



エネルギー消費と CO2 排出量 から見る日本経済

2025 年 7 月 3 日

デロイト トーマツ戦略研究所 小松 潔
若菜 俊之

エネルギー消費と CO2 排出量から見る日本経済

目次

1.2013 年以降の GHG 排出量は大幅減	2
2.GHG 排出量は 2014 年から減少	2
3.CO2 とエネルギー需給の密接な関係	3
4.CO2 排出量の要素分解	5
5.エネルギー需給を分析する手法の定義	8
6.エネルギー供給の動向	9
7.エネルギー最終消費の動向	13
8.省エネの動向	16
9.ディスカッション	18
10.エネルギー多消費型の製造業消失とどう向き合うか	21

日本の温室効果ガス（GHG）排出量は減少を続けている。2023 年には CO2 換算で 10 億 8000 万トンと、ピーク時の 2013 年から 23% 減となった。この数値だけを切り取れば、日本政府がパリ協定の下で取り組んできた脱炭素政策が効果的に機能しているようにも見える。ただ、日本の GHG 排出量の 9 割を占める CO2 の排出減には複合的な要因が存在する。中でもエネルギー需給は直接的な影響を及ぼしている。

エネルギー供給面での要因としては、2011 年の東日本大震災発生を受けて再生可能エネルギー発電を促進する固定価格買取制度が導入された点が挙げられる。震災によって一時停止に追い込まれた原子力発電所が再稼働したことも、排出減に寄与してきた。需要面ではパンデミックによる経済活動停滞、長期的な国内産業の構造変化、個別企業のエネルギー効率改善などがある。ただ、日本のエネルギー統計とマクロ経済統計との不整合もあり、実態は見えづらい。

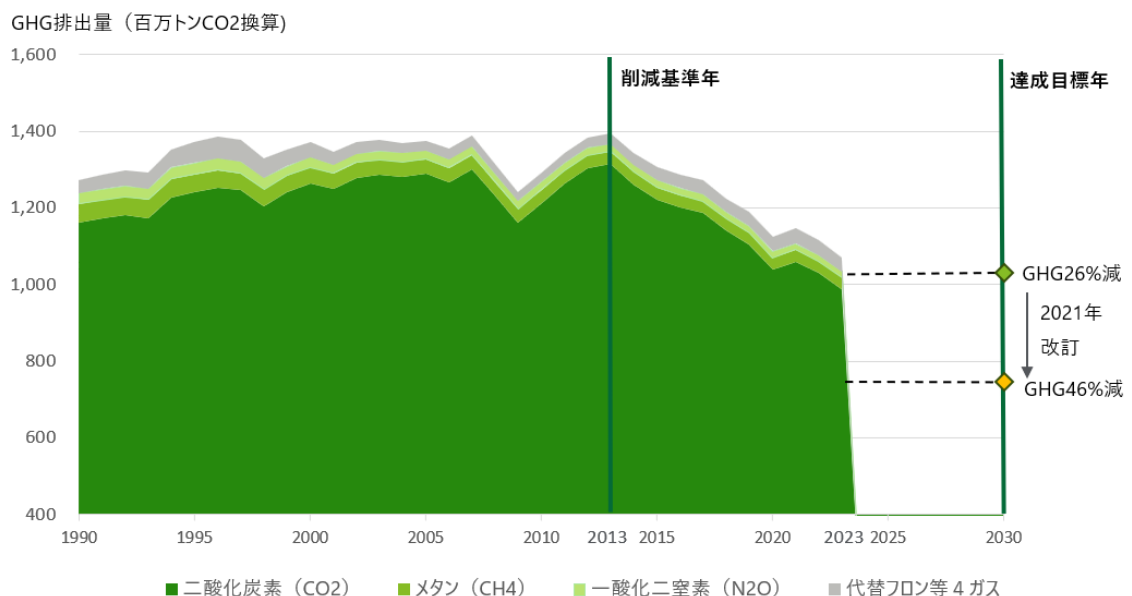
本稿では日本の CO2 排出に焦点を当て、統計データを用いて演繹的に減少の要因を探った。その結果、政策の効果に加えて、エネルギーを大量に消費する製造業の変化も排出減の重要な要因だと認識できた。これは日本経済の将来的な持続と成長を実現するには直視しなければならない事実であり、エネルギー・環境政策を立案していく起点ともなる。

1.2013 年以降の GHG 排出量は大幅減

1994 年に発効した国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の下、日本政府は GHG 排出量の推移を「温室効果ガスインベントリ報告書」に記載している。2025 年 4 月に公表された直近の報告書を見ると、2013 年から 2023 年の減少傾向が顕著だ（図表 1）

UNFCCC の枠組みに基づき 2015 年の気候変動枠組条約締約国会議（COP21）にて採択されたパリ協定で日本政府が設定している 2030 年までの GHG 排出削減目標（国が決定する貢献=NDC=）は、2013 年比 46%減である。パリ協定に合意した 2015 年時点で政府は、2013 年比で 26%の排出減を目指していたが、2021 年に自発的に NDC を引き上げた。2013 年から 2023 年までの 10 年間で 23%減を実現したことからすれば、目標を改定しなければ 2030 年よりもかなり前に達成できていた可能性が高い。

図表 1. 日本の GHG 排出量の推移



データソース：国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NID）2025 年 4 月版」(<https://www.nies.go.jp/qio/aboutghg/index.html>) .

2.GHG 排出量は 2014 年から減少

GHG 排出量は 1990 年から 2013 年まで、リーマンショックのような大不況による一時的な落ち込みを除けば、緩やかに増加してきた。しかし、2014 年以降は減少傾向が続けている。2025 年 4 月に発表された 2023 年の排出量は 1990 年以降で最低となった。1997 年に先進国間で採択された京都議定書において日本が、2008～2012 年に 1990 年比 6%の排出減を目標としていたことや、この期間中の平均排出量が基準年を

1.4%上回っていた点を踏まえると¹、2013 年以降の排出減ペースが尋常でないことがわかる。

2014～2019 年は前年比 1.1～2.9%の小幅減で推移していたが、2020 年はコロナ禍による経済活動停滞により、同 5.3%減まで落ち込んだ。その反動で翌年には 1.9%増に転じたものの、2022 年は同 2.7%、2023 年も同 4.4%の減となり、排出量の減少ペースが強まっている。

図表 2. GHG 排出量変化率（前年比）の推移



データソース：国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NID）2025 年 4 月版」（<https://www.nies.go.jp/qio/aboutghg/index.html>）。

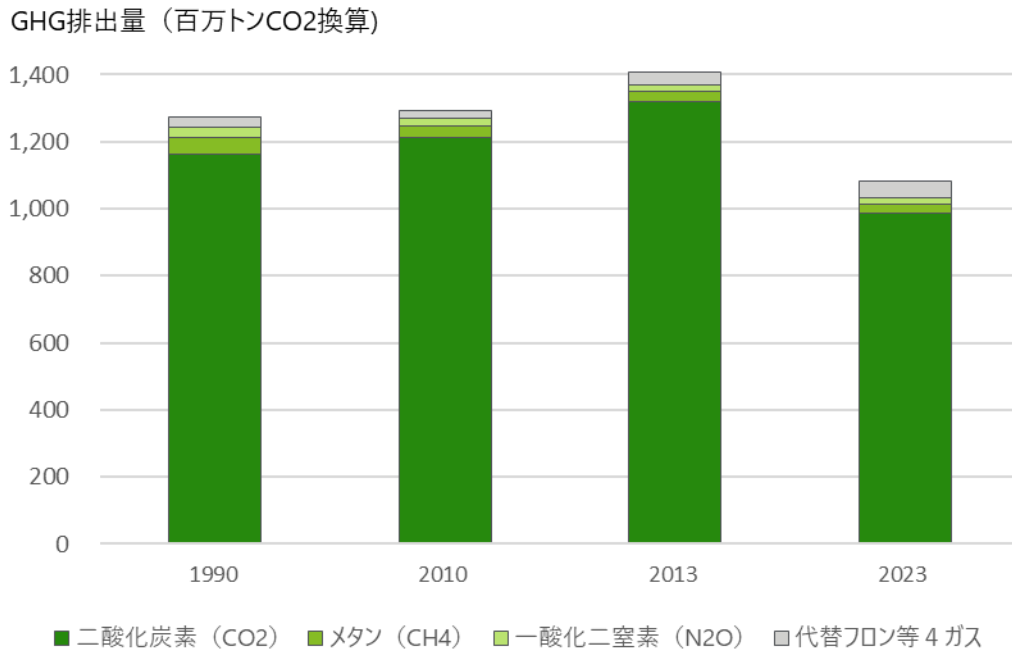
3.CO2 とエネルギー需給の密接な関係

温室効果をもたらす複数の気体物質の 9 割を占めるのが CO₂ だ²。代替フロンガスなど一部の GHG は排出量が増えているものの、CO₂ 排出は 2013 年以降、GHG 全体とほぼ重なる形で減少している（図表 3）。2013～2023 年の平均減少率は前年比 2.8%だったが、2022～2023 年の減少率は 4.6%に拡大した。

