

# 運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に 関する研究

運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に  
関する研究プロジェクト

2022年10月

公益社団法人日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究  
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印  
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズは A より E に至る 5 つの系列に分かれる。  
シリーズ A は、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。  
シリーズ B は、シリーズ A に対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、折  
にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によってと  
りまとめたものを収める。  
シリーズ C は、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。  
シリーズ D は、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査  
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。  
シリーズ E は、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和 2 年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆  
同 原 田 昇

令和 2 年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番  
号を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4 階

公益社団法人日本交通政策研究会

電話 (03) 3263-1945 (代表)

Fax (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-843

令和3年度共同研究プロジェクト

「運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に関する研究」

刊行：2022年10月

## 運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に関する研究

### Urban Carbon Neutralization Including Transport Sector

主査：室町泰徳（東京工業大学）

Yasunori Muromachi

#### 要 旨

日本を含む先進国の多くは約30年後の2050年にカーボンニュートラルとすることを公約としている。運輸部門においても同等の内容を求められることは確実であり、先進国の一部では2030年前後に乗用車等の電動化を図る目標を掲げ、長期的な交通政策を進めている。本研究では、このような背景を踏まえ、運輸部門とエネルギー部門や建物部門などとの部門間連携を考慮しながら、運輸部門を含む都市のゼロエミッション化の可能性とこれを実現するための交通政策に関する検討を行うことを目的としている。

報告書をまとめるにあたり、3編の研究内容を収めることとした。第1章は、加藤純大氏と主査による「業務中心都市のゼロエミッション化に関する研究」である。本章では、都市内（運輸・家庭・業務）エネルギー需要に対して、太陽光発電などの再生可能エネルギーやコージェネレーション（コジェネ）によるエネルギー供給モデルを用いて、業務中心都市である東京都中央区、および比較対象として茨城県つくば市を選定し、運輸部門を含む都市のゼロエミッション化を図るための施策を検討した。費用最小化モデルの分析結果より、EVの蓄電池は主に昼間は太陽光発電による電力の充電、夕方から夜間は放電するパターンが確認できた。昼間の充電パターンは家庭のみならず業務地でもみられ、その傾向は車利用の多いつくば市で顕著であった。また、グリーン水素を想定したコジェネは、燃料価格が低下すれば常時稼働となることも確認できた。

第2章は、主査による「交通が健康に与える影響に関する評価手法の展開」である。本章では、交通と健康分野に関する最近の研究動向をレビューし、健康便益を含む費用便益分析の展開、医療費をエンドポイントとする点の限界などについて検討した。特に、英国における費用便益分析の具体例を紹介している。

第3章は、海外のゼロエミッション化の動向として、「IEA Energy Policies of IEA Countries France 2021 Review」の運輸部門に関連する部分の抄訳を示している。フランスにおけるモビリティ戦略とモビリティオリエンテーションに関する2019年法による2040年乗用車新車販売のゼロエミッション車義務付け、ボーナス/マルスシステムや転換ボーナスによるEVとPHEVへの切り替えサポート、グリーン予算アプローチの実施、などの政策がレビューされている。

いずれの内容も、運輸部門を含む都市のゼロエミッション化を図る上で重要な示唆を与えており、今後の運輸部門や都市部門における気候変動対策の推進に際し貴重な知見を与えるものとなっている。

キーワード：気候変動、CO<sub>2</sub>、EV、太陽光発電、コージェネレーション、駐車場

Keywords：Climate Change, CO<sub>2</sub>, EV, Photovoltaic Power Generation, Cogeneration, Parking



# 目 次

第1章 業務中心都市のゼロエミッション化に関する研究（加藤純大・室町泰徳）	1
1. はじめに	1
2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ	2
3. 分析フロー	4
4. 都市のゼロエミッション化の分析	10
5. 分析結果と考察	16
6. 結論と今後の課題	23
第2章 交通が健康に与える影響に関する評価手法の展開（室町泰徳）	25
1. はじめに	25
2. WHOにおける健康便益評価マニュアル	26
3. 英国における健康便益評価ガイダンス	26
4. 健康便益評価の実践例と課題	30
5. 終わりに	32
第3章 IEA Energy Policies of IEA Countries France 2021 Review の抄訳（室町泰徳）	34
はじめに	34
1. 要約	34
2. エネルギー政策一般	37
3. 気候変動	45
4. エネルギー効率	51
5. 再生可能エネルギー	56
6. エネルギー技術研究、開発、デモンストレーション（以下、省略）	58

#### 研究メンバー（敬称略・順不同）

太田 勝敏	東京大学名誉教授
杉山 雅洋	早稲田大学名誉教授
香川 勉	交通評論家
兵藤 哲朗	東京海洋大学海洋工学部教授
室町 泰徳	東京工業大学環境社会理工学院・准教授（主査、1、2、3 章）
大須賀竜治	一般社団法人日本自動車工業会安全・環境領域部長
永田 豊	一般財団法人電力中央研究所社会経済研究所
松橋 啓介	独立行政法人国立環境研究所社会システム領域地域計画研究室長
古屋 秀樹	東洋大学国際地域学部教授
大口 敬	東京大学生産技術研究所教授
小根山裕之	東京都立大学都市環境学部教授
鈴木 崇正	公益財団法人鉄道総合技術研究所信号・情報技術研究部副主任研究員

執筆協力

加藤 純大	東京工業大学大学院（1 章）
-------	----------------

2022 年 3 月現在

# 第1章 業務中心都市のゼロエミッション化に関する研究 (加藤純大・室町泰徳)

## 1. はじめに

2016年に京都議定書以来の気候変動に関する国際的な枠組みとしてパリ協定が発効した。これにより世界は、今後の気温上昇を2℃よりも十分低く保持し、これを1.5℃に抑えるための努力に取り組むこととなった。日本では2030年までに2013年度比-26%の温室効果ガスの削減目標を掲げ、民生部門（業務、家庭からなる）では約4割のエネルギー起源CO<sub>2</sub>の排出量削減を目標とした<sup>1)</sup>。その後の2020年には2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする脱炭素社会の実現を目指すことを宣言した<sup>2)</sup>。加えて、2021年の気候サミット<sup>3)</sup>では上記のパリ協定発効時に設定した目標を上回る2013年度比-46%の温室効果ガス削減目標を設定している。

こうした、脱炭素化を目指す社会に対して、日本のエネルギー消費実態として、その半分を運輸部門と業務・家庭からなる民生部門が占めている<sup>3)</sup>。また、2019年度の運輸・民生部門におけるエネルギー消費量は1973年度比で運輸部門が1.7倍、家庭部門が1.8倍、業務部門が2.1倍といったように、ほぼ増加の一途をたどっている。特に、その需要の多くを事業用電源から賄っている業務部門の増加率は非常に高く、エネルギー消費量の削減が喫緊の課題である。

国は建築物の省エネルギー性能を高めることによって上記の課題を解決すべく、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律<sup>4)</sup>を施行した。これによって住宅・非住宅に関わらず、一定規模以上の建築物は定められた基準を達成しない限り、その新築や改築が認められなくなった。また、東京都では温室効果ガスの総排出量を定め、個々の事業所に排出枠として配分し、事業所間での排出枠の移転（または獲得）を認める制度として総量削減義務<sup>5)</sup>を施行し、これを都内の大規模事業所に対して課している。2010年に始まったこの制度は5年毎にその計画期間を定めている。2021年現在では第三計画期間に移行しており、過去の温室効果ガス排出量実績を基準とした基準排出量に対して25~27%の削減を各事業所に求めている。

このように建物の消費エネルギー量の削減を目指す社会において、建物に付帯する機能としてそのエネルギー消費量を減らし、加えてエネルギーを生み出す（創エネ）建築物であるネット・ゼロ・エネルギービル（ZEB）<sup>6)</sup>が近年、注目を集めている。ZEBはその省エネルギ

一性能によって種類が細分化されており、創エネの寄与が小さく、そのエネルギー削減率が100%に満たない Nearly ZEB や ZEB Ready の普及率は年々増加傾向にある。しかしながら、再生可能エネルギー等による創エネを十分に活用することでエネルギー削減率が100%以上とする ZEB の普及率は低く、ZEB ロードマップフォローアップ委員会のとりまとめ<sup>7)</sup>によれば、2019 年度における ZEB の普及率は延べ床面積 10,000 m<sup>2</sup>以上の大規模建築物において 0% となっている。年間の新着工建築物をエネルギー消費ベースの割合でみたとき、大規模建築物は 36%を占めていることから、その ZEB 化が強く求められているのに対し、この普及率の低さは無視できない。

ZEB の普及のためには再生可能エネルギーの利用が必要不可欠である。資源エネルギー庁が公表しているエネルギー基本計画<sup>8)</sup>では、2030 年度の日本の電源構成のうち約 4 割を再生可能エネルギーが担うことを目標としているように、今後再生可能エネルギーが大量導入されることが予想される。その一方で、再生可能エネルギーが持つ問題について無視することもできない。代表的な再生可能エネルギーである太陽光発電（PV）は天候による影響を大きく受けるため、変動性が大きく単体で稼働した場合、電力需給にミスマッチが生じてしまう。このような PV の問題点を補填する技術として、蓄電池システムやコージェネレーションシステム（コジェネ）がある。蓄電池システムに関しては定置用の蓄電池に加え、近年では電気自動車（EV）のバッテリーを系統に接続して利用する Vehicle-to-Grid（V2G）が注目されており、様々な実証事業が行われている。また、個別分散型電源であるコジェネは、バイオマス燃料や水素を燃料として用いることで、カーボンフリー電力を系統とは別の電力源として利用することが可能であり、PV の変動性を抑制することも可能である。

このような背景から本研究では、再生可能エネルギーや EV が大量導入された将来を想定し、大規模な業務ビルが多く集約する東京都区部の“業務中心都市”のゼロエミッション化について検討する。

## 2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

再生可能エネルギーや蓄電池システムを都市や建築物に対して導入することを検討する際に数多く議論されるのが、それらの最適設備導入容量と導入効果についてである。矢野ら<sup>9)</sup>は再生可能エネルギーや蓄電池システムを備える自律分散型スマートグリッドに関して既存電力システムの運用コストと同等の経済性で運用する“グリッドパリティ”の実現性について評価した。グリッドパリティの達成に必要な太陽光パネルと蓄電池の設備単価を分析した結果、2020 年当時の両設備単価ではその達成が不可能であることを示した。瀬川ら<sup>10)</sup>は需給



のミスマッチによる PV 余剰電力を貯蔵する蓄電設備の役割を明らかにするために、蓄電システム導入コストと買電コストからなるエネルギーコスト (EC) を目的関数に線形計画問題を解いた。その結果、蓄電システムの導入価格の低下に伴い、EC 最小化に寄与する蓄電システムによる電力ピークカットが選択されることが分かった。また、ZEB 達成率が 90%を超えた場合、必要となる蓄電システムの容量が膨大になり、EC の値が ZEB 達成率の増加に伴い急激に増大することを明らかにした。

Kobashi et al.<sup>11)</sup>は、2030 年において、PV と EV を住宅に接続する V2H を活用したシステムの技術経済分析を行った。これによって PV+蓄電池システムに経済的メリットがないことや、PV+EV システムが最も経済的メリットが大きく、このような技術の組み合わせが再生可能エネルギーの普及を促進する可能性を示唆している。また、Kobashi et al.<sup>12)</sup>は、さらに、PV と EV を組み合わせることで PV による電力需要の緩和と CO<sub>2</sub>フリーの運輸を可能とする点に着目し、PV+EV システムを日本の 9 都市について当てはめ、その技術経済分析を行っている。PV のみと PV+EV の 2 つのパターンで 2030 年における技術経済分析を行った結果として、最大で都市の 95%の電力を賄い、95%の CO<sub>2</sub>排出量を削減できることを明らかにしている。

ZEB の導入に関して着目した須永ら<sup>13)</sup>は北海道都心部において今後予想される建物更新における ZEB の導入と面的エネルギーの導入が環境性・防災性の観点でどのような効果を発揮するのかを評価している。将来の CO<sub>2</sub>排出量を推計した結果、新築、既存共に ZEB 化を進めるとしても 2030 年度には現況比で 87%と都心エネルギーマスタープラン水準には届かないことを明らかにしており、ZEB のみの運用ではなくバイオマスやコジェネからなる面的エネルギーへ接続することがその達成に必要であると述べている。

これらの研究では、EV、PV、定置用蓄電システム、コジェネといった技術を包括的に都市に導入した場合を対象にしていない。また、東京都心といったような大規模な業務ビルが集中する都市を対象にゼロエミッション化の可能性を検討する研究はあまり見られない。そこで、本研究では EV、PV、定置用蓄電システム、コジェネ等の技術を包括的に利用し、東京都区部でも特に業務部門の建築物が集約する業務中心都市に関してそのゼロエミッション化の可能性を検討する。具体的には、東京都中央区を対象に 1 年間の電力需要を PV 発電量とコジェネ発電量、および EV と定置用蓄電池からなる蓄電池システムの充放電で賄う。すなわち、都市をゼロエミッション化するために必要な設備の導入費用と、それを 25 年間運用するための費用を目的関数とした費用最小化問題として定式化し、それら設備の最適な導入容量について推計した。また、比較対象として先行的に行った茨城県つくば市を対象とした分析結果も適宜示す。

### 3. 分析フロー

#### 3.1 分析フローの概要

本章における分析フローは大きく入力データの推計とゼロエミッション化の分析の2つのパートに分けられる。入力データとしては、EVのトリップデータ、業務・家庭両部門の電力需要、PV、コジェネによる発電量を用いている。これらの入力データをもとに、都市のゼロエミッション化の分析をシステムの導入・運用費に関する25年間の費用最小化問題として定式化することで行っている。

#### 3.2 EVトリップデータの抽出

平成17年度の道路交通センサスオーナーインタビュー調査<sup>14)</sup>より、本研究にて運用を行うEVとして転用可能な車両を抽出している。抽出の際に対象とする車種は軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車とし、各車種でEVとして転用した場合の電費とバッテリー容量、航続距離を設定している(表1)。道路交通センサスにおいて実際の走行距離が各車種の航続距離よりも小さい車両をEVに転用できる車両として抽出した。また、本研究ではEVを電力網へと接続することのできる充電ステーションが任意の駐車場に整備されているものと想定し、対象地としている都市内に駐車されているときに車両はその充放電が可能であると仮定している。なお、この充電ステーションの整備運用費用については本研究では考慮していない。図1には、東京都中央区と茨城県つくば市において抽出された車両トリップ分布を示す。

表1 EV車両の車種別設定値

車種	電費	バッテリー容量	航続距離
	[km/kWh]	[kWh]	[km]
軽乗用車	9.00	15.0	135
乗用車	7.00	60.0	420
軽貨物車	8.00	15.0	120
小型貨物車	5.00	40.0	200

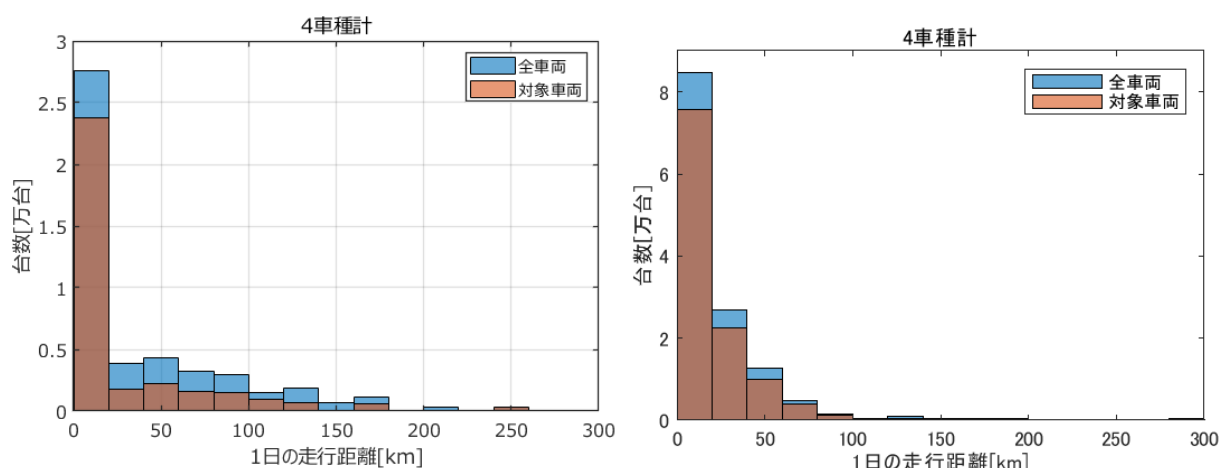


図1 抽出された車両トリップ分布（左：東京都中央区、右：茨城県つくば市）

### 3.3 電力需要の推計

業務・家庭の両部門について電力需要の推計を行い、これらの合計値を都市の電力需要として取り扱っている。電力需要の推計は需要家分布と単位面積あたりの電力消費パターンを組み合わせることによって行っている。

業務部門の需要家分布は経済センサス基礎調査の都道府県別総従業員数<sup>15)</sup>と法人建物調査の都道府県別総延床面積<sup>16)</sup>より産業別の従業員一人当たり延床面積を算出し、これと経済センサス基礎調査の産業別従業員数<sup>17)</sup>から推計した。単位面積あたりの電力消費パターンは平成23年度エネルギー管理システム導入促進事業費補助金（BEMS）において計測された事業所の時刻別電力消費量データ<sup>18)</sup>を用いた。このデータは、エネルギー管理システム促進事業費補助金（BEMS）において、対象となった日本全国の中小ビル等の電力需要家において計測された1時間毎のデータである。本データに含まれる内容として、事業所の所在地、業種、延床面積、竣工年、建築区分、各種燃料や用途別のエネルギー使用量等のデータがある。本推計においては業種別の総電力使用量のデータを用いている。これらのデータのうち、他データの利用可能性等を考慮して、対象地域を関東とし、2014年度の計測データを用いて産業分類別の平均的な電力消費パターンを作成した。

家庭部門の需要家分布は国勢調査の建て方別世帯数<sup>19)</sup>と住宅・土地統計の建て方別平均延べ床面積<sup>20)</sup>を用いて推計した。電力需要パターンについては、HEMS（Home Energy Management System）が導入されたGfK社のモニター世帯で計測された、住居の30分毎の電力消費量計測データを用いて推計した。このデータには建物全体・各家電の電力消費量、PV発電量、売電量の計測データ、家電のメーカー型番、所在地、形態、築年、構造、電力契約等の住居属性、世帯人数や性別、生年、職業等の世帯属性の情報が含まれている。本研究では、建物全体の電力消費量を使用し、対象とした世帯は東京都市圏に所在する2014年度に計

測された世帯としている。他データとの整合性を取るために 30 分ごとの計測データを 1 時間毎に変換し、これから平均的な住宅の単位面積当たり電力消費パターンを作成した。図 2 には、東京都中央区と茨城県つくば市における電力消費パターン推計結果の例を示す。

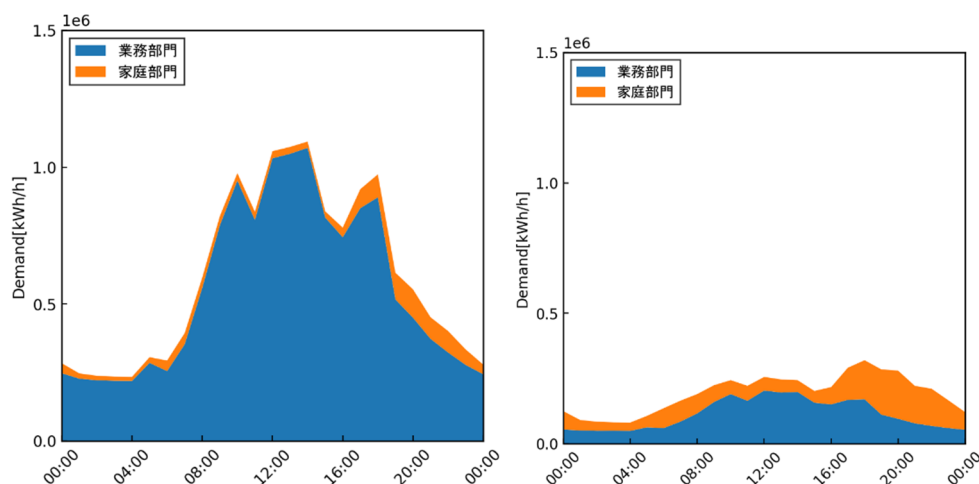


図 2 電力消費パターン推計結果の例（左：東京都中央区、右：茨城県つくば市）

### 3.4 PV 発電量の推計

PV 発電量は複数の段階に分けて推定を行う。まず、アメダスデータから 1 時間毎の日照時間、降水量データを取得する。本研究では東京都心から半径 100km 以内に存在するアメダス観測点（離島を除く）からデータを取得し、これをもとに板垣<sup>21)</sup>の手法を用いて以下のように全天日射量  $I_G$  を計算した。

$$I_G = K_t \cdot I_0 \quad (1)$$

ここで、 $K_t$ ：晴天指数

晴天指数は日照時間  $n$ 、エアマス  $m$ 、降水量によって場合分けして求められる値である。

・日照時

$m < 4$  のとき、

$$K_t = 0.353 - 0.0189m + (0.441 - 0.447m)(n - 0.1) \quad (2)$$

$m \geq 4$  のとき、

$$K_t = 0.277 + 0.263(n - 0.1) \quad (3)$$

- ・ 不日照時
- ・ 無降水時
- $m < 3.5$  のとき、

$$K_t = 0.223 - 0.0155m \quad (4)$$

- $m \geq 3.5$  のとき、

$$K_t = 0.169 \quad (5)$$

- ・ 降水時、

$$K_t = 0.100 - 0.006m \quad (6)$$

また、9～15 時の不日照時で前後の 1 時間が共に日照ありの場合は、式(7)のように修正する。

$$I_G = 1.47 \cdot K_t \cdot I_0 \quad (7)$$

PV パネルは傾斜を持たせて設置するため、斜面日射量を推定する必要がある。斜面日射量は太陽から斜面に直接入射する直達成分と、天空で散乱した日射による散乱成分、地表面等で反射した日射による反射成分に分けることができる。水平面全天日射量を直達成分と散乱成分に分ける直散分離を Erbs ら<sup>22)</sup>のモデルを用いて行えば、全天日射量の散乱成分  $I_d$  は以下のように表される。

