

2022 年 7 月



#### 弊社のサービス

##### 調査・コンサルティング

国内外のエネルギー、環境技術等の分野を中心に、質の高い調査サービスをご提供し、専門スタッフがお客様のニーズに応じたコンサルティングを行います。

##### 技術支援

エネルギーに関する案件について、スムーズな業務遂行あるいは技術的な課題解決を支援します。

##### 教育・研修

エネルギー関連技術の教育・研修や人材育成支援、海外研修生受入、品質管理教育・研修、ISO 認証取得・維持支援等を行います。

ENEOS 総研は、ENEOS グループ各社で培った豊富な知見・経験を有する社員が、お客様のご要望・ご期待にお応えいたします。

##### お問い合わせ

調査・コンサルティング、技術支援、教育・研修といった各種サービスや、当社に関するお問い合わせはこちらから

[https://ssl.eneos.co.jp/eri\\_jp/inquiry/input](https://ssl.eneos.co.jp/eri_jp/inquiry/input)

ENEOS 総研ウェブサイト

<https://www.eri.eneos.co.jp/>

#### トピック 01

1000 を超える CO<sub>2</sub> 排出シナリオとそのグループング

#### トピック 02

2050 年前後にカーボンニュートラルとなるシナリオ群における世界の一次エネルギー需要推定

#### トピック 03

世界全体の CO<sub>2</sub> 排出量と石油の需要推定との相関分析

## トピック 01

### 1000 を超える CO<sub>2</sub> 排出シナリオとそのグルーピング

IPCC<sup>1</sup>の**第6次評価報告書(AR6)**は、2021年から順次公開され、気候変動の緩和に関する第3作業部会(WGIII)の報告は、2022年4月に最終ドラフト<sup>2</sup>、今後修正を経て最終版となる。2015年の前回の第5次評価報告書(AR5)、2018年の1.5°C特別報告書(SR1.5)に続く3年ぶりの大規模な報告書が今回の第6次評価報告書(AR6)である。なお、環境省のホームページには解説記事<sup>3</sup>が公開されている。

AR6は2022年6月時点で、最終ドラフトのステータスであるが、編集に使用された膨大なデータが既にオープンアクセス可能な状態で公開<sup>4</sup>されている。このデータは大量の論文、資料から抽出されたものであるため、世界の機関、アナリスト、研究者たちが推定する値の範囲やバラツキなど俯瞰的な評価が可能である。**本レポート**では、世界の一次エネルギーの需要推定を取り上げ、その傾向を分析した結果を分析例として示す。

**公開データ**は、モデル、シナリオ、地域、変数、単位、年、値から構成される。シナリオによってCO<sub>2</sub>(またはGHG)の排出経路が設定されるが、シナリオはIPCC、各研究機関独自のものも含め1000本以上、対象地域は各国、地域、世界全体など約100種、変数は一次エネルギー需要など様々な指標であり約1300種と膨大で、データの総数は数百万行におよぶ(時系列データを1行として)。

CO<sub>2</sub>(またはGHG)の排出経路が設定されるこれらのシナリオは気温上昇に基づいたカテゴリーで分けられており、AR6では、C1~8の新たなカテゴリーが設定されている(C1:Below 1.5°C with no or limited overshoot, C2:Below 1.5°C high overshoot, C3:Likely below 2°C, C4:Below 2°C, C5:Below 2.5°C, C6:Below 3°C, C7:Below 4°C, C8:Above 4°C)。