¹ 森林等吸収量（基準年比 3.9%相当）と京都メカニズムクレジット（基準年比 5.9%相当）を考慮すると、基準年比マイナス 8.4%となり、京都議定書の目標を達成している（国立環境研究所, 2016）。

² 各種気体が大気中に放出された際の濃度あたりの温室効果は大きく異なる。また大気圏における気体の寿命は種類によって異なるため、放出後の異なるタイムスケール（20 年、100 年、500 年）での平均強度を CO₂ 換算で比較する「地球温暖化係数」が公表されている。

図表 3. GHG 種別による排出量の推移



データソース：国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NID）2025 年 4 月版」(<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>)。

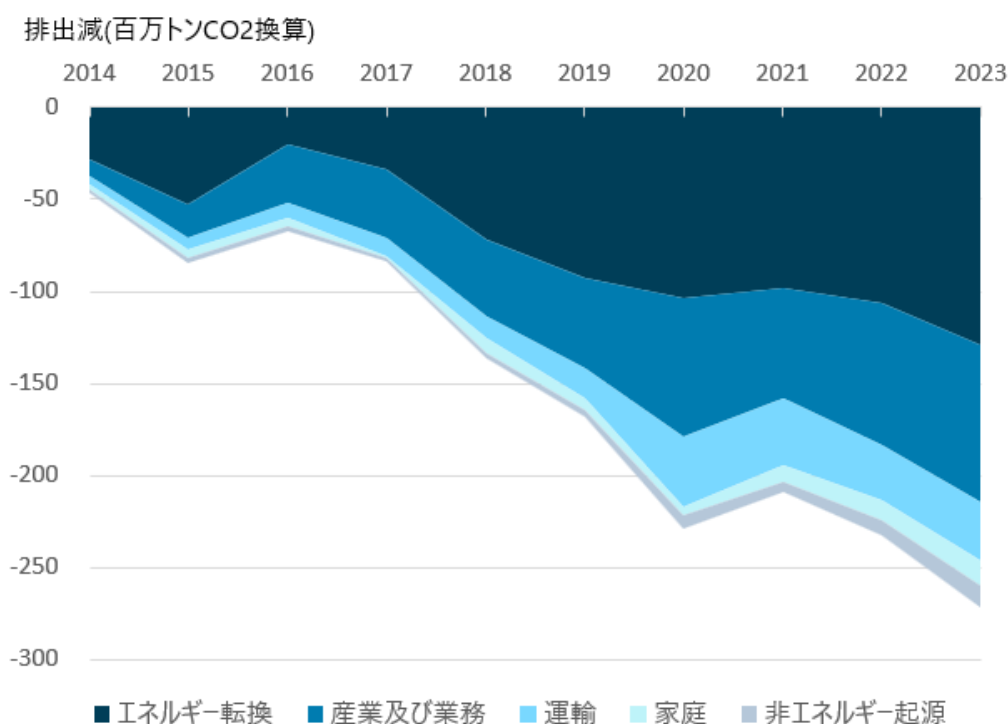
CO₂ は、電力・熱などを発生させるエネルギー転換部門³、生産されたエネルギーを消費する産業部門⁴、業務部門⁵、家庭部門、および運輸部門から放出される。特に近年、エネルギー転換と、産業および業務部門における排出減が顕著だ（図表 4）。2023 年の排出量は、2013 年比で 28%の大幅減となっている。セメントや石灰など工業製品の生産時に発生する非エネルギー起源の排出減の寄与は相対的に小幅であり、排出減はエネルギー需給と密接に関わっている。

³ 石油・石炭などを電力などの他のエネルギーに転換する部門であり、事業用発電（発電所）、地域熱供給、石油製品製造などが含まれる。

⁴ 最終エネルギー消費のうち、第一次産業および第二次産業に属する法人ないし個人の産業活動により、工場・事業所内で消費されたエネルギーを表現する部門。

⁵ 第三次産業に属する企業・個人が、事業所の内部で消費したエネルギー消費などを表現する部門。

図表 4. CO2 排出減（電気・熱配分前）に対する部門別寄与の推移



データソース：国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NID）2025 年 4 月版」(<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>)。

4.CO2 排出量の要素分解

（１）茅方程式による排出変化量の定義

2001～2023 年を対象に脱炭素化、エネルギー消費効率、及び経済活動の三つの要素に分解して示す恒等式（茅方程式）を用いて、各要素が CO2 排出量の変化にどの程度寄与したのかを試算してみる。次の式は、C：CO2 排出量、E：エネルギー消費量、Y：生産量と定義した茅方程式である。

$$C = (C/E) \times (E/Y) \times Y \quad (\text{式 1})$$

この方程式を、差分方程式(Δ)に変換すると、以下のように示すことができる。

$$\Delta C = \Delta (C/E) + \Delta (E/Y) + \Delta Y \quad (\text{式 2})$$

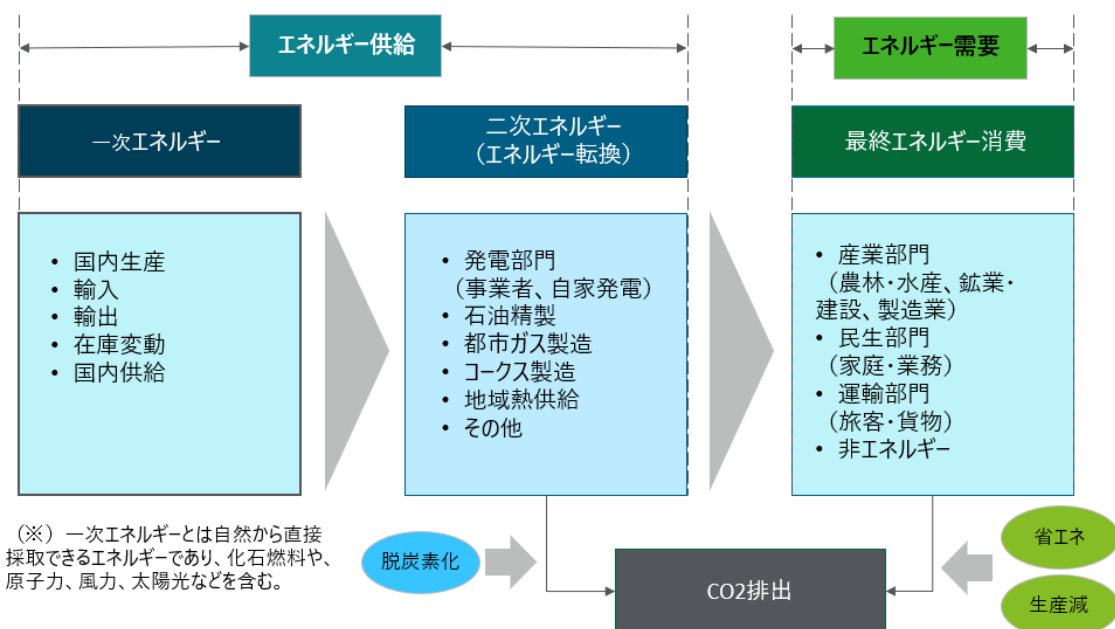
式 2 の左辺 CO₂ 排出量の変化率 ΔC は、右辺エネルギー消費 1 単位当たりの CO₂ 排出量（排出原単位）変化率 $\Delta (C/E)$ 、生産量 1 単位当たりエネルギー消費量の変化率 $\Delta (E/Y)$ および生産成長率 ΔY の総和で表される。仮に一定の期間において CO₂ 排出量が減少（ ΔC がマイナス）している場合、これら 3 つの要因のうちいずれかまたは複数の需給要因によるマイナス変化が進行していることになる。この要素分解により、