- ・  $K_t \leq 0.22$  のとき、

$$I_d = (1.0 - 0.09K_t) \cdot I_G \quad (8)$$

- ・  $0.22 < K_t \leq 0.80$  のとき、

$$I_d = (0.9511 - 0.1604K_t + 4.388K_t^2 - 16.638K_t^3 + 12.336K_t^4) \cdot I_G \quad (9)$$

・  $K_t > 0.80$  のとき、

$$I_d = 0.165 I_G \quad (10)$$

また、ここから直達成分  $I_b$  は、

$$I_b = I_G - I_d \quad (11)$$

と計算できる。次に、これらの値から斜面日射量を構成する三成分を計算する。

・ 斜面日射量の直達成分  $I_{T,b}$

直達成分は想定する斜面角度に対して角度変換を行うことで求めた。

$$I_{T,b} = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos Z} \quad (12)$$

ここで、 $\theta$  : 直達光の入射角、 $Z$  : 太陽天頂角

・ 斜面日射量の散乱成分  $I_{T,d}$

散乱成分は、実際の天空放射輝度を考慮することでその精度を高めている Perez ら<sup>23)</sup>の anisotropic モデルを用いた。

$$I_{T,d} = I_d \cdot \left\{ (1 - F_1) \cdot \frac{1 + \cos \theta}{2} + F_1 \cdot \frac{a}{b} + F_2 \cdot \sin \beta \right\} \quad (13)$$

$$a = \max(0, \cos \theta), b = \max(0.087, \cos Z) \quad (14)$$

ここで、

$F_1$  : 準直達日射係数,  $F_2$  : 地平線散乱日射係数

$\beta$  : PV パネル傾斜角 (=30° )

・ 斜面日射量の反射成分  $I_{T,r}$

斜面前面の地物で反射した後に完全拡散反射するものと仮定して、

$$I_{T,r} = I_G \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (15)$$

ここで、 $\rho$  : アルベド(=0.2)

以上から斜面日射量  $I_T$  は各成分の合成から、

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d} + I_{T,r} \quad (16)$$

とした。この斜面日射量から岸田ら<sup>24)</sup>による手法を参考にして、時刻  $t$  における PV 発電量  $E(t)$  を求めた。

$$E(t) = I_T(t) / G_S \cdot P_{AS} \cdot K_{pt}(t) \cdot K' \quad (17)$$

ここで、

$I_T(t)$  : 時刻  $t$  における斜面日射量

$G_S$  : 標準試験条件における日射強度 (=1.0) [kW/m<sup>2</sup>]

$P_{AS}$  : PV の定格出力[kW]

$K_{pt}(t)$  : 時刻  $t$  における温度補正係数

$K'$ : その他システム補正係数(=0.8)

上記の方法で 2014 年の単位容量当たりの PV 発電量を推計した (図 3)。

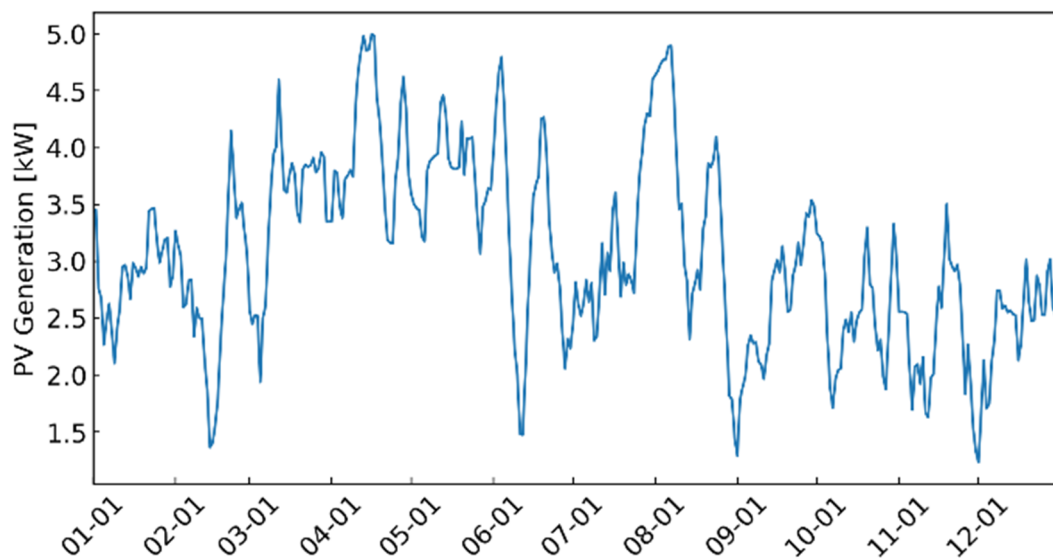


図3 単位容量当たりのPV発電量 (2014年)

この結果から分かるように、PVからの発電量は、秋から冬にかけて少なくなり、春から夏にかけて多くが見込める。特に、春季の4～5月には発電量が最も多くなる。日射量が最も多

いのは夏季ではあるが、PV の発電量には PV モジュールの温度が影響しており、これが高くなればなるほど、温度補正係数の影響によって、PV の発電効率は落ちてしまう。そのため、日射量を多く獲得することが出来る夏季に比べて、一定量の日射量と適切な気温である春季にその発電量が多くなっている。

### 3.5 コージェネ導入容量の推計

コージェネの導入容量に関しては PV のように変数として分析に導入するのではなく、事前に導入量を決定してから分析を行う。前提として、本研究では分析対象都市において現状、コージェネによって賄っている熱需要分の容量が導入されているものとし、推定する。

推定のために用いたデータとしては、熱供給便覧<sup>25)</sup>に記載されている市区町村別の熱供給事業実績が挙げられる。対象都市に対する熱供給事業の加熱能力の和を将来的なコージェネによる排熱回収量のポテンシャルとした。コージェネに搭載される発電機の定格出力  $P_e$  [kW] と排熱回収量  $P_h$  [kW] の関係は次式のように表現される。

$$P_h = \left( \frac{\eta_{cg}}{\eta_e} - 1 \right) P_e \quad (18)$$

ここで、 $\eta_{cg}$  : コージェネの総合効率 (=80%)、 $\eta_e$  : 発電効率 (=50%) である。コージェネの総合効率と発電効率については藤井ら<sup>26)</sup>による試算を参考に将来的な発電機の効率向上も考慮した上で値を設定した。上記の方法で推定した将来的な東京都中央区におけるコージェネの発電機導入容量は 109.8MW となった。

## 4. 都市のゼロエミッション化の分析

本研究における都市のゼロエミッション化とは、エネルギー需要を PV 等の技術を組み合わせることによって賄うことである。投入を考慮する技術は PV、EV による V2G、定置用蓄電池、コージェネである。また、これらに加え CO<sub>2</sub> フリーの電力の売買も許している。コージェネ、電力の購入、また、FIT による電力の売却に関しては複数のシナリオを想定し、これらの導入の有無によってシナリオを分けた。図 4 には都市のゼロエミッション化分析の全体の枠組みを示す。



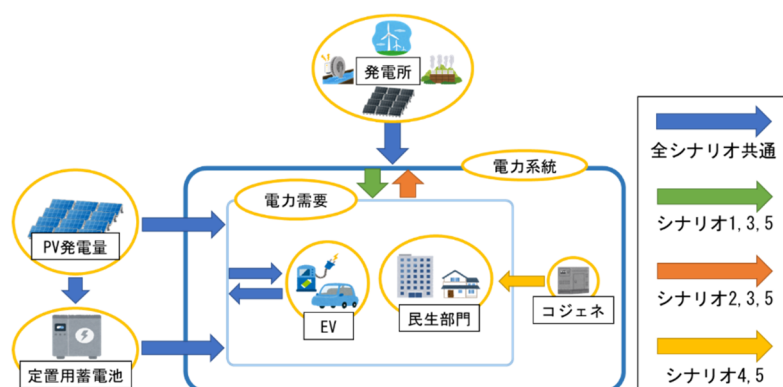


図4 都市のゼロエミッション化分析の枠組み

図中矢印は送電を示し、青い矢印は全シナリオで考慮される送電であり、これは PV から定置用蓄電池、中央区の需要家に対する送電、定置用蓄電池から需要家に対する送電、需要家内で行われる EV による充放電、発電所から電力系統に対する送電が含まれる。緑色の矢印は需要家による電力系統からの買電を示すもので、後述するシナリオ 1,3,5 にて考慮される。同様に橙色で示される矢印は需要家からの電力系統への売電を示すものであり、これはシナリオ 2,3,5 で想定する。黄色の矢印はコジェネからの需要家への送電を示すものであり、シナリオ 4,5 にて考慮される。なお、電力会社の発電所から送電を受ける場合、これらは再生可能エネルギーを用いて発電された CO<sub>2</sub> フリーの電力であるとし、これによりゼロエミッション化を達成することが出来る。

以上のような技術構成によって、基本として需要家は PV 発電による電力を受け取ることで、その需要を満たしていく。PV からの発電量が増え、余剰電力が発生した場合には定置用蓄電池、EV のバッテリーへと蓄電していき、PV からの送電だけでは不足する場合に備える。また、先述した一部のシナリオでは、余剰電力を売電することで収益を得て、総費用を抑える。一方で不足時にはコジェネを用いたり、電力を購入することで、蓄電池の導入量を抑えるといった効果を狙う。

分析のシナリオは、導入する技術それぞれによる費用への影響をみるため複数設定している。これらは系統からの電力の購入、売却、コジェネの導入の 3 つであり、それらの有無別に計 6 つのシナリオを想定している。各シナリオにおける技術の導入状況について表 2 に示す。

表 2 シナリオと技術導入の状況

シナリオ No.	買電	売電	コジェネ
0	なし	なし	なし
1	あり	なし	なし
2	なし	あり	なし
3	あり	あり	なし
4	なし	なし	あり
5	あり	あり	あり

シナリオ 0 はすべてのシナリオに対するベースのシナリオになっている。PV、定置用蓄電池、EV が都市に導入され、これらで電力を融通することによって、都市の電力需要を賄う。なお、定置用蓄電池の有無に関しては、後述する費用最小化問題を解く際に 0 を含む任意の値に関して計算を行うため、この有無でシナリオを分けることはない。PV の導入に関しても、費用最小化問題の解として求めることが出来る値であるため、同様である。また、EV は将来都市に普及することが必然的であると考え、その有無を考慮せず、これらの充放電を行うステーションについても普及しているものと仮定する。

シナリオ 1 では買電のみを行う。買電では対象都市外の発電所から太陽光、水力、風力といった CO<sub>2</sub> フリーの電力のみを購入することを想定し、都市におけるゼロエミッション化を目指す。買電を行える電力量に上限はなく、任意量の電力を購入することが可能であると設定した。

シナリオ 2 では、買電は行わず、売電のみを可能と設定した。売電は、発電量から需要と蓄電システムへの充電量を差し引いた余剰電力から任意の電力量を 100% 売ることができるものと設定している。

シナリオ 3 では買電に加えて売電を可能とした。そのため、本シナリオでの余剰電力はシナリオ 2 の場合に買電によって得た電力が加算される。

シナリオ 4 では電力の売買を行わず、事前に決めた容量だけ設置されたコジェネからの電力供給を受けることができる。コジェネはその発電容量を超えない限り、必要に応じて発電ができるものと想定している。また、本研究ではコジェネによる排熱は便宜的に電力として取り出せると仮定する。そのため、想定するコジェネの総合効率と発電効率から排熱量[MJ]を決定し、これを kWh に変換することで、追加的に電力供給ができることを想定している。なお、現在普及しているコジェネは化石燃料を用いたものが一般的ではあるが、本研究で想定するゼロエミッション化においては不適切となる。そのため、本研究におけるコジェネは近年その導入が検討されている水素燃料を用いた CO<sub>2</sub> フリーのものに転換することを想定する。

シナリオ 5 は上記すべての技術を都市に導入することを想定するシナリオである。売電における余剰電力はシナリオ 3 のケースにコジェネからの発電量が追加される。

PV、EV、定置用蓄電システム、コジェネの充放電量を変数として費用最小化問題として定式化し、総費用や設備導入量を推計した。なお、定置用蓄電システムの容量については、変数とすると問題が非線形となり計算が複雑化するため、予め離散的に値を設定している。上記設備の導入・運用に必要な総費用を目的関数とした。運用費は 1 年分の運用費を計算し、社会的割引率  $r$  ( $=4\%$ ) を用いて 25 年分の計算を行っている。

$$\text{minimize: } C_{total} = IC + \sum_{y=1}^{25[\text{years}]} \frac{(OC + C_{buy} - I_{sell})}{(1+r)^{y-1}} \quad (19)$$

ここで、 $IC$  : 導入費、 $OC$  : 運用費、 $C_{buy}$  : 買電費用、 $I_{sell}$  : 売電収益である。また、

$$IC = cap_{PV} \cdot ic_{PV} + cap_{BT} \cdot ic_{BT} + cap_{CG} \cdot ic_{CG} \quad (20)$$

$$OC = cap_{PV} \cdot oc_{PV} + cap_{BT} \cdot oc_{BT} + \sum_{t=1}^{365 \cdot 24} gen_{CG,t} \cdot oc_{CG} \quad (21)$$

$$C_{buy} = pr_{buy} \cdot \sum_{t=1}^{365 \cdot 24} pw_{buy,t} \quad (22)$$

$$I_{sell} = pr_{sell} \cdot SE \quad (23)$$

$$SE = \sum_{t=1}^{365 \cdot 24} (cap_{PV} \cdot E_t + pw_{buy,t} + gen_{CG,t} - load_{EV,t} - load_{BAT,t} - D_t) \quad (24)$$

であり、 $cap_e$  : 設備  $e$  の導入容量、 $ic_e$  : 設備  $e$  の導入費単価、 $oc_e$  : 設備  $e$  の運用費単価、 $pr_{buy}$  : 買電単価、 $pr_{sell}$  : 売電単価、 $SE$  : 余剰電力、 $gen_{CG,t}$ 、 $E_t$  : 時刻  $t$  のコジェネ、PV 単位発電量、 $pw_{buy,t}$  : 時刻  $t$  の買電量、 $D_t$ 、 $load_{e,t}$  : 時刻  $t$  の電力需要、設備  $e$  の電力需要、として設定した。式 (20) で示す導入費では、定置用蓄電池、PV、コジェネの導入費用のみを考慮しており、蓄電池に必要なパワコンや送電網の整備費などは考慮していない。また、コジェネの導入費用は通常の化石燃料を用いる発電機を水素燃料を利用する発電機へと転換するための費用として考慮する。式 (21) で示す運用費用は、導入した PV・定置用蓄電池・コジェネの運用費の和である。コジェネの運用費は水素燃料による発電にかかる費用とした。そのため  $oc_{CG}$  は水素燃料の 1kWh あたりの発電単価としている。

設定した目的関数に関して費用最小化問題を解くにあたり、制約条件を設定した。まず、定置用蓄電システム、EV の充放電時における最大出力に関する制約として式 (25)、式 (26)

がある。

$$-cap_{BT} \cdot p_{BT,dis} \leq load_{BT,t} \leq cap_{BT} \cdot p_{BT,ch} \quad (25)$$

$$-\sum_{i=1}^{N_{EV}} p_{EV,dis} \cdot trip_{t,i} \leq load_{EV,t} \leq \sum_{i=1}^{N_{EV}} p_{EV,ch} \cdot trip_{t,i} \quad (26)$$

次に、コジェネの発電出力に関する制約として式(27)がある。

$$0 \leq gen_{CG,t} \leq cap_{CG} \quad (27)$$

また、定置用蓄電システムと EV の充電量（SoC : State of Charge）の上限値に関する制約として式(28)、式(29)がある。

$$\sum_{k=1}^t load_{BT,k} \cdot ef \leq \left(1 - \frac{SoC_{BT,s}}{100}\right) cp_{BT} \quad (28)$$

$$\sum_{k=1}^t load_{EV,k} \cdot ef - cons_t \leq \left(1 - \frac{SoC_{EV,s}}{100}\right) \sum_{i=1}^{N_{EV}} bt_{EV,i} \quad (29)$$

一方で、定置用蓄電システムと EV の充電量下限値に関しても制約があり、これは式(30)、式(31)で示される。

$$-\sum_{k=1}^t load_{BT,k} \cdot ef \leq \frac{SoC_{BT,s}}{100} \cdot cp_{BT} \quad (30)$$

$$-\sum_{k=1}^t load_{EV,k} \cdot ef \leq \frac{SoC_{EV,s}}{100} \cdot \sum_{i=1}^{N_{EV}} bt_{EV,i} - cons_t \quad (31)$$

また、年末年始の充電量に関する制約として式(32)、式(33)がある。

$$\sum_{t=1}^{365 \cdot 24} load_{BT,t} \cdot ef = 0 \quad (32)$$

$$\sum_{t=1}^{365 \cdot 24} load_{EV,t} \cdot ef = \sum_{t=1}^{365 \cdot 24} cons_t \quad (33)$$

最後に、各時刻における電力需要量と供給量に関する制約として式(34)がある。

$$load_{EV,t} + load_{BT,t} + D_t - E_t \cdot cap_{PV} - pw_{buy,t} - gen_{CG,t} \leq 0 \quad (34)$$

ここで、 $N_{EV}$  : EV の総数、 $p_{e,dis}$  : 設備 $e$ の放電出力、 $p_{e,ch}$  : 設備 $e$ の充電出力、 $trip_{t,i}$  : 車両 $i$ の時刻 $t$ における運行状況（走行:0、駐車:1）、 $ef$  : 充放電効率、 $cons_t$  : 全 EV の時刻 $t$ までの走行による消費電力、 $bt_{EV,i}$  : 車両 $i$ のバッテリー容量、 $SoC_{e,s}$  : 設備 $e$ の初期 SoC[%]である。また充放電効率 $ef$ は充電時の損失 :  $loss_{ch}$ と放電時の損失 :  $loss_{dis}$ を用いて、

$$ef = (1 - loss_{ch}) \cdot (load_{e,k} \geq 0) + \left( \frac{1}{1 - loss_{dis}} \right) \cdot (load_{e,k} < 0) \quad (35)$$

で表される。

定置用蓄電池の充放電に係る最大出力に関しては、定置用蓄電池の単位容量あたりの出力に対して、導入される定置用蓄電池の容量を乗算し設定した。EV の充放電時の最大出力に関しては、対象とする時刻において、分析対象の都市内に駐車されている場合にその車両の出力が加算されるものとして設定している。コジェネの発電出力に関しては事前に入力データとして推計したコジェネの導入容量として設定している。

定置用蓄電池の充電量に関しては、各時刻での SoC が 0~100%に収まるようにするための制約条件があり、各時刻までに充放電した電力量の和が定置用蓄電池の充電可能容量を超えない（上限）、放電可能容量を超えない（下限）、として設定している。なお、本研究では、定置用蓄電池と EV の蓄電池の初期充電量を 90%に設定している。蓄電池の導入時は基本的に満充電となっていると考えられるが、初期充電量を 100%とすると数値が極端になり、求解が困難になってしまうため、10%だけ充電量を下げている。この場合、時刻 $t$ までの充電可能容量は導入している蓄電池の容量の 10%、放電可能量は初期充電量と同じく 90%になる。

EV の充放電量に関しては、定置用蓄電池における上限・下限の制約と基本的には同様に考えるが、EV には目的地まで走行をするという本来の役割もあるため、EV の走行による電力消費項が追加される。

本研究では、定置用蓄電池は年間（24×8760 時間）での電力充放電量の収支がゼロになる必要がある。また、EV では走行によって利用した電力量分多めに充電が行われていなければならないという制約がある。

また、電力需要と供給に関しては、需要として都市内の需要、蓄電システムでの充電量があり、供給として、PV 発電量、買電量、コジェネの発電量があり、需要側が供給側を上回らないものとして設定した。

ゼロエミッション化分析のための費用最小化問題を解くにあたり設定した各種パラメータ

の値を表 3 にまとめる。

表 3 各種パラメータ

パラメータ	表記法	設定値	[単位]
期間	-	25	[年]
社会的割引率	$r$	4.0	[%]
PV 設備導入費単価	$ic_{PV}$	29	[万円/kW]
PV 運用・維持管理費単価	$oc_{PV}$	0.3	[万円/kW/年]
定置用蓄電池導入費用単価	$ic_{BAT}$	6	[万円/kWh]
定置用蓄電池運用・維持管理費	$oc_{BAT}$	0	[万円/kWh]
コジェネ設備導入費	$IC_{bio}$	2	[億円/MW]
コジェネ発電燃料単価（水素単価）	$oc_{bio}$	4.03	[円/kWh]
コジェネ発電出力	$cap_{CG}$	109.8	[MW]
買電単価	$pr_{buy}$	30	[円/kWh]
売電単価	$pr_{sell}$	10	[円/kWh]
EV の充電時出力	$p_{EV,ch}$	3	[kW]
EV の放電時出力	$p_{EV,dis}$	6	[kW]
EV 車両のバッテリー容量	$bat_{EV,i}$	車種別に設定(表 1)	[kWh]
定置用蓄電システムの充電時出力	$p_{BAT,ch}$	0.5	[kW/kWh]
定置用蓄電システムの放電時出力	$p_{BAT,dis}$	0.5	[kW/kWh]
充電時の損失	$loss_{ch}$	0.2	-
放電時の損失	$loss_{dis}$	0.2	-

## 5. 分析結果と考察

東京都中央区を対象に、離散的に設定した定置用蓄電システム容量を用いて、総費用を最小化する PV 等の設備導入容量を推計した。以下では、主にシナリオ 0、1、4 に関する分析結果について述べる。

図 5 はシナリオ 0 での各定置用蓄電システム導入容量に対する最適設備導入容量の計算結果である。上図縦軸左は PV 導入容量[万 kW]、縦軸右は買電率[%]を示し、横軸は定置用蓄電システムの導入容量を示している。また、下図縦軸は費用[兆円]を示し、横軸は定置用蓄

電システムの導入容量[万 kWh]を示している。各図でのプロットは想定した定置用蓄電システム導入容量に対する計算結果であり、このプロットが存在しない領域ではゼロエミッション化が達成できず、求解できなかったということになる。また、上図縦軸右側で示す買電率に関しては、シナリオ 0 では買電を許していないため、どのような定置用蓄電システム導入容量においてもその値が 0 になっている。

