

令和5年度エネルギー需給構造
高度化対策調査等事業
(エネルギー政策動向分析・調査支援事業)
報告書

——経済産業省資源エネルギー庁委託調査——

2024年3月



一般財団法人
日本エネルギー経済研究所

第1章 海外のエネルギー政策についての調査	1
第2章 国内のエネルギー動向についての調査	6
第3章 中長期のエネルギー需給見通しに係る分析手法の改善・検討	9
第4章 総合エネルギー統計作成のための調査・検討	24
第5章 エネルギー・環境関連の統計データ収集・分析・整理・翻訳支援	32

図1-1 米国脱炭素長期戦略(一部抜粋).....	2
図1-2 2040年におけるシナリオ別の一次エネルギー供給・最終エネルギー消費の 見通し	4
図3-1 エネルギー需給モデルの全体構成	10
図3-2 マクロ経済モデルの構造	12
図3-3 エネルギー需給モデルの構造	14
図3-4 産業部門のモデル構造	16
図3-5 民生部門のモデル構造	18
図3-6 民生部門主要機器の要素積上モデルの構造	20
図3-7 運輸部門のモデルの構造	21
図3-8 運輸部門要素積み上げモデルの構造	22
図4-1 クリーン水素・同関連燃料等の供給源および需要先.....	24
図4-2 石油精製・石油化学での水素製造	27
図4-3 電気分解での水素製造プロセス	28
図4-4 コークス製造での水素製造プロセス	29
図4-5 予定されている国内の液体合成燃料の製造プロセス.....	30
図4-6 アンモニア製造プロセス	31

表1-1 シナリオ別の主要検討項目	5
表2-1 2030年におけるデータセンターとネットワークの電力消費量に関する見通し	6
表2-2 2026年における世界のデータセンター電力需要の見通し.....	7
表2-3 データセンターとネットワークの電力需要見通し	8
表3-1 エネルギーバランス表	15
表3-2 火力発電の将来の想定方法	23
表4-1 わが国の炭素集約度別水素にかかる統計整備の対応案とメリット、デメリット	25
表4-2 炭素集約度別水素の把握に関連する必要な調査内容と主要な既存統計.....	26
表5-1 「Energy Pathways to 2050」報告への質問回答	32

第1章 海外のエネルギー政策についての調査

1.1 米国の排出削減目標の背景調査

1.1.1 概要

米国の国が決定する貢献(NDC)策定において、排出削減目標設定の根拠や考え方等について調査を実施した。

1.1.2 結果

米国のNDC策定にも活用されると推察される長期脱炭素戦略(米国国務省および米国大統領行政府 “The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050”, (2021)¹)を調査。2050年カーボンニュートラルに向けた12のシナリオをもとにモデルを動かし、産業や運輸といった項目ごとに、2030年時点で何をどこまで導入するかあるいは削減していくかを、シナリオごとの幅をもって紹介しているという全体概要や、報告書のうちシナリオごとの概説とモデルを動かした結果箇所について紹介した。

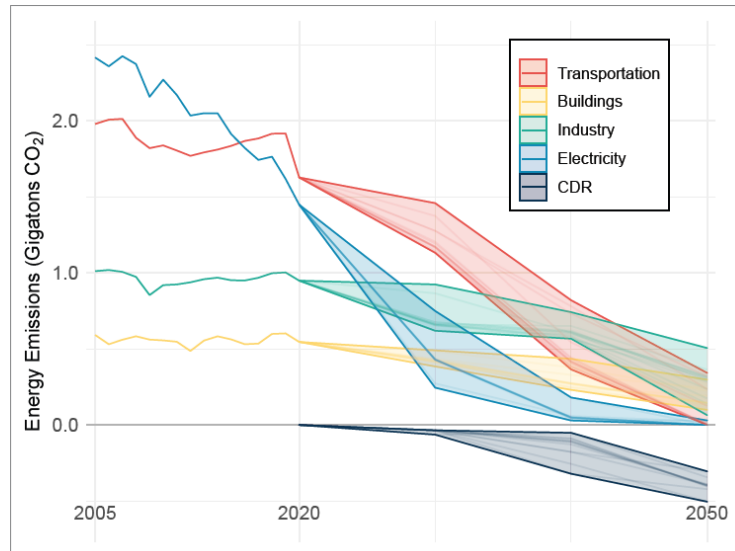
¹ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/US-LongTermStrategy-2021.pdf>

図1-1 米国脱炭素長期戦略(一部抜粋)

TRANSFORMING THE ENERGY SYSTEM THROUGH 2050

The energy sector is pivotal for achieving net-zero emissions by 2050. Achieving net-zero is possible through a range of pathways, which depend on how technologies and policies evolve over the three-decade period. Nevertheless, by modelling a range of pathways with plausible assumptions for this evolution (see Figure 4), we can distinguish broad trends and important drivers of the energy sector transformation.

Figure 4: U.S. Energy CO₂ Emissions to 2050 by Economic Sector. Electricity CO₂ emissions and direct CO₂ emissions from the transportation, buildings, and industry fall dramatically in all scenarios, with the greatest reductions coming from electricity, followed by transportation, and non-land sink carbon dioxide removals (CDR) increase. Notes: Historical data are from EIA Monthly Energy Reviews, projections include data from all LTS scenarios using both GCAM and OP-NEMS, projections are shown in ten-year time steps.



出所: 米国国務省および米国大統領行政府 “The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050”

1.2 欧州委員会の2040年排出削減目標についての調査

1.2.1 概要

欧州委員会(EC)が2024年2月に発表した2040年排出削減目標について調査を実施した。

1.2.2 結果

2024年2月6日に、欧州委員会から欧州連合(EU)の2040年の削減目標に関するコミュニケーション Document 52024SC0063, Commission staff working document “Securing our future – Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society”, (2024)²が発表された。これは、第1回グローバルストックテイク(GST)の後、遅くとも6か月以内に欧州委員会は2040年削減目標の提案を行わなければならないという欧州気候法の規定に基づくものである。この中で、以下の3つのシナリオ(いず

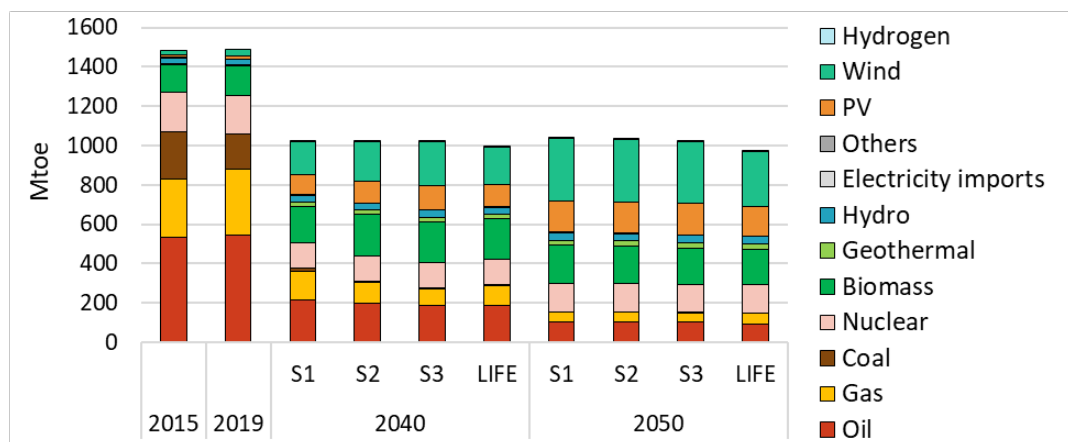
² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52024SC0063>

れのシナリオも2050年にカーボンニュートラルを達成)を分析した結果として、S1: 2030年と2050年の間で温室効果ガス(GHG)排出量がリニアに削減、S2: 2040年に少なくとも1990年比85%削減、S3: 2040年に少なくとも1990年比90%削減という3つを提示している。

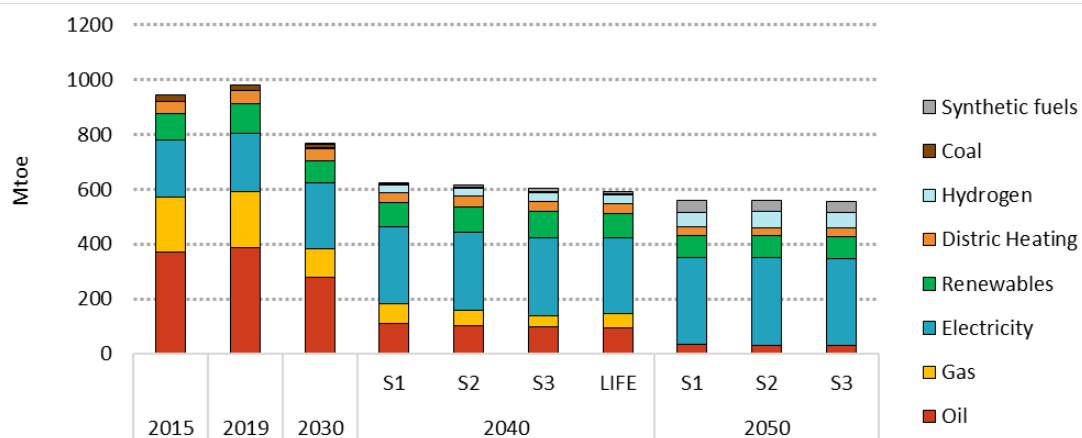
どのシナリオにおいても、①2040年までに一次エネルギー供給、最終エネルギー消費を2019年比3割減と見込み、2050年も同程度で推移、②一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギー等の比率が大きくなるが、2050年まで化石燃料も残存(二酸化炭素回収・貯留[CCS]/二酸化炭素回収・利用[CCU]による回収、直接空気回収技術・CCS [DACCS]等による除去によるオフセットを織り込み)、③最終エネルギー消費に占める電力の比率が約5割まで増加することを見込む、といった特徴がある。そのうえで次期欧州委員会が採用すべき目標としてS3を推奨している。S3は1990年比で2040年90%減とすると、2019年比で2035年63%減となり、グローバルストックテイクで求められる水準(2019年比で2035年60%減)を超えた野心的な目標となる。

すでに一部加盟国は賛成しているが、フランス、ドイツは不明で、ポーランドは反対の見込みである。2024年6月の欧州議会選後に発足する次期欧州委員会が気候法改正として目標を正式に決定する手続きを行う予定である。

図1-2 2040年におけるシナリオ別の一次エネルギー供給・最終エネルギー消費の見通し
一次エネルギー供給



最終エネルギー消費



出所: 欧州委員会 “Securing our future – Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society”より作成