CO₂ 排出量の変化を、エネルギー供給側とエネルギー需要側の観点から検証可能となる。

（２）エネルギー供給側の要因：排出原単位の変化

エネルギー供給に起因する排出は、電力事業者や熱供給事業者などが石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料を燃焼させ、電力および熱のエネルギーへ転換する際に発生する。CO₂ の主要な排出源であり、石炭・石油製品の製造もエネルギー転換に含まれる。ここで転換された電力、熱、石油製品などは家庭や産業部門で最終的に消費されることになる（図表５）。仮に、エネルギー供給において CO₂ を排出しない太陽光発電や風力発電などへの依存度が経済全体で高まれば、排出原単位は低下することとなる。つまり脱炭素化である。

図表５．エネルギーバランス表の流れと CO₂ 排出



参考：一般財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編（2021）『エネルギー・経済データの読み方入門 改訂4版図解』, (pp.20)

（注）一次エネルギー供給量の総量と最終エネルギー消費量には差異が存在し、後者は前者と比較して30%程度小さい。これはエネルギー輸送や発電中のロスや、発電・転換部門における自家消費によるエネルギーの損失によるものである。

（３）エネルギー需要側の要因：省エネと生産量の変化

エネルギー需要側の要因は消費効率の向上、つまり省エネである。日本エネルギー経済研究所が2021年に示した省エネの定義は「得られるサービスの質や量（生産量、温度、明るさ、移動距離など）を変えずにエネルギー投入量を削減すること」とされ、次の三要素に分類される。

- ① エネルギー消費技術改善による省エネ
- ② エネルギー使用時の省エネ行動（節電など）

③ 産業構造、社会構造、ライフスタイルの変化

また経済全体における生産量、つまり国内総生産（GDP）の変化も CO2 排出量に影響する。産出される財やサービスの量が減れば、生産のためのエネルギー消費につれて排出量も減少する形となる。

（４）茅方程式による検証

ここで上述の差分方程式を用いて、2013 年以降の日本の排出量変化に対する各需給要因の影響の大きさを検証してみよう。図表 6 は、日本全体の排出量（C）とエネルギー起源最終エネルギー消費、そして国内総生産（Y）を用いたものである。

図表 6. エネルギー起源 CO2 排出の要因分解（全体）

	定義	エネルギー 需給要因	2001-2023	2001-2012	2013-2023
CO2排出量	ΔC		-1.0%	0.6%	-2.9%
排出原単位	$\Delta(C/E)$	供給	0.4%	1.5%	-0.9%
エネルギー消費	$\Delta(E/Y)$	需要	-2.0%	-1.5%	-2.5%
生産	ΔY	需要	0.6%	0.6%	0.5%

出所：以下データを基に、デロイト トーマツ戦略研究所が試算。

国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NID）2025 年 4 月版」

(<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>) .

資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績」

(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/) .

内閣府「国民経済計算(GDP 統計) 実質 GDP（暦年）」

(https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sokuhou/files/2025/qe251_2/gdemenuja.html)

（注）パーセント表記は排出量および各需給要因の期間平均変化率（年）を表す。

この図表からは、2013 年以降に排出原単位の低下（脱炭素化）とエネルギー消費効率の向上（省エネ）が CO2 排出減に寄与したことが読み取れる。特にエネルギー消費要因の寄与度は排出原単位による寄与度の 3 倍弱に達している。

第一次産業および第二次産業からなる産業部門では、第三次産業を含む業務部門の 3 倍近いエネルギーが消費されている。産業部門の中でも特に大量のエネルギーを消費する製造業の CO2 排出を分析したのが図表 7 である。

図表 7. エネルギー起源 CO2 排出量の要因分解(製造業)

	定義	エネルギー 需給要因	2001-2023	2001-2012	2013-2023
CO2排出量	ΔC		-2.8%	-0.7%	-5.7%
排出原単位	$\Delta(C/E)$	供給	-1.5%	-0.1%	-3.3%
エネルギー消費	$\Delta(E/Y)$	需要	-1.1%	-0.6%	-1.8%
生産	ΔY	需要	-0.3%	-0.1%	-0.5%

出所：以下データを基に、デロイト トーマツ戦略研究所が試算。

経済産業省「2020 年基準 鉱工業指数」(https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/iip/b2020_result-2.html)。

(注) パーセント表記は排出量および各需給要因の期間平均変化率（年）を表す。

注目すべきは、製造業における CO2 排出減の規模の大きさだ。2013 年以降の製造業の CO2 排出量の減少率は、GDP 全体ベースの 2 倍近くに達している。需給要因のマイナス変化率も大きなものとなっている。

また、全体の排出量を示す式において寄与度がエネルギー消費に次ぐ 2 番目だった排出原単位要因は、製造業においては逆転してトップとなっている。加えて、中長期的には小幅ながらもプラス圏で推移していた国内総生産の変化率とは対照的に、鉱工業生産は縮小して排出量を押し下げている。

2011 年の東日本大震災発生に伴う原発停止により、火力発電への依存度は高まった。しかしその後、再エネ発電普及を促進する固定価格買取制度が導入され、エネルギー転換部門における脱炭素化が急速に進展することとなった。2020 年のコロナ禍による経済活動の抑制も、企業や家庭におけるエネルギー消費減を通じて CO2 排出量を減少させただろう。

そして、もう一つの需要側の要因である省エネの進展については、先述したように複数の要素が存在するため、慎重な分析と解釈が必要だ。財・サービスが生産される際に必要なエネルギーの量も、産業別で異なる。エネルギー多消費的型である製造業が海外へシフトし、エネルギー消費の比較的少ない産業の構成割合が高まれば、国内の排出量は減少する。これは CO2 の海外輸出と言い換えることもできるだろう。ここからは、茅方程式によって示されたエネルギー需給の影響を、より詳細に検証していく。

5. エネルギー需給を分析する手法の定義

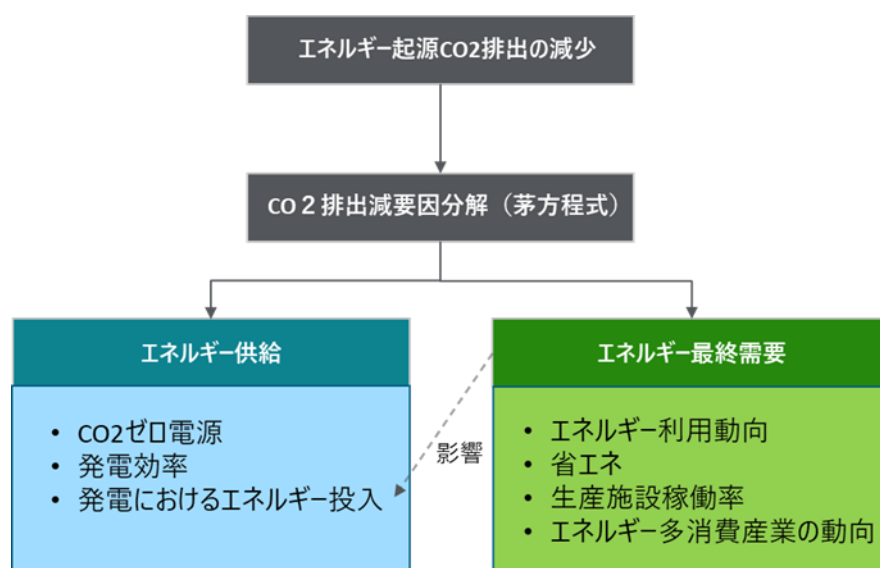
エネルギー需給の影響を厳密に把握するには、経済状況、産業ごとの市場動向、貿易統計など多様な要因

を慎重に分析・解釈していく必要がある。一方で、多くのデータを参照すると議論の方向性が多方面に発散する懸念もある。日本のエネルギー統計とマクロ経済統計との不整合も、分析の障害となりうる。