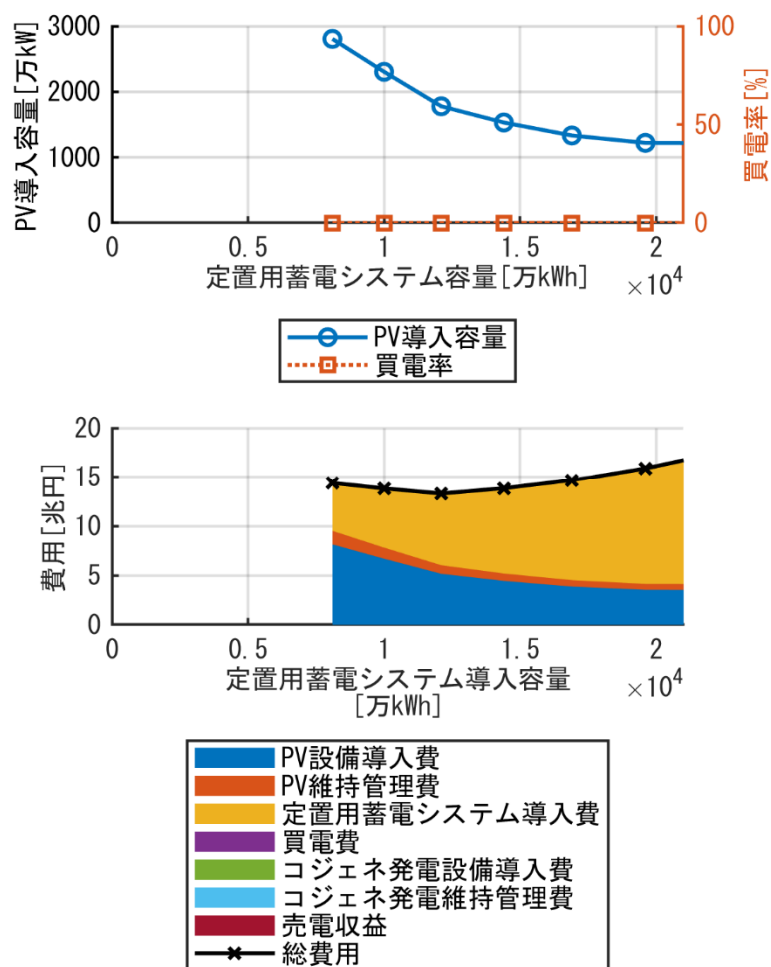


図5 シナリオ 0 の結果（上：定置用蓄電システム導入容量と PV の導入容量、買電率の関係、下：定置用蓄電システム導入容量と各設備導入費用と総費用の関係）

まず、上図の PV 導入容量と定置用蓄電システムの導入容量の関係をみると、PV の導入容量と定置用蓄電システムの導入容量がトレードオフの関係にあることが分かる。これは、定置用蓄電システムの導入容量が少ない場合、電力需要のピークなどに、蓄電池からの放電を見込めず、より多くの PV を導入しなければ、需要と供給をマッチさせることができないからである。また、定置用蓄電システムの導入容量が増加していくにつれ、PV の導入容量の減

少率は鈍化していくことから、一定容量以上の定置用蓄電システムが導入されることによって、PV の発電量を蓄電池によって補填する効果が薄くなっていくことが考えられる。

次に、下図の総費用と定置用蓄電システム導入容量の関係性から、蓄電システムの導入容量が一定容量に達するまでは、その総費用が減少しているのに対して、一定容量を超えてからは、総費用が増加していることが分かる。これは、上図で確認した PV の減少率の鈍化によるものであり、定置用蓄電システム導入費の増加量が PV 設備の導入費減少量を超えることによって、総費用が増加していると考えられる。全計算結果のうち総費用が最小となったのは、定置用蓄電システムを 121GWh 導入した場合であり、PV は 17.7GW 導入、総費用は 13.3 兆円であった。これらの結果によって示された PV や定置用蓄電システムの導入容量は非常に膨大であり、実際に導入する場合、これらの設置可能性について考慮する必要がある。

図 6 は、シナリオ 0 に対して、電力不足時に CO<sub>2</sub> フリー電源の購入を許しているシナリオ 1 の計算結果を示している。シナリオ 0 では実行可能解が存在しなかった 50GW 未満の定置用蓄電システム導入容量において、シナリオ 1 では解が存在し、かつ定置用蓄電システムを導入しない場合が最も総費用が低いという結果になっている。また、定置用蓄電システムの導入容量が 50GW を超えると、PV の導入容量と買電率は定置用蓄電システムの導入増加量に対してほぼ変化することはない、蓄電池の導入が有効となっていないことが分かる。蓄電池を導入しない場合に対して、蓄電池を少し導入することで買電率の低減は期待できるが、大量導入しても買電率の低下を望むことができない。したがって、経済性という観点では、定置用蓄電池を導入しないことが最も効果的であり、これは PV+EV システムの優位性を示した先行研究結果<sup>11)</sup>と一致している。ただし、本研究では CO<sub>2</sub> フリー電源の購入量に上限を与えていないが、実際には上限があり、これについては今後更に検討していく必要がある。なお、総費用最小となるケースの定置用蓄電システム導入量は 0kWh、PV の導入容量は 2.4GW であり、総費用は 3.1 兆円となった。



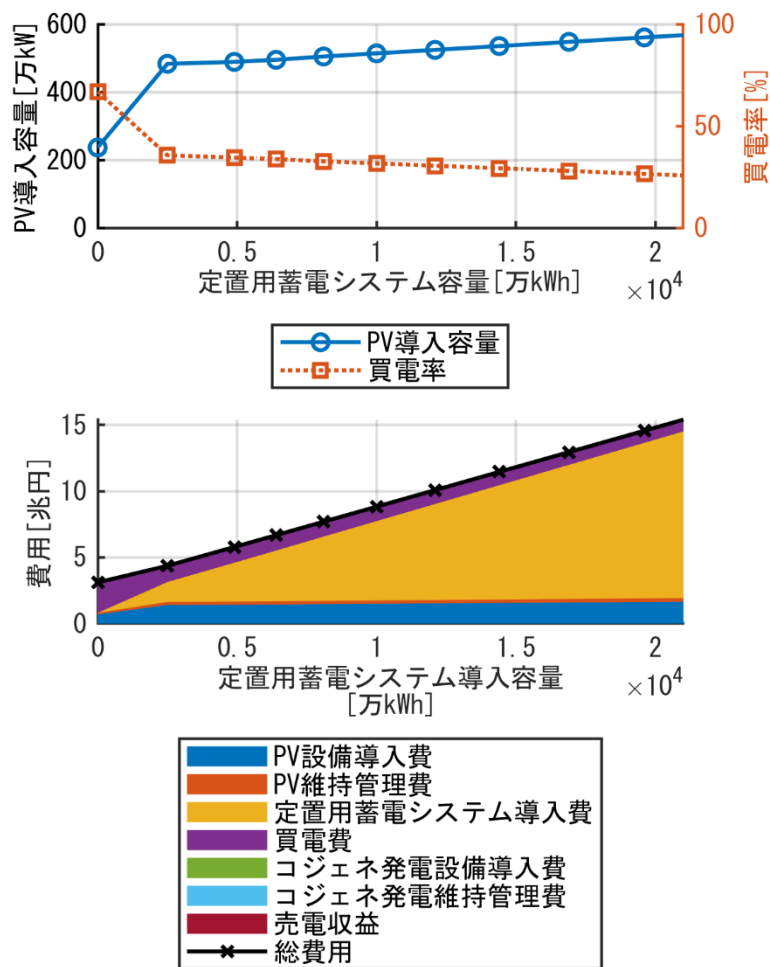


図6 シナリオ1の結果（上：定置用蓄電システム導入容量とPVの導入容量、買電率の関係、下：定置用蓄電システム導入容量と各設備導入費用と総費用の関係）

次に、シナリオ4の結果を図7に示す。シナリオ4は、シナリオ0に対してコジェネからの電力供給を見込むシナリオである。コジェネは水素を燃料とするCO<sub>2</sub>フリー電源を想定しており、その発電容量による制約が存在する以外、基本的には買電と同様の効果がある。なお、シナリオ4に関しては、計算時間短縮のために、シナリオ0より推定される定置用蓄電システムの導入容量に近い値のみ計算を行っている。そのため、本シナリオでは、図示する領域以外にも実行可能解は存在しているが、これらの解が最小値を与えることはない。

シナリオ4では、コジェネからの電力供給が許されているが、シナリオ0の非買電シナリオに近い計算結果になった。これは、シナリオ1では買電による電力量に上限が存在せず、毎時大量の電力を購入できたのに対し、シナリオ4では定められたコジェネ導入容量を最大値とした電力量のみを用いることが可能であるためである。図7上図をシナリオ0と比較す

ると、シナリオ4では各定置用蓄電システムの導入容量設定値に対して、ゼロエミッションに必要なPV容量が減少していることが分かる。これは、コジェネからの電力供給が見込めることによって、各時刻でのPVからの必要な電力量が減少したからであると考えられる。また、この電力供給によって、通年での電力需要のピーク時にコジェネから電力が供給されることで、必要になる定置用蓄電システムの容量もシナリオ0と比べると減少している。なお、シナリオ4での定置用蓄電システムの導入容量は100GWh、PV導入容量は18.3GW程度であり、総費用は12.3兆円であった。図から分かる通り、コジェネの発電費用は総費用と比べて大幅に小さく、コジェネ導入がシステムにとってメリットであることが分かる。

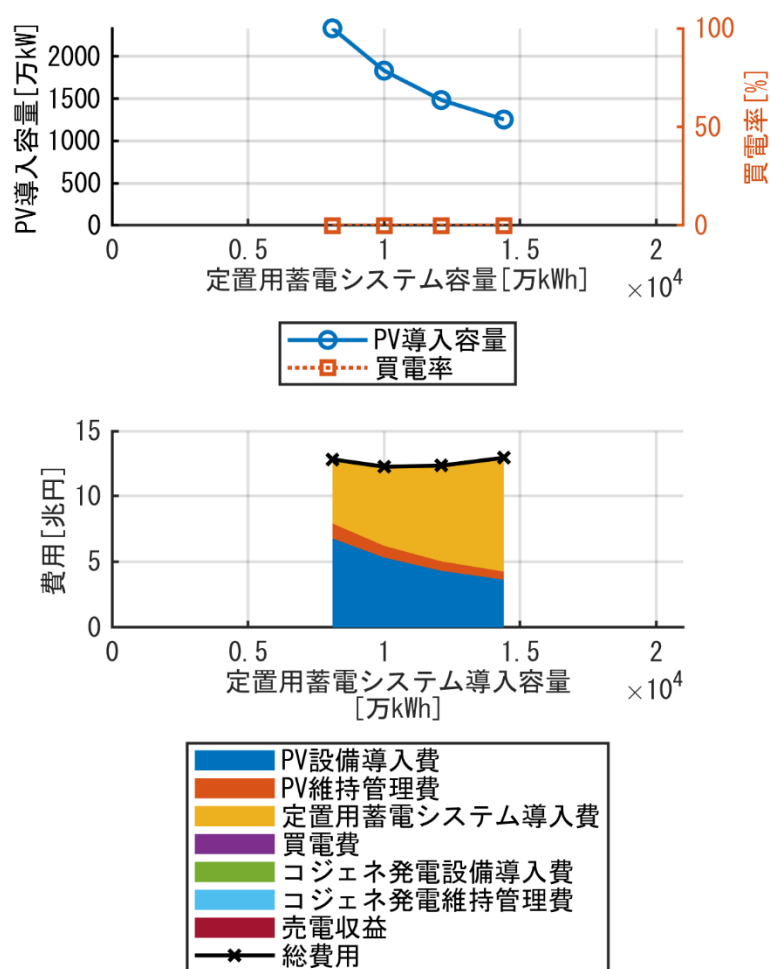


図7 シナリオ4の結果（上：定置用蓄電システム導入容量とPVの導入容量、買電率の関係、下：定置用蓄電システム導入容量と各設備導入費用と総費用の関係）

さらに、全シナリオについて各シナリオの費用最小ケースにおける電力単価をまとめたものを図8に示す。図8により全体を通して見ると、買電をしない偶数シナリオと買電をする

奇数シナリオで結果が大きく二分されていることが分かる。買電をしない偶数シナリオでは、電力単価が買電を行う奇数シナリオと比べると全体的に大きくなっている。また、偶数シナリオはシナリオ間での投入技術の違いによる価格差が大きいのに対して、奇数シナリオでは投入技術の違いによる影響が偶数シナリオと比べると小さい。それに加え、売電やコジェネを単体でシステムに組み込んだ偶数シナリオでは、コジェネの導入よりも売電を行った場合の方が費用が小さかった。しかし、奇数シナリオでは売電のみを行うよりも、売電にコジェネを組み合わせの方がより電力単価が小さい値になっており、PV の変動性を補填する技術を複数組み合わせ投入することの有用性が示された。

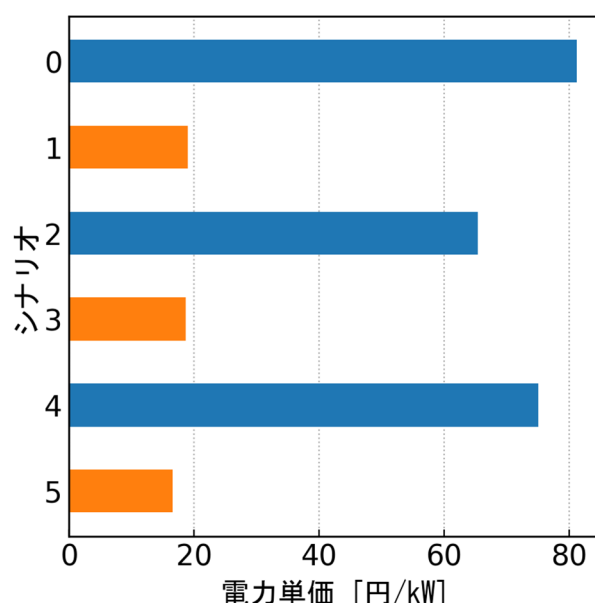


図8 各シナリオ費用最小ケースでの電力単価

最後に、EV の放充電場所に関する検討を行った。検討は、比較のために東京都中央区の場合と共に茨城県つくば市の場合も行った。結果を図9～10に示す。図9～10から明らかなように、中央区よりもつくば市の方が放充電量が多くなっている。これは、つくば市の方が中央区よりも車両台数が多いためである。ただし、中央区には区外からの車両も多く中央区内に入ってきていると考えられるが、本研究ではこれらの車両は考慮に含まれていない。

また、EV の充電量は、日射量に左右され、日射量の少ない冬季や雨天日では少なくなっている。さらに、平日では業務他、休祝日では家庭における充電が多くなっており、住宅のみならず業務他における充電設備の整備が必要となることが示唆される。一方、放電量は、春季や秋季において比較的日常充電が見込める時期に、主に家庭において放電が行われるという結果となっている。

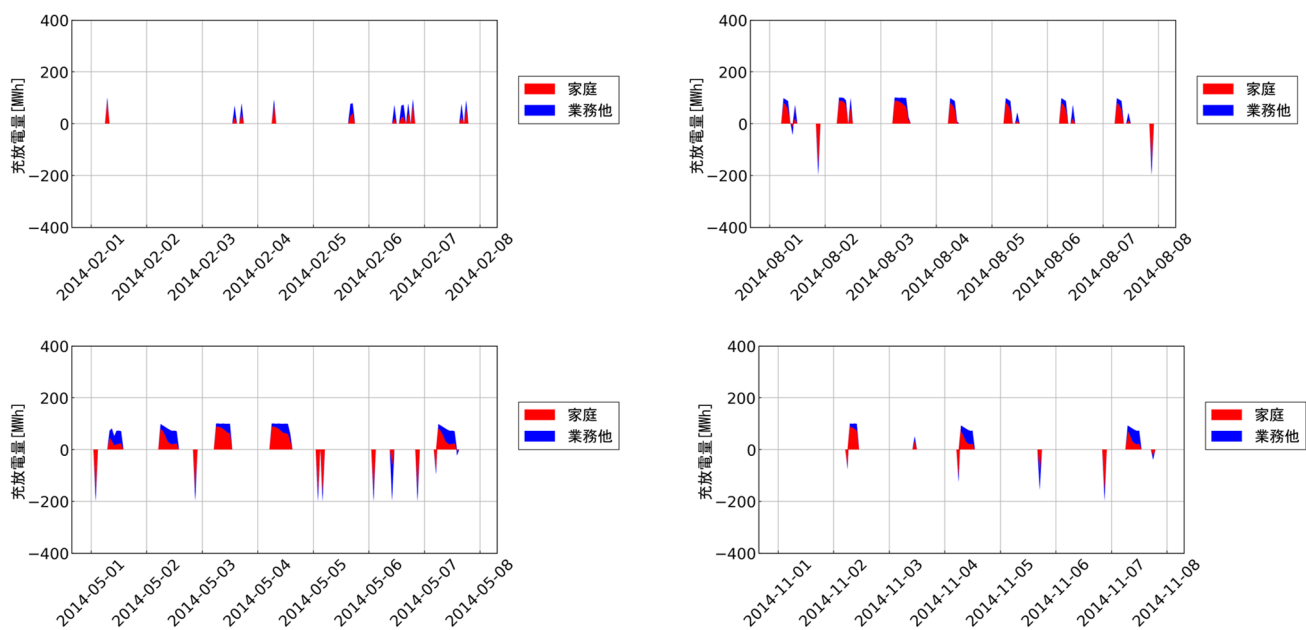


図 9 EV の充放電場所（中央区）

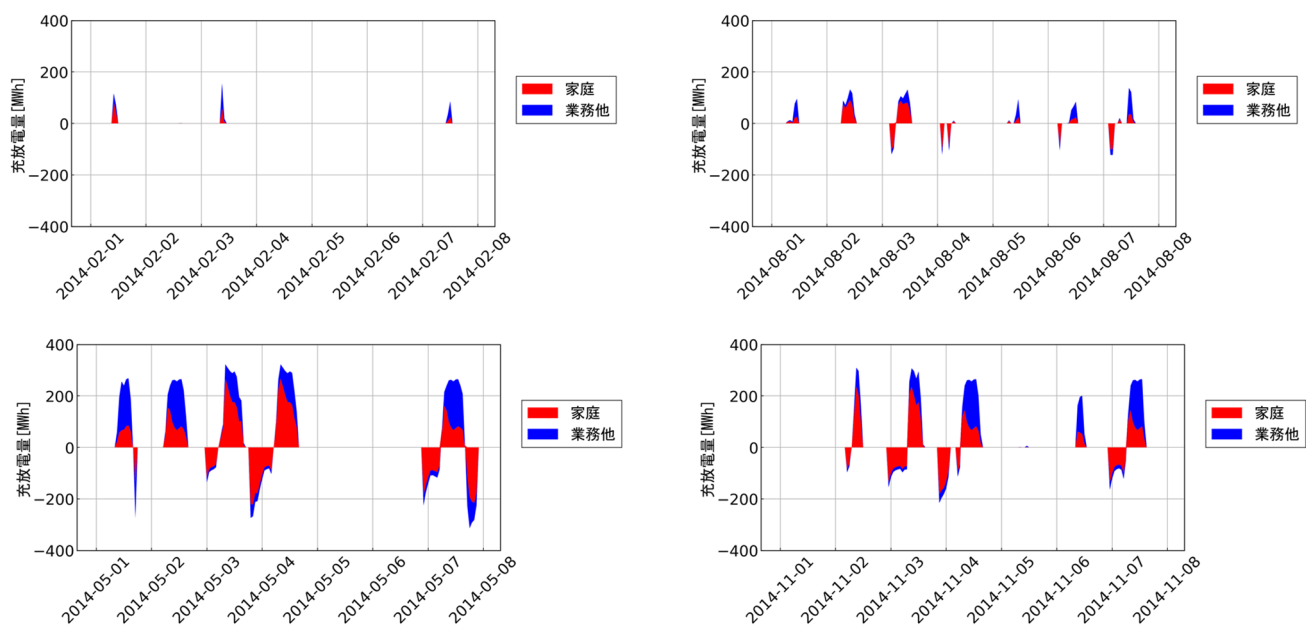


図 10 EV の充放電場所（つくば市）

## 6. 結論と今後の課題

本章では PV、EV、定置用蓄電システム、コジェネを用いて大規模な業務ビルが集約する業務中心都市をゼロエミッション化することの可能性について、それらの設備の導入費用と運用費用を目的関数とする費用最小化問題として定式化し、検討した。定置用蓄電システムの容量を離散的に設定し、各値に対して最適化計算を行った結果、PV と定置用蓄電システムの導入容量はトレードオフの関係にあり、定置用蓄電システムの導入容量が増加すると PV の導入容量が減少することがわかった。また、費用が最小となるケースにおける電力単価は現在の業務用電源の価格と比較すると非常に高く、その実現が困難であることが示唆された。

また、本章における想定では、コジェネは通年で用いられる結果となった。現況のコジェネのシステムを拡大することは、本章では対象としていないものの、グリーン水素が安価に利用できる見通しとなった場合には、選択肢の 1 つと考えられるであろう。EV の放充電場所に関しては、車庫が存在すると考えられる家庭のみならず、業務地の駐車場においても行われる可能性が示唆された。

今後の課題としては、システムにおける電力の売買や系統とは別の多様な電源を導入した場合における総費用について推計し、ゼロエミッション化の可能性の検討を行う必要があると考えられる。また、本章では、電力と熱を合わせて検討したが、本来、これらの需給は別々に捉えられる場合が多く、この点を考慮することも課題の 1 つである。

### 参考文献

- 1) 環境省：気候変動の国際交渉、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop/shiryo.html#03>、2016
- 2) 外務省：日本の排出削減目標、[https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w\\_000121.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html)、2021
- 3) 資源エネルギー庁：令和 2 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2021）、<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/>、2020
- 4) 国土交通省：建物省エネ法のページ、[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku\\_house\\_tk4\\_000103.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku_house_tk4_000103.html)、2021
- 5) 東京都環境局：大規模事業所における対策、[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large\\_scale/index.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/index.html)、2021
- 6) 環境省：ZEB PORTAL - ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ゼブ）ポータル、<http://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>、2021
- 7) 資源エネルギー庁：ZEB ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ、[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/enterprise/support/pdf/2004\\_followup\\_summary.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/pdf/2004_followup_summary.pdf)、2020
- 8) 資源エネルギー庁：エネルギー基本計画について、