表1-1 シナリオ別の主要検討項目

	S1	S2	S3	ライフスタイル
理論的根拠	脱炭素化トレンドの継続：エネルギー効率の改善、エネルギー需要の電化、再生可能エネルギーの導入、	S2には2040年までに新しいテクノロジーをより広く普及することも含まれる（炭素回収、合成燃料）	S3は新しいテクノロジーをより迅速かつ多くに取り込むことを前提。2031～2040年（炭素回収、合成燃料）	より循環的で共有された経済に向けて移行。
産業	エネルギー消費の電化、2040年までに合成燃料の開発		2040年までにS2よりも多くの合成燃料を使用	循環性が向上すると、材料の一次生産の必要性が比較的低くなり、炭素の必要性も低減。
	工業プロセスにおける炭素回収は限定的	二酸化炭素回収の展開	二酸化炭素回収のさらなる展開	
建物	ヒートポンプの継続導入による今後の電化			暖房および冷房温度のサーモスエネルギーの節約
	年間平均改修率は2031～2040年に低く、2041～2050年	2031～2040年と2041～2050年同様の平均改修率	年間平均改修率は2031年～2040年に高く、2041年～2050年	
輸送	EUの持続可能でスマートなモビリティ戦略と行動計画：マイルストーンを達成（特に鉄道、内陸水路、近海輸送に関して）			
旅客	乗用車およびバンのCO2基準：2035年以降、2021年比 -100%	S1と同様の乗用車およびバンのCO2基準 + 乗用車の乗車率の向上と、一部の乗用車からアクティブなモード（徒歩、自転車）および協調的なモビリティサービスと複合旅行	S3と同様に、共有および協調的なモビリティサービスへの移行がさ	持続可能な都市交通を推進。
	HDVのCO2基準：2040年から2019年比 -90%（バスについては -100%）、マルチモーダル配送の最適化による貨物車両の配送と商品配送の効率化	HDVのCO2基準：2040年から2019年比 -100%、HDVより効率的な運用		
	ソリューション、複合一貫貨物輸送の利用率の向上	貨物車両と商品の配送		
		マルチモーダル配送ソリューションの最適化、複合一貫貨物輸送		
海上運送	FuelEUの海洋GHG原単位目標：2040年に -31%、2050年に -80%（対2020）			
	IMO GHG削減目標範囲以下（2008年と比較して2040年に -70%）	IMO目標範囲の中間点（-75%） 2040年 vs 2008）	IMO目標範囲の上限（2008年と比較して2040年に -80%）	
航空	ReFuelEU航空SAFの義務（2040年に34%、2050年に下期：2040年に10%、2050年に35%）	S1よりも合成燃料混合の強化（SAF：2040年に36%、2040年航空合成燃料およびH2：2040年に12%、2050年に37.5%）、	S2よりも合成燃料混合の強化（SAF：2040年に38%、2050年合成航空燃料：2040年には14%、2050年には40%）、ゼロエミッション航空機の配備に対する奨励金	S3と同様に、スケジュールに比べて出張や長期旅行が減り、鉄道へのモーダルシフト（特に短期旅行）

出所：欧州委員会 “Securing our future – Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society” より作成

第2章 国内のエネルギー動向についての調査

2.1 デジタル化による電力需要への影響に関する調査

今後、生成人工知能(AI)の利用拡大とそれにとまなうデータ通信量の増加などが懸念されており、デジタル化の進展によって電力需要へ影響が及ぶことが予想される。そのため、AIのデータ拠点となるデータセンター(DC)とデータ通信における基盤となるネットワークに起因する電力消費に着目し、将来における電力需要見通しに関する文献調査を行った。

2.1.1 Anders S. G. Andrae and Tomas Edler “On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030”

Andersらの2015年の論文³では、世界全体の通信産業における電力消費について推計している(2015年の論文であることからデータセットが近年の動向を含んでいない)。対象は消費者機器、通信ネットワーク、データセンターの使用と生産段階を考慮しているが、ここでは使用段階について注目する。シナリオはbest, expected, worstの3つがあり、エネルギー消費効率の改善等を文献を基に設定し、電力消費が少なくなると想定されるものをbest、反対に電力消費が多くなるものをworstとして想定を置いている。

2030年のデータセンターの電力消費量はbestケースで1,137TWh、worstケースで7,933TWhと予測されている(表2-1)。また、ネットワークの電力消費量は、固定アクセス有線、固定アクセス無線、無線アクセスの合計で、bestケースで1,012TWh、worstケースで15,241TWhと推定されている。

表2-1 2030年におけるデータセンターとネットワークの電力消費量に関する見通し

単位：TWh

	データセンター	固定アクセス有線ネットワーク	固定アクセス無線ネットワーク	無線アクセスネットワーク	消費者機器
worstケース	7,933	7,912	4,529	2,800	1,108
expectedケース	2,967	2,641	889	200	670
bestケース	1,137	825	153	34	328

2.1.2 International Energy Agency “Electricity 2024”

国際エネルギー機関(IEA)が2024年1月に公表した資料⁴では、世界全体の短期(2026年までの)電力需要について推定しており、その中でデータセンター電力需要についても扱っている。

³ Anders S. G. Andrae and Tomas Edler “On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030” (2015) <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117/pdf?version=1432196917>

⁴ International Energy Agency “Electricity 2024” <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>

足元の数値として、世界全体の2022年におけるデータセンター電力需要は約460TWhとされている(全世界の電力需要の約2%)。また、AIの電力需要の想定は、AIサーバー市場の約95%を占めるとされるNVIDIA社が今後販売するとされるサーバーの販売台数とその定格電力を基に推定している。2023年にNVIDIAが出荷したサーバーは10万ユニットでその年間電力消費は7.3TWhとされており、この実績を基にユニット当たり電力消費を設定している。

2026年のデータセンター電力需要はHigh caseで1,050TWh、Low caseで620TWhと予測されている(表2-2)。また、2022年時点でデータセンター数が多い米国、欧州連合(EU)、中国のデータセンター電力需要についても言及されている。米国は2022年の約200TWh (電力需要全体の4.7%)から2026年には約260TWh (同5.9%)に増加する見込みとなっている。EUでは2022年の100TWh弱(同3.8%)から2026年には約150TWh (同5.5%)に達する見込みである。中国は2022年の220TWh強(同2.6%)から2026年に約300TWh (同2.8%)に増加する見込みとなっている。

表2-2 2026年における世界のデータセンター電力需要の見通し

単位：TWh		
	世界	
	2022年	2026年
Low case	460	620
Base case		800
High case		1,050

2.1.3 科学技術振興機構「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響」

科学技術振興機構が2023年2月に公表した資料^{5,6}では、将来技術の導入による電力効率の改善を想定して、日本と世界全体について2030年と2050年のデータセンターとネットワークの電力消費量について予測している。AIの電力需要については、通信量の増加分に加え、サーバーなどのハードウェア出荷量の増加率26%/年を維持すると仮定している。また、2030年度頃までは既存技術の進展による電力消費の低減を考慮しており、2050年頃までは既存技術に加えて光電融合技術などの将来技術の導入を考慮している。ケース設定は、電力効率の改善を考慮しないAs isケース、達成可能性が高い改善度合いを想定したModestケース、改善可能性の上限程度を想定したOptimisticケースの3つである。

⁵ 科学技術振興機構「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.4)ーデータセンター消費電力低減のための技術の可能性検討ー」<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2021-pp-01.pdf>

⁶ 科学技術振興機構「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.5)ーネットワーク関連消費エネルギー提言の技術課題とその解決手段ー」<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2022-pp-05.pdf>

日本における2030年のデータセンターの電力消費量はModestケースで24TWh、Optimisticケースで6TWhと予測されている(表2-3)。また、ネットワークの電力消費量はModestケースで20TWh、Optimisticケースで7TWhと予測されている。Optimisticケースでは、電力消費量は2018年を下回っているが、特にネットワークにおいては効率が向上した分だけ通信需要が伸びることになるため、実際には消費量がそこまで減少しない可能性もあると述べられている。

Optimisticケースにおける2050年のデータセンターの電力消費量は110TWh、ネットワークの電力消費量は100TWhとなっている。超長期の見通しのため不確実性は高いが、将来技術を可能な限り導入したとしても電力消費量が2018年よりも増加する見込みとなっている。

表2-3 データセンターとネットワークの電力需要見通し

単位：TWh

		日本			世界		
		2018年	2030年	2050年	2018年	2030年	2050年
データセンター	As isケース	14	90	12,000	180	2,600	390,000
	Modestケース	14	24	500	180	670	16,000
	Optimisticケース	14	6	110	180	190	3,000
ネットワーク	As isケース	23	100	8,800	390	2,400	260,000
	Modestケース	23	20	600	390	640	14,000
	Optimisticケース	23	7	100	390	170	3,000

2.1.4 電力広域的運営推進機関 “データセンター・半導体工場の新增設にともなう個別織り込みについて”

電力広域的運営推進機関が2024年1月に公表した資料⁷では、日本において半導体工場の新增設の動きが活発になっていることや、大規模なデータセンターが整備される動きがあることを踏まえ、経済指標に基づく電力需要見通しとは別に半導体工場・データセンターでの需要分を織り込む形で電力需要を想定している。

データセンターについて、すでに建設等が進んでいる案件などは個別に反映し、既設のものについては実績動向と合わせて稼働率を乗算することで実態に近い織り込み量を算出している。なお、想定する織り込み量の数値については、半導体工場とデータセンターの数値が明示されておらず、合計の数値のみ示されている。

半導体工場・データセンターの電力需要の織り込み量は2024年度で3.7TWh、2030年度は36.9TWhと算出されている。

⁷ 電力広域的運営推進機関「全国及び供給区域ごとの需要想定(2024年度)」
https://www.occto.or.jp/juyousoutei/2023/files/240124_juyousoutei.pdf

