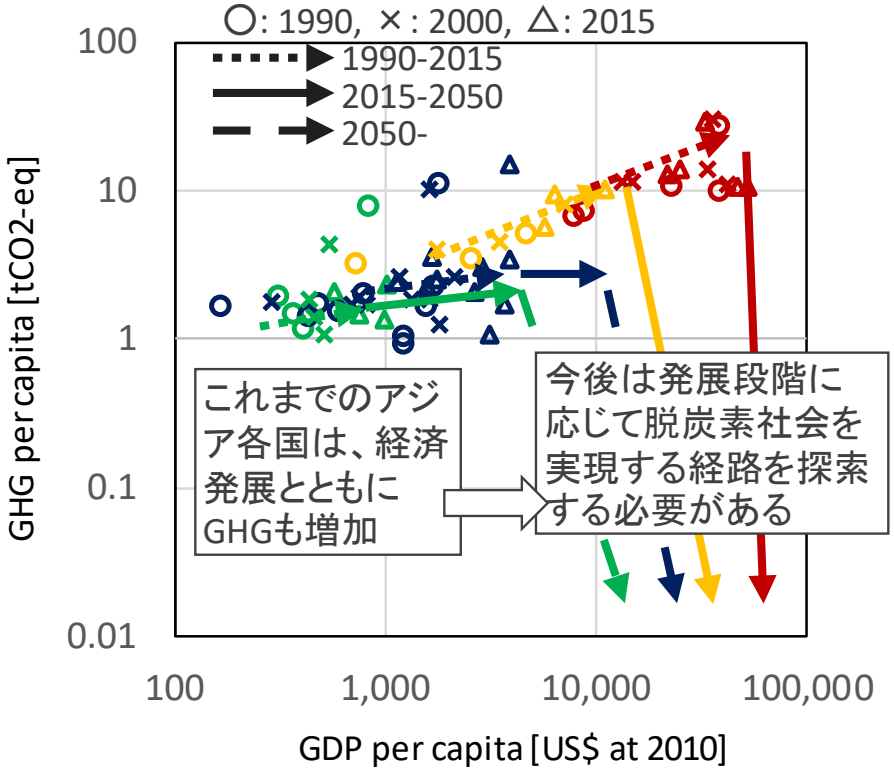
（社会変容シナリオによる違い）

・新たなネガティブエミッション技術の活用量　55MtCO2　→　43MtCO2　（約22%減）
・新燃料輸入量　47Mtoe　→　42Mtoe　（約10%減）
・エネルギー純輸入削減額と追加投資額の差分　約1兆円/年　→　約2兆円/年

脱炭素社会の実現に向けた日本の役割

地球温暖化対策計画に記載されている「長期戦略策定支援、NDC改定支援、能力構築支援」にどのように貢献するか？

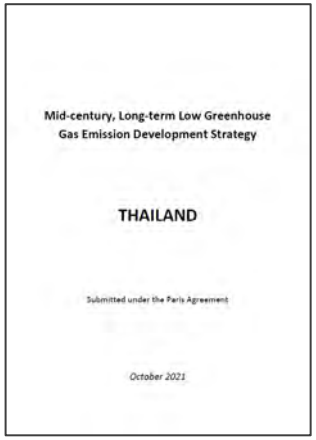
- 気候中立社会の実現に向けて、アジアでも排出ゼロに向けた取り組みが必要。
- アジアは多様：経済発展、文化、気候、賦存資源など
  →これを踏まえたロードマップが必要。
- 将来の目標はすべての国で共有。発展段階でロードマップは異なるが、取り組み事例は相互に参照できる。
  - 日本・韓国・台湾: GHG大幅削減。
  - 中国・タイ・マレーシア: 経済成長とGHG排出のデカップリング。
  - ブータン・インド・インドネシア・ラオス: 当面はGHGを増やさない経済発展からゼロ排出へ。
  - カンボジア・ネパール: 経済成長優先からやがてゼロ排出へ。



いかにリープフロッグを実現するか？
SDGsとの関係は？

日本の脱炭素・省エネ技術のアジアでの普及に加えて、各国における課題や多様性を踏まえたロードマップの定量化とその実現に向けた分析が必要となる。

国立環境研究所では、国内外の研究者と連携して、各国の長期戦略策定を支援



タイ：NC3や長期戦略において、AIMを活用した分析であることが明記。
Prof. Bundit Limmeechokchai
　タマサート大シリントーン国際工学部
https://unfccc.int/documents/181765
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Thailand_LTS1.pdf

インドネシア：長期戦略において、AIMを活用した分析であることが明記。
Prof. Rizaldi Boer
　ボゴール農業大学
Prof. Retno Gumilang Dewi and Dr. Ucok WR. Siagian
　バンドン工科大学
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Indonesia_LTS-LCCR_2021.pdf

このほか、ベトナム、マレーシア、バングラデシュ、ラオス、カンボジア等とも協力を進めている。
単なるロードマップの提供ではなく、ロードマップを定量化するモデル開発を共同で行い、日本の環境省やJICA等とも連携して、各国の研究者を通じて政策決定者に働きかけてもらう仕組みを構築し、自律的な長期戦略についての**能力構築を含めた取り組み**を行う。