- [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)、2021
- 9) 矢野 史朗, 谷 衛, 谷口 忠大:再生可能エネルギーと小型蓄電池を用いた自律分散型スマートグリッドの費用便益分析、電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) ,Vol.134 No.12 pp.1925-1933, 2014.
  - 10) 瀬川 裕太, 沼田 茂生, 下田 英介, 遠藤 成輝, 前田 哲彦:建物ゼロエミッション化に資する再エネ水素利用システムの役割と導入設備容量に関する評価,電気学会論文誌B (電力・エネルギー部門誌) , Vol.141 No.2 pp.88-96, 2021.
  - 11) Takuro Kobashi, Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Katsuhiko Naito, Stefan Pfenninger, Kelvin Say, Yasuhiro Takeda, Amanda Ahl, Masaru Yarime, Kei shiroHara: On the potential of “Photovoltaics + Electric vehicles” for deep decarbonization of Kyoto’s power systems: Techno-economic-social considerations, Applied Energy, Vol.275, 115419, 2020.
  - 12) T. Kobashi, P. Jittrapirom, T. Yoshida, Y. Hirano, Y. Yamagata: SolarEV City concept: building the next urban power and mobility systems, Environmental Research Letters, 16, 024042, 2021
  - 13) 須永 大介, 村木 美貴: 市街地更新を契機とした ZEB と面的エネルギーの導入による温室効果ガス排出量削減方策に関する研究, 都市計画論文集, 55 巻, 3 号, pp.939-946, 2020.
  - 14) 国土交通省:平成 17 年度全国道路・街路交通情勢調査 自動車起終点調査、2005
  - 15) 総務省 統計局: 経済センサス-基礎調査 平成 21 年経済センサス-基礎調査 事業所に関する集計、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003032532>、2011
  - 16) 総務省 統計局: 法人建物調査 平成 20 年法人建物調査 都道府県編 報告書掲載表、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003189613>、2020
  - 17) 総務省 統計局: 経済センサス-基礎調査 平成 21 年経済センサス-基礎調査 事業所に関する集計、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003032559>、2011
  - 18) 環境共創イニシアチブ: SII エネマネオープンデータ、<https://www.ems-opendata.jp/>、2018
  - 19) 総務省 統計局: 国勢調査 平成 22 年国勢調査 人口等基本集計 (男女・年齢・配偶関係、世帯の構成、住居の状態など)、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003038611>、2011
  - 20) 総務省 統計局: 住宅・土地統計調査 平成 25 年住宅・土地統計調査 確報集計、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003105175>、2015
  - 21) 板垣 昭彦, 岡村 晴美, 飯田 秀重, 山田 雅信, 佐々木 律子: 日照時間を用いた時間積算日射量推定モデルの開発, 太陽エネルギー, Vol.32, no.5, pp.61-67, 2006.
  - 22) D.G.Erbs, S.A.Klein, J.A.Duffie: Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly-Average Global Radiation, Solar Energy, Vol. 28, Issue4, pp. 293-302, 1982.
  - 23) R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky, R. Stewart: Modeling Daylight Availability and Irradiance from Direct and Global Irradiance, Solar Energy, Vol. 44, No. 5, pp. 271-289, 1990.
  - 24) 岸田 真一, 三浦 尚志, 西澤 繁毅: 太陽光発電設備の年間発電量の推計方法に関する調査, 建築研究資料 No.188 号, 国立研究開発法人建築研究所, 2018.
  - 25) 資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課熱供給産業室: 熱供給便覧 令和 2 年版 (令和 1 年度実績等収録) , 日本熱供給事業協会, 2020
  - 26) 藤井 照重, 中塚 勉, 須恵 元彦, 小田 拓也, 杉本 勝美: コージェネレーションの基礎と応用, コロナ社, 2003

## 第2章 交通が健康に与える影響に関する評価手法の展開 (室町泰徳)

### 1. はじめに

交通と健康との関係が注目され、議論が始められてから約20年を経て、一部の国では交通プロジェクトの費用便益分析において健康便益評価の導入が進められている。交通、特に自動車交通は、交通事故、大気汚染、騒音など都市に住む人々の健康に大きな影響を与える要因となっている。人々による交通手段の選択も、その交通手段が身体活動を伴うか否かによって人々の健康に影響を与えている。Sallis, J.F. et al.<sup>1)</sup>は、身体活動を伴う交通 (Active Transport) と健康に関連した初期の研究に関する包括的レビューを行っており、健康と身体活動との関係性についての疫学的研究は1970年代末から1980年代にかけて始められた、と述べている。また、従来、交通と健康双方における専門家は、それぞれの分野において独自に研究を進めてきたが、その後、健康分野の専門家は、現代の健康増進要因を検討する過程において、自動車利用の増加による慢性的な身体活動不足が疾病の引き金となっている可能性に着目した。そして、インフラ整備状況等徒歩や自転車など身体活動を伴う交通手段の選択に影響を与える要因を検討するようになり、交通分野の専門知識を必要とするようになった、としている。

英国では、1997年の交通白書 (A New deal for Transport: Better for everyone)<sup>2)</sup>において、自動車依存を低減し、徒歩や自転車の利便性を向上して健康豊かなライフスタイルを促進するフレームワークを構築する、としており、交通政策の重要な要素の1つとして健康が位置付けられている。また、2000年以降では、北欧を中心に自転車利用促進に関わる健康便益評価の検討が進められ、2007年にはWHO欧州地域オフィスより便益評価マニュアルが発表されている<sup>3)</sup>。さらに、英国では、TAGにおいて労働者の欠勤による損失削減を含めた健康便益評価に関するガイダンスが示されている。日本でも、国土交通省健康・医療・福祉のまちづくりの推進ガイドラインの中で、1日当たりの歩数増加量と年間の医療費削減効果との関係に関する式が示されている。一方では、予防医療による医療費削減効果を否定する研究結果も存在し、医療費削減自体を目標とすることの妥当性を含めた議論が必要とされている。本稿では、以上の点を踏まえ、交通分野における健康便益評価に関連する文献の一部をレビューし、健康便益評価に関する近年の論点の整理を行うことを目的としている。

## 2. WHO における健康便益評価マニュアル

WHO 欧州地域オフィスは、前述の通り、北欧における交通分野の健康便益評価の研究を基礎に、2007 年に最初の健康便益評価マニュアル（Health Economic Assessment Tool: HEAT）を発表しており、その後、最新の知見を踏まえて更新を続けている。最新のマニュアル（Ver. 4）<sup>4)</sup>は 2017 年に発表されており、以下、その内容を概観する。なお、最新のマニュアルには、自転車利用者、歩行者の健康便益として、身体活動の増加と共に、大気汚染、交通事故、CO<sub>2</sub> 排出量に係る便益評価手法が盛り込まれている。大気汚染や交通事故に関する条件によっては、屋外の自転車利用や歩行の増加が少なからず負の便益をもたらすことも否定しないが、本稿では身体活動に係る部分に限定して検討することとする。

HEAT は、自転車利用者や歩行者に係る交通インフラ整備や政策による身体活動量の変化によってもたらされる死亡率（Mortality Rate: MR）の変化と統計的生命価値（the Value of a Statistical Life: VSL）に基づいて健康便益評価を行う。統計的生命価値とは、特定の個人の生命価値ではなく、死亡率のわずかな変化に対して個人が付する価値の集計結果を指す。例えば、政策により年間 1 万人に 3 人の死亡率が 2 人に減少する場合の政策費用に対する支払い意思額を意味している。マニュアルでは、2.132 百万ユーロがデフォルト値として設定されている。

また、政策対象群と非対象群（一般群）の死亡率をそれぞれ MRe、MRu とすると、それらの相対リスク（Relative Risk: RR）＝MRe/MRu が重要となる。HEAT では自転車利用に対して RR＝0.90、徒歩に対して RR＝0.89 というデフォルト値が示されている。図 1 に示すように死亡率は表 1 に示す参照量を基準とし、身体活動量に対して線形に変化すると仮定されている。なお、表 1 には HEAT の適用可能年齢や便益上限に関する限界も示されている。政策の有無別に政策対象群の人数と身体活動量の変化、死亡率（相対リスク）の変化、統計的生命価値を用いて健康便益が評価されることとなる。

## 3. 英国における健康便益評価ガイダンス

英国は、交通プロジェクトに関して健康便益評価を実施している数少ない国の 1 つである。健康便益評価は交通省による交通分析ガイダンス（Transport Analysis Guidance: TAG）における UNIT A4.1 社会的インパクト評価（Social Impact Appraisal）<sup>5)</sup>、UNIT A5.1 身体活動を伴う手段評価（Active Mode Appraisal）<sup>6)</sup>において主に対象とされている。これらのガイダンスは前述の HEAT（Health Economic Assessment Tool）<sup>4)</sup>の影響を受けており、以下では、ガイダン



スに収められているロンドンにおける運河側道改修プロジェクトのケーススタディを参照して、健康便益評価の手法に関して検討することとする。なお、改修プロジェクトであるため、時間短縮便益は考慮されていない。

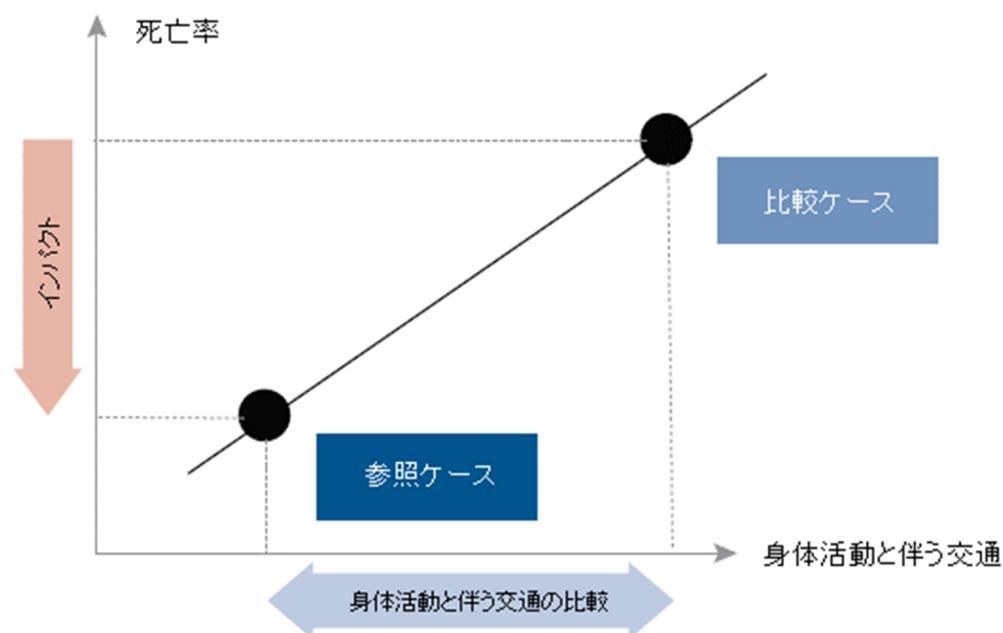


図1 HEATにおける相対リスク比較アプローチ<sup>4)</sup>

表1 HEATにおける身体活動便益の上限<sup>4)</sup>

交通手段	徒歩	自転車
適用可能年齢	20-74歳	20-64歳
相対リスク (CI)	0.89 (0.83-0.96)	0.90 (0.87-0.94)
参照量	168分/週	100分/週
便益上限	30%(460分/週)	45%(447分/週)

まず、既存の交通調査等から、表2に示すようにプロジェクト有無別に供用前後の自転車利用トリップ数、徒歩利用トリップ数が推定され、これらのトリップ数は健康便益が帰属すべき個人数に変換される。例えば、交通調査から往復トリップが90%、片道トリップが10%と推定されるとすると、自転車利用者個人数は $(1085 \times (90\%/2 + 10\%)) = 597$ と計算される。

表 2 プロジェクト前後の自転車利用者と歩行者<sup>6)</sup>

	自転車利用者	歩行者
2010年(1日当たりの利用)(供用前)		
トリップ数	1085	517
個人数	597	284
2012年(1日当たりの利用)(供用後)		
プロジェクト無トリップ数	1090	522
プロジェクト有トリップ数	1636	572
トリップ数(利用の差)	546	50
プロジェクト無個人数	600	287
プロジェクト有個人数	900	315
個人数(利用の差)	300	27

表 3 は、楽観バイアスと市場価格調整を含めたケーススタディプロジェクトの純現在費用を示している。評価期間は身体活動を伴う交通に関するプロジェクトとして通常より短い 20 年が推奨されている。整備は 2010 年に行われ、整備費は 182,000 ポンドと見積もられている。維持管理費用は毎年発生し、2010 年価格で年間 18,800 ポンドと見積もられており、20 年間の評価期間にわたって割引率を乗じた上で合計されている。また、費用の推定には、楽観バイアスを考慮するために 15%が加えられており、さらに、19.1%が 総整備費用、および運用費用に関する市場価格調整として計上されている。

表 3 楽観バイアスと市場価格調整を含めたケーススタディの純現在費用<sup>6)</sup>

2010年価格(英ポンド)	整備費用	維持管理費用
プロジェクト整備費用	182000	276545
+15%楽観バイアス	209300	318027
+19.1%市場価格調整	249276	378770

プロジェクトに関わる身体活動の便益は、プロジェクトルートに沿って新たに生じる可能性のある自転車利用者、および歩行者について推定される。評価者が新しい自転車利用トリップ数、および徒歩トリップ数の推定値を入力すると、プログラムにより、年齢、性別、距離、速度、相対リスクに関して全国交通調査ベースで仮定されたデフォルト値が与えられ(表 4)、プロジェクトの死亡率に対するインパクトが推定される。死亡率の減少は、質調整生命年(Quality-Adjusted Life year, 2012 年の価格と価値で 60,000 ポンド)の価値と将来の便益に対する 1.5%の割引率を用いて金銭化される。このケーススタディでは、身体活動による金銭的便益の合計は、割引後の 2010 年の純現在価値として 4.2 百万ポンドとなっている。

表 4 自転車利用者と歩行者に対する死亡の相対リスク減少の計算<sup>6)</sup>

	自転車利用者		歩行者	
	往復	片道	往復	片道
1日当たりの距離(km/日)	7.5	3.7	2.2	1.1
平均速度(kph)	11.0	11.0	3.9	3.9
1日当たりの身体活動時間(分)	24.0	12.0	20.0	10.0
人数割合	0.9	0.1	0.9	0.1
1日当たり平均身体活動時間(分)	22.9		18.9	
相対リスク減少(平均)	0.16		0.07	

歩行者の相対リスクの減少に関する根拠は、週 7 日間における身体活動の増加に基づいており、1 日当たりの身体活動時間は、新しい歩行者が改修された河川側道を利用すると想定される年間日数（220 日）に調整されている。計算された死亡の相対リスクの減少と新しい自転車利用者数と歩行者数は、平均死亡率に基づいて潜在的に救われた生命数を計算するために使用される。このケーススタディでは、平均死亡率 0.0024 が使用されており、これはイギリスとウェールズの 15-64 歳人口に対する年平均死亡率である。また、身体活動を伴う交通手段を利用する上での健康便益は 5 年間にわたって徐々に増加し、その後、新しい自転車利用者や歩行者は身体活動による総健康便益を享受すると想定されている。

ガイダンスでは、身体活動に関する便益のみならず、労働者の欠勤による損失、交通の質等に関する便益評価についても説明している。まず、労働者の欠勤による損失に関しては、より多くの人々が徒歩で、あるいは自転車で通勤することにより、欠勤が減少することを想定している。適度な身体活動は、病気による欠勤日数を減らすことにつながり、このことは雇用者に便益をもたらす。この便益は個人にとってのより良い健康の便益とは異なっている。

1 人当たりの平均年間欠勤率（ロンドンにおけるデータに基づき 7.2 日/年）と、ロンドン交通局が実施したメタ分析結果から得られた自転車利用と徒歩の増加による欠勤の減少率期待値（1 日当たり 30 分間の身体活動量に基づいて 25%）の積から、影響を受ける人 1 人当たり 1.8 日の病気による欠勤日数の減少が得られる。これによる雇用者の費用節約額は、毎日の雇用費用 300 ポンドから、影響を受ける人 1 人当たり 540 ポンド（300 ポンド × 1.8）の便益をもたらすと計算される。新しい自転車利用者数と歩行者数は、影響を受ける人の実数を与えるために、ルート上の通勤トリップ割合（56.4%）で調整される。これにより、新規自転車利用者 1 人当たり年間 232 ポンド（540 ポンド × 56.4% × 22.9 分/30 分）、新規歩行者 1 人当たり年間 192 ポンド（540 ポンド × 56.4% × 18.9 分/30 分）の欠勤減少の価値となる。なお、この計算は、米国の研究における 1 日当たり 30 分間の身体活動に費やされた場合との相対比較に基づいている。さらに、便益が 5 年間にわたって漸増するものと仮定し、雇用費用の将来的な増加を加味すると、労働者の欠勤による損失削減による便益は 1.2 百万

ポンドと推定される。

一方、交通の質の便益評価は、基本的に、既存利用者と新規利用者の各トリップに「質的価値」を割り当てることによっている。自転車利用者や歩行者には、別々の質的価値が使用され、いずれの場合も「半分のルール」が適用され、既存利用者は質改善の便益を完全に享受するが、新規利用者の便益は2で割ることとしている。自転車トリップの場合、交通の質の値は、オフロードの自転車道（2010年価格で毎分7.03ペンス）に対しての支払い意思額から導き出されている。また、平均的な自転車利用者はトリップにおいて改修された河川側道の約半分を利用し、改修プロジェクトの価値は新規の場合の半分となると仮定している。これは、実質的に先の値の1/4が適用され、1自転車トリップ当たり21ペンスの単位便益（ $7.03p / 2 \times 11.7 \text{ 分} / \text{トリップ}$ ）に変換されることを意味している。歩行者の場合、河川側道の改修は水平縁石（1.9p/km）、情報版（0.9p/km）、舗装平坦化（0.9p/km）、案内看板（0.6p/km）、およびベンチ設置（0.6p/km）を含むと想定されている。再び、歩行者はルートの子分を利用し、価値が半分となることを想定すると、1徒歩トリップ当たり3ペンス（ $(1.9 + 0.9 + 0.9 + 0.6 + 0.6) / 2 \times 1.15$ ）のおおよその単位便益が与えられる。

トリップごとの便益は、「プロジェクト無」のケースでは予測されたトリップ数に適用され、「プロジェクト有」のケースでは、半分のルールに従って便益の半分が新しいトリップに適用される。これらの計算では、1年の就業日数に基づいて、年換算係数220日が適用されており、従って、週末の利用は含まれておらず、控えめな結果となっている。交通の質の便益は各年に対して計算され、1人当たりGDPの値の実質成長を加味した上で、2010年の純現在価値総額1.0百万ポンドの便益と評価されている。

#### 4. 健康便益評価の実践例と課題

前節では、英国交通省による交通分析ガイダンスに基づいて、健康便益評価を概観したが、以下では、その実践例と課題を検討することとする。バーミンガム市では全長212.4kmの自転車道ネットワーク整備プロジェクト（図2）を計画しており、そのプロジェクト費用は2010年価格で24.6百万ポンドと見積もられている<sup>7)</sup>。これに対して、健康便益を含む便益評価が実施されており、その結果が表5のように整理されている。なお、健康便益評価は前節で検討した交通分析ガイダンスよりも前に実施されているが、概ねガイダンスと一致した手法で行われているものと考えられる。表5に示されているように、バーミンガム市将来自転車道ネットワーク整備プロジェクトの場合、B/Cは3.08と計算されており、便益の半分強が交通の質に関連する便益、半分弱が身体活動に関連する便益となっている。プロジェクト費用と

比較して、健康便益が比較的大きな評価額となっていることがわかる。

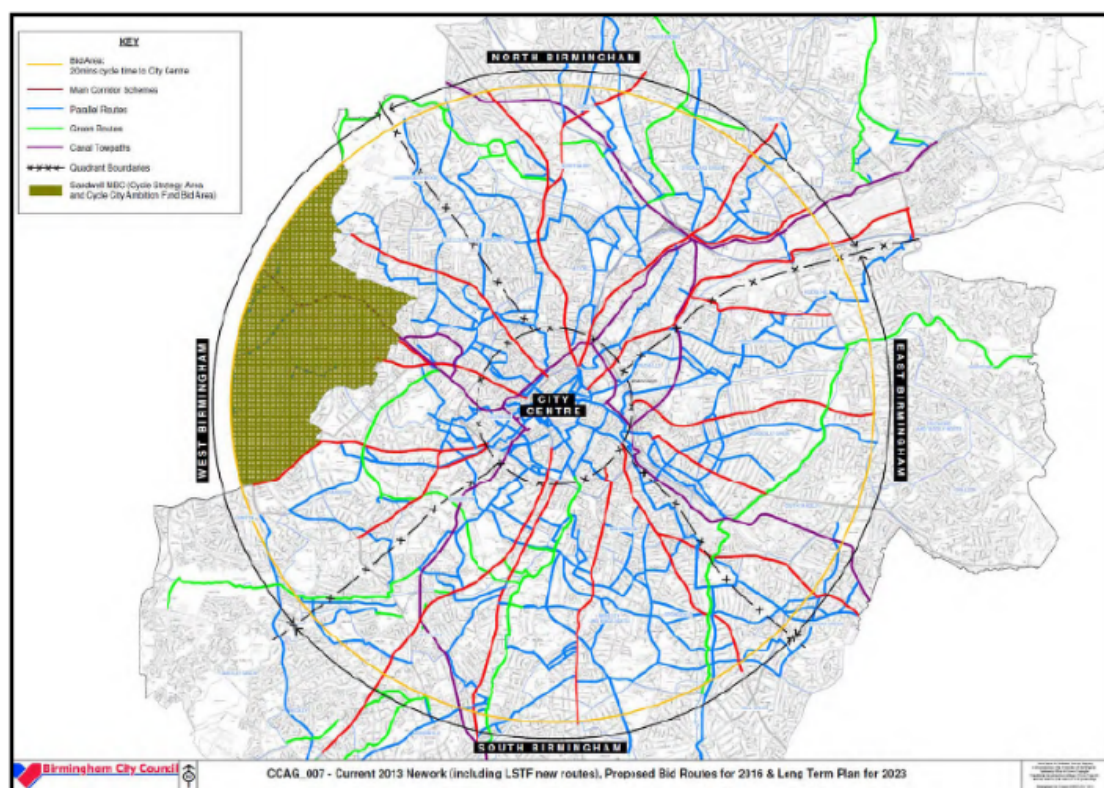


図2 バーミングガム市将来自転車道ネットワーク<sup>7)</sup>

表5 費用便益総括表（2010年価格）<sup>7)</sup>

(英ポンド)	評価額
プロジェクト整備・維持管理費用 (楽観バイアスを含む)	24,685,759
温室効果ガス	246,729
身体活動	29,205,421
交通の質	48,883,270
欠勤の損失削減	2,860,072
交通事故	-5,237,298
純現在便益	75,958,195
B/C	3.08