第3章 中長期のエネルギー需給見通しに係る分析手法の改善・検討

3.1 見通しモデル

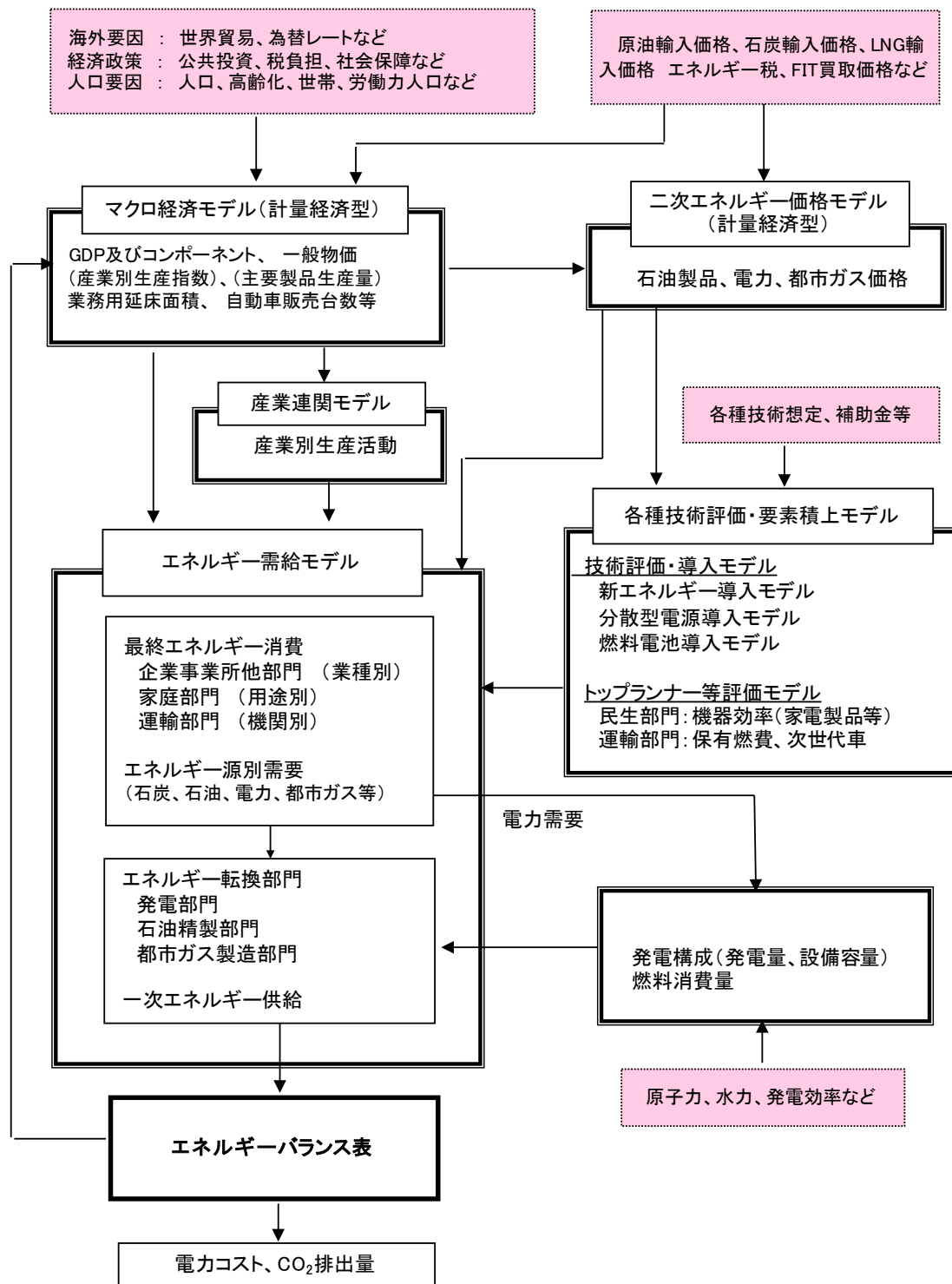
3.1.1 モデルの全体構造

エネルギー需要量の変化はマクロ経済の動向に大きく依存する。そのため、将来のエネルギー需給構造を見通すためには、将来の経済情勢をエネルギー需給分析モデルに適切に反映し、試算を行う必要がある。本検討では、図3-1に示すとおり、マクロ経済モデルとエネルギー需給モデルとを一体的に統合した計量経済型モデルを中核として用いることにより、将来のエネルギー需給構造に関する試算を行った。

計量経済型モデルによる見通しとは、エネルギー需要で言えば、経済規模、世帯数、自動車普及台数等のマクロ変数で説明する関数を実績に基づく重回帰分析により推計し、当該関数に将来の説明変数の将来値を代入することによって外挿することである。一般的に、実績データに基づきモデルが同定され、近時点の情報を容易に織り込めることなどから、絶対水準を精度良く求めるのに適している。

本検討で用いたモデルでは、マクロ経済モデルによって得られる指標(各種活動量等)だけでなく、エネルギーコストの変化が需要に与える影響を適切に評価できるようにするために、各種の前提やマクロ経済の想定と整合的な二次エネルギー価格を推計し、エネルギー需給モデルへのインプットとしている。また、将来のエネルギー需給の推計に際しては、各種技術の導入を評価するために積上型の技術評価モデルを作成し、エネルギー需給モデルと接合している。一方で、本事業における分析では、重要度が高くはないと判断された部分、あるいは将来値を外生的に設定する部分などについては、モデル本来の機能を停止・遮断している。

図3-1 エネルギー需給モデルの全体構成



は、外生または
他のモデルより与えられる

注: 本調査では運用していない部分もある。

各モデルの概要は、以下のとおりである。

マクロ経済モデル

所得分配、生産市場、労働市場、一般物価等、整合的にバランスの取れたマクロフレームを算出し、エネルギー需要に直接、間接的に影響を与える経済活動指標を推計する。

- 国内総生産(GDP)およびコンポーネント、素材系物資生産量、鉱工業生産指数(IIP)、業務用床面積、自動車販売台数等

二次エネルギー価格モデル

原油、液化天然ガス(LNG)、石炭等のエネルギー輸入価格や国内の一般物価等から、エネルギー需要、選択行動に影響を与えるエネルギー購入価格を推計する。

- 各石油製品価格、電力・電灯価格、都市ガス価格等

電源構成モデル

エネルギー需給モデルにより推計された電力需要、原子力、再生可能エネルギーの発電量、火力の発電効率から電源別発電量を推計する。

- 電源構成(電源別発電量)

要素積上モデル

回帰型のマクロモデルではそのままでは扱いにくい、トップランナー基準の効果などを明示的に取り入れるために、家電機器効率や自動車燃費等の省エネルギー指標を推計する。

- 民生部門の用途別機器効率、自動車部門の保有燃費

エネルギー需給モデル

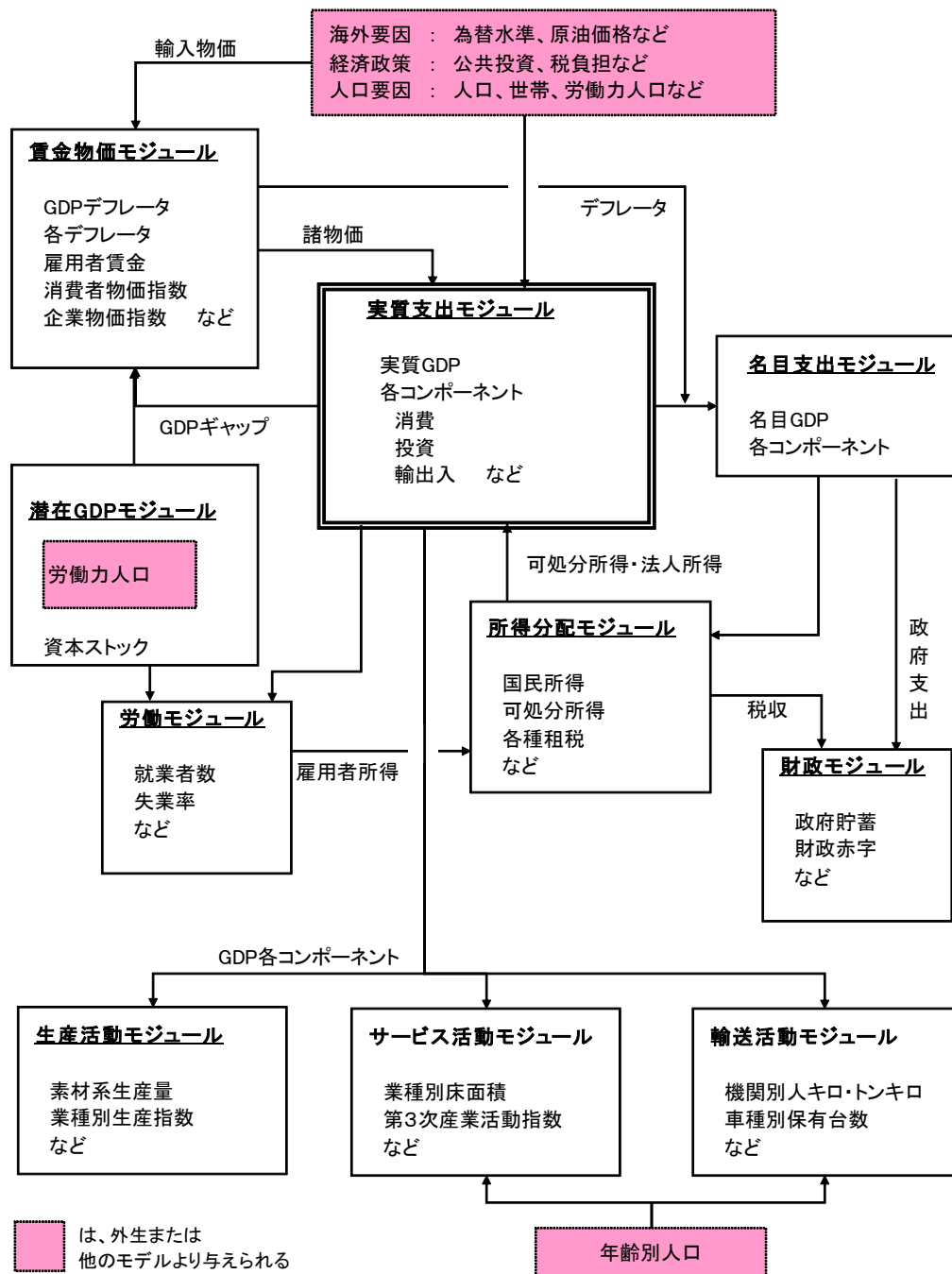
上述の各モデルから得られる経済活動指標、価格指標、省エネルギー指標等から各最終部門におけるエネルギー需要を推計する。次に、発電部門等のエネルギー転換を経て、一次エネルギー供給量を推計する。加えて、エネルギー源別の消費量を基に、二酸化炭素(CO₂)排出量を計算する。

- 部門別エネルギー最終消費、エネルギー源別一次供給、電力コスト、CO₂排出量等

3.1.2 マクロ経済モデルの構造

本検討で用いたマクロ経済モデルでは、実質支出モジュールを中核とし、潜在成長率や物価指数等とともに整合的にバランスの取れたマクロフレームを算出する。そして、エネルギー需要に直接、間接的に大きな影響を及ぼす経済活動指標等を求める。