そこで、エネルギーの供給と最終消費の動向を、政府のインベントリ報告書および総合エネルギー統計を主要なデータソースとして導き出される点に絞り、検証を進めていくこととする（図表 8）。産業別生産量、稼働率、GDP などの産業・経済データも補足的に用いる。また産業部門別の排出状況をより正確にとらえるため、エネルギー転換部門の排出量は、同部門で生み出された電気・熱配分を消費する各産業に配分したものを使う。

CO₂ 排出量とエネルギーの供給、最終消費の分析は、2013～2023 年のデータを対象として進める。2013 年を起点とするのは、日本がパリ協定下で設定している削減目標で基準年となっているからである。その一方で 2013 年は、2011 年の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故などがあった直後であり、震災からの復興作業が進められ、電源構成も火力中心となるという特殊な状況下にあった。そのため、東日本大震災の前である 2010 年の CO₂ 排出量やエネルギー最終消費の動向も参照する。

図表 8. CO₂ 排出減要因分析のアプローチ



デロイト トーマツ戦略研究所作成

6. エネルギー供給の動向

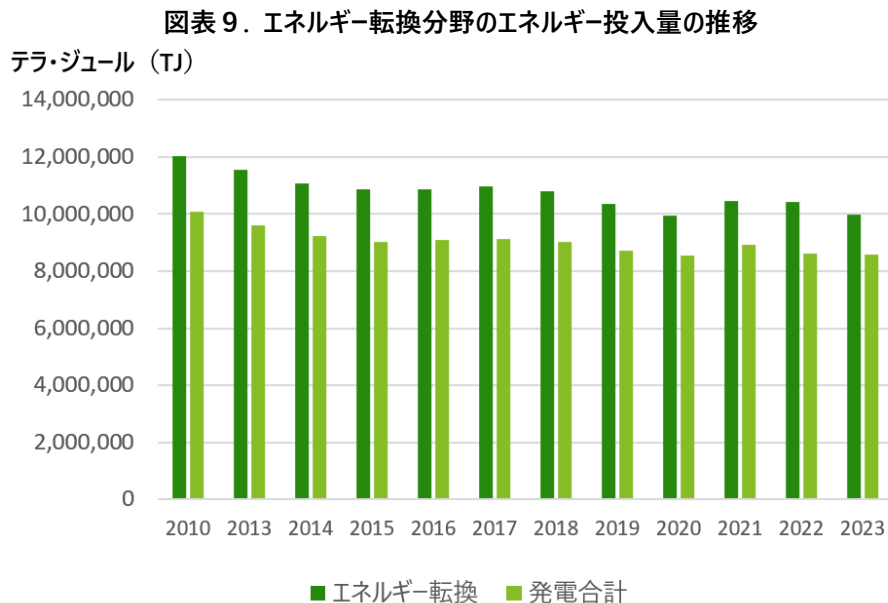
ポイント 1：2013 年比で見ると電力生産（発電）における CO₂ ゼロ電源の割合は拡大しているものの、2010 年の水準に回帰したにすぎない。

ポイント 2：発電効率の長期的向上は見られない。

ポイント 3：発電を含むエネルギー転換全体における投入量は減少した。需要の変動が影響した可能性。

（１）エネルギー転換

まずはエネルギー転換部門のうち、発電分野および CO₂ を排出しないエネルギー源の二つについて、その推移と排出減への寄与度を明らかにする。同部門においては発電分野（事業者発電と自家発電の合計）に、エネルギー総量の約 80%が投入されている（図表 9）。残りは熱供給や石炭・石油製品製造などである。



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)。

エネルギー転換部門には石炭、石油、天然ガスなど化石燃料の投入量が記されている。これをもとに、燃料の種類ごとの炭素排出係数とエネルギー投入量とを掛け合わせて、CO₂ 排出量が算定されている。

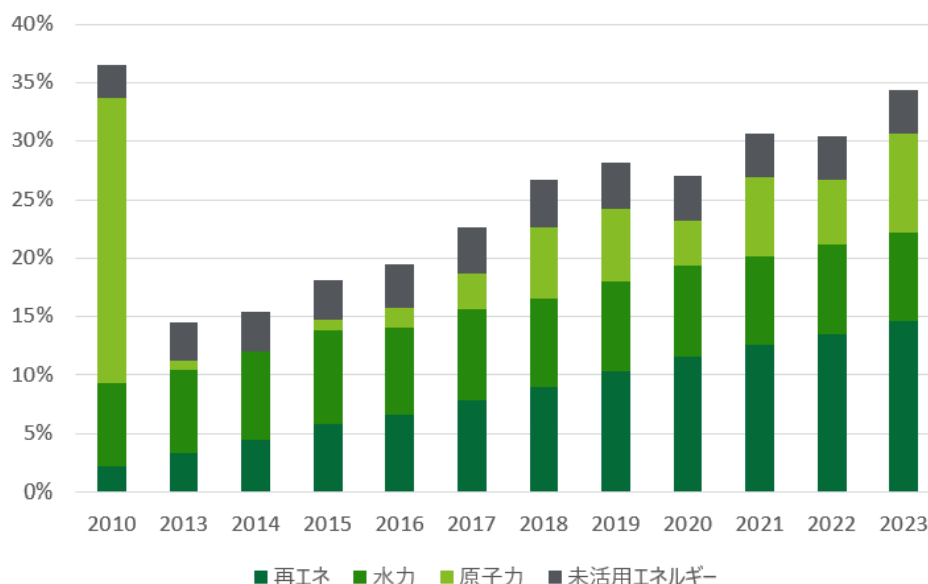
CO₂ 排出量を計上しないエネルギー源も、統計には含まれている。具体的には、①太陽光や風力、バイオマス、天然温度差エネルギー、地熱といった再エネ、②水力発電、③原子力発電、④廃棄物利用の未活用エネルギーなどである。このように CO₂ 排出を算定されないエネルギー源は、そのほとんどが発電に利用されていることから、ここではそれらの電源を「CO₂ ゼロ電源」と呼ぶ⁶。

（２）CO₂ ゼロ電源の動向

エネルギー投入に占める CO₂ ゼロ電源の比率は、2013 年以降に急上昇している（図表 10）。

⁶ CO₂ ゼロ電源について総合エネルギー統計では炭素排出量を計上しないことになっており、インベントリ報告書でも CO₂ 排出量は算定されない

図表 10. 発電分野のエネルギー投入における CO2 ゼロ電源比率の推移(電源別)



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」、https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/

留意すべきは、基準年の 2013 年には東日本大震災によって原発が稼働停止となっていたのに加え、太陽光や風力発電の導入が進んでおらず、CO2 ゼロ電源の割合が極端に低かった点だ。この割合は 2023 年になっても 34%と、東日本大震災発生の直前である 2010 年の水準に戻っていない。CO2 ゼロ電源のエネルギー投入量自体も、2023 年の数値は 2010 年実績よりも 20%程度少ない。

（３）発電分野におけるエネルギー投入

CO2 ゼロ電源の割合が震災以前の水準に戻りつつある一方で、発電分野全体のエネルギー投入量が減少している点は見逃せない（図表 11）。2023 年のエネルギー投入量は 2013 年との比較でも約 11%減である。2013～2023 年に石炭や天然ガスなどの化石燃料のエネルギー投入量が 31%減ったのは、CO2 ゼロ電源の投入量と投入割合の拡大によるものである。