また、Tainio, M. et al.<sup>8)</sup>は、2017年の交通省による交通分析ガイダンスに先立ち、交通プロジェクトにおける身体活動の便益評価に関連する既存研究を包括的にレビューし、ガイダンスに対するいくつかの提案を行っている。例えば、自転車利用者には男性が多く、歩行者に

は女性が多いなどの利用者の性別特性、平均死亡率などの年齢別特性を考慮に入れた健康便益の評価手法を提案している。ガイダンスでは 15-64 歳人口を対象とし、かつ性別特性は十分に反映されていないことから、健康便益の評価に偏りが生じる可能性が存在する。身体活動の健康に対する影響の非線形性についても議論が行われている。既存研究によれば、非線形性は明白であり、特に身体活動が非常に少ない人が身体活動を増加させる場合の健康に対する影響は、既にある程度身体活動のある人に比べて非常に大きいことがわかっている。この点は身体活動を伴う交通を促進する上で非常に重要な示唆を与えている。罹患率の考慮もまた、重要な課題の 1 つとなっている。英国交通省による交通分析ガイダンスで考慮されているのは、平均死亡率の改善のみであり、手法の複雑さは増すと考えられるものの、罹患率の改善効果を健康便益評価に含めるべきである、という指摘がされている。

## 5. 終わりに

本章では、健康便益評価に関連する文献の一部をレビューし、健康便益評価に関する近年の論点の整理を行った。WHO や英国交通省によるマニュアルには、身体活動に関わる健康便益評価が含まれており、身体活動を伴う交通の増加による死亡率の低下を統計的生命価値を介して金銭的価値に変換している。日本では、1 日当たりの歩数増加量と年間の医療費削減効果との関係を議論するケースがあるが、予防医療による医療費削減効果を否定する研究結果も存在する<sup>9)</sup>。医療費削減自体を目標とすることの妥当性を含め、健康便益評価のあり方を再検討する必要があるであろう。

また、2018 年における日本の健康日本 21（第二次）の中間評価では、「平均寿命の増加分を上回る健康寿命の増加」、「健康寿命の都道府県格差の縮小」という 2 つの目標は「達成中」と判定されたものの、日常生活における歩数の増加については「悪化している」、運動習慣者の割合の増加は「変わらない」という評価となり、交通と関わりのある分野の進捗が遅れている。身体とこころの健康の関係性や主観的健康観の議論が進められている中で、交通政策は人々が健康を意識せずとも彼らの健康増進に貢献できる点で健康分野からの期待も小さくない。その意味でも、交通政策において健康便益の評価を定着させていく必要性は高いであろう。

## 参考文献

- 1) Sallis, J.F., Frank, L.W., Saelens, B.E., Kraft, M.K., Active transportation and physical activity: opportunities for collaboration on transportation and public health research, *Transportation Research Part A* 38, pp.249-268, 2004.
- 2) UK Government, *A New deal for Transport: Better for everyone*, 1997.
- 3) Cavill, N., Kahlmeier, S., Rutter, H., Racioppi, F., Oja, P., Economic assessment of transport infrastructure and policies. Methodological guidance on the economic appraisal of health effects related to walking and cycling, WHO Regional Office for Europe, 2007.
- 4) WHO Regional Office for Europe, *Health economic assessment tool for cycling and walking*, WHO Regional Office for Europe, 2017.
- 5) UK Department for Transport, *TAG UNIT A4.1 Social Impact Appraisal*, 2017.
- 6) UK Department for Transport, *TAG UNIT A5.1 Active Mode Appraisal*, 2017.
- 7) UK Department for Transport, *Cycle City Ambition Grants* (Birmingham City Council), 2013.
- 8) Tainio, M., Woodcock, J., SO17859 Research into valuing health impacts in Transport Appraisal, 2016. (March 2017 update).
- 9) 康永秀生、健康の経済学、中央経済社、2018
- 10) 下光輝一、健康日本 21 (第二次) の中間評価とこれからの課題 はじめに、医学のあゆみ、Vol.271、No.10、p.1025、2019
- 11) 室町泰徳、都市交通計画における健康便益評価に関する再検討、土木計画学研究・講演集、Vol.57、CD、2018.

### 第3章 IEA Energy Policies of IEA Countries France 2021 Review の抄訳（室町泰徳）

#### はじめに

IEA では、加盟国のエネルギー政策を順番にレビューしており、2020 年のドイツ (Germany) に続いて 2021 年にはフランスに関するレビュー結果が報告されている。フランスのエネルギー政策と関連する気候変動対策の重要性を考慮し、以下、運輸部門に関連して重要と考えられる部分の抄訳を行うこととした（図表番号は原著通り）。

#### 1. 要約

フランスは、世界的なエネルギー転換の初期の思想的リーダーである。COP21 とパリ協定の開催国として、フランスは広く国際社会によるエネルギー転換の最前線と見られている。

フランスは、2019 年の電力構成の 71% を占める原子力エネルギーと水力発電 (10%) のために、脱炭素電力と先進国の一人当たりの排出量が最も少ないという恩恵を受けている。

2015 年のエネルギー移行法に基づいたフランスの脱炭素化の枠組みは、2050 年に向けた国家低炭素戦略 (Stratégie Nationale Bas-Carbone, SNBC) によっており、化石燃料の使用と排出量を 2034 年までの部門別 3 期 5 年間の炭素予算により削減することを目標としている。エネルギー部門では、政策は連続する 5 年間のエネルギー投資計画 (la programmation pluriannuelle de l'énergie, PPE) によって実施される。SNBC と PPE に基づいて、地域は空間計画、持続可能な開発、平等のための地域計画の下、独自の気候とエネルギー転換の目標を実施する。地方レベルでは、自治体は大気とエネルギーの計画に取り組んでいる。

2021 年の時点で、フランスは、2015 年に合意されたエネルギー効率、再生可能エネルギー、排出削減の目標を達成するための軌道にまだ乗っていない。

2019 年のエネルギー・気候法は、2050 年までにカーボンニュートラルとすることを法制化し、排出削減経路を強化した (1990 年のレベルと比較して 2050 年までに 85% の削減)。2020 年、政府は 2050 年までにカーボンニュートラルの目標に向けて SNBC と PPE を更新した。

2021 年 10 月、フランスは 2030 年に向けて 300 億ユーロの投資計画を発表した。これは、エネルギー、自動車、宇宙セクターにおけるフランスの産業開発を対象としている。内容と



して産業の脱炭素化、水素および小型モジュール式原子炉へのエネルギー技術投資に充てられる 80 億ユーロ、電気自動車とプラグインハイブリッド車への 40 億ユーロを含んでいる。

フランスは、エネルギー効率と再生可能エネルギーに関する 2020 年の目標を達成していない。また、2015 年に採択された 2030 年の排出目標は変更されていない。2 期目の炭素予算は 2020 年に上方修正され、2023 年までに必要な労力が削減されている。

フランスは、運輸部門排出量が増加し続けているため、欧州連合（EU）排出量取引システム（ETS）以外の部門の排出削減目標に向けた進みは順調ではない。フランスは最初の炭素予算を達成しておらず、2 期目の炭素予算も達成するかどうかはわからない。2020 年、IEA は、COVID-19 のパンデミックにより、2019 年のレベルから 12% の CO<sub>2</sub> 排出量の削減を見込んでいる。しかし、これらの傾向は実際の排出量の削減を反映しておらず、景気の回復に伴い急速なリバウンドも予想されている。

フランスには、電気自動車とプラグインハイブリッド車への切り替えをサポートするボーナス/マルスシステムや転換ボーナスなど、野心的な目標とインセンティブがある。モビリティ戦略とモビリティオリエンテーションに関する 2019 年法では、2040 年に新しい乗用車のすべての販売をゼロエミッション車にすることが義務付けられている。2021 年の気候・レジリエンス法には、2030 年以降、最も汚染の多い車両の販売の禁止も含まれている。多くの国はすでにより野心的な目標を持っている（脱炭素化された電源構成はるかに少ないにもかかわらず）。新しい気候・レジリエンス法が 2030 年の目標に移行したことは望ましい。フランスは、PPE の下で電気自動車の展開と充電インフラストラクチャーの目標を達成できない可能性がある。2021 年半ばの約 671,000 台から 2023 年までに 120 万台、2028 年までに 480 万台という大幅な電気自動車とプラグインハイブリッド車の販売増大の目標である。これは重要なシグナルとなる。ノルウェー、スウェーデン、オランダ、ドイツに続き、フランスは現在、ヨーロッパの電気自動車市場に追いついており、新車登録では英国のレベルに達している。

G7 加盟国の中で、フランスは絶対値で一人当たりの CO<sub>2</sub> 排出量が最も低い値となっている。また、2030 年までに温室効果ガス排出量を 40%削減するという目標は、比較的厳しい目標ではない。しかし、2015 年以降、目標は強化されておらず、新たな政策措置なしには進展はない。

ネットゼロに移行するには、運輸、建物、および産業が、低炭素電力供給を維持しながら、気候ニュートラルに向けた費用対効果の高い経路をとる必要がある。改訂された国家エネルギー研究戦略を支えるクリーンエネルギー技術ロードマップは、2024 年に向けて準備中の新しい SNBC/PPE に付随して、経路と技術を選択し、雇用創出の機会を特定し、投資決定を知らしめ、進捗状況を追跡する必要がある。2030 年、2040 年、2050 年のクリーンエネルギー

技術経路の確固たる評価に基づいて、PPE を強化し、エネルギー効率を含め、PPE の下での年間グリーン予算における幅広いクリーンエネルギー技術オプションを見出す必要がある。

炭素価格のシグナルは、クリーンエネルギーへの投資にとって依然として重要である。EU Green Deal とその Fit-for-55% パッケージは、EU ETS および非 ETS 部門の下での炭素価格シグナルを強化することが期待されている。運輸および建物部門では、フランスはすでにエネルギー課税の一部として CO<sub>2</sub> 1 トンあたり 44 ユーロの炭素税を課している。

しかし、カーボンプライシングは、公正な移行のための政策なしには実行できず、このことは政府にとって継続的な優先事項である必要がある。石油価格が高騰した時期に自動車燃料と関連する炭素成分の両方に対する物品税が引き上げられた 2018-19 年の長期にわたる抗議運動によって示されるように、追加税の社会的受容は限界に達している。フランスは、ディーゼルとガソリンの課税のギャップをますます狭めている。これは、これらの燃料の相対的な CO<sub>2</sub> 排出量をより適切に反映している。さらに、フランスはグリーン予算アプローチを実施した最初の国であり、エネルギー移行期にある多くの EU 諸国に教訓を提供している。

再スキル化、雇用、およびコミュニティと労働者の移行をサポートするなどの移行コストを管理するための新しいアプローチがなければ、さらなる増税の余地はほとんどない。炭素税のさらなる改革は、より広範なエネルギー税改革の一部であるべきである。フランスの環境税は、環境的および社会的コストをより適切に反映する必要がある。エネルギー税免税という形の化石燃料補助金を段階的に廃止することで、特に運輸部門における消費と排出量を削減し、効率を高めることができる。

フランスには高度なスキルを備えたエネルギー産業があり、レジリエントな景気回復のバックボーンとなる可能性がある。今日の雇用の大部分は原子力と石油・ガス部門が占めているが、再生可能エネルギー部門、特に風力と太陽光では、雇用と投資がダイナミックに成長している。SNBC の下、運輸、建物、エネルギーへの投資に後押しされ、この成長は 2030 年までに 30 万〜50 万人の新規雇用を創出し、2050 年までに 80 万人を創出するように加速すると予測されている。

フランスの復興計画は、エネルギーと気候の目標の実施を加速し、人々を中心とした移行を支援するための歴史的な計画である。世界的な取り組みをリードするフランスは、非常に大規模で環境に配慮した復興計画を採用し、フランスの復興計画に基づく資金、合計 1,000 億ユーロのうち、300 億ユーロ以上を持続可能な復興目標に充てている。運輸 (200 億ユーロ)、建物の改修 (60 億ユーロ)、原子力の技術革新 (4 億 7000 万ユーロ)、フランスの水素戦略 (70 億ユーロ) である。この資金は、2020 年の PPE に含まれる再生可能エネルギーのサポートスキームに追加される。重要な革新的な投資スキームには MaPrimeRénov' が含まれ、これは、すべての所得クラスの建物のエネルギー効率向上をサポートし (エネルギー移行税控

除に取って代わり)、電気自動車の個人購入に対する補助金を増やし、電気自動車の充電器の住宅設置に追加の税額控除を提供する。

フランスは、公的資金 70 億ユーロに示されるように、産業と大型車に焦点を当てた国の水素戦略で水素を最優先事項にしている。政府は、新技術による産業育成とフランスにおける専門知識の蓄積に焦点を合わせている。政府は、ヨーロッパの中の地域における水素ハブとしての機会を利用して、フランスにおける技術開発の重要な勢いを維持し、水素を新しいエネルギーキャリア、およびエネルギーシステムにおける長期エネルギー貯蔵のプロバイダーとして利用する可能性を高めていく必要がある。

## 2. エネルギー政策一般

フランスの総エネルギー供給量 (TES) は 217.8Mtoe (原子力 42.3%、石油 28.3%、天然ガス 16.1%、バイオエネルギーと廃棄物 7.7%、石炭 2.5%、水力 2.5%、太陽光 0.6%、地熱 0.2%) であり、2010 年から 2019 年にかけて 7.8%の減少、2019 年から 2020 年にかけて 10%の減少となっている。2019 年の総最終消費量 (TFC) は 105.1Mtoe (住宅 39.3%、産業 30.4%、運輸 30.3%) であり、2009 年以降 3.9%の減少となっている。

2019 年、フランスは国内の総エネルギー供給量 (TES) の約半分を生産した (図 2. 2)。

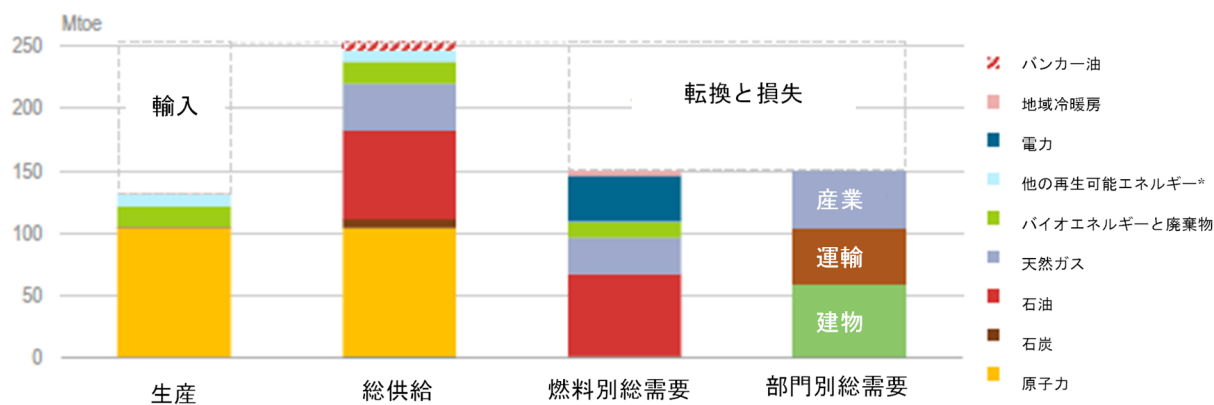


図 2.2 フランスのエネルギー生産、供給、消費の概要、2019 年

フランスの生産は、総エネルギー供給のほぼ半分を確保している。エネルギー消費の大部分は石油、電力、天然ガスが占めている。建物のエネルギー需要は最も高くなっている。

\*他の再生可能エネルギーには、水力、風力、地熱、太陽光が含まれる。

注：総供給量には、総エネルギー供給量と国際バンカー燃料が含まれる。建物には、住宅用および商業用および公共サービス用の建物が含まれる。

注：Mtoe=石油換算百万トン。TFC=最終消費量の合計。

出典：IEA (2021)、IEA 世界エネルギー統計と収支 (データベース)

国内のエネルギー生産は、主に原子力（79%）、バイオエネルギー（13%）、その他の再生可能エネルギー（3.7%の水力発電の大きな役割を含む）で構成されている。2019年には原子力がTESの43%を占め、次に輸入石油（29%）、天然ガス（15%）、国産バイオエネルギー（7%）が続いた。需要側では、石油が依然として2019年の最終消費量（TFC）の44%をカバーしており、電力と天然ガスがそれに続いている。建物がTFCの39%を占め、続いて運輸と産業がTFCの30%を占めている。

フランスのTFCは、2010年の160Mtoeから2019年の150Mtoeにゆっくりと減少し、1994年以来最低レベルに達した。2009年から2019年の間に人口が4%増加したにもかかわらず、フランスは国のGDPの成長と最終エネルギー消費（TFC/GDP比）との間の全体的なデカップリングを果たしている。フランスのGDPは期間中に15%増加したが、GDPのエネルギー強度は2009年以降16%減少した。2019年には、建物のエネルギー需要はTFCの3分の1以上（39%）をカバーしていた（図2.7）。産業と運輸のエネルギー需要は、それぞれTFCの30%であった。2010年以降、建物のエネルギー需要は14%減少し、最も急激な減り方となった（2010年の68Mtoeから2019年の59Mtoeへ）。同じ期間に、産業のエネルギー消費量は4%減少し（48Mtoeから46Mtoeに）、唯一、運輸は増加した（4%）。

2019年には、石油がエネルギー需要の44%をカバーしており、主に運輸および産業において利用された（図2.8）。電力はTFCの4分の1を占め、建物の中で最も高いシェア（43%）を占めている。天然ガスは3番目であり、産業と建物で2番目に使用されるエネルギー源で

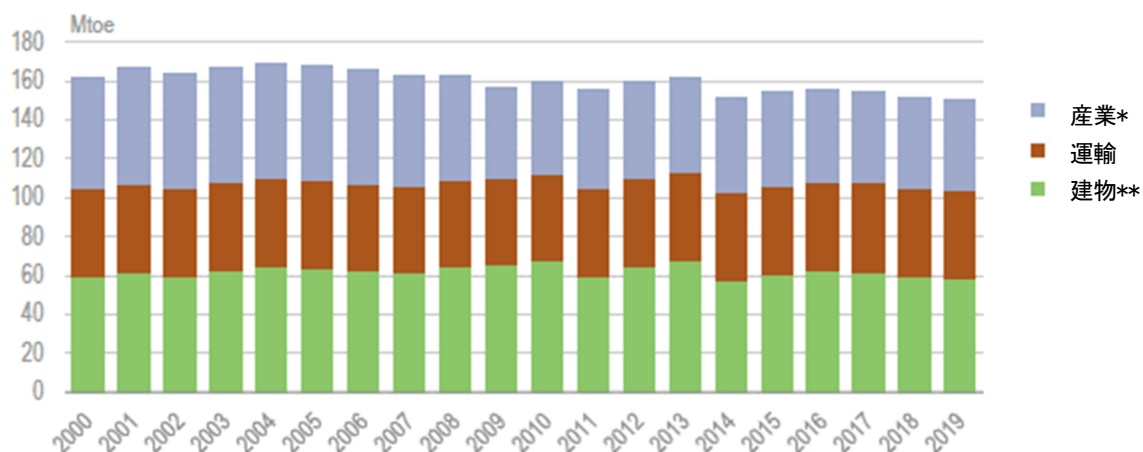


図 2.7 フランスの部門別総最終消費量、2000～19 年

総最終消費量は2010年以降ゆっくりと減少しており、運輸部門の需要は依然として増加しているものの、2019年には最低の150Mtoeに達している。

\*産業には非エネルギー需要が含まれる。

\*\*建物には、住宅、商業、公共サービスの建物が含まれる。

注：Mtoe=石油換算百万トン。

出典：IEA（2021）、IEA World Energy Statistics and Balances（データベース）

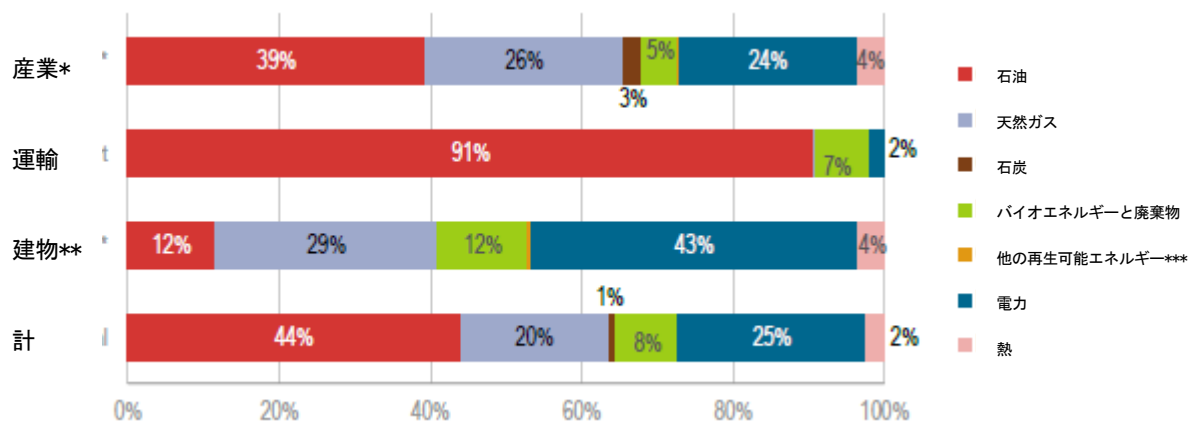


図 2.8 フランスのセクター別および燃料別の最終消費量の合計、2019 年

2019 年にフランスで消費された主な燃料は、石油、天然ガス、電力であった。

\*産業には非エネルギー需要が含まれる。

\*\*建物には、住宅用、商業用、公共サービス用の建物が含まれる。

\*\*\*その他の再生可能エネルギーには、水力、風力、地熱、太陽光が含まれる。

出典：IEA（2021）、IEA World Energy Statistics and Balances（データベース）

あり、両方の部門で 4 分の 1 以上を占めている。バイオエネルギーと廃棄物も重要な割合（8%）を占めており、特に建物部門（12%）ではそうである。

国レベルでは、エネルギー、環境、気候に関する政策立案は、エコロジー移行省（MTE）の権限となる。このスーパー省は、運輸、大気質、水、リスク管理、建物も担当している。省内では、エネルギーと気候総局がエネルギー、気候、大気質に関する政策を策定し、実施している。MTE はまた、地域および部門の地域行政サービスを指揮している。その独自の省際的な設定により、MTE は気候、生物多様性、きれいな大気、技術、エネルギー税だけでなく、平等などの社会問題についても他の省庁と協力することができる。首相の下で、計画の高等弁務官（Haut Commissaire au Plan）は、政府全体の計画実務を担当している。