図3-2 マクロ経済モデルの構造



実質支出モジュール

ケインジアン型を想定し、実質GDPおよび各コンポーネントを推計する。

- 民需: 民間最終消費支出、民間住宅投資、民間企業設備投資、民間在庫変動
- 公需: 政府最終消費支出、公的固定資本形成、公的在庫変動
- 外需: 輸出、輸入

賃金物価モジュール

為替、原油価格等の国外要因と需給ギャップ等の国内要因により、各種一般物価を推計する。

- 賃金、企業物価指数、消費者物価指数、GDP各コンポーネントのデフレーター

名目支出・所得分配・財政モジュール

国民所得を租税、補助金等を通して、家計、企業、政府に分配する。さらに、政府支出額と租税額より財政バランスを見る。

生産モジュール

関連するGDPコンポーネント等より、素材系生産量、鉱工業および主要業種の生産指数を推計する。例えば、粗鋼生産は粗鋼内需等の影響を受け、粗鋼内需は民間企業設備投資、民間住宅投資、公的固定資本形成等を説明変数として回帰推計する。

- 素材系生産量: 粗鋼、エチレン、セメント、紙・板紙、パルプ
- 鉱工業生産指数: 食料品、繊維、紙・パルプ、化学、石炭・石油製品、窯業土石、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、機械、その他等

業務用床面積モジュール

関連する経済・社会指標より、業務部門における各業種の延床面積を推計する。例えば、卸小売業は民間最終消費支出、病院福祉施設は65歳以上人口といった指標を説明変数に含める。

- 事務所、飲食店、卸小売、学校、ホテル、病院福祉施設、娯楽施設、その他等

輸送需要モジュール

関連する経済・社会指標より、各輸送機関別の輸送需要(人キロ、トンキロ)を推計する。さらに、自動車については、乗用車、貨物車の保有・販売台数を推計する。推計された販売台数は、保有燃費を計算する要素積上モデルに反映される。

- 輸送需要: 自動車、鉄道、船舶、航空
- 乗用車・貨物車販売台数: クラス別(軽、スモール、ラージ等)

3.1.3 エネルギー需給モデルの構造

本検討のモデル分析の中核をなす「エネルギー需給モデル」は、「最終エネルギー消費部門」(産業、民生、運輸、非エネルギー利用)、「エネルギー転換部門」(発電、石油精製、都市ガス製造等)、「一次エネルギー供給部門」からなり、エネルギーバランス表に基づき、全エネルギー源の需給バランスの見通しを描く。

図3-3 エネルギー需給モデルの構造

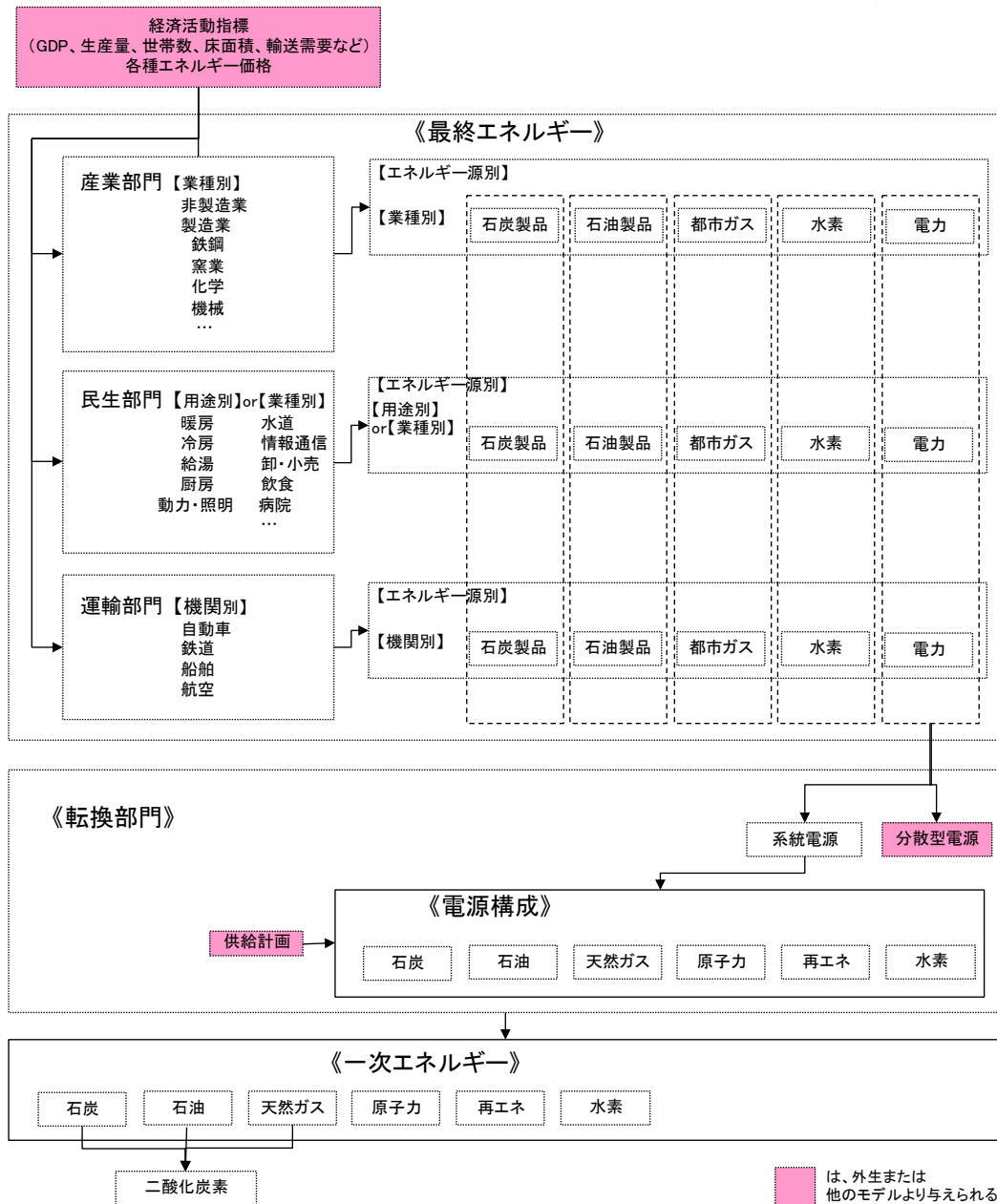
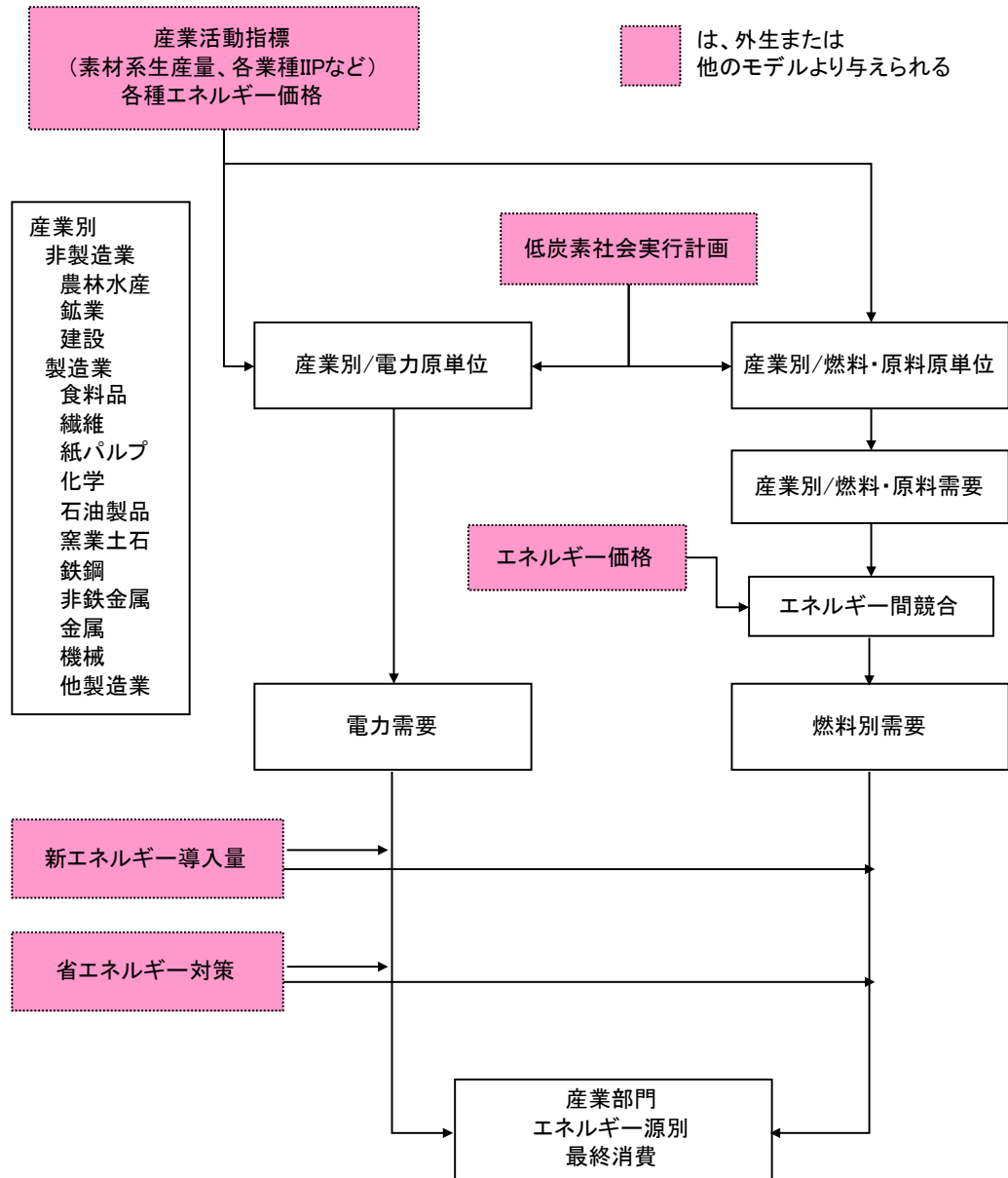