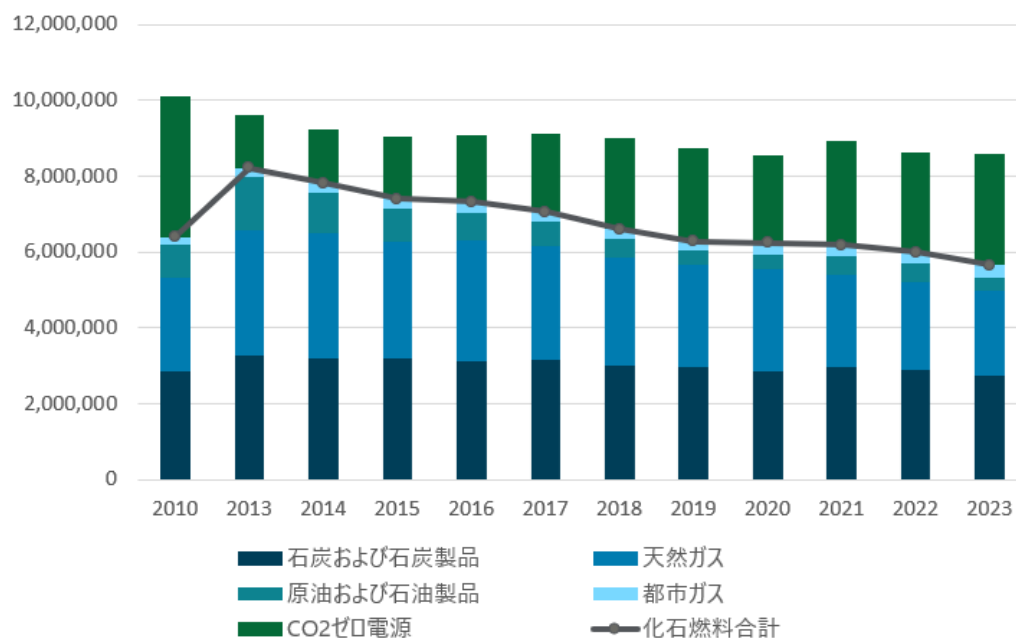
注意が必要なのは、主要な燃料となっている石炭と天然ガスとで、投入量の減少度合いに差があることだ。2013～2023 年の減少率は天然ガスが 33%に達した一方、石炭は 16%にとどまっている。

発電分野でのエネルギー投入量減少の背景には、発電効率改善があるとみることできるが、全体的には大きな改善は認められない（図表 12）。発電分野でのエネルギー投入量の約 80%を占める事業者発電において、発電効率は 2013～2020 年に小幅ながら改善したものの、その後はむしろ低下している。

投入量のこうした減少には、転換された電力、熱、石油製品を消費する需要動向が影響しているようだ。

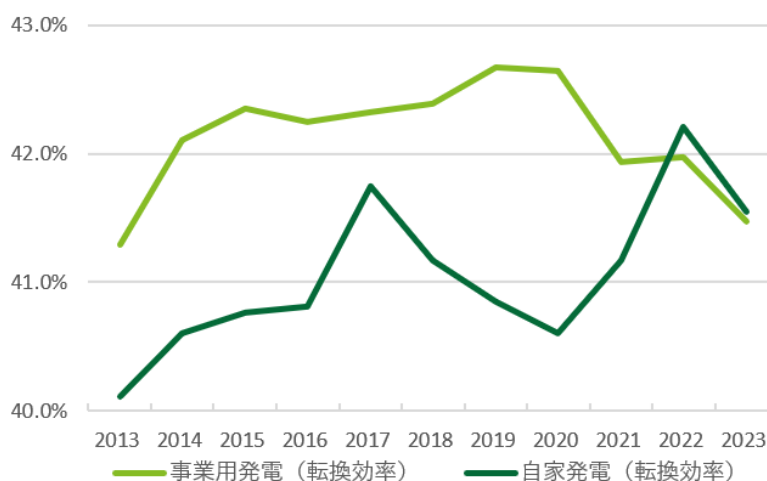
図表 11. 発電分野全体のエネルギー投入量

(TJ：テラ・ジュール)



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/).

図表 12. 発電分野における発電効率の推移



データソース：資源エネルギー庁、総合エネルギー統計「令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/).

7.エネルギー最終消費の動向

ポイント 1. 全体的に減少傾向、特にエネルギー消費の 6 割を占める産業および業務分野の減少幅が大きい。

ポイント 2. 製造業では化学工業と鉄鋼・非鉄・金属産業での減少が目立つ。

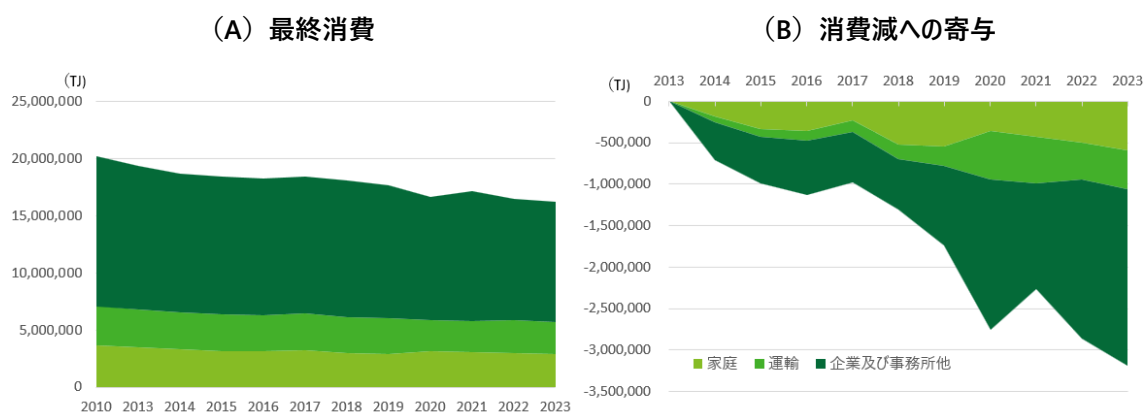
ポイント 3. 化学工業と鉄鋼・非鉄・金属産業で排出量の大きいエネルギー源の消費が減退。

(1) 部門別エネルギー最終消費

エネルギー最終消費の分析⁷では、最終消費の規模と減少幅が大きい部門や産業に注目し、消費燃料の種類にも着目した。そうやって把握できた最終消費の動向をもとに、日本経済の構造にどのような変化が起きているのかを考察した。最終消費に関する消費量の割合や減少率は全て、2013～2023 年の平均である。

総合エネルギー統計において最終消費は 17%減少した。統計の対象となっている三部門のうち、「企業・事務所他」⁸と「家庭」がともに 17%減、「運輸」は 14%減となっている（図表 13）。企業・事務所他の最終消費量は全体の約 65%を占め、消費減に対する寄与度も三部門で最大である。

図表 13. 部門別エネルギー最終消費の推移



データソース：資源エネルギー庁、総合エネルギー統計「令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)。

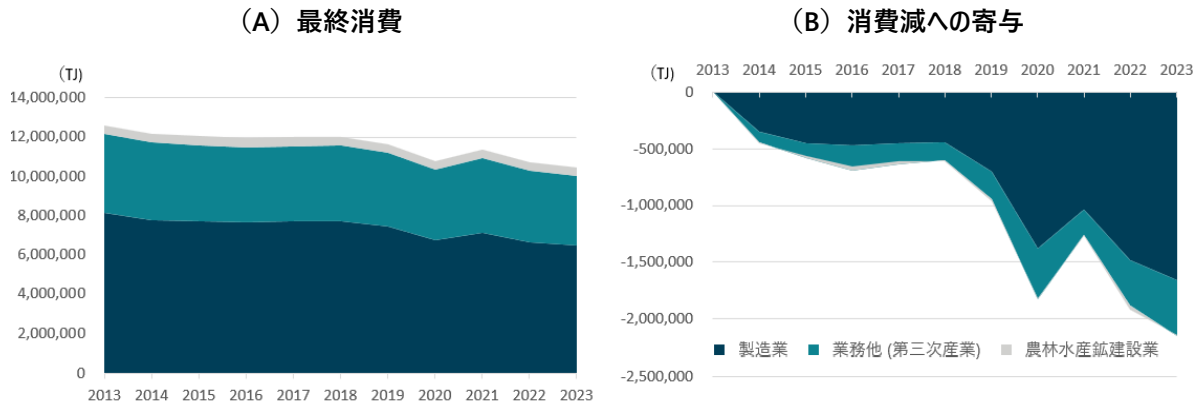
(2) 産業別エネルギー最終消費

企業・事務所他の部門のうち、エネルギー最終消費の割合が最大なのは製造業の約 60%、次いで第三次産業（業務他）の約 30%となっている（図表 14 の A）。製造業のエネルギー最終消費は 20%減少した。