Fig. 1 は各シナリオの年ごとの世界全体のCO<sub>2</sub>排出量をカテゴリーごとに色分けし、プロットしたものである。

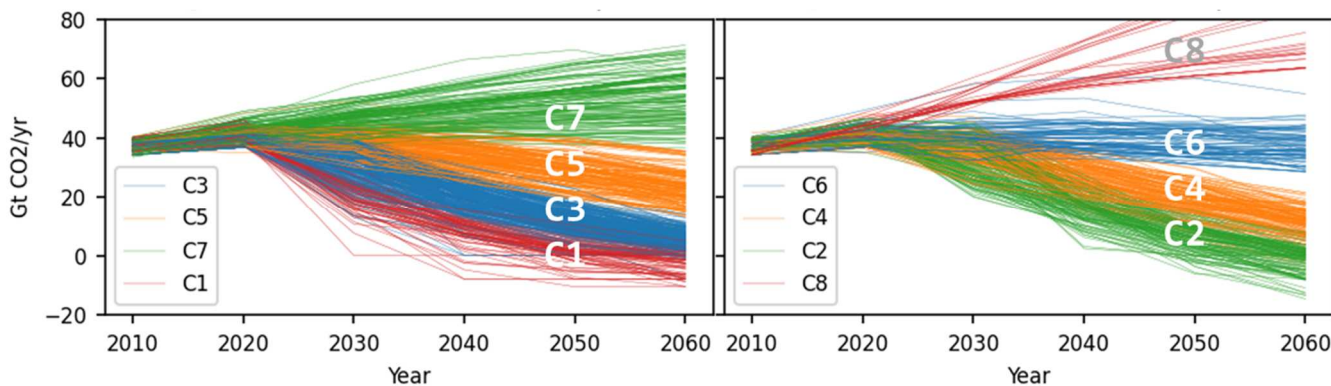


Fig. 1 CO<sub>2</sub> 排出経路とカテゴリー

<sup>1</sup> 国連気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change)

<sup>2</sup> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

<sup>3</sup> <https://www.env.go.jp/press/110869.html>

<sup>4</sup> ①地域でいくつかに分けた CSV ファイル <https://data.ece.iiasa.ac.at/ar6/#/downloads>

②グラフ・表など時系列でデータが閲覧・ダウンロード可能なポータルサイト <https://data.ene.iiasa.ac.at/ar6/#/workspaces>

③Python, R によるデータ処理のためのライブラリ

Huppmann D, et al. pyam: Analysis and visualisation of integrated assessment and macro-energy scenarios

<https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/1-74/v2>

本レポートで使用した公開データの入手およびデータ処理には③のライブラリを使用

公開データを用いることで、既定の C1~8 カテゴリーだけでなく、分析の目的に応じたシナリオの抽出やグルーピングが可能である。例えば、Fig. 2 は、全てのシナリオのうち、**2050 年カーボンニュートラル**と同種のシナリオとして、2045 年から 2060 年の間に、CO<sub>2</sub> 排出がゼロとなる 120 本を抽出した結果である。

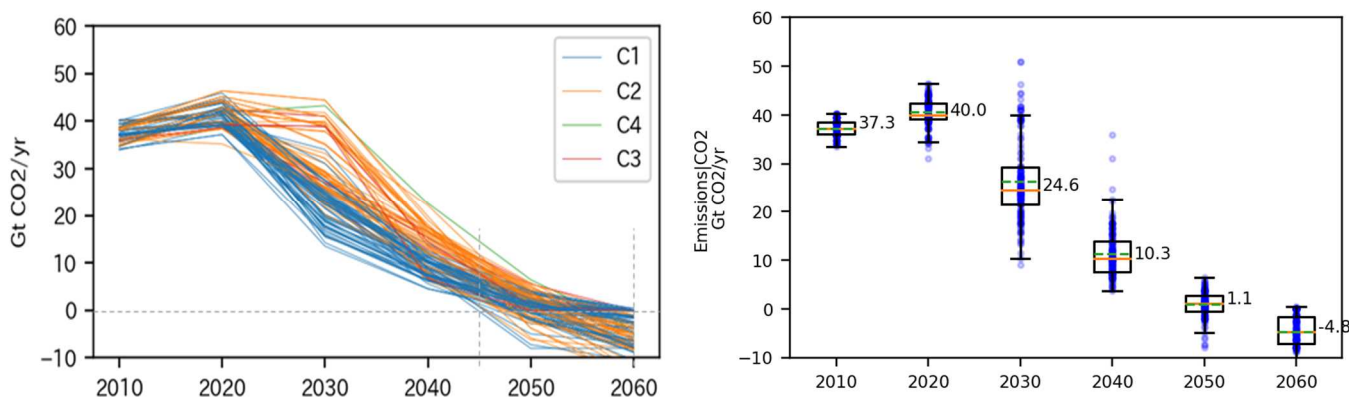


Fig. 2 2050CN に近いシナリオにおける世界の CO<sub>2</sub> 排出[GtCO<sub>2</sub>/yr]