表3-1 エネルギーバランス表

部門別(行)		部門別(行)続		エネルギー源別(列)
一次エネルギー	国内生産	最終消費・エネルギー利用	産業	原料炭
	輸入		農林水産業	一般炭他
エネルギー転換	輸出		鉱業	石炭製品
	供給在庫変動		建設業	原油
エネルギー転換	国内供給		製造業	石油製品
	事業用発電		食料品	ナフサ
エネルギー転換	自家発電		繊維	ガソリン
	農林水産業		パルプ紙板紙	ジェット燃料油
エネルギー転換	鉱業		石油製品	灯油
	建設業		化学	軽油
エネルギー転換	食料品		窯業土石	重油
	繊維		鉄鋼	A重油
エネルギー転換	パルプ紙板紙		非鉄金属	BC重油
	石油製品		金属製品	LPG
エネルギー転換	化学		機械	他石油製品
	窯業土石		他業種・中小製造業	天然ガス
エネルギー転換	鉄鋼		民生	都市ガス
	非鉄金属		家庭(用途別)	合成メタン
エネルギー転換	金属製品		業務(業種別)	再生可能エネルギー
	機械		運輸	太陽光
エネルギー転換	他業種・中小製造業		旅客	風力
	業務		自家用乗用車	太陽熱
エネルギー転換	家庭		営業用乗用車	バイオマス
	自家用蒸気		二輪車	地熱
エネルギー転換	農林水産業		バス	未利用エネルギー
	鉱業		鉄道	廃棄物
エネルギー転換	建設業		船舶	事業用水力
	食料品		航空	原子力
エネルギー転換	繊維		貨物	電力
	パルプ紙板紙		自動車	事業用電力
エネルギー転換	石油製品		鉄道	自家用電力
	化学		船舶	水素
エネルギー転換	窯業土石		航空	熱
	鉄鋼		非工業	
エネルギー転換	非鉄金属		産業	
	金属製品		農林水産業等	
エネルギー転換	機械		パルプ紙板紙	
	他業種・中小製造業		化学	
エネルギー転換	業務		石油製品	
	家庭		窯業土石	
エネルギー転換	地域熱供給		鉄鋼	
	一般ガス製造		非鉄金属	
エネルギー転換	簡易ガス製造		機械	
	石炭製品製造		他業種・中小製造業	
エネルギー転換	石油製品製造		民生	
	水素製造		運輸	
エネルギー転換	他転換・品種振替			
	自家消費・送配損失			
エネルギー転換	消費在庫変動			
	統計誤差			

(1)産業部門

図3-4 産業部門のモデル構造



モデルの基本構造

エネルギー需給モデルにおけるエネルギー消費量算出の基本構造は以下のとおり。

エネルギー消費 = 生産活動指標 × 消費原単位 - 各種省エネルギー対策
(燃料・電力) (生産量・生産指数)

- 産業別: 非製造業(農林水産業、建設業、鉱業)
- 製造業(食料品、繊維、パルプ紙板紙、化学、石油製品・石炭製品、窯業土石、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、機械、他製造業(計11業種))

生産活動指標の設定

「マクロ経済モデル」で推計される数値を与える。

- 素材系生産量: 粗鋼、エチレン、セメント、紙・パルプ
- 鉱工業生産指数: 食料品、繊維、化学、石油製品・石炭製品、非鉄金属、金属製品、機械、その他等

消費原単位の設定

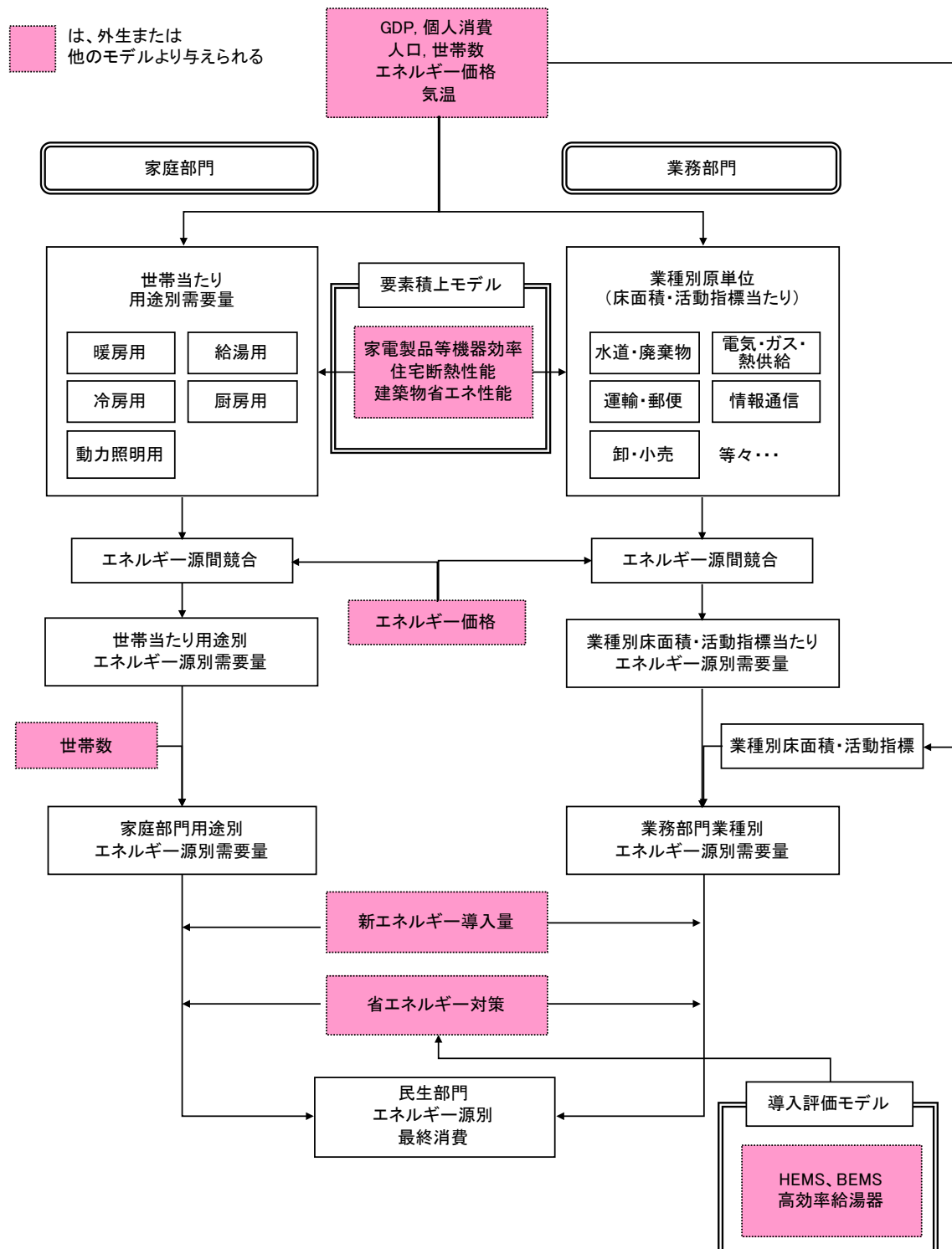
消費原単位は、エネルギー価格、技術水準、生産活動状況などに影響されると一般に考えられる。なお、本検討では、分析の内容に応じて足元値で固定するなど、外生的に扱う。

各種省エネルギー対策の設定

別途検討結果や業界関係者、技術専門家等のヒアリングを参考に想定する。二酸化炭素回収・貯留(CCS)にかかるエネルギー消費量も計上するようにしている。

(2) 民生部門

図3-5 民生部門のモデル構造



モデルの基本構造

・エネルギー消費量算出の基本型

業務部門

$$\text{エネルギー消費} = \text{業務用床面積} \cdot \text{活動指標} \times \text{消費原単位} - \text{各種省エネルギー対策}$$

(業種別) (業種別) (業種別)

家庭部門

$$\text{エネルギー消費} = \text{世帯数} \times \text{消費原単位} - \text{各種省エネルギー対策}$$

(用途別) (用途別)

- 業種別: 電気・ガス事業・熱供給、水道、情報通信業、運輸業・郵便業、卸売業、小売業、金融業・保険業、不動産業・物品賃貸業、教育・研究、宿泊業、飲食サービス業、洗濯・美美容・浴場、娯楽他、医療保健福祉、対事業所サービス、公務、分類不能・内訳推計誤差
- 用途別: 暖房、冷房、給湯、厨房、動力照明他(5用途)

推計にあたっての基本的考え方

民生部門のエネルギー消費原単位の評価においては、所得要因、価格要因のほかに、将来のエネルギー需給に影響を及ぼすと想定される高齢化、世帯構成、女性の就業率をはじめとした社会的要因や省エネルギーの進展も考慮に入れている。

用途別の消費原単位の推計では、次式の回帰式を基本型としている。

消費原単位 = f (所得要因、価格要因、社会的要因、気温、省エネルギー)

- 社会的要因: 高齢化、世帯構成、女性の就業率等
- 省エネルギー: トップランナー基準を考慮した家電製品等の機器効率、住宅・建築物の断熱効率、エネルギーマネジメント等

エネルギー源別の消費原単位消費量

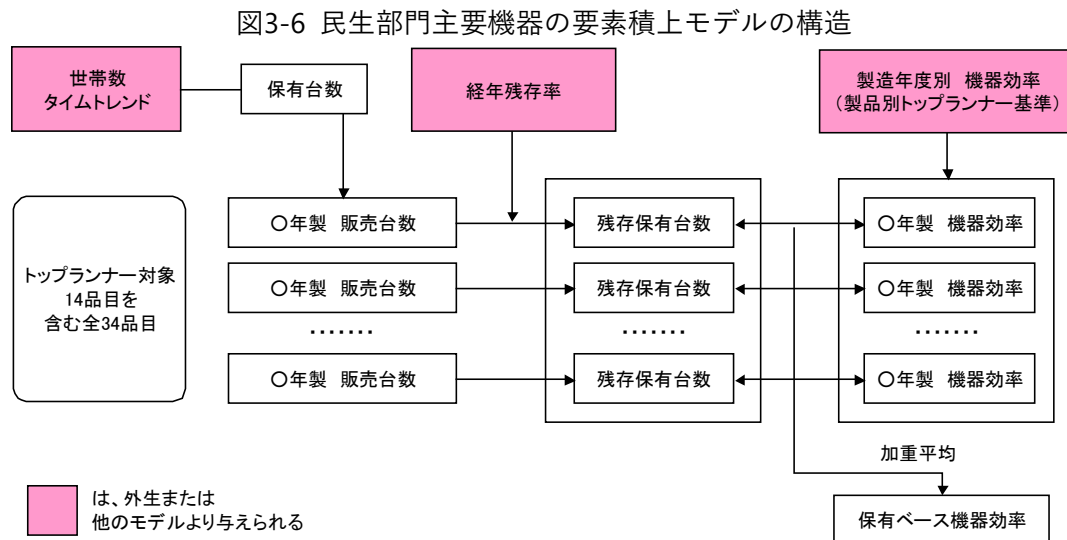
「二次エネルギー価格モデル」において試算された価格やオール電化普及状況等に基づき、エネルギー間競争を経て決定される。