⁷ インベントリ報告書では、総合エネルギー統計のエネルギー転換部門でのエネルギー投入量だけではなく、エネルギー最終消費量を活動量として CO2 排出量の算定を行っている。詳しくは末尾補足を参照。

⁸ エネルギー統計では、産業および業務分野を「企業及び事務所他」と分類。

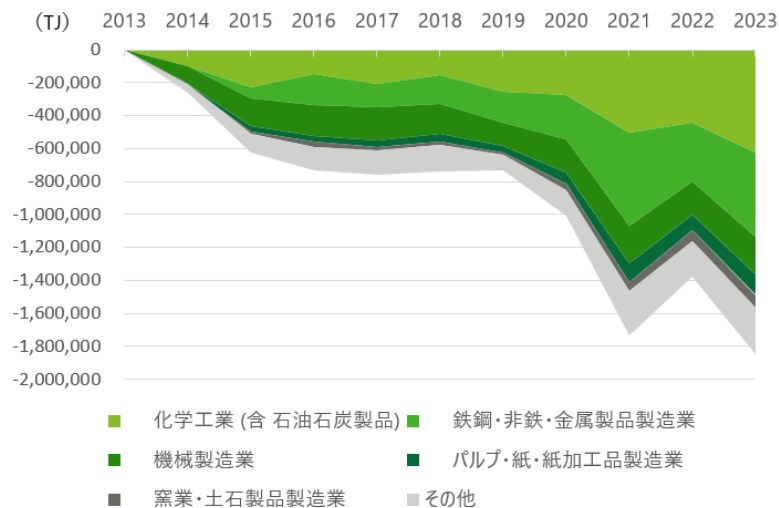
図表 14. 産業別エネルギー最終消費の推移



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/).

製造業の中でエネルギー最終消費量が最大なのは化学工業の 35%、次いで鉄鋼・非鉄・金属産業の 31% であり、残りを機械産業、パルプ製紙産業などが消費している。最終消費の減少率は化学工業が 22%、鉄鋼・非鉄・金属産業は 20%である（図表 15）。つまり、製造業の 6 割を占めるこの二つの分野で、ともに 2 割減っているのだ。製造業に次いでエネルギーを使っている第三次産業の最終消費は 12% 減となっている。

図表 15. 製造業におけるエネルギー最終消費の推移



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計「令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/).

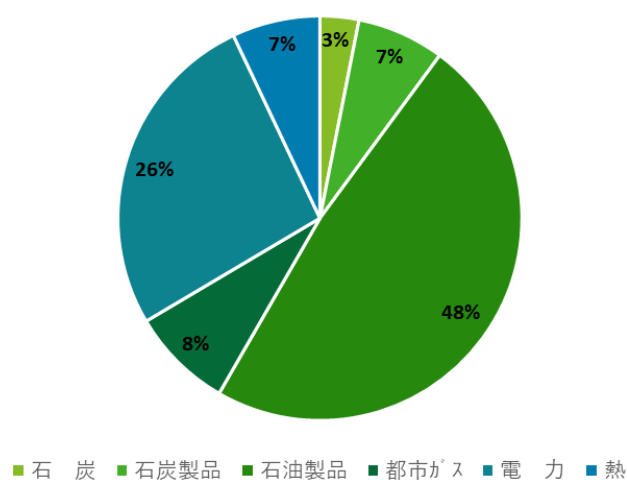
(3) エネルギー種別の最終消費

次に、エネルギー種別の消費動向を見てみよう。2013～2023 年平均で最も多く消費されているのはガソリン、

灯油などの石油製品の約 50%、次いで電力 26%、都市ガス 8%となっている。

2013 年以降、これら全エネルギーの最終消費量は減少している。最も落ち込んでいる石炭の減少率は 28%で、続いて石炭製品が 23%、石油製品の 22%となっている。電力の減少率は 11%にとどまっている。エネルギー構成に大きな変化は見られないものの、石油製品の割合は 2013 年の 49%から 2023 年の 47%へと僅かに下がった。石炭製品は 7.2%から 6.7%へ、石炭も 3.2%から 2.8%へと、ともに低下した。一方で、電力の占める割合は 25.3%から 27.6%に上昇した。

表 16. エネルギー種別のエネルギー最終消費割合
(2013 年から 2023 年の期間における単純平均)

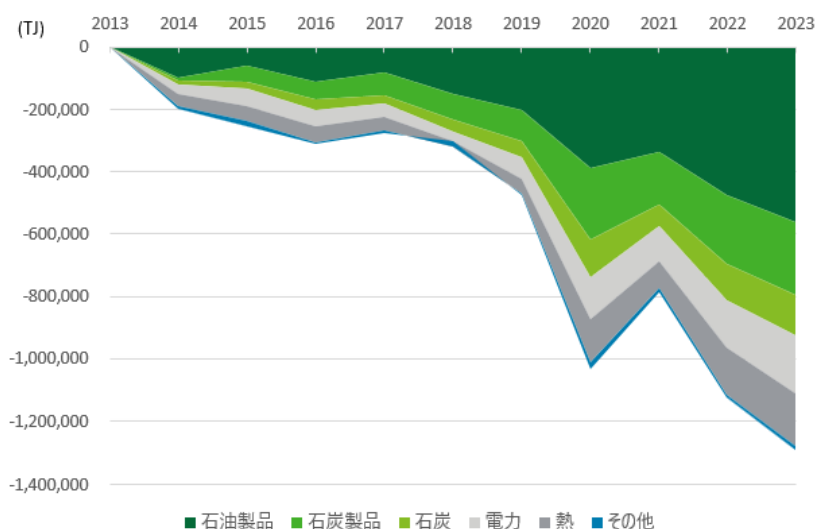


データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」令和 5 年度（2023 年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/).

製造業においても減少傾向が顕著だ。2013～2023 年のエネルギー源別の最終消費は、石炭が 28%、石油製品は 26%、石炭製品は 23%の減少となっている。一方で電力の減少率は 15%にとどまっている。

製造業でエネルギー最終消費が最多の化学工業と二番手の鉄鋼・非鉄・金属産業には、ある特徴がある。2013～2023 年平均で化学工業は石油製品を 73%、鉄鋼・非鉄・金属産業は石炭製品を 47%、それぞれ最終消費しているが、化学工業は石油製品の最終消費を 25%、鉄鋼・非鉄・金属産業は石炭の最終消費を 24%減らした。つまり主要製造業において、排出量の大きいエネルギー源の消費が減っているのだ。

図表 17. 製造業におけるエネルギー最終消費の減少（エネルギー源別）



データソース：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」令和5年度（2023年度）エネルギー需給実績（確報）」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)。

8. 省エネの動向

（1）最終エネルギー消費と省エネの関係

最終消費の主要な要因となりうるのは省エネである。4の(3)にて述べたように、ここでいう省エネとは、得られるサービスの質や量を維持しつつエネルギー投入量を削減することであり、一般的な概念よりも広いことに注意されたい。

省エネの中でも①消費技術改善、および②節電は、どちらもエネルギー利用の効率を改善することで得られる。一方で③産業構造、社会構造、ライフスタイルの変化については、利用効率の改善とは関係なく、工業中心からサービス業中心への移行などの変革や景気の状態などに大きく左右される。

ここでは、鉄鋼業と化学工業を中心とする製造業でエネルギー最終消費が減少した要因について考察するが、省エネの定義を踏まえて、エネルギー最終消費の減少が利用効率の改善によるものなのか、あるいは経済状況や産業構造の変化によるものなのかを明確にするために、次の三点を確認した。

- A. 製品の生産量の推移
- B. 製品一単位当たりの生産に必要なエネルギー消費である「エネルギー原単位」の推移
- C. 製品生産量の増減率とGDPの変化の比較

製品生産量の推移を確認するのは、利用効率改善がなされていればエネルギーの最終消費量が減少していても製品の製造量は減少しないと予想されるためだ。エネルギー原単位をチェックするのは、利用効率が改善

すれば、この数値は減少していくと予想されるものだからだ。さらに、製品生産量の減少率と GDP の変化率を比較すれば、製品生産量の変化が経済状況や景気変動によるものかどうかを判定できるはずである。