2018 年に、気候に関する高等評議会（Haut Conseil pour le Climat）が設立された。この評議会は、政府の気候戦略を独自に評価し、政府の政策の有効性を評価する。政府と議会に対して年次進捗報告書を発行し、政府はこれに正式に対応する必要がある。

地域は、空間計画、持続可能な開発、平等のための地域計画の下で、気候とエネルギーの移行目標を達成する（schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires、SRADDET）。2015 年のグリーン成長のためのエネルギー移行法に基づき、SRADDETs には、サブ地域スケールで策定された地域の気候-大気-エネルギー計画（plans climat-air-énergie territoriaux、PCAETs）が含まれる。それらは、地区（地方自治体間連合）を含む地域の地方自治体によって調整される。地域は市民のプロジェクトやビジネスを支援し、

地方スケールでの公共交通機関、廃棄物、水管理に責任を負っている。彼らはまた、しばしば暖房ネットワーク、ならびにガスおよび配電ネットワークの利権所有者でもある。

グリーン成長のためのエネルギー移行法は、排出削減（1990 年レベルから 2030 年までに -40%）、エネルギー効率（2012 年レベルから 2030 年までに TFC で 20%、2050 年までに 50%の削減を想定）、再生可能エネルギーの割合（2020 年までに総最終消費量の 23%、2030 年までに 32%を目標）の基礎を設定した。これらの目標は引き続き実施されている。

2019 年、フランスはエネルギー・気候法を採択した（Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat）。2019 年のエネルギー・気候法は 2015 年の法律を改正し、2030 年までの 10 年間のエネルギー部門の目標の一部を修正した。これは 1990 年のレベルと比較して温室効果ガス（GHG）排出量（土地利用、土地利用変化、林業（LULUCF）を除く）を 85%削減し、生態学的および気候的緊急性を強調し、2050 年までに気候ニュートラルに到達するためのマイルストーンとなっている。

2050 年までに気候ニュートラルという目標に沿って、SNBC と PPE は 2020 年に新しい目標に更新された。次の SNBC と PPE は 2024 年に採用される予定である。エネルギープログラミング法は 2023 年に提示される予定である。

2021 年の気候・レジリエンス法（Loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets dite “Loi Climat et Résilience”）は、2021 年 8 月 24 日に公開された。これにより 2.5 時間の鉄道乗車が代替案を提供する場合は、短距離航空国内線が禁止される。また、G（2025 年まで）、F（2028 年まで）または E（2034 年まで）のエネルギー性能を持つ住宅の販売を禁止するタイムラインに則って、断熱性の悪い建物（energy sieves or passoires thermiques）を廃止する。この法律には、電動自転車への補助金を支持する条項、フランスの大気保護計画の対象地域におけるバイオマス暖房による大気汚染（粒子状物質）を 2020 年から 2030 年にかけて 50%削減するという目的も含まれている。また、この法律は、市長が主要都市に低排出ゾーンを設定し、2030 年に最も汚染の多い車両の販売を禁止するとともに、フランスで消費される商品やサービスの環境フットプリントスコアを導入する権限を与えている。そして、次の PPE においてより大きく地域化を促進する。

地域は、SRADDETs の下で気候とエネルギー移行の目標を実行する。サブ地域レベルでは、いくつかの自治体を集めた地区（地方自治体間連合）がローカル PCAETs を準備する。地域および地方自治体とそれぞれの公的機関は、特に行政計画（SRADDETs および PCAETs）を通じて、SNBC 戦略とその炭素目標を考慮に入れる必要がある。目標は、5 年ごとの炭素予算ごとに更新される（図 2.9 も参照）。

2021 年 10 月までに、SRADDETs（9 つのスキーム）の約 80%が承認された。PCAETs は、2018 年末までに承認され、実施される予定である。2021 年、MTE は 224 の PCAETs が採用

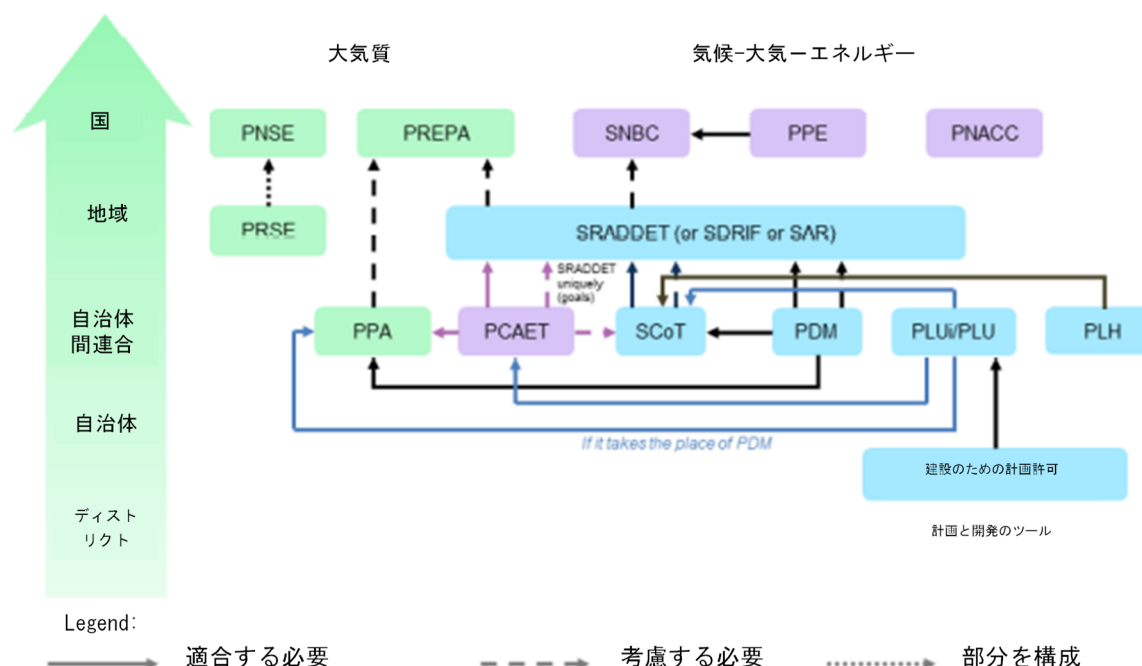


図 2.9 エネルギー移行に関する国、地域、地方の計画

注：PNSE=全国環境衛生計画、PPA=大気保護計画、PRÉPA=大気汚染物質排出削減のための全国計画、PNACC=国家気候変動適応計画、PPE=10年間のエネルギー投資計画、SNBC=国家低炭素戦略、SRADDET=空間計画、持続可能な開発、平等のための地域計画、SDRIF=イルドフランス地域のマスタープラン、SAR=地域開発計画、PLH=地方の住宅プログラム、PLU/PLU=地域自治体間連合の都市計画、PDM=モビリティプラン、ScoT=テリトリアルコヒーレンススキーム（広域統合計画）、PRSE=地域の健康環境計画

出典：ADEME（2021）、地域の多様性に対するアプローチの多様性

されたと発表している。

2020 年、フランスは EU ガバナンス規制に基づいて最終的な国家エネルギー・気候計画（NECP）を EU に提示した。2023 年までに、フランスは 2050 年までの EU ネットゼロの野心と EU 気候法に合わせて NECP を更新する必要がある。

EU 気候法は、2050 年までに気候ニュートラルとする EU の目標を法制化し、進捗状況をモニタリングし、必要に応じて国内および EU 全体の行動を調整するシステムを構築する。パリ協定に沿って、EU 気候法は 5 年間のストックテイキング・プロセスを規定している。EU ガバナンス規制の下で規制されている NECP は、このプロセスの中心である。2019/20 年に、NECP の初版が 2030 年までの 10 年間に対して採用された。2023 年に初めて欧州委員会が進捗状況を評価する予定である。

2021 年 7 月、欧州委員会は、GHG 排出量削減の規則（努力分担規制および排出権取引システム）、および目標レベルを含むエネルギー効率および再生可能エネルギー指令を改訂す

る提案を、Fit-for-55%パッケージと共に排出量削減の高い野心を実現するための一連の提案として発表した。更新される NECP (2023/24 まで) は、交渉が終了した後の EU レベルでの気候とエネルギーの野心の高まりと国内進捗報告の結果を反映する必要がある。

エネルギーと炭素に関するプライシングと税に関する炭素成分は、国内エネルギー消費に対する国内税 (ITC) に含まれている。ITC の合計は時間の経過とともに増加する予定であったが (2020 年には最大 56 ユーロ/tCO<sub>2</sub>、2022 年には 86 ユーロ/tCO<sub>2</sub>、2030 年には 100 ユーロ/tCO<sub>2</sub>)、2018 年以来 44.6 ユーロ/tCO<sub>2</sub> のままである。

政府はディーゼルの炭素価格の引き上げを 2014 年の 100 リットル (L) あたり 42.84 ユーロから 2018 年には 59.4 ユーロに加速し、ディーゼルとガソリンの課税バランスを改善した。炭素成分税 (EUR44.6/tCO<sub>2</sub>) により、エネルギー消費量が 1.2Mtoe 削減され、年間 330 万トンの CO<sub>2</sub> 換算量 (MtCO<sub>2</sub>) が削減されると見込まれている。国内航空と灯油の消費は ITC から免除されている。

フランスでは炭素成分の対象ではないが、最終消費電力に 22.5 ユーロ/MWh (2016 年以降) の税を課しており、その収入は国の予算に充てられ、エネルギーの公共サービス料金 (CSPE) の資金には充てられていない。

エネルギーと炭素税には、貨物 (7.5 トンを超えるトラック)、バスとコーチ、およびタクシーの割引が含まれている。また、いくつかの免除 (主に商用航空便と水運)、または特定部門のエネルギー製品の物品税の引き下げ、特に農業、建物、オフロード輸送でのディーゼル使用に対する税引き下げ、および農業で使用されるディーゼル、天然ガス、重油税の一部還付を適用している。これらは 2019 年に約 23 億ユーロに達している。貨物輸送だけで、2019 年に 14 億ユーロの総費用をかけて、燃料税率の一部の払い戻しを受けている。

運輸用燃料に対するフランスの税金は、IEA 諸国の中で最も低くなっている。ただし、いくつかの重要な変更が進行中である。

- フランスは 2019 年に航空機のチケット税をほぼ 2 倍にし (エコノミークラスのチケットの場合、EU 内のフライトの場合は 1.13 ユーロから 2.63 ユーロに、EU 外のフライトの場合は 4.51 ユーロから 7.51 ユーロに)、追加の歳入を鉄道インフラのサポートに割り当てた (最大 2 億 3000 万ユーロ)。
- フランスは、2020 年 1 月、道路貨物運送業者への課税 (ディーゼル使用で 0.02/L ユーロ) を引き上げた。
- フランスは、2021 年 1 月、2 年以内にガソリンの道路交通レート (0.45 ユーロ/L、0.49 ユーロ/L から 0.68 ユーロ/L、0.69 ユーロ/L) と同じくするために、非商業用途に使用される航空ガソリンの税を引き上げた。
- フランスは、2022 年 1 月、データセンターに対する電力税率の引き下げを制限する予定



である。

- フランスは、2023 年 1 月、オフロード用のディーゼルに対する税金を、オンロード用のディーゼルレート（0.1882 ユーロ/L から 0.5940 ユーロ/L）に引き上げる予定である。

2020 年 9 月、フランスは、EU タクソノミーの 6 つの基準を使用して、2021 年予算法案の環境影響評価を実施した最初の国となった。EU タクソノミー規制は、6 つの環境目標を設定している。1) 気候変動の緩和、2) 気候変動への適応、3) 水と海洋資源の持続可能な利用と保護、4) サーキュラーエコノミーへの移行、5) 汚染の防止と管理、6) 生物多様性と生態系の保護と回復（経済財政復興省、2021 年）。

2021 年の 5,740 億ユーロの予算の約 90%は、環境に対して中立であると考えられている（これには、給与支出と家計への社会的移転が含まれる）。厳密に望ましいと評価されたのは 380 億ユーロのみで、再生可能エネルギーへの支援（66 億ユーロ）、エネルギー移行を支援するための支出（エネルギー効率ボーナス、8 億ユーロ、エネルギー効率改善のための付加価値税率 5.5%の低減、12 億ユーロ、公共交通で使用される電力に対する税率の引き下げ、2 億ユーロ、政府開発援助、19 億ユーロ、水道局の支出、22 億ユーロ）であった。約 47 億ユーロは両方の影響がある内容（主に運輸インフラストラクチャー、特に気候に良いが土地利用と生物多様性に有害である可能性のある新しい鉄道インフラストラクチャーに関連する）であり、100 億ユーロだけが望ましくないとされた。これらは主に、自動車燃料の消費に対する国内税の免除または減税（51 億ユーロ）などの財政支出（72 億ユーロ）、またはナショナルグリッドに接続されていない地域におけるエネルギー生産（化石燃料を使用）を支援するための支出（15 億ユーロ）であった。

フランスには競争力のあるエネルギー産業があり、エネルギー部門はレジリエントな経済復興とフランス経済の長期的な持続可能性のバックボーンとなる可能性がある。原子力および石油・ガス部門がエネルギー部門の雇用の大部分を占めている一方で、再生可能エネルギー部門、特に風力および太陽光は、雇用と投資のダイナミックな成長を見てきた。SNBC と PPE に基づくと、2030 年までに約 30 万～50 万人、2050 年までに 80 万人の新規雇用が追加され、運輸、建物、エネルギーへの投資により後押しされると予想されている。

2020 年、COVID-19 の危機とそれに関連するロックダウンにより、運輸、特に SNBC の主要部門であるフランスの航空、産業、商業セクターにおける需要が破壊された。2020 年 9 月、政府は 1,000 億ユーロの復興計画を採択した。国家復興・レジリエンス計画は、EU の復興・レジリエンス・ファシリティが期待する 40%の資金シェアの概要を示している。

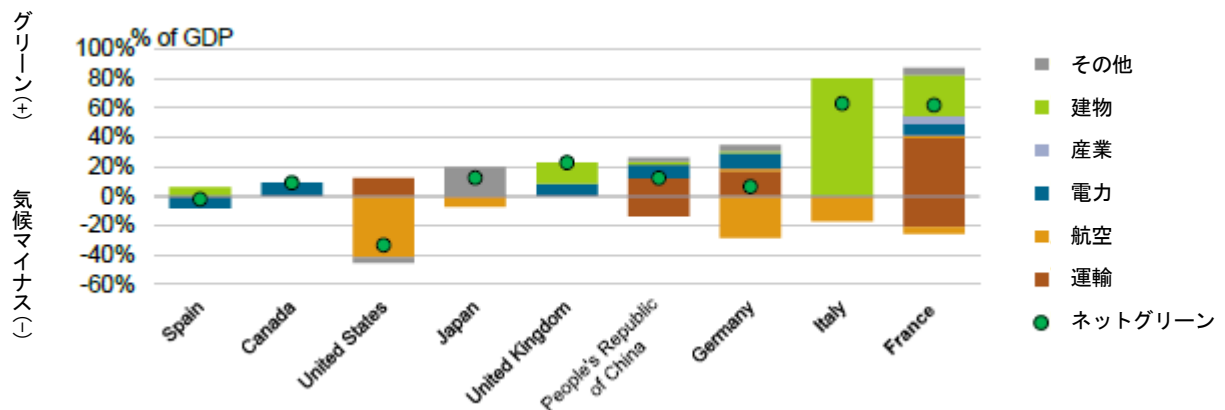


図 2.10 持続可能な移行に向けた復興計画、フランスおよびその他の IEA 諸国

注：国内総生産の%の Y 軸は、気候プラス (+)、気候マイナス (-) の投資を示している。

輸送中のバッテリーエネルギー蓄電 (R&D) 投資サポートは運輸部門にカウントする。

出典：IMF (2020b)、財政モニター：復興のための政策

一部の国と比較して、フランスの復興計画は、クリーンな投資の加速をサポートする強力なネットグリーン効果をもたらすものである (図 2.10)。フランスは、運輸 (鉄道)、建物 (暖房、効率)、サーキュラーエコノミーに重点を置いて、合計 300 億ユーロのグリーン復興への刺激策を提示した。これは PPE として実施されている既存のサポートスキームへの追加資金となっており、再生可能電力と再生可能ガス (それぞれ合計で 240 億ユーロと 100 億ユーロ) を含んでいる。復興資金は、2028 年まで再生可能電力に 240 億ユーロ、再生可能ガスに 100 億ユーロを提供する PPE および 2020 年財政法に基づいて計画された投資に追加される。

鉄道輸送は、新しい鉄道インフラへの投資に加えて、道路貨物輸送を削減する目的でアップグレードされる (2024 年までに 10 億ユーロ、2025-30 年には 120 億ユーロ)。フランスの復興計画の一環として、政府は水素戦略のために 70 億ユーロの公共投資を発表し、建物の改修のために 60 億ユーロの追加の刺激策を発表した。2021 年財政法に基づく予算には、建物の改修に対するサポートの拡大 (MaPrimeRénov'は現在、すべての所得クラスにわたる建物、賃貸物件、暖房のエネルギー効率改善をサポートしている)、電気自動車 (EV) の個人購入に対する補助金の拡大、および家庭での EV 充電器の設置に対する新しい税額控除が含まれている。

2018 年、フランスは主要な社会運動と抗議行動 (「ジレットジョーン」または黄色いベスト運動) とより強力な気候変動対策に対する市民の声 (気候行進、気候変動への学生のストライキ) を経験した。それ以来、フランスは気候変動に関する議論に関して市民に権限を与えるためのいくつかの政策を実施し、特に気候市民会議を開催した。公正で包摂的な生態学的移行の精神で、会議は 150 人の市民を集め、(1990 年のレベルと比較して) 2030 年までに

GHG 排出量を少なくとも 40%削減するための約 150 の新しい対策を提案した。この提案は、2021 年の気候・レジリエンス法の一部を構成している。

炭素税の凍結の一環として、政府は、エネルギーバウチャー、改修のための補助金 (MaPrimeRénov')、乗用車転換ボーナス、熱ボーナス、簡素化されたエコ税の拡大など、消費者に財政的支援を提供する新しい対策を採用した。2020 年には、復興計画に基づいて追加の対策が導入された。

### 3. 気候変動

フランスの部門別の CO<sub>2</sub> 排出量は、運輸 42.8%、産業 23.9%、建物 20.9%、電力および熱生成 12.4%となっている。

気候変動に関する世界的な思想的リーダーとして、フランスは経済を完全に脱炭素化するという長年の野心を持っている。政府は、2019 年のエネルギー・気候法に基づいて 2050 年までにネットゼロ排出削減を約束し、更新された国家低炭素戦略 (Stratégie Nationale Bas-Carbone, SNBC) および 2 期の連続する 5 年間のエネルギー投資計画 (la programmation pluriannuelle de l'énergie, PPE) に基づいて必要な炭素予算を提案した。その目標は、エネルギー生産からの温室効果ガス (GHG) 排出量を 1990 年のレベルと比較して 2023 年に 27%、2028 年に 40%削減することである。2019 年までに、フランスは 1990 年と比較して 19%のエネルギー関連 GHG 排出量の削減を達成した。低炭素電源ミックス以外、運輸、農業、建物部門で想定される排出削減は遅れており、進展は遅い。気候に関する高等評議会、生態学的防衛評議会、および市民会議の創設により、フランスにおける気候対策の必要性に対する認識が高まったが、目標に向けた進捗状況を評価および指導するために必要なガバナンスは依然として不十分である。COVID-19 のパンデミックの間、フランスの排出量は 1 年間で 12%減少した。しかし、経済が回復するにつれて排出量も回復するリスクがある。復興計画が生態学的移行への投資を後押しすることに焦点を合わせていることは望ましいことである。

2019 年、土地利用、土地利用変化、森林 (LULUCF) からの排出を除いた GHG 総排出量は、CO<sub>2</sub> 換算で 4 億 4300 万トン (MtCO<sub>2</sub>eq) であった (図 3.1)。エネルギーだけでなく農業も、GHG の総排出量において重要な位置を占めている。他の国と同様に、エネルギー部門は最大の GHG 排出部門であり、2019 年には全体の 68%を占め、過去 30 年間で排出量を 18%削減している。2000 年から 2020 年の間に、GHG の総排出量は、原子力と再生可能エネルギー発電の 62%の増加による貢献のおかげで 20%減少した。