各種省エネルギー対策の設定

投資回収年数需要曲線等を用いて普及状況および省エネルギー効果を測定。別途、業界関係者、技術専門家等による情報を参考にしている。

要素積上モデル

販売ベースの機器効率から、販売年別残存保有台数を通して、保有ベースの機器効率を推計する。トップランナー機器、高効率給湯器、住宅断熱の効果をも示的に織り込むことができる。



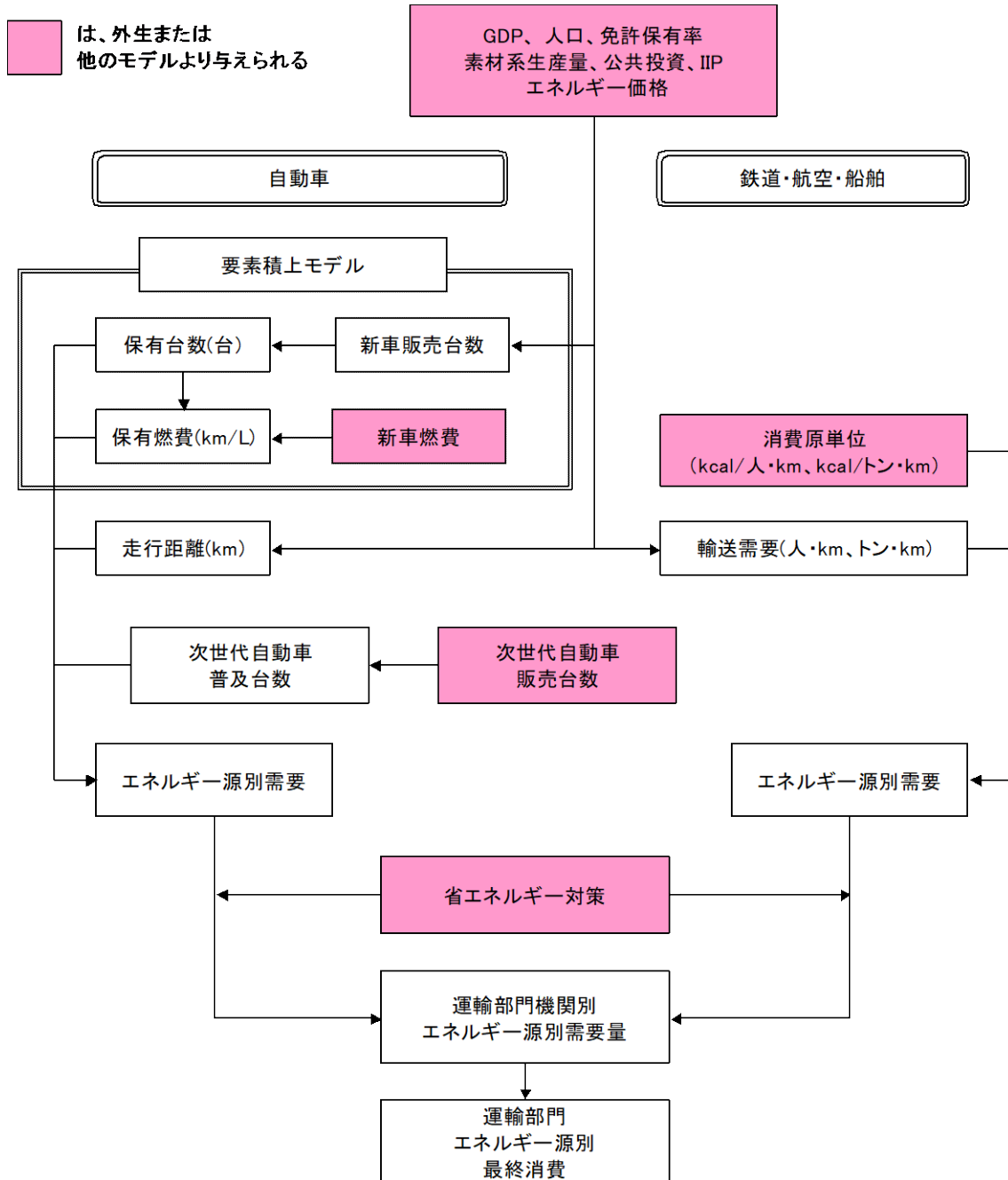
(3)運輸部門

運輸部門は、エネルギー需要の特徴を考慮して、旅客、貨物それぞれの部門を輸送機関別(4区分)に分割している。

- 部門別: 旅客部門、貨物部門
- 輸送機関別: 自動車、鉄道、船舶、航空

旅客自動車は4区分(自家用乗用車、営業用乗用車、自家用貨物車、バス)、貨物自動車は4区分(普通トラック、軽トラック、小トラック、特種トラック)に分かれる。

図3-7 運輸部門のモデルの構造



自動車部門

エネルギー消費量算出の基本型

$$\text{エネルギー消費量} = \text{保有台数} \times \text{走行距離} / (\text{保有理論燃費} \times \text{使用状況係数})$$

-各種省エネルギー対策

保有台数は、経済動向、人口等によって推計する。また、車種構成は所得や貨物需要構成および燃料価格等によって推計される。保有燃費は、新車燃費と新車販売の想定のもと、代替を考慮して決定される。

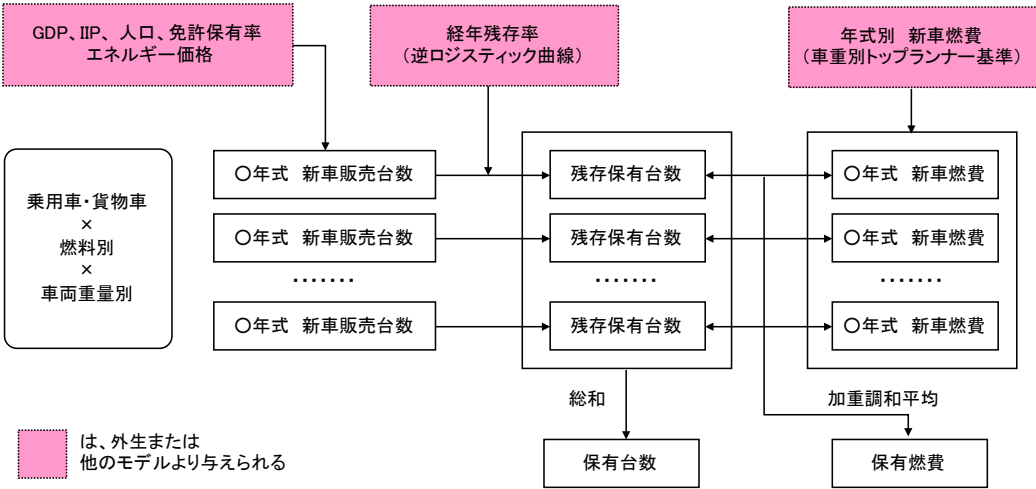
ただし、車種構成および保有燃費については、モデル内で計算を行わず、直接的に外生とすることも可能である。

走行距離は、所得、貨物需要および燃料価格等によって推計する。

自動車部門のエネルギー消費量は、要素積上モデルで算出される保有理論燃費と保有台数、走行距離、使用状況係数から求められる。車種別の新車燃費をケースごとに变化させ、要素積上モデルを解くことによって得られる保有理論燃費の差から、省エネルギー量を計算することができる。

なお、走行距離は輸送量(人km、t-km)を平均乗車人数や貨物積載量で除して算出される。近年貨物積載量は車両重量によらず増加傾向にあることを考慮し、将来の貨物積載量はこの実績トレンドに基づいて推計した。また、カタログ燃費と実燃費の差異を補正する係数として使用状況係数を設定、燃料消費量や走行距離などの各種統計から推計した。

図3-8 運輸部門要素積み上げモデルの構造



自動車以外の輸送機関

エネルギー消費量算出の基本型

$$\text{エネルギー消費量} = \text{輸送需要} \times \text{消費原単位-各種省エネルギー対策}$$

(鉄道、船舶、航空) (人km・t-km) (外生)

各輸送機関の輸送需要は、GDP、IIP、燃料価格等より回帰推計している。

3.1.4 電源構成モデル

電源構成と発電用燃料投入量を算定するためのモジュールである。総合エネルギー統計本表と同時系列表より、実績年の発電量と燃料投入量、それらから得られる発電効率を算定し将来推計の基準としている。化石燃料の自家発電量は総合エネルギー統計の数値をベースとしつつ、バイオマスと廃棄物は電力調査統計の自家発電半期報の発電量を用いている。

表3-2 火力発電の将来の想定方法

事業用発電 (化石燃料)	燃料種別発電量=燃料投入量×発電効率 発電効率は長期エネルギー需給見通し公表時の改善を見込む
事業用発電 (バイオマス)	燃料投入量=燃料種別発電量/発電効率 発電量は長期エネルギー需給見通しのバイオマス・廃棄物 発電効率は足元から一定
事業用発電 (廃棄物)	燃料投入量=燃料種別発電量/発電効率 発電量、発電効率ともに足元から横置き
自家用発電	燃料種別発電量=燃料投入量×発電効率 発電効率は足元から一定として推計。ただし、コージェネレーションについては効率を別に設定する。 足元の発電効率は総合エネルギー統計の燃料投入量と時系列表(電源構成)の発電量から推計。総合エネルギー統計と時系列表(電源構成)の差分をその他とする。

見通し作成において、石炭、石油、原子力、再生可能エネルギーの発電量は、特定年における技術ポテンシャル、導入量見通し、その他想定のもと外生的に値を設定し、残りを事業用発電のLNG火力として算定するようモデル化している。

なお、総合エネルギー統計時系列表と本表では電源の区分は微妙に異なっており、本分析では時系列表に従う。例えば「石油等」火力は、総合エネルギー統計における未活用エネルギーを含む。