（２）鉄鋼業と化学工業の分析

製造業の中で最終エネルギー消費量が最多の化学工業と鉄鋼・非鉄・金属製品製造業で最終エネルギー消費が減っている背景を分析する。化学工業は石油製品のナフサ、鉄鋼・非鉄・金属製品製造業は石炭製品のコークスの消費が最も減少している。ナフサは石油化学工業の製造プロセスで、コークスは鉄鋼業の製造プロセスでそれぞれ利用されている。そのため鉄鋼業と石油化学工業における製品製造、エネルギー原単位の推移などを分析すれば、最終エネルギー消費の減少に影響を与えていた要因を特定できる。

まず業界団体の統計をもとに、生産の推移を見てみる（図表 18）。2013～2023 年に鉄鋼業では銑鉄、粗鋼、熱間圧延鋼材、最終鋼材などの生産量が減少。石油化学工業でも、業界団体が生産量を公表している 18 種類の製品のうち、構成比が高いエチレン、キシレン、ベンゼンなどは全て生産量が落ち込んでいる。

図表 18. 鉄鋼業および石油化学工業製品の生産量推移（製品別）

(単位：万トン)	鉄鋼業	石油化学工業		
	最終鋼材	エチレン	キシレン	ベンゼン
2010年	9,494	702	594	476
2013年	9,419	669	666	469
2023年	7,457 (-20.8%)	532 (-20.5%)	451 (-32.3%)	289 (-38.4%)

データソース：一般社団法人日本鉄鋼連盟「鉄鋼統計要覧」(2010 年版および 2024 年版)

石油化学工業協会「主要石油化学製品生産実績」(2025 年 3 月)

(<https://www.jpca.or.jp/statistics/monthly/mainpd.html>)

(注) カッコ内数値は 2013 年を基準とする生産量の変化率

次に、エネルギー原単位の推移を、業界団体の公表数値⁹をもとに見てみよう。各業界団体は会員企業が提供したデータをもとに、業界全体のエネルギー原単位を独自に算定している。鉄鋼業では 2021～2022 年の粗鋼 1 トンあたりのエネルギー原単位が 2013 年比で 1 ～ 2 % 増加している。化学業界は経済産業省の公表資料を見ると、2021 年、2022 年のエネルギー原単位は 2013 年と大きな差は見られない。ただ、ここで示した

⁹ 経団連に加盟している業界団体は、自主的に温暖化対策を実施している。2020 年以降、カーボンニュートラル行動計画として実施されている。鉄鋼、石油化学工業ともに、それぞれの業界団体が実施している。この自主的な温暖化対策については実施状況を政府がフォローアップしており、そのための資料として各業界団体が、毎年、温暖化対策の自主的な取組みの動向を公表している。この資料の中に、各業界団体のエネルギー原単位の推移が示されている。

エネルギー原単位には、主力以外の製品のデータも含まれている。

最後に、2013～2023 年の生産量を見ると鉄鋼業の主力製品は平均 22%減、石化製品 18 種は平均 27%減となった。一方で実質 GDP は 2020 年にコロナ禍による落ち込みはあったが、2023 年には 2013 年比 4.8%増だった。そのため、鉄鋼や石化製品の生産減は GDP や経済状況ではない要因によると考えられる。

これらの分析から、鉄鋼業と化学工業の最終エネルギー消費減は、効率改善や景気後退などによるものでないと推定できる。

9. ディスカッション

これまでの分析結果からすると、2013～2023 年に GHG 排出量が急減した主因はエネルギー需要の減少であったと推定できる。特に、製造業の最終消費量が大きく減少したのは、エネルギー効率の改善ではなく、製品生産の減少によると思われる。ここでは関連データを詳細に確認しながら、日本経済の構造変化が製造業のエネルギー最終消費減を通じて、GHG 排出量にどう影響したのかを考えてみる。

（１）製造業の主要分野におけるエネルギー最終消費の減少

製造業のエネルギー最終消費は全産業分野の中で最多である。特に、最終消費量の多い化学工業と鉄鋼・非鉄・金属工業など、素材産業に属する分野の燃料種の使用動向を見ると、製品製造に関わるエネルギー利用の急減が目立つ。化学工業でナフサなど石油化学製品の原料油の消費が大きく落ち込み、鉄鋼・非鉄・金属工業では高炉で鉄鋼を製造するために利用される石炭と石炭製品のコークスの消費が減っている。

これら二つの産業分野における電力消費量の減少幅は、石油製品あるいは石炭と石炭製品よりも小さい。電力は工場・事務所の冷暖房や照明などに利用されるため、製造減の影響が小さい可能性がある。ただし、2023 年の電力消費量は、化学工業では 2010 年比で 19%減、2013 年比で約 13%減となった。鉄鋼・非鉄・金属工業では、2010 年比で 16%減、2013 年比で 15%減だった。化学工業分野や鉄鋼分野におけるエネルギー原単位の分析では、2013 年と 2023 年でほぼ同水準となっているため、エネルギー効率改善による省エネだけでは電力消費減の理由を説明できない部分も残る。

化学工業や鉄鋼・非鉄・金属が提供する素材を加工している機械製造業のエネルギー最終消費も減少傾向にある。機械製造業では石炭、石炭製品、石油製品などの利用は少なく、特に石炭は 2021 年以降使われていない。また、2013～2023 年のエネルギー最終消費の約 70%は電力となっている。利用するエネルギーに違いはあるものの、その最終消費量が減少しているのは化学工業や鉄鋼・非鉄・金属と同様である。機械製造業の 2023 年のエネルギー消費は 2010 年比で 25%減、2013 年比で 16%減となっている。このうち、電力については 2023 年の消費量が 2010 年比 20%減、2013 年比では 12%減だった。

このような最終エネルギー消費動向に影響を与えられるのが、生産施設の稼働率だ。政府が発表している製造工業生産能力・稼働率指数を見ると、コロナ禍の前後で稼働率が変化している。2015 年の稼働率

を基準とした場合、コロナ禍前の 2013～2019 年は、ほぼ 100%となっていた。しかし、2020 年に一度、稼働率が落ち込んだ後は、2022 年になってもコロナ禍前の水準には至っていない（図表 19）。このような稼働率低下が生産量およびエネルギー最終消費に影響を与えていると考えられる。

図表 19. 鉄鋼・非鉄・金属、化学工業、機械製造業の生産施設の年平均稼働率指数

平均稼働率指数	製造業	鉄鋼・非鉄・金属	化学工業	機械工業（注）
2013年-2019年	100	101.3	99.8	101
2020年	87.1	85.9	89.6	86.5
2021年-2022年	93.7	95.2	93.2	94.3

データソース： 経済産業省「製造工業生産能力・稼働率指数（2015 年基準）」 (<https://www.e-stat.go.jp/stat-search?page=1&toukei=00550320>).

（注）総合エネルギー統計の機械製造業の分類と適合するか確認できていないが、参考指標として示す。

興味深いのは、鉄鋼業や化学工業の付加価値に大きな減少は見られないことだ。政府が発表している工業統計調査（2021 年まで）、経済構造実態調査（2022 年以降）では、各産業分野の事業所数、従業員数、出荷額などとともに、付加価値額についての調査結果が発表されている（補足 2 を参照）。

現在公表されている中で最新である 2022 年のデータを、2010 年、2013 年と比較したのが、図表 20 である。付加価値額は 2010 年、2013 年と比較すると減少しておらず、むしろ増加している。

図表 20. 鉄鋼業と化学工業の付加価値額（百万円）の推移

	鉄鋼（全事業所）	化学（全事業所）
2010年	3,625,138	10,179,597
2013年	3,164,579	10,135,063
2022年	4,129,261	11,965,166
2010年比	14%	18%
2013年比	30%	18%

データソース：経済産業省「工業調査統計(平成 22 年および 25 年)」

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html>) .

経済産業報「経済構造実態調査(2023 年))

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kkj/result2.html#menu02>) .