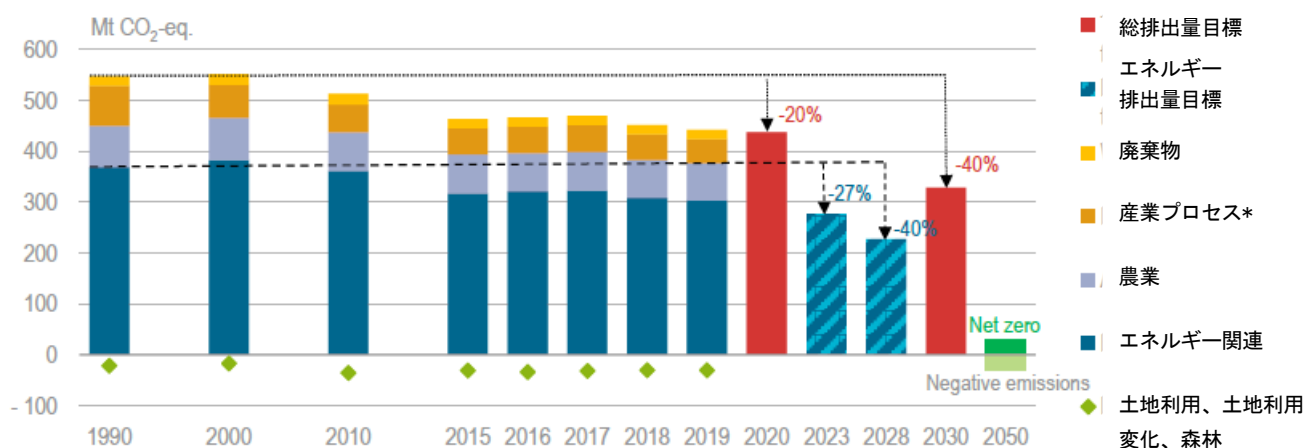


図 3.1 フランスの部門別 1990～2019 年 GHG 排出量および目標

2020 年までに、GHG 総排出量は 1990 年と比較して 20%減少した。エネルギー関連排出量は 2015 年以降一定のままであるが、2028 年までに 40%減少させる必要がある。

\*産業プロセスには、鉱物、化学、金属、製造、建設業が含まれる。

注：MtCO<sub>2</sub>eq=CO<sub>2</sub> 換算で百万トン、LULUCF=土地利用、土地利用変化、森林

出典：UNFCCC（2020）、フランス 2020 National Inventory Report

フランスの燃料燃焼によるエネルギー関連の CO<sub>2</sub> 排出量は、2009 年の 336MtCO<sub>2</sub> から 2019 年には 294MtCO<sub>2</sub> となり、10 年間で減少した（図 3.2）。2014 年に建物部門と発電において減少した後、エネルギー関連の排出量は、近年、約 300MtCO<sub>2</sub> となっており横ばいである。2019 年から 2020 年の間に、COVID-19 のパンデミックの結果、排出量は 12%減少して 258MtCO<sub>2</sub> となった。

2019 年の CO<sub>2</sub> 排出量の最大のシェアは、126MtCO<sub>2</sub>（43%）の運輸部門からのものであり、次に 70MtCO<sub>2</sub>（24%）の産業、62MtCO<sub>2</sub>（21%）の建物、そして 37MtCO<sub>2</sub>（12%）の発電と熱が続く。運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量は 2009 年から 2019 年にかけて 2%増加したが、発電による排出量は 29%減少し、建物部門は 28%減少した。

燃料に関しては、2019 年の排出量の大部分は石油（59%）であり、運輸における石油への依存度が高いことが反映されている。天然ガス（29%）と石炭（10%）がこれに続く。2009 年から 2019 年にかけて、石油消費による総排出量は、建物および産業部門での石油使用の減少傾向により 14%減少した。天然ガスの燃焼による排出量は、建物のエネルギー需要により、86MtCO<sub>2</sub> で安定している。石炭による排出量は、この 10 年間で徐々に減少している。

フランスは世界のリーダー国の 1 つであり、電源構成は非常に低炭素である。2019 年の電力と熱の排出量は 61gCO<sub>2</sub>/kWh であり、2000 年と比較して 29%減少した。これは主に原子力エネルギーの重要な貢献によるものである。比較すると、ドイツの発電は 2019 年に

334gCO<sub>2</sub>/kWh であった。フランスは、IEA ヨーロッパの加重平均である 242gCO<sub>2</sub>/kWh を下回っており、工業生産、運輸、住宅部門のエネルギー使用において低炭素発電の恩恵を受けている。

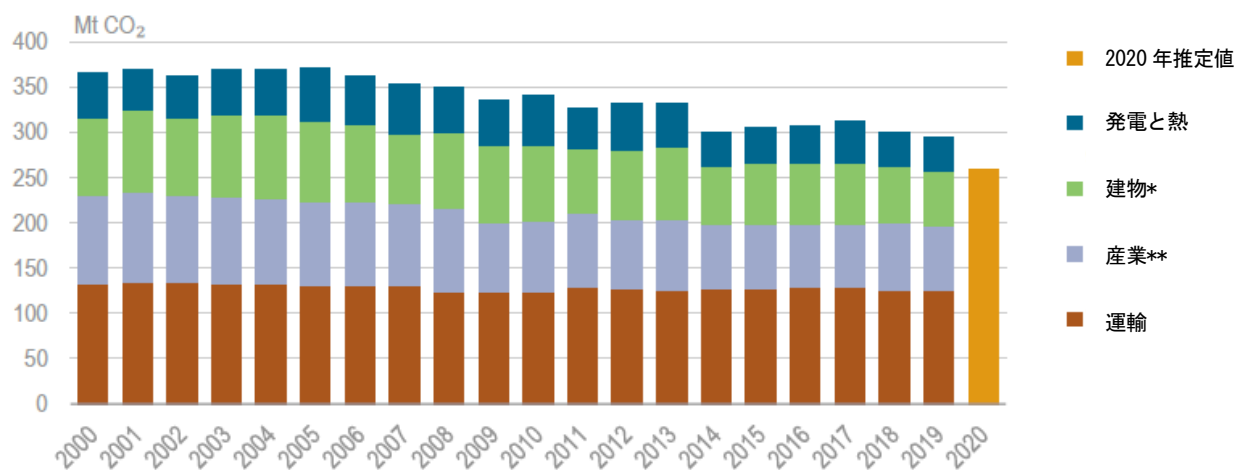


図 3.2 フランスの部門別エネルギー関連 CO<sub>2</sub> 排出量、2000～20 年

2014 年の減少以来、エネルギー関連の CO<sub>2</sub> 排出量は横ばいである。発電による排出量の減少は、運輸部門の排出量の増加によって打ち消された。

\*建物には、住宅、商業、公共サービスが含まれる。

\*\*産業には、建設および製造業、農林業、漁業での燃焼による CO<sub>2</sub> 排出量が含まれる。

注：MtCO<sub>2</sub>eq=二酸化炭素換算で百万トン。

出典：IEA（2021a）、燃料燃焼統計からの IEACO<sub>2</sub> 排出量（データベース）

排出削減目標に関して、脱炭素化アジェンダの当初からの世界的リーダーであるフランスは、カーボンニュートラルに向けた野心的な GHG 排出削減目標、炭素予算を備えたエネルギーと気候計画の枠組み、経済全体の炭素税の経路を採用した最初の国の 1 つであった。

2015 年のグリーン成長のためのエネルギー移行法（Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte）は、GHG 排出量を 2030 年までに 1990 年レベルから 40%削減するという国内目標を設定し、2050 年に向けて排出量を 75%削減するという目標、ファクター4 を確かなものとしている（2005 年の POPE 法で定義されているように）。

2017 年の気候計画は、フランスの気候ニュートラルに向けた野心的な気候手段、特にクリーンなモビリティ、クリーンな電力、石油とガスの埋蔵量を地中に残すことによる化石燃料生産の終了を求めている（MTE、2017 年）。提案された手段の多くは、2019 年のエネルギー・気候法に含まれた。気候計画は、炭素フリー電力、燃料転換、海洋、地熱、その他の再生可能資源の開発手続きの簡素化を促進した。また、2040 年までに石油、ガス、石炭を生産しないように、フランスが炭化水素を探索することを禁止することも約束した。この計画は、デ

ディーゼルとガソリンの税率調整を伴う炭素価格の上昇、低所得世帯向けの「エネルギーバウチャー」、および 2040 年までに内燃機関（ディーゼル/ガソリン）の販売を終了することもサポートしている。

2019 年のエネルギー・気候法 (Loi Énergie et Climat) は、これらの目標を法制化し、また、2050 年までに 1990 年のレベルと比較して GHG 排出量を 85% (LULUCF を除く) 削減することを規定するフランスのエネルギー法において 2050 年までにカーボンニュートラルを達成するという目標を法制化した。法律は、SNBC および PPE の下で目標を定義するためのエネルギーおよび気候計画プロセスを規定した。2021 年の気候・レジリエンス法 (Loi Climat et Resilience) は、新しい気候手段とともに 2021 年 8 月に採択された。

長期戦略と炭素予算について、2015 年に最初に策定された国家低炭素戦略 (Stratégie Nationale Bas-Carbone、SNBC) は、2018-19 年に更新、2020 年 4 月に公開され、2050 年までに排出量の 85%削減に沿って、すべての部門にわたるネットゼロロードマップを示している。

新しい SNBC を採用した 2021 年 4 月 21 日の法令は、2 期目 (2019-23) の炭素予算を上方修正し、3 期目 (2024-28) のものをそのまま残し、2029-33 年に対して新しい 4 期目の炭素予算を設定した。

SNBC は、2 つのシナリオに基づいている。通常の BAU シナリオに加えて、既存手段と追加的手段がある。2020 年の SNBC 経路では、2030 年までの期間に GHG 排出量を年間平均 3%削減することを求めている。

フランスは、最初の 2015-18 年の炭素予算の削減目標を達成できず、期間全体で推定された超過は 65MtCO<sub>2</sub>eq、年間平均超過は約 16MtCO<sub>2</sub>eq であった。運輸部門の排出量が増加しているため、2015 年から 2018 年の間に排出量は年平均 1%しか減少しなかったが、SNBC2015 シナリオでは年平均 2.2%の減少を予測していた。2020 年の SNBC は、指標となる年間予算と実際の排出量との間の不一致を概説している。

これらは、2015 年に+3MtCO<sub>2</sub>eq、2016 年に+14MtCO<sub>2</sub>eq、2017 年に+28MtCO<sub>2</sub>eq、2018 年に+19MtCO<sub>2</sub>eq という実施ギャップの拡大を反映している (MTE、2020)。2021 年に更新された BAU 予測に基づいて、2020 年 4 月の上方修正に続き、2019 年の排出削減と COVID-19 パンデミックの影響を考慮して、政府は 2 期目の炭素予算を満たすことができると予想している。2021 年 7 月、国務院は 2030 年までに GHG 排出量を 40%削減するというパリ協定に基づく公約を果たすために、2022 年 3 月 31 日までに追加手段を講じるよう政府に要請した。

カーボンプライシングについて、EU 排出量取引システム (ETS) に基づく部門の場合、フランスの排出量は EU 炭素価格に基づいて価格設定される。EU ETS の価格メカニズムは、発電、産業、および EU 内の航空からの排出に適用され、価格は 60 ユーロ/tCO<sub>2</sub>を超えている (2021 年 9 月)。EU レベルでは、フランスは、特に EU ETS の炭素価格の下限設定、EU ETS

以外の部門のカーボンプライシング、EU 国境での炭素国境調整メカニズムの設定（国境を越えた場合の調整）、および今後 10 年間で 100 ユーロ/tCO<sub>2</sub> というより強力な ETS システム、によりカーボンプライシングの強化を支持している。2020 年、フランスは EU ETS オークションから合計 7 億 2,800 万ユーロの歳入を受け取った。政府は、低所得世帯向けの建物の改修に 4 億 2,000 万ユーロを割り当てた。

フランスは、運輸、産業、建物などの ETS 以外の部門において、EU ETS 以外の部門に対するエネルギー課税の一部として 2015 年に導入された炭素成分を実施している。2018 年には、2022 年までに 86.2/tCO<sub>2</sub> に達する経路上で、炭素税率を 56/tCO<sub>2</sub> に自動的に引き上げる予定であったが、これは石油価格の高騰の時期と一致していた。2018 年の社会的抗議（ジレットジョーン、または黄色いベスト）により、課税は 2018 年のレベルである 44.6 ユーロ/tCO<sub>2</sub> に凍結された。炭素成分は、2014 年から 2017 年の間に運輸で 1Mt の排出削減、住宅で 2Mt の削減をもたらすと期待されていたが、世界的な石油価格の低迷の時期と重なったこともあり、想定通りにはいかなかった。

フランスの GHG 排出量の 27% を占める運輸部門は、最大の排出源であり、近年、政策立案の焦点となっている。運輸部門はまた、国のエネルギー消費の 32% を占め、大気汚染物質の排出量の大部分を占めている。特に、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）（56%）と PM2.5（18%）、および非メタン揮発性有機化合物全体の 20% を占めている。

フランスのモビリティ戦略と 2019 年のモビリティ法は、代替燃料（水素、バイオガス/バイオメタン）の役割を高めるためのさまざまな対策を導入し、SNBC の一環として、2040 年に自家用乗用車のすべての販売を低排出ガス車にすることを義務付けた。フランスはモーダルシフトに向けて積極的に取り組んでいる。ボーナス/マルスシステムは、電気自動車の販売に移行するために強化され、そのコストと障壁の削減、充電ステーション数の増加、および古くて環境的に性能の低い車両のより新しく、よりクリーンな車両への交換を加速するための廃棄プレミアムの提供に政策の焦点が当てられている。フランスの復興計画では、2020 年から 22 年にかけて、クリーンなモビリティ（鉄道、自転車、低排出ガスの乗用車とトラック）と（フランスの水素戦略（70 億ユーロ）の一環として）水素（20 億ユーロ）に資金が割り当てられている。これらの対策は、フランスの都市で依然として問題となっている大気汚染も削減する。

気候変動への適応とレジリエンスについて、フランスのエネルギーシステムは、干ばつ、洪水、大雨などの気候変動関連のリスクにますますさらされており、一部では、原子力発電所や水力発電所の水利用や河川での物資輸送に影響が及んでいる。フランスは、北海、チャネル海峡、大西洋、地中海の 4 つの海と国境を接している。2021 年にフランスで稼働している 56 基の原子炉のうち 14 基が海岸にある。



2018-22 年の国家気候変動適応計画（PNACC-2）は、SNBC と並行してデザインされている。エネルギー部門における気候レジリエンスの詳細な手段と対策は、最初の PNACC で提案されたが、2 番目の PNACC はこのトピックにあまり注意を払っていない。PPE は、供給セキュリティへの投資、特に気候変動の影響や異常気象に対処するためのエネルギーインフラストラクチャーの耐気候性への投資を含んでいる。

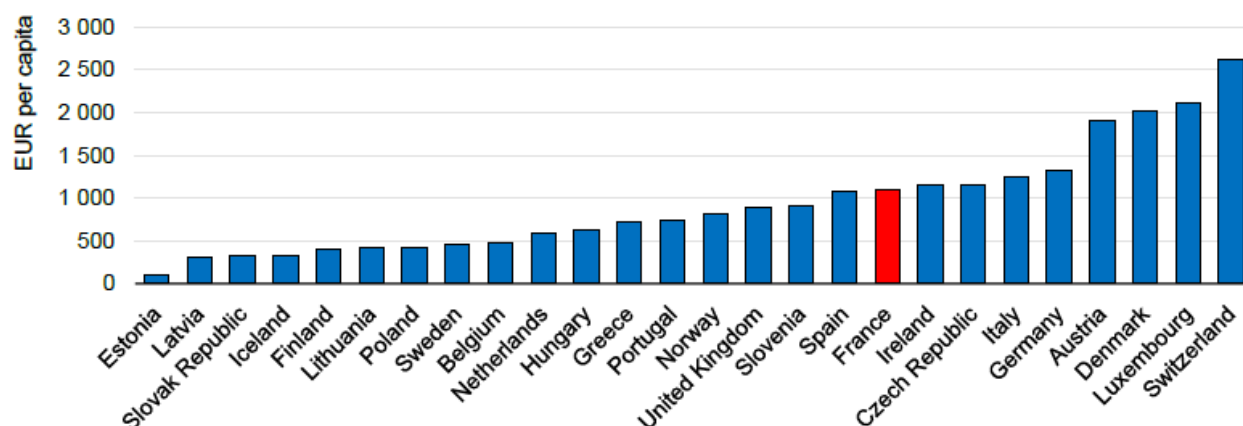


図 3.9 EU 諸国と英国での異常気象による損失、1980 年から 2019 年

出典：EEA（2021a）、ヨーロッパの気候関連の極端な状況による経済的損失

大気質に関して、2013 年以降、大気汚染物質の排出量（NO<sub>x</sub> および二酸化硫黄（SO<sub>x</sub>）の排出量）は減少している。粒子状物質排出の濃度（PM<sub>10</sub> および PM<sub>2.5</sub>）も低下したが、暖房のための住宅におけるバイオマス利用、道路交通、および産業活動のために NO<sub>x</sub> ほど減少していない。

ただし、フランスの大気汚染レベルは、指令 2008/50/EC の EU 大気質法によって決定された規制値、特に 2005 年以降法的拘束力のある PM<sub>10</sub> 粒子に適用される 1 日あたりの規制値を上回っている。2018 年 10 月、欧州委員会はフランスに関して欧州司法裁判所に照会したが、これは EU 大気質基準への違反に関するフランスの 2 回目の裁判所への照会となる。2019 年 10 月 24 日の判決で、裁判所は、フランスが 12 の大気質ゾーンにおける NO<sub>2</sub> 濃度の規制値を満足していないと認定した（フランスに対する委員会 C-636/18）。パリでは、都市地域の密度、地理的位置、交通システムの構造のために、特に大気汚染にさらされているという懸念がある。

政府は、2015 年の大気質対策計画とその 5 つの主要な手段を実施している。1) 汚染の少ない車のための大気質証明書（certificat qualité de l'air, Crit'Air）の導入、2) 5 年以内に呼吸のできる都市の提案を求める、3) グリーン成長法のエネルギー移行の一環としての汚染防止の枠組み、4) きれいな車のための財政援助（ボーナス）、5) フランスのモビリティ法（2019）



に基づき、規制値を超える場合は、低排出ゾーンの実施が義務付けられる。

大気汚染物質の排出量の観点から車両の環境パフォーマンスをランク付けする Crit'Air は、大気汚染のピーク時に交通を規制するツールとして、2017 年にエコロジー移行省によって導入された。たとえば、汚染のピークに対処するために、国は地方当局による一時的な制限を許可している。これには、都市のゾーン制限、車のサーキュレーション制限、低排出車用の特別なレーンが含まれる。この証明書により、地方当局は低排出ゾーンを設定できる。

#### 4. エネルギー効率

フランスの部門別総最終消費量（TFC）は、建物 39.3%、産業 30.4%、運輸 30.3%となっている。2015 年のグリーン成長のためのエネルギー移行法で定められた 2030 年に 20%、2050 年に 50%最終消費量を削減するというフランスのエネルギー移行は、主要なエネルギー効率の改善に依存している。目標とする削減は、1970 年代の石油危機以来、フランスのエネルギー移行の精神であった「真面目」に大きく依存している。また、生産性の向上ではなく、行動の大幅な変化に依存している。

しかし、過去 10 年間の進歩にもかかわらず、フランスは目標の達成に遅れをとっている。2019 年、フランスの一次エネルギー消費量（PEC）は 235Mtoe、最終エネルギー消費量（FEC）は 145.5Mtoe であり、2020 年の目標 PEC219.9Mtoe および FEC131.4Mtoe をはるかに上回っている（Eurostat、2021）。

IEA の要因分解によると、フランスは 2000 年から 2018 年の間に、すべての部門合計で 267 ペタジュール（PJ）の累積的削減を達成し、これにはさまざまな部門からの異なる貢献があった（IEA、2020）（図 4.4）。削減の大部分（64%）は住宅部門で達成され、次にサービスと産業（26%）、旅客輸送（8%）、貨物輸送（2%）部門が続いた。電化製品と建物外皮の性能基準がますます厳しくなったおかげで、建物部門の省エネが達成された。

IEA データは、部門別の消費傾向を示している。フランスの TFC は 2019 年に 150Mtoe であった。住宅およびサービス部門の建物を含む建物部門は 2019 年に最もエネルギー消費の多い部門であり、TFC の 39%（59Mtoe）を占め、続いて運輸および産業が同じ年にそれぞれ TFC の約 30%（45Mtoe）を占めた。建物部門のエネルギー消費量は、冬季の暖房需要により変動してきた。産業部門のエネルギー需要は、2008 年の金融危機後に減少し、その後数年わずかに回復し、2011 年以降再び減少した。運輸部門は、2008 年から 2010 年にかけてわずかに減少し、2011 年に回復し、その後横ばいとなっている。

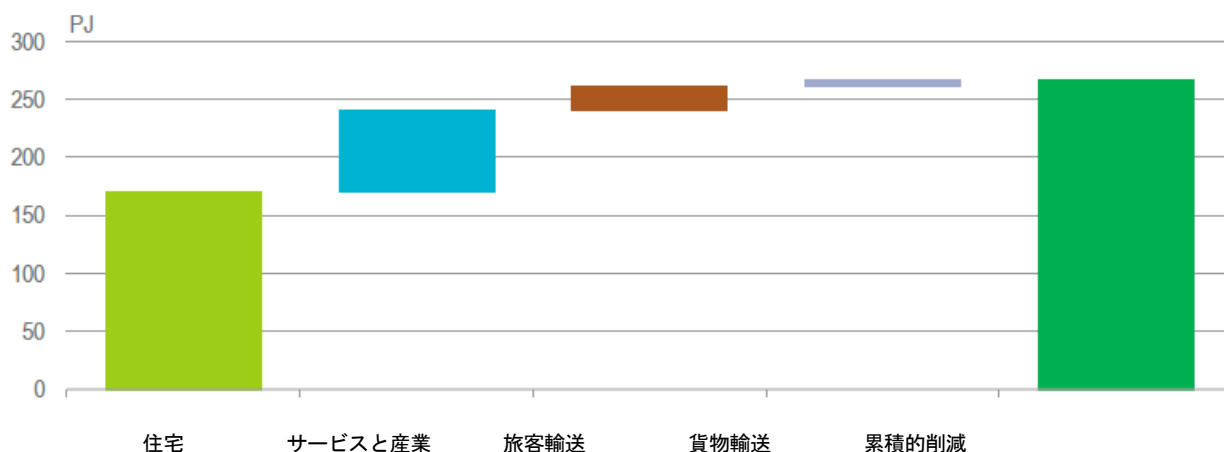


図 4.4 フランスの部門別のエネルギー節約、2000-18 年

2000 年から 2018 年の間に、フランスはすべての部門でエネルギー節約を達成し、住宅部門では大きな貢献（64%）があった。

注：PJ=ペタジュール。

出典：IEA（2020）、エネルギー効率指標（データベース）

フランスの国家エネルギー・気候計画（NECP）は、一次および最終エネルギー消費の 2020 年および 2030 年のエネルギー効率目標を定めている。NECP には、国家エネルギー効率計画（MTE、2020a）が含まれている。