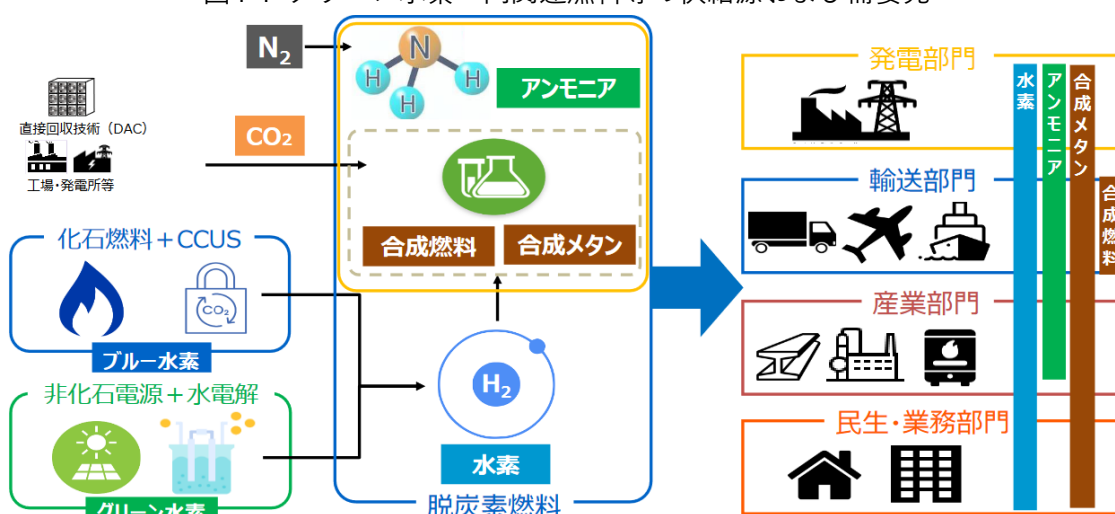
3.1.5 モデルの更新

新たなデータを追加したことあるいは世の情勢が変化していることなどを反映すべく、モデル式の再推計や構造の改善を施した。ただし、モデル全体としての骨格は維持している。

第4章 総合エネルギー統計作成のための調査・検討

水素は直接的に電力分野の脱炭素化に貢献するだけでなく、余剰電力を水素に変換し、貯蔵・利用することで、再生可能エネルギー等のゼロエミッション電源のポテンシャルをより活用することも可能とする。加えて、電化による脱炭素化が困難な産業部門(原料利用、高温熱需要)等の脱炭素化にも貢献する。また、化石燃料をクリーンな形で有効活用することも可能とする。なお、水素から製造されるアンモニアや合成燃料等も、その特性に合わせた活用が見込まれる。これら水素および水素から製造されるアンモニアや合成燃料について、総合エネルギー統計への組み込み方を検討した。

図4-1 クリーン水素・同関連燃料等の供給源および需要先



出所: GX実現に向けた専門家ワーキンググループ 第4回 資料(2023年11月16日)

4.1 わが国の炭素集約度別水素にかかる統計整備の対応案

炭素集約度別水素の国内動態を統計で把握するためには、①既存統計の改訂・組み合わせ、②新しい一次統計作成の2つの対応案がある。それらのメリット、デメリットは表4-1のとおりである。それぞれのデメリットを補うために①と②を組み合わせる必要がある。

表4-1 わが国の炭素集約度別水素にかかる統計整備の対応案とメリット、デメリット

①既存統計の改訂・組み合わせ		②新しい一次統計作成
メリット	事業者の負担も比較的少ない	総合エネルギー統計や政策目標等目的や供給事業者に合った項目を作成して把握できる (ex. 非エネルギー用途も含めた炭素集約度、販売先)
デメリット	エネルギー用途のみ、あるいは炭素集約度の把握が難しい 水素、合成燃料、アンモニアの供給者は多岐の業種にわたるため、複数の一次統計で供給を把握するため網羅が困難 (ex. 輸入して販売する可能性等)	統計回答対象者の選定が困難になる可能性 既存の統計と組み合わせないとエネルギー用途か非エネルギー用途か分からない可能性が高い
他統計との兼ね合い	総合エネルギー統計では供給側で全用途、需要側で網羅的にエネルギー用途を調査し、需給の差分を非エネルギー用途とすることは可能	総合エネルギー統計やIEAの質問票に対応した一次統計ができれば、そのまま適用可能。需給ギャップは分類不能に計上する等で全体像が把握可能

4.2 一次統計による水素の把握の現状

現状の一次統計では、生産動態統計調査の中の高圧ガス月報、化学肥料・石灰及びソーダ工業製品月報が水素およびアンモニアの生産量を調査し、貿易統計が水素やアンモニア、メタノールの輸出入を調査している。ただし、これらの統計だけで炭素集約度別水素の国内動態を統計で把握するには課題がある：

- これらの統計では販売先は明示されていない
- 水素はキャリアも複数あることに加え、エネルギー用途のみの抽出ができない
- 水素の製造元や炭素集約度に応じた集計になっていない
- 高圧ガス月報、化学肥料・石灰及びソーダ工業製品月報では一部の生産者は対象に入っていない可能性がある
- 液体合成燃料は貿易統計で独立して集計されておらず、生産量や在庫も把握する方法がない

これらの課題から、水素の国内動態は基幹統計を含めた既存統計の改訂、新しい一次統計の作成なしに把握できない。

4.3 炭素集約度別水素の把握に関連する既存の一次統計

液化水素・気体水素、液体合成燃料(e-fuel)、合成メタン、アンモニアについて炭素集約度別に国内動態を把握するために、必要な調査内容と関連する主要な既存統計を表4-2に示す。これらの統計の現行の枠組みでは、水素等の国内動態把握に必要な情報を完全には網羅できないため、調査項目追加等の改訂が必要となる。

表4-2 炭素集約度別水素の把握に関連する必要な調査内容と主要な既存統計

	必要な調査内容	関連統計
一次供給	水素等輸出入量	貿易統計
転換	水素等製造	石油等消費動態統計
	石油精製、石油化学、事業用発電用、自家用発電用、自家用蒸気用水素等消費量	資源・エネルギー統計 エネルギー消費統計 発電月報など
	産業、業務他、運輸、家庭水素等消費量	石油等消費動態統計 エネルギー消費統計 自動車燃料消費統計 ガス事業生産動態統計など
最終消費		

4.4 炭素集約度別水素を把握するための新たな一次統計作成への手 がかり

水素を炭素集約度別に把握するためには新しい一次統計が必要となる。参考になりうる統計としては発電月報や石油製品需給動態統計が挙げられる。例えば、原油や石油製品の生産量や輸出入量、販売量を把握している石油製品需給動態統計は、根拠法令は石油製品需給動態統計調査規則(経済産業省) (平成二十年経済産業省令第七号)に基づき実施すると明確である。さらに、対象は「石油製品の製造業者、輸入業者若しくは特定石油販売業者又は原油受入業者に属する事業所であって、石油製品を輸入若しくは販売するもの又は輸入された原油若しくは国内で生産された原油を直接受け入れるもの」としており、母集団名簿が石油の備蓄の確保等に関する法律(経済産業省) (昭和五十年法律第九十六号)に基づき、登録、届出を行ったものの名簿と明確である。

水素も根拠法令や母集団名簿を得られる法令があれば、同様の形式で集計し、水素の炭素集約度を一次統計で把握可能になる。ただし、販売先までは分かっても、エネルギー用途か非エネルギー用途か分からないという課題は残る。

4.5 総合エネルギー統計における計上方法の検討

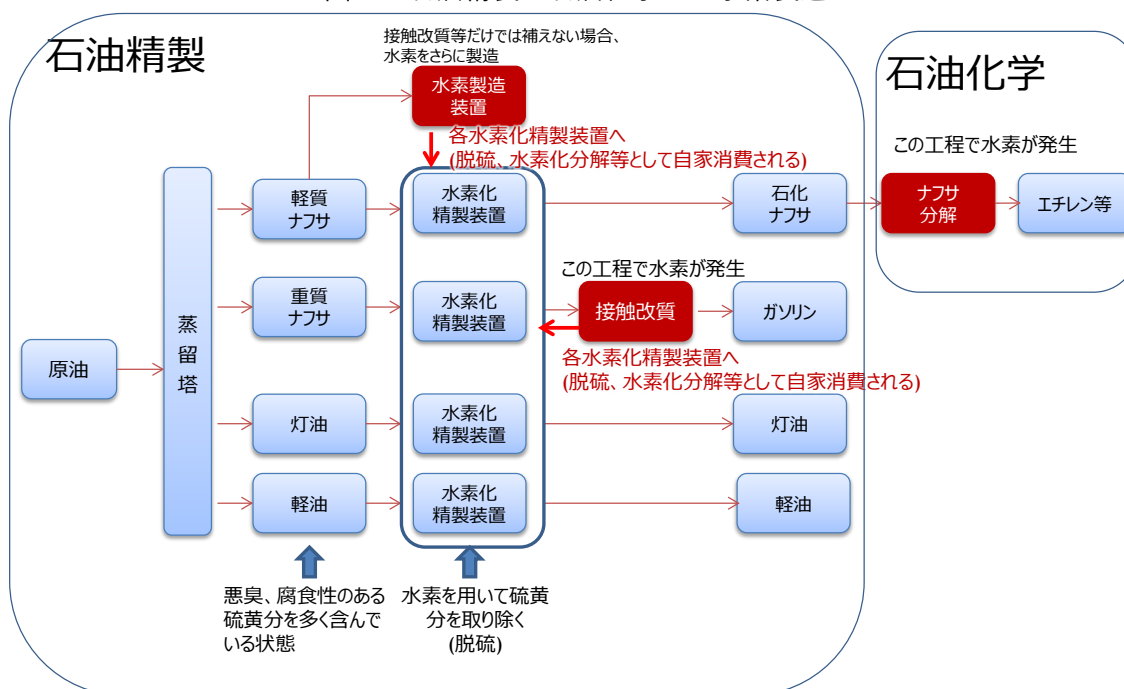
ここでは、現在および今後想定される国内の水素の生産と消費プロセスについて総合エネルギー統計における計上方法を検討する。