(注)エネルギー統計における産業分類と工業統計調査および経済構造実態調査の産業分野が対応しているか確認できていない。また化学工業には石油化学工業以外の様々な産業が含まれており、生産量の減少が必ずしも利益の減少を意味していない可能性があることに注意。

（２）日本の経済構造に起きていること

既に述べたように、素材産業におけるエネルギー最終消費の減少は生産減だけでなく、生産施設の稼働率低下によると考えられる。ただ、稼働率がコロナ禍以前とほぼ同水準にまで回復しているのに生産量が減少していることは、生産施設自体が減少していることを示唆している。

生産施設の減少について考えられる理由の一つは、他国の競合企業との競争激化である。国内外の市場で海外企業が廉価な製品を提供しているのに押されている可能性がある。もう一つは、化学工業あるいは鉄・非鉄・金属工業から提供される素材を加工する機械製造業などが国内での生産量を減らしている可能性だ。この二つの理由は、2023 年の機械製造業のエネルギー最終消費が 2010 年比、2013 年比ともに減少していることと符合する。

ただ、注意が必要なのは、機械製造業がグローバルなサプライチェーンを構築し、海外から安価な素材や部品を輸入して国内からの素材や部品調達を減らしている可能性もある点だ。しかし、機械製造業で生産される製品は多様なため、必要とされる材料や部品も製品ごとに違い、製造プロセスも異なる。素材や部品の調達の実態については、貿易統計なども参照しながら多角的に分析する必要性がある。

一方で、日本の実質 GDP に大きな落ち込みは見られないことを踏まえると、素材産業は生産量が減少しているものの、製品の付加価値向上や合理化によって、効率的に利益を上げている可能性もある。いずれにせよ日本経済の産業構造は、2013 年以前とは変化していると考えられるだろう。

（３）CO2 排出量への影響と温暖化対策

製造業におけるエネルギー最終消費減は、エネルギー転換部門での CO2 ゼロ電源の増加とともに、排出量の減少に貢献する。産業部門においては、CO2 排出原単位が高い石炭と石炭製品の最終消費量が鉄鋼・非鉄・金属工業において減少したことが寄与している。ごくわずかではあるものの、機械製造業で石炭が変われなくなったことも、排出減を後押ししたと考えられる。さらに CO2 電源に由来する電力が増えているため、電力消費が減ったことも排出抑制に寄与してきたと思われる。

2013 年以降、CO2 排出量が減少してきている一方で、温暖化政策はどのような形で打たれてきただろうか。既に述べたように、温暖化政策とは直接は関連しないものの電力分野における CO2 排出量の減少に大きく貢献している再エネについては、固定価格買取制度が 2012 年に開始された。同制度の導入後、再エネの普及は拡大しており、政府の政策が一定の影響を与えていたのは間違いない。

しかしながら、産業界に対する CO2 排出規制は実施されてこなかった。日本の温暖化政策は、これまで基本的には産業界の自主的な取り組みを中心としつつ、森林整備による CO2 吸収促進などの対策を実施してきた。2023 年の GX 推進法で将来的に産業界を対象とした CO2 排出規制が実施されることが決まったものの、

それまでの産業界の取り組みには、ほとんど影響を与えていない。

国連気候変動枠組み条約に基づく国際公約として、2020 年までの排出削減目標を 2005 年比 3.8%とするともに、2015 年に採択されたパリ協定下では当初、2030 年の排出削減目標を 2013 年比で 26%減とした。その後、2021 年に 2030 年の排出削減目標を大幅に引き上げて同 46%とし、2025 年 2 月には 2035 年の目標を同 60%減、2040 年の目標を同 73%減とすると発表した。

国の排出削減目標は産業界も念頭に置いているため、企業の活動にある程度影響している可能性もある。しかし、産業界の自主的な取り組みが、製造業におけるエネルギー最終消費の急減と CO₂ 排出減にどれだけ貢献したのかは明確になっていない。国の政策の効果についても、明らかにされていない部分が多い¹⁰。

10.エネルギー多消費型の製造業消失とどう向き合うか

ここまで述べてきたように、日本の GHG 排出量が 2013 年から減少を続けてきたことには、CO₂ ゼロ電源の増加とともに、産業界におけるエネルギー最終消費の減少が大きく貢献している。産業界のうち製造業で最終消費が減少している主因は、エネルギー効率の改善ではなく、生産量の減少によるものと思われる。

このような状況から、日本経済の構造が変化している可能性が示された。現状では示唆のレベルにとどまるものの、これまで日本経済の屋台骨を支えてきた製造業が空洞化している兆候が見られる。その実態を明らかにするためには、グローバルレベルでの市場の競争やサプライチェーンの現状を把握する必要がある。そのうえで、日本の産業の競争力を維持しながら、野心的な GHG 排出削減策を検討する必要があるだろう。エネルギーを大量に消費する製造業の拠点が国内から抜け落ちて空洞化が進んでいることが温暖化対策を後押ししているとすれば皮肉なことではある。それでも経済活力を維持・発展させるには、従来とは異次元の発想が求められよう。

¹⁰ 野村（2021, 2023）は、経済およびエネルギー統計を整合させ、エネルギー消費と経済構造を包括的な観点から分析している。野村によれば、生産量とエネルギー消費の関係性を表すエネルギー生産性（Energy Productivity Improvement: EPI）の近年における加速は、エネルギー多消費的な財の海外生産シフトによって嵩上げされており、エネルギー消費の抑制を求められた国内産業は資本生産性や労働生産性を犠牲とするという反作用を伴うものであったと評価している。

補足

(1) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書報告されている CO2 排出量は資源エネルギー庁が発表している総合エネルギー統計に示されたエネルギー転換、最終消費量を踏まえて算定されたものである。排出量の算定の基本的な考え方は以下の式で示される。

$$\text{活動量} \times \text{排出係数} = \text{CO2 排出量}$$

活動量は、エネルギー投入量あるいは最終消費量の熱量で計測したものである。具体的には、総合エネルギー統計に記載されているエネルギー転換部門（石炭、天然ガスからの発電や熱の供給）、企業・事業所他部門（産業（農林水産業含む）と業務）、家庭部門、運輸部門等のエネルギー最終消費に記載されている燃料種毎のデータである。排出係数は、それぞれの燃料種に熱量を単位として定め CO2 排出量を算定している。

(2) 付加価値額の計算方法は以下の通り。

①従業者 30 人以上の事業所

付加価値額 = 製造品出荷額等 + (製造品年末在庫額 - 製造品年初在庫額) + (半製品及び仕掛品年末価額 - 半製品及び仕掛品年初価額) - (推計酒税、たばこ税、揮発油税及び地方揮発油税額 + 推計消費税額) - 原材料使用額等 - 減価償却額

②従業者 29 人以下の事業所

粗付加価値額 = 製造品出荷額等 - (推計酒税、たばこ税、揮発油税及び地方揮発油税額 + 推計消費税額) - 原材料使用額等

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-4.html#menu05>)

参考文献

- 国立研究開発法人国立環境研究所(2016)「附属書Ⅰ国の温室効果ガス排出量と京都議定書達成状況（2014 年提出版（第一約束期間まとめ）」(<https://www.nies.go.jp/gio/archive/ai-cp1/index.html>) .
- 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編(2021)『エネルギー・経済データの読み方入門 改訂 4 版図解』(pp.68), 一般財団法人省エネルギーセンター.
- 野村浩二(2021)『日本の経済成長とエネルギー ―経済と環境の両立は以下の可能か』, 慶應義塾大学出版会株式会社 .
- 野村浩二(2023)「エネルギー投入と経済成長 ～日本経済の経験から何を学ぶか?～」『経済分析』第 206 号,内閣府経済社会総合研究所.
- 経済産業省(2023),2022 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 化学・非鉄金属ワーキンググループ (2023 年 1 月 26 日)
(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/kagaku_wg/2022_001.html) .

- 経済産業省(2024),2023 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 鉄鋼ワーキンググループ (2024 年 2 月 14 日)
(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/tekko_wg/2023_001.html)
- 経済産業省(2024),2023 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 化学・非鉄金属ワーキンググループ (2024 年 1 月 25 日)
(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/kagaku_wg/2023_001.html)
- 環境省(2015)「日本の約束草案 (2020 年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標)
(<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>).
- 内閣府 経済社会総合研究所, 国民経済計算 (GDP 統計)
(https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sokuhou/files/2025/qe251/tables/gaku-jfy2511.csv)