抽出された 120 本のシナリオには C1~4 のカテゴリーのものが含まれ、ネットゼロまでの途中経過である 2030,40 年の排出量の推定値の分布は他の年に比べ広い。Fig. 2 の右は、年ごとのデータの分布を示すボックスプロットで、実線は値の中央値、破線は平均、箱の上部は 75 パーセンタイル、下部は 25 パーセンタイルを示す。2045~2060 年にネットゼロとなるシナリオにおける 2030 年の排出量のデータには大きな広がりがあるものの、中央値 24.6 に対し、25~75 パーセンタイルの区間で見ると 21.5~29.2GtCO<sub>2</sub>/年の範囲となっている。

AR6 で扱う **GHG**(温室効果ガス)は CO<sub>2</sub> の他、CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F ガス類など多岐にわたる。GHG 全体を表す変数<sup>5</sup>を用い、抽出された 120 本のシナリオに含まれる CO<sub>2</sub> 排出量と GHG 排出量との相関分析の結果を Fig. 3 に示す。

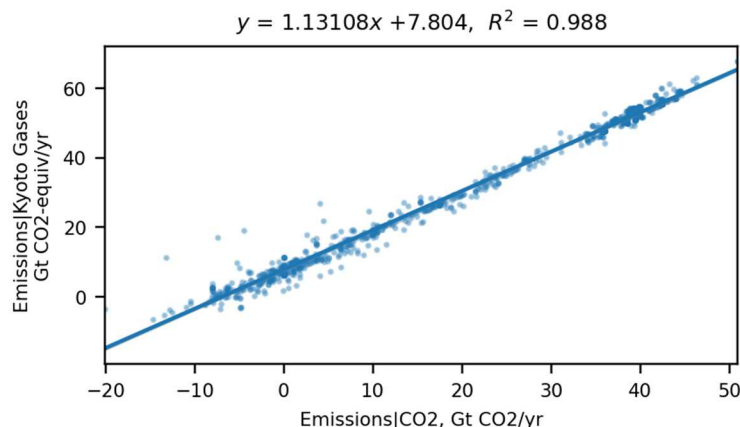


Fig. 3 世界の CO<sub>2</sub> 排出量と GHG 排出量との関係

CO<sub>2</sub> と GHG 排出量の間には強い相関が見られるが、これは、別々に設定または推定されたものが相関しているのではなく、多くのシナリオで、GHG 排出量が CO<sub>2</sub> の一次関数として設定され<sup>6</sup>、CO<sub>2</sub> 排出量が設定または推定されれば、GHG 排出は自動的に決定されていると考えられる。AR6 における GHG 排出量  $y$  と CO<sub>2</sub> 排出量  $x$  との関係は、次の式で与えられる。

$$y[\text{tCO}_2\text{eq/yr}] = 1.13x[\text{tCO}_2/\text{yr}] + 7.80$$

<sup>5</sup> AR6 で扱う変数は、変数名を“|”で区切り階層構造を表す。GHG 排出を表す変数名は“Emissions|Kyoto Gases”

<sup>6</sup> 欠落した排出種を補うためのソフトウェア(Silicon)の使用に言及 <https://data.ece.iiasa.ac.at/ar6/#/about>

## トピック 02

### 2050 年前後にカーボンニュートラルとなるシナリオ群での世界の一次エネルギー需要推定

トピック 01 で抽出したシナリオ群における一次エネルギー需要のうち、天然ガス、石油、風力発電、太陽光発電について、分析を実施した。

Fig. 4 は天然ガスと石油の需要推定の分布を示す。縦軸は需要で、単位は石油、天然ガスともに EJ/yr (エクサジュール/年)、1EJ は石油換算で 23.9 百万トン、天然ガス換算で 948 兆 BTU に相当する。参考として、IEA の推定値も併せてプロットしたが(▼:SDS、▼:NZES)<sup>7</sup>、CO<sub>2</sub>の集計方法が IEA と IPCC では異なるため、厳密な比較の場合には注意が必要である。