エネルギー消費量を削減するための EU 全体の目標（エネルギー効率指令 EED に基づく）への貢献として、フランスの国家目標は、2020 年に 219Mtoe、2030 年に 202Mtoe の PEC、2020 年 131Mtoe、2030 年に 121Mtoe の FEC を達成することである。2019 年の PEC は 235Mtoe、FEC は 146Mtoe であり、2020 年の目標を上回った。目標は、COVID-19 のパンデミックによって達成し得る。欧州委員会は、2030 年目標の野心のレベルは、PEC は「控えめ」であり、FEC は「十分」であると考えている（EC、2020）。2050 年までに、政府は FEC を 2012 年のレベルから 50%削減することを目標としている。

部門横断的な政策については、フランスの長年の省エネルギー証書制度（ホワイト証書）は、最低限の性能基準や規制と並んで、部門横断的に省エネを達成するための主要な政策の 1 つである。これらの証書、いわゆる *certificats d'économies d'énergie*（CEE）は、エコロジー移行省（MTE）によって、省エネ事業に携わった適格なステークホルダーに発行される。それらは、EU 排出量取引スキーム（ETS）の対象となる設備を含む、住宅、第三次産業、産業、運輸、農業の各部門にわたるエネルギー節約を目標としている。CEE は、メガワット時（MWh）で表される単位で取引できる。これは、製品または投資のライフタイムにおける 1MWh の累積割引節約に相当する。ホワイト証書は 2006 年に開始され、現在 2021 年 12 月 31 日に終了

する第 4 期間に入っている。省エネ目標は 2018-21 年の第 4 期間で累積 2,133TWh の実現である（毎年 12Mtoe の省エネを目標としている）。政府は、2022 年 1 月 1 日から始まる第 5 期間中に、制度のパフォーマンスと効率をさらに改善することを目指している。

フランスのエネルギー効率化政策は、さまざまな EU 政策、特にヨーロッパの建物性能指令とエコデザイン指令およびラベリング規制によって管理されている。フランスは、エネルギー関連製品のエコデザインとこれらの製品のエネルギー・ラベリングに関する野心的で効果的なヨーロッパの政策を支持している。エコデザイン指令 2009/125/EC およびラベリング規制 (EU) 2017/1369 は、フランスで直接適用される製品固有の規制を通じて実施される。エコデザインとエネルギー・ラベリングの規制は、調和のとれたヨーロッパ基準によって補完されている。これらの技術仕様は、メーカーを拘束する義務基準に製品が準拠することを求めている。デジタル化は、すべての部門にわたるエネルギー効率のもう 1 つの重要な推進力である。フランスは、使用時間の価格設定のパイオニアであり、主に Linky Enedis テクノロジーを使用してスマートメーターの展開を完了する段階にある。2015 年以来 2,800 万以上のメーターが設置されており、60 億ユーロの総投資のおかげで、国は 2022 年までに 3,500 万の設置数に達するであろう。

運輸部門に関しては、2008 年の金融危機により落ち込んだ後、運輸部門のエネルギー需要は 2011 年から 2019 年まで約 45Mtoe で一定であった（図 4.10）。2019 年には、石油製品が運輸部門のエネルギー需要の 91% を占め、また、ディーゼルが最大のシェア（68%）を占め、ガソリン（18%）がそれに続いた。バイオ燃料（80% バイオディーゼルと 20% バイオガソリン）は、運輸部門のエネルギー消費量の 7% を占めている。電力はまだシェアが低く（2019 年は 2%）、主に鉄道輸送に利用されている。しかし、2020 年以降、電気乗用車の台数は著しく増加し、2021 年半ばには 65 万台を超える電気自動車（EV）とプラグインハイブリッド車が路上にある（AVERE、2021 年）。同時に、EV 充電ポイントの数も大幅に増加し、2020 年末には約 45,700 になった（図 4.11）。ノルウェー、スウェーデン、オランダ、ドイツに続いて、フランスは現在、ヨーロッパの電気モビリティ市場に追いついており、乗用車の新車登録に関しては英国のレベルに達している（IEA、2021c）。

2018 年の国内運輸需要の 95% は、主に乗用車（58%）と道路貨物輸送（33%）で構成されており、鉄道と国内航空のシェアはわずかであった。2008 年の時点で、ディーゼルは乗用車で最も使用される燃料として自動車用ガソリンに取って代わった。2018 年の新規登録乗用車の排出量は 111gCO<sub>2</sub>/km であり、ボーナス/マルススキームのおかげで、フランスは EU 平均の 122gCO<sub>2</sub>/km（ICCT、2020）を下回っている。

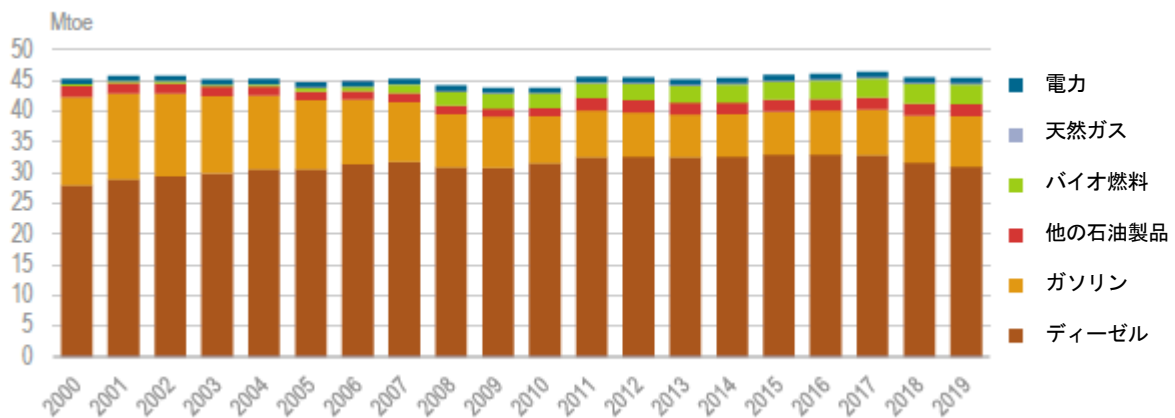


図 4.10 フランスの 2000-19 年の燃料別運輸総最終消費量

運輸部門の消費は横ばいで推移している。運輸需要の 91%は石油製品で賄われているが、バイオ燃料の割合は増加している。

注：Mtoe=石油換算百万トン。運輸部門の需要には国際航空および水運は含まれていない。

出典：IEA（2021b）、IEA World Energy Statistics and Balances（データベース）

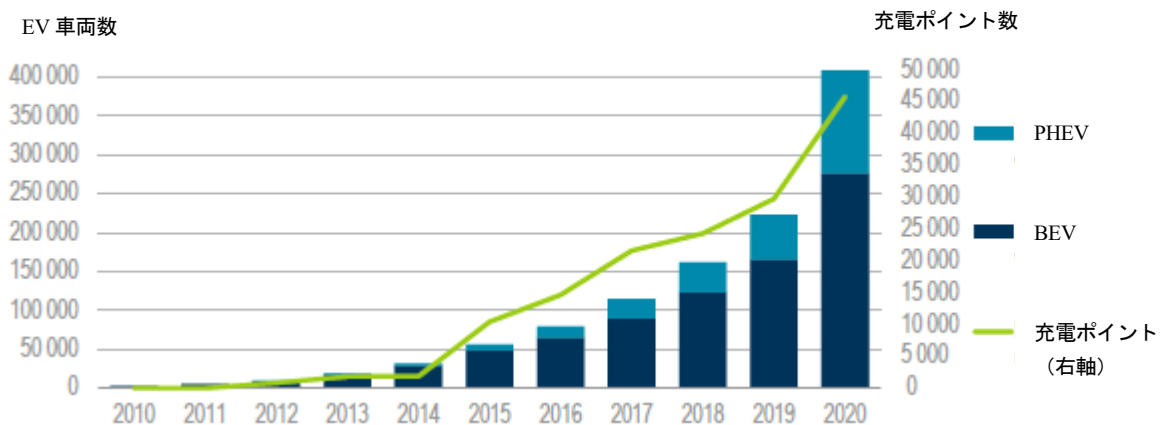


図 4.11 フランスの電気自動車と充電ポイントの合計台数、2010～20 年

出典：EAFO（2021）、フランス

運輸は 2019 年に TFC の 30%、つまり 45Mtoe を占め、2009 年から 4%の増加となった。2000 年から 2018 年の間、この部門の推定累積エネルギー節約量は 26Mtoe（旅客輸送 20Mtoe、貨物輸送 6Mtoe）であった。2018 年には、運輸部門がフランスの GHG 総排出量の 30%、エネルギー関連 CO<sub>2</sub> 排出量の 43%、NO<sub>x</sub> 総排出量の 62%を占めた。

運輸部門のエネルギー効率化政策については、SNBC の下、運輸部門は 2030 年までに GHG 排出量を 31%削減し、2050 年までに完全な脱炭素化を達成する必要がある。運輸部門からの

排出量は 1990 年から 12%増加し、2000 年以降一定に保たれている（上記のエネルギー消費量と同様の傾向）。2019 年 12 月 24 日に制定されたモビリティ・ガイダンス法は、運輸部門における排出削減手段を進めるための枠組みを定めている。この法律はまた、化石燃料を使用する新しい小型車の販売を 2040 年までに終了するという目標を定めている。2021 年の新しい気候・レジリエンス法は、2030 年以降、最も汚染の多い車の販売を禁止している。

交通システムと車両のエネルギー効率化は、低排出燃料（バイオ燃料/バイオガス、電力、水素）への切り替えと同様、運輸需要の削減やモーダルシフトと共に、排出削減を進めるための主要な推進力である。

運輸部門のエネルギー効率を改善するためのフランスの戦略は、低排出（高効率）車両の採用を促進するための財政措置に依存している。EV および関連する充電インフラストラクチャーのサポート、クリーンな二輪車と三輪車、相乗り、公共交通、自転車専用レーンの促進である。ホワイト証書制度は、フランスの運輸部門にも適用されている。

政府は、クリーンな車両を購入するための金銭的インセンティブを展開している。補助金（エコロジーボーナス/マルス、廃棄または転換スキーム）と財政的インセンティブである。

2 つの補助金は同時に使用できる。排出量が 132gCO<sub>2</sub>/km 未満の新車、または 137gCO<sub>2</sub>/km 未満の中古車（6 ヶ月より古い中古車の場合）を購入して古い車と交換する場合、最大 7,000 ユーロのエコロジーボーナスがある。現在の方針では、変換ボーナスは、50gCO<sub>2</sub>/km 未満の排出量の電気自動車を購入する際、乗用車で 5,000 ユーロ、低所得世帯向けの商用車で 9,000 ユーロに達する可能性がある。フランス政府は、2022 年までにこのボーナスが 100 万人に届くことを目指している。

ボーナス/マルスシステムは、汚染の少ない車両の購入を促進し、EV の購入をサポートするための非常に効果的な方法である。このシステムは、より高いペナルティ（2019 年には 3gCO<sub>2</sub>/km、2020 年と 2021 年には 5gCO<sub>2</sub>/km しきい値を下げた）と、1,800kg を超えるすべての車両に対しての 10 ユーロ/kg の新しい重量ペナルティ（水素または EV を除く）により強化され、フランスにおけるより大きくて重いスポーツユーティリティビークルへのトレンドに対抗することが意図されている。

特に都市で使用されている低排出量のバン、トラック、バスにも多額の補助金がある。政府は、クリーンな大型貨物車への投資を支援し、天然ガス自動車の追加減価償却制度を 2024 年まで延長し、16 トン未満の大型貨物車のスキームを強化し、手段に対する技術的中立性を確立して、これらを水素または電力を燃料とする車両に拡大することを意図している。

2020 年 1 月、道路貨物輸送に対して減税されていたディーゼル税率は 0.02 ユーロ/リットル引き上げられ、2021 年 7 月 1 日以降、非道路ディーゼル車の税制上の優遇措置は廃止された。航空券の連帯税は、持続可能な交通インフラストラクチャーをサポートするために引き

上げられる予定である。気候・レジリエンス法（2021 年 8 月 24 日に公開）は、鉄道で 2.5 時間以内の代替手段のある短距離航空国内線を禁止し、電動自転車にさらなる補助金を提供し、市長が主要な都市で低排出ゾーンを設定し、最も汚染量の多い車両の販売を禁止できるようにした。政府の車両大気質証明書（Crit’Air）の導入により、都市は汚染のピーク時にサーキュレーションを規制および削減し、古いディーゼル車による都市のサーキュレーションを禁止することが可能となっている。証明書は、都市の低排出ゾーンにおいて運転するために必須となっている。2021 年 6 月 20 日までに、フランスでは約 2,000 万の証明書が発行された。

充電インフラストラクチャーを増やすための税控除と補助金を用いた金銭的インセンティブがある。国家プログラム ADVENIR は、企業、公的機関、居住者の駐車場、および急速充電ステーションのある道路において EV 用のスマート充電インフラストラクチャーを開発している。このプログラムはまた、専門家を訓練し、地方の主体意識を高めている。

復興計画を通じて、フランス政府は、EV および関連インフラストラクチャーの迅速な展開に対する障壁を取り除くための他の資金に加えて、低排出ガス車に 16 億ユーロを投資している。PPE に示されているように、政府はフランスの EV 販売を 2021 年半ばの約 657,881 台から 2023 年までに 120 万台、2028 年までに 480 万台に増やすことを目指している（AVERE、2021）。フランスが野心的な EV 展開目標を達成したい場合、充電インフラストラクチャーには特別な注意が必要となる。

規制手段とインセンティブは、持続可能なモビリティの利用をさらに促進するための都市計画においても用いられている。これには、低排出ゾーンの拡大、2 輪および 3 輪のクリーンモビリティのための専用レーンと駐車スペースの追加が含まれる。さらに、通勤者の自転車と相乗りの利用を促進するため、ユーザーあたり年間最大 400 ユーロのパッケージが含まれている。

マルチモーダルモビリティは、河川水運に対する税金を引き下げることによっても促進されている。エネルギー消費税が河川水運に拡大され、ドッキング時に直接電力を使用するボートや船舶の最終的な電力消費税率が引き下げられた。復興計画では、新しい鉄道インフラストラクチャーへの投資（2024 年までに 10 億ユーロ、2025-30 年には 120 億ユーロ）に加えて、道路貨物輸送を削減する目的で鉄道輸送がアップグレードされる。

## 5. 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーシェアは、総最終消費量 17.2%、電力 22.4%、冷暖房 22.5%、運輸 9.2% であり、再生可能 2020 の目標は、総最終消費量 23%、電力 27%、冷暖房 33%、運輸 10.5%、

再生可能 2030 の目標は、総最終消費量 33%、電力 40%、冷暖房 38%、運輸 15%である。なお、バイオエネルギーには、固体の一次バイオ燃料、液体バイオ燃料、およびバイオガスが含まれ、再生不可能な産業廃棄物および都市廃棄物は含まれない。また、割合は EU の目標との整合性のために、ユーロスタットの定義に従って計算されている。ユーロスタットの定義には、風力および水力の再生可能電力消費の正規化、および運輸における先進的なバイオ燃料と再生可能電力の倍率要因が含まれる。

運輸の再生可能エネルギーに関して、2019 年には、再生可能エネルギーがフランスの運輸需要の 7.4%を占めた。先進的なバイオ燃料と再生可能エネルギーの増倍率を使用するユーロスタットの定義に基づくと、運輸における再生可能エネルギーの割合は 2019 年に 9.2%に達した。運輸における再生可能エネルギーは主にバイオ燃料で構成され、近年、バイオエタノールからの貢献が増加するにつれて割合が増加している（図 5.8）。

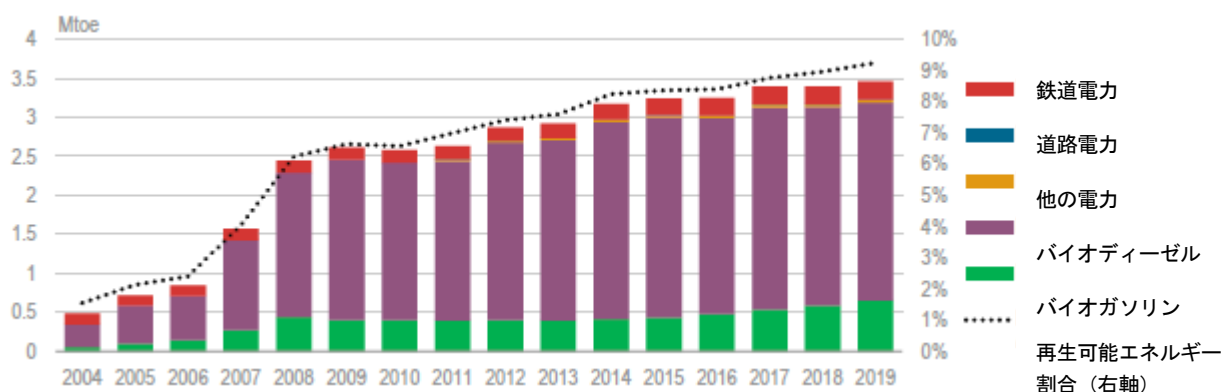


図 5.8 フランスの運輸における再生可能エネルギー、2004-19

運輸における再生可能エネルギーは主にバイオディーゼルによって供給され、近年バイオガソリンの貢献が増加している。

注：Mtoe=石油換算百万トン。再生可能エネルギーのシェアは、EU および国内目標との整合性のためにユーロスタットの定義を使用して計算されている。

出典：EC（2021）、再生可能エネルギー源からのエネルギー（データベース）

（増倍率に関する）RED II は、電気自動車で直接使用される再生可能電力に 4 の乗数を使用する。これは、電気自動車が内燃エンジンよりも効率が低いことを反映しており、再生可能エネルギーに関する運輸の目標を達成するのに役立つ。乗数は、使用済み食用油（二重にカウントされる）などの廃棄物ベースのバイオ燃料などの他の再生可能エネルギーにも適用される。

運輸に関して、フランスは EU の目標に沿って、2020 年までに再生可能エネルギー10%、2030 年までに 15%のシェアを達成することを目指している。ディーゼル/ガソリンとバイオ燃料の混合は、バイオ燃料の組み込みに対する税優遇（TIRIB）である免除または減税を通じて奨励されている。TIRIB は非混合のペナルティとして機能し、組み込まれたバイオ燃料の量に比例する。免税は最近、高 ILUC（間接的な土地利用変化）原料（パーム油と大豆）を除

外するように調整された。フランスは 2020 年の第 1 世代バイオ燃料の目標を達成したが、第 2 世代のバイオ燃料は依然として市場浸透率が非常に低いレベルにある。政府は、2028 年にガソリンとディーゼル/灯油でそれぞれ 3.8%と 2.8%の先進的なバイオ燃料である第 2 世代の混合目標を奨励している。

国際比較では、フランスは、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、オーストリアに次いで、運輸部門の消費における再生可能エネルギーのシェアに関して IEA 諸国の中で 5 番目にランクされている（図 5.9）。

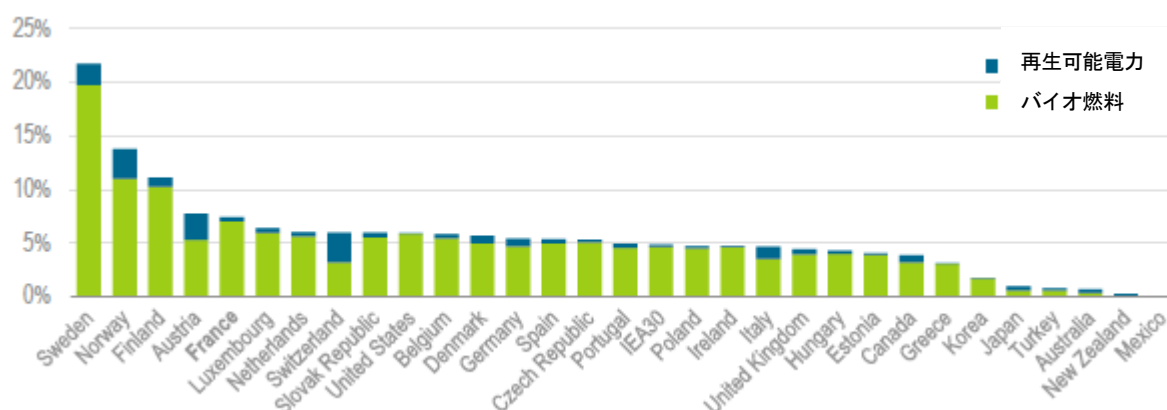


図 5.9 IEA 諸国の運輸における再生可能エネルギー、2019 年

IEA 諸国の中で、フランスは運輸におけるバイオ燃料の 5 番目に高いシェアを持っている。

出典：IEA（2021a）、IEA World Energy Statistics and Balances（データベース）

2020 年 1 月、生態系移行省は、フランスの航空輸送部門における持続可能な航空燃料の開発のためのロードマップを発表した。このロードマップは、エールフランス、エアバス、サフラン、トータル、スエズ環境とともに政府が 2017 年に開始した「グリーン成長エンゲージメント」イニシアチブによっており、航空業界に提供される復興資金にリンクしている。ロードマップは、持続可能な航空燃料による化石燃料の代替を 2025 年までに 2%、2030 年までに 5%、そして、2050 年までに 50%という大規模な目標に基づいている。

## 6. エネルギー技術研究、開発、デモンストレーション（以下、省略）



日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ

[http://www.nikkoken.or.jp/publication\\_A.html](http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html) を参照してください

A-843 運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に  
関する研究

運輸部門を含む都市のゼロエミッション化に  
関する研究プロジェクト

2022 年 10 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会