4.5.1 水素等の製造・発生・消費プロセス

石油精製・石油化学での水素製造

現状、石油精製、石油化学のプロセスでは、水素は水素製造装置を通じて製造され、プロセス内の接触改質やナフサ分解で自家消費されている(図4-2)。

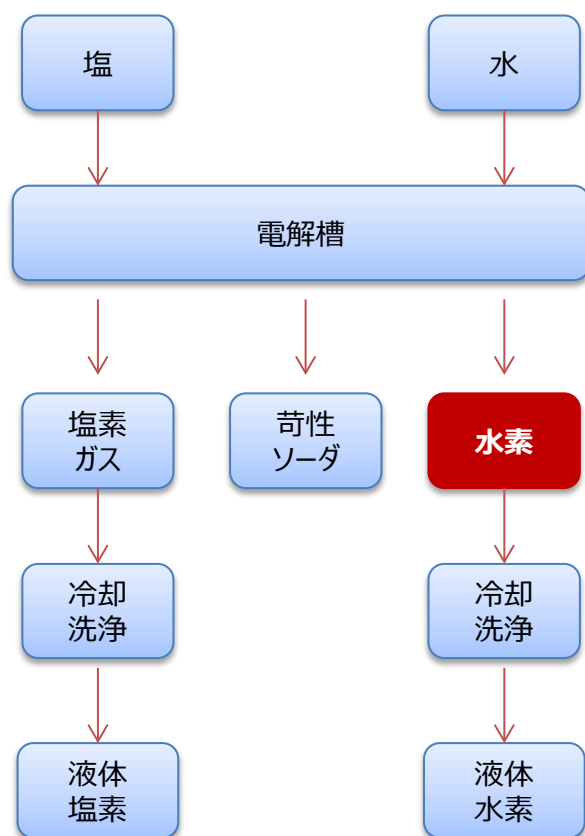
図4-2 石油精製・石油化学での水素製造



電気分解での水素製造

現在、苛性ソーダの製造プロセスでは、電気分解によって水素を製造しており、外販している(図4-3)。

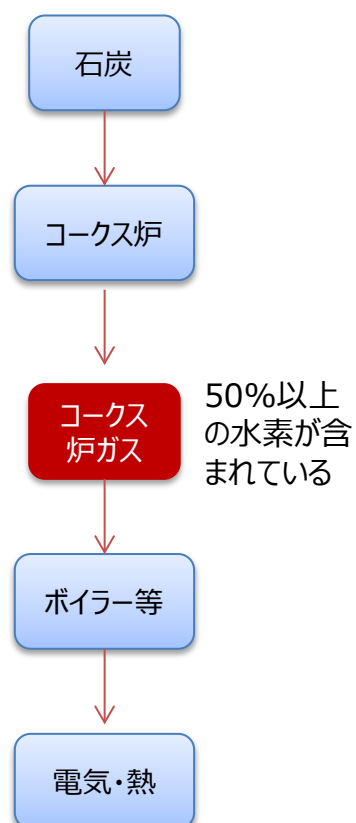
図4-3 電気分解での水素製造プロセス



コークス製造での水素製造

現状、コークス製造のプロセスで水素が発生しており、コークス炉ガスの一部として自家消費等されている(図4-4)。

図4-4 コークス製造での水素製造プロセス



その他の水素製造

現状、多くの水素が化石燃料を水蒸気改質して製造されている。

新たな水素製造手段として、原子力発電(高温ガス炉)の排熱を用いる方法が期待されている。

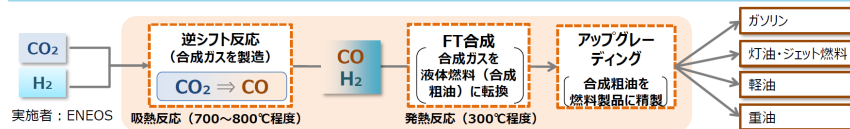
合成燃料製造

液体合成燃料製造には、国内ではフィッシャー・トロプシュ(Fischer Tropsch, FT)合成プロセスが期待されている(図4-5)。

図4-5 予定されている国内の液体合成燃料の製造プロセス

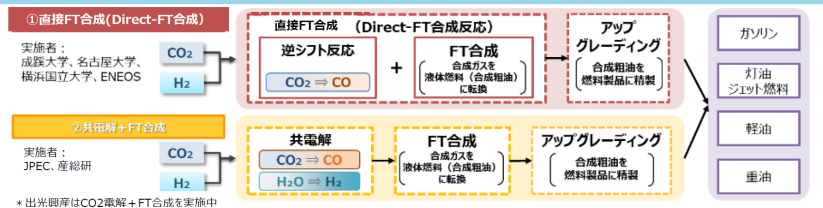
高効率な大規模FT合成プロセス（GI基金事業）

- GI基金事業において、FT合成プロセスによる高効率かつ大規模な合成燃料製造技術を開発中で、当該事業のアウトカムとして、**現状2040年までの商用化を目指す**こととしている。
- **GI基金事業についての支援の拡充を通じて、商用化時期の前倒し（2040年→2030年代前半）を検討。**



次世代FT合成プロセス（NEDO交付金事業）

- NEDO交付金プロジェクトにおいて、合成燃料の製造効率を高めて低コスト化を実現するため、**新たな合成技術（①直接FT合成（Direct-FT合成）、②共電解+FT合成等）の開発**を実施。



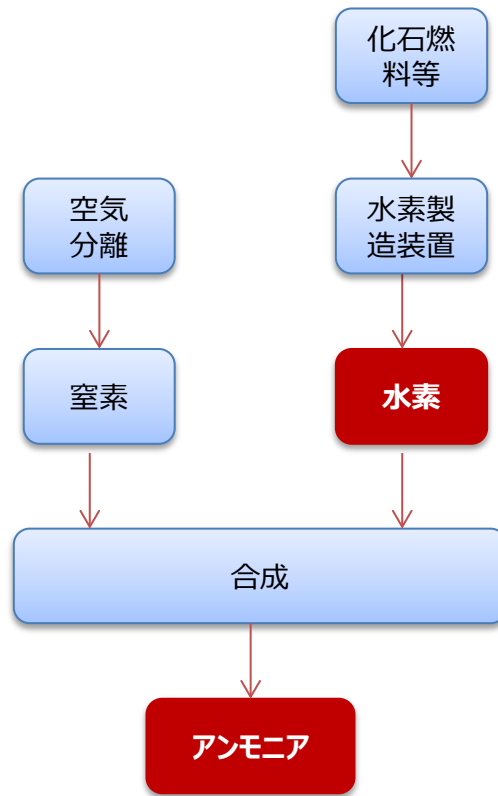
出所:合成燃料(e-fuel)の導入促進に向けた官民協議会 2023中間とりまとめ (2023年6月30日)

今後、気体合成燃料は水素(水素として調達したもの、系統電力あるいはオンサイト再生可能電力による水電気分解で製造したものなど)と二酸化炭素から製造することになる。

アンモニア製造

現状、アンモニアは空気から分離した窒素と水蒸気改質等で製造した水素とを合成するハーバー・ボッシュ(Haber-Bosch, HB)法で製造され、肥料用等に消費されている(図4-6)。

図4-6 アンモニア製造プロセス



第5章 エネルギー・環境関連の統計データ収集・分析・整理・翻訳支援

5.1 RTE「Energy Pathways to 2050」の調査

5.1.1 概要

フランス政府がNDC策定に活用しているとされるRéseau de Transport d'Electricité (RTE)「Energy Pathways to 2050」に関し、その中で示された原子力活用に関する6つのシナリオの整理を実施。

5.1.2 結果

「Energy Pathways to 2050」自体の内容報告に加え、フランス政府の動きと整合的かどうかの確認などの追加質問への回答を実施。詳細は、表5-1のとおり。

表5-1「Energy Pathways to 2050」報告への質問回答

Q 本レポートの位置づけ、取りまとめに至るまでの議論の経緯、分析結果の活用について

A 本報告書の作成は2つのフェーズに分かれており、第一段階で研究のスコープやシナリオの中身について議論・決定し、第二段階でそれを踏まえた分析・報告をしている(原典4-5p)。本報告書は第二段階の結果をとりまとめたもの。

https://assets.rte-france.com/prod/public/2022-01/Energy%20pathways%202050_Key%20results.pdf

本研究の第一段階はRTEとIEAが共同で事務局となり、関係各所(エネルギー企業、NGO、団体、シンクタンクや研究機関、規制当局や政府機関など)を交えたいくつものWGで議論の後シナリオを作成し、そのシナリオに関してパブリックコンサルテーションを実施。

(参考: IEAのプレス資料)

https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-01/CP_rapport_RTE_AIE_rapport%20ENR%20horizon%202050_EN.pdf

なお、上記資料にてフランスの環境連帯移行省(French Ministry for the Ecological Transition)から、本件をRTEとIEAが共同研究として委託された旨も明記されている。

加えて、原典11pにて本報告書はフランスの低炭素戦略(National Low-Carbon Strategy-NLCS (Stratégie nationale bas-carbone – SNBC))をベースに作成したとの記載もあり、フランスの国家戦略と整合的な報告書であると読み取れる。

※National Low-Carbon Strategy-NLCSは、パリ協定に基づいて各国が5年毎に進捗状況を報告するもの。本報告書では、当時時点で最新版の2020年度のものを活用している。

また、本報告書の分析を踏まえた具体的な政策実行の事例が確認される。

<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20220823.php>

以下一部抜粋

～その1つは国内の送電事業者であるRTE(Réseau de Transport d'Électricité)が、2050年および以降のカーボンニュートラルに向けた電力システムの長期見通しを「Energy Futures 2050」と題するレポートで発表した。この中で重要な分析結果として、2060年のフランスの電力システムにおいて需要を基準シナリオ(中央シナリオ)で想定した場合には、原子力50%と自然エネルギー50%の電源構成で電力を供給することが最もコスト効率が良かった。この電源構成では、原子炉の運転期間の延長に加えて、14基の大型原子炉と数基の小型モジュラー炉の建設を前提にしている。マクロン大統領が発表した計画は同様の内容で、RTEのレポートを参考にしたことは明らかである。～

Q 本分析における7つの電力需要シナリオの概要や考え方等について

A ○Baseline: 2050年時点の需要645TWh

電化と省エネが継続する中、経済成長も続くシナリオ。景気刺激や水素、産業向けの政策が有効に働き、産業も拡大を続けるシナリオ。

○Sufficiency:2050年時点の需要555TWh

シェアリングエコノミーなどの進展によるライフスタイルの変革により、エネルギー消費が全体で減少するシナリオ。

○Extensive reindustrialization : 2050年時点の需要752TWh

製造業のGDP に占めるシェアが急激に回復し、2050年時点でGDPの12～13%を占めるシナリオ。

○Rapid electrification:2050年時点の需要700TWh

より急速に電化が進展していくシナリオ。運輸部門や家庭の暖房用などで顕著に進行する。

○Less electrification:2050年時点の需要578TWh

電化の進展が進まないシナリオ。産業や運輸、家庭などの暖房で電化の競争力がなく、進展が緩やかになる。

○Less energy efficiency:2050年時点の需要 714TWh

現在予想される電気機器のエネルギー効率の向上が実現しなかったり、それ以上の消費が発生したりすることを仮定したシナリオ。

○Hydrogen:2050年時点の需要 754TWh

水素製造が加速し、最終需要に組み込まれるシナリオ。運輸用のバイオマスの代替としてや電化困難な産業分野で水素が活用される。

(各シナリオにおいてデジタル化等への具体的な言及はない。)

二次利用未承諾リスト

頁	図表番号	タイトル
2	図1-1	米国脱炭素長期戦略(一部抜粋)
4	図1-2	2040年におけるシナリオ別の一次エネルギー供給・最終エネルギー消費の見通し
5	表1-1	シナリオ別の主要検討項目