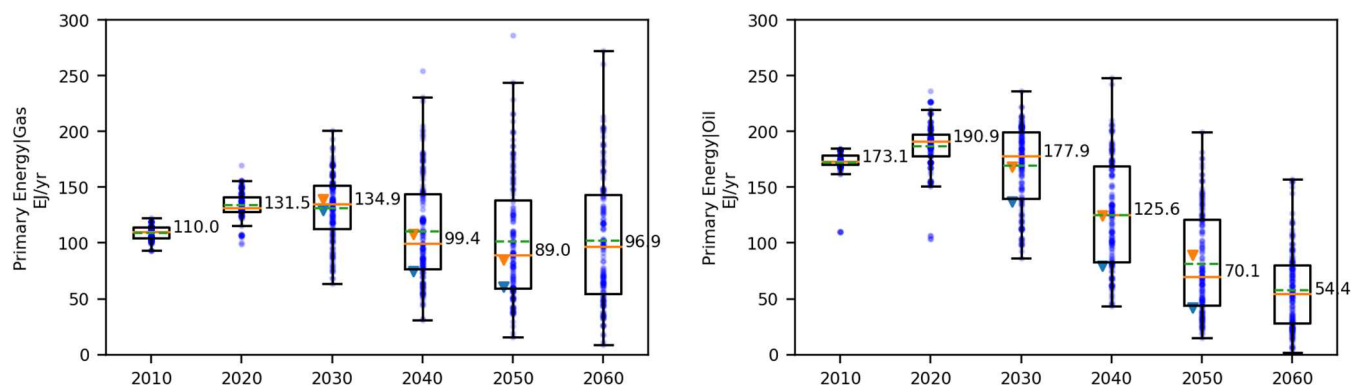


Fig. 4 天然ガス(左)と石油(右)の世界の需要推定

Fig. 5 は風力発電と太陽光発電の需要推定を示す。これらは一次エネルギーとして直接電力が得られるが、石油、天然ガスとエネルギー量で比較するため、単位は同様の EJ/yr を用いている。1EJ は 0.278 兆 kWh である。2050 年における一次エネルギー需要をそれぞれの中央値と比較すると、石油/天然ガス/風力発電/太陽光発電は、89 / 70 / 71 / 81 EJ/yr とほぼ同等の需要規模であり、依然として化石資源の利用が残る推定となっている。トピック 01 で示したように、2050 年 CO<sub>2</sub> 排出の中央値は 1.1GtCO<sub>2</sub>/yr とほぼゼロであり、CCS の併用による化石資源の利用や NETs (ネガティブエミッション技術)の導入を想定していることが示唆される。

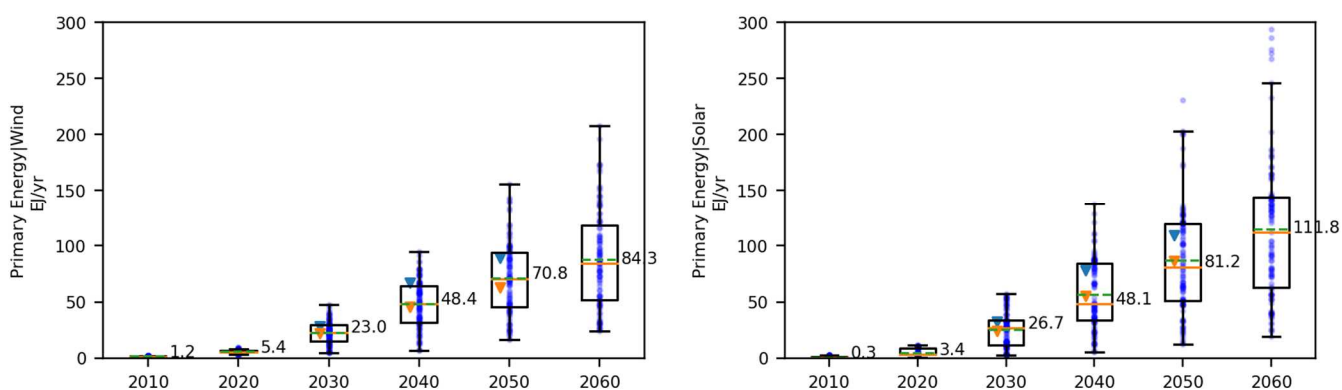


Fig. 5 風力発電(左)と太陽光発電(右)の世界の需要推定

<sup>7</sup> IEA, Net Zero by 2050, 2021 (SDS:Sustainable development scenario, NZES:Net Zero Emission scenario)  
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> データの入手 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/net-zero-by-2050-scenario#tables-for-scenario-projections>

## トピック 03

### 世界全体の CO<sub>2</sub> 排出量と石油の需要推定との相関分析

ここまで、一次エネルギー需要の将来推定を年ごとに見てきた。当然ではあるが、石油と天然ガスは減少、風力発電と太陽光発電は上昇傾向となっている。これらの値は CO<sub>2</sub> 排出量に強く影響され、異なる CO<sub>2</sub> 排出経路を持つシナリオでは、まったく異なる需要推定となっている。

需要への CO<sub>2</sub> 排出量の影響を定量化するため、今回抽出されたシナリオ群のデータのうち、2030～60 年の石油需要と CO<sub>2</sub> 排出量との関係をプロットしたグラフを Fig. 6 に示す。

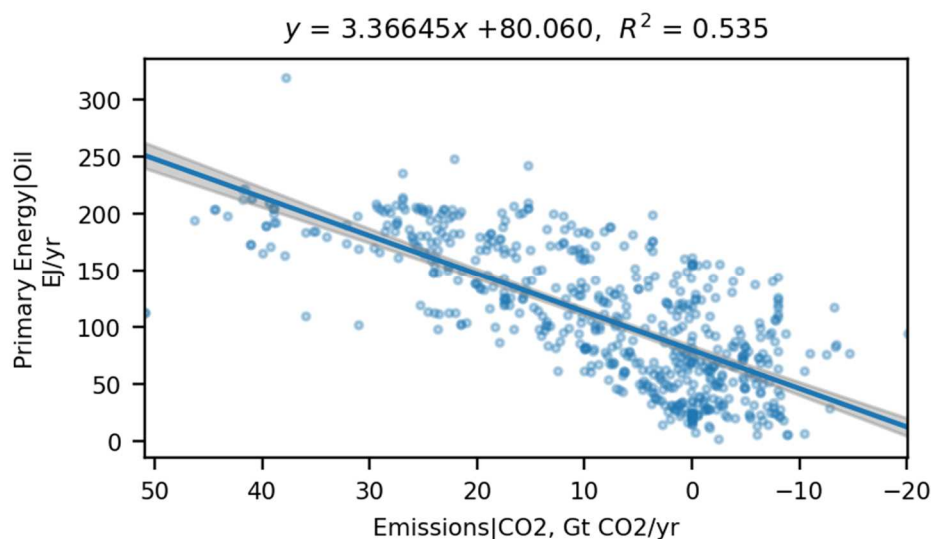


Fig. 6 CO<sub>2</sub> 排出量と石油需要の相関

両者には相関が見られ、上部に示す回帰式から、CO<sub>2</sub> 排出量ゼロにおける石油需要は 80EJ/yr と見積もることができる。年ごとの需要の分布を見た Fig. 4(右)の 2030 年、2050 年の中央値が 178, 70 EJ/yr であるのに対し、排出量の中央値(Fig. 2)と回帰式を用いた推定では、それぞれ 163、84 EJ/yr と比較的近い値となる。この回帰式の係数から、ネットゼロに向かう過程では、

#### 1 億トン/年の CO<sub>2</sub> 削減で、約 800 万トン/年の石油需要が減少

など、おおまかではあるがその傾向をイメージすることができる。ここまで、一次エネルギーの需要に焦点をあて、IPCC 第 6 次評価報告書(WGⅢ)に付随する公開データを使った分析例を示した。公開データは様々な分析に利用可能な膨大かつ貴重な情報であり、今後も分析を継続していく予定である。

本レポートに関するご意見などは、下記からお願いします

ENEOS 総研 エネルギー技術調査部

[https://ssl.eneos.co.jp/eri\\_jp/inquiry/input](https://ssl.eneos.co.jp/eri_jp/inquiry/input)