

地方自治体レベルでの 2050 年脱炭素社会の実現可能性の検討

Feasibility study of a carbon neutral society in 2050 at local scale in Japan

芦名 秀一*
Shuichi ASHINA*

国立研究開発法人 国立環境研究所 社会システム領域
Social System Division, National Institute for Environmental Studies

摘 要

我が国全体と同様に地方自治体でもカーボンニュートラル社会への取組が広がる中、定量的情報に基づく将来計画作りが喫緊の課題となっている。本研究では、全国大でのカーボンニュートラル実現に向けた対策を地方自治体で一律に実施した場合の効果を定量的に評価し、地方自治体レベルでの脱炭素化の実現可能性を評価した。結果より、国全体の脱炭素化で想定される対策を着実に実施することにより、対策個々の効果はエネルギー需給構造に大きく影響されるものの、全体としては地方自治体レベルでも CO₂ 排出量の大幅削減が実現可能であることがわかった。また、地域の住民や企業の主体的な取組による削減量がおおむね総 CO₂ 削減量の半分以上であることから需要側対策は不可欠であるが、系統電力の脱炭素化や CCS の普及などの国レベルの取組（供給側対策）も同様に地方自治体レベルの脱炭素化には重要であることが明らかとなった。

キーワード：市区町村分析、シナリオ分析、地域エネルギー需給、地域脱炭素

Key words：municipality-level analysis, scenario analysis, renewable energy balance, local decarbonization

1. はじめに

2020 年 10 月 26 日に菅総理(当時)より「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言され(首相官邸, 2020)、我が国全体が 2050 年カーボンニュートラル社会実現に向けて動き出している。国全体と同様に地方自治体など地域でもカーボンニュートラルへの取組を後押しするため、2020 年より内閣官房長官を議長とする「国・地方脱炭素実現会議」が開催され、2021 年 6 月 9 日に地域脱炭素ロードマップが取りまとめられた(国・地方脱炭素実現会議, 2021)。ロードマップでは、脱炭素の取組が地域の成長戦略で重要な要素になるとし、少なくとも 100 か所の脱炭素先行地域づくりや脱炭素の基盤となる重点対策の全国実施と、そのための国による政策的な支援を掲げている。

このような流れをうけ、地方自治体のカーボンニュートラル社会への取組が広がっている。環境省(2022a)によると 2022 年 3 月 31 日時点で 41 都道府県と 638 市区町村が 2050 年二酸化炭素(CO₂)排出実質ゼロ(2050 年ゼロカーボンシティ)表明を行い、地球温暖化対策実行計画へカーボンニュートラルに関する文言を盛り込む、省エネルギーや再生可能エネ

ルギーに関する施策の強化を進めるなど、実現に向けた取組を進めつつある。また、一般市民の議論による地域でのカーボンニュートラルのための対策・政策づくり(気候市民会議)も行われつつあり、2020 年には北海道札幌市で「気候市民会議さっぽろ 2020」が、2021 年には神奈川県川崎市で「脱炭素かわさき市民会議」が試行されている。これら市民会議では、無作為抽出で選出された市民が地域を脱炭素化するための方策や具体的な対策に関する議論を行い、その結果は札幌市や川崎市に届けられている(気候市民会議さっぽろ 2020 実行委員会(2021)、脱炭素かわさき市民会議実行委員会(2022)参照)。

(一社)環境政策対話研究所(2021)は、2050 年ゼロカーボンシティの表明自治体のうち 61 自治体を対象にゼロカーボンシティに向けた計画策定状況や課題、市民参画の取組について調査を行い、回答を得た 49 自治体(回収率 80.3%)の結果を報告している。この調査結果によると、約 8 割の自治体が温暖化対策実行計画、地球温暖化防止行動計画、または環境基本計画に、ゼロカーボンシティに向けた計画を盛り込むこととしている。いっぽう、具体的な施策の立案や実施に関しては、半数を超える自治体が数値目標や計画・事業の具体化が困難であると回答して

受付：2022 年 5 月 9 日、受理：2022 年 7 月 1 日

* 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2, E-mail: ashina.shuichi@nies.go.jp

おり、同様に半数以上が知識や職員数、予算の不足を指摘していることも踏まえると、多くの地方自治体が宣言を表明するにとどまっており、定量的情報に基づく将来計画作りが喫緊の課題といえる。

2050年の脱炭素・ゼロカーボンの実現可能性に関する検討には、国スケールでは資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会基本政策部会の第44回会合(2021年6月30日開催)で報告されたものがある(資源エネルギー庁, 2021)。地方自治体を対象とした検討としては、奥田ほか(2021)が京都市を対象に温室効果ガスの排出を正味ゼロにした姿を検討し、全部門での省エネルギー化と再生可能エネルギー由来の電力供給の拡大が必要であることを示している。また小野寺ほか(2021)は、地方自治体別の最終エネルギー消費量と再生可能エネルギー供給ポテンシャルをもとに、広域的なエネルギー融通ネットワーク構築による再生可能エネルギー利用量拡大の効果を定量的に検討している。重ほか(2021)では、東北地方の自治体を対象に、再生可能エネルギー導入ポテンシャルに森林によるCO₂吸収量を考慮したゼロカーボンシティの実現可能性を評価し、森林によるCO₂吸収でゼロカーボンを達成する自治体があることを示して森林吸収源対策の重要性を述べている。特定の部門や技術に着目した研究としては、清水ほか(2018)が太陽熱温水器についてライフサイクルCO₂排出量に基づいた自治体別のCO₂削減ポテンシャルを評価し、日本全体での総量や地域別の削減効果の違いについて検討を行っている。友藤・秋澤(2018)は、地理情報システム(GIS)を活用して市区町村別に非住宅建築物でのガスエンジンコジェネレーションの導入ポテンシャルを推計し、2016年度の業務部門の一次エネルギー消費量の約6%に相当する省エネルギー効果があることを示している。紀伊(2019)は乗用車CO₂排出量に着目し、東京都市圏と香川県を例に都市構造のコンパクト化も加味した2050年の将来推計と人口変化や燃費改善による効果など要因別の削減効果を評価している。家庭部門については、鷺津・中野(2020)、星

野・小川(2021)、田中(2022)、鷺津・中野(2022)など用途別エネルギー消費量の推計やエネルギー消費原単位の推計に関する研究が多く行われている。

このように、特定の自治体や具体の技術・部門でのCO₂削減・カーボンニュートラルの検討は進められているが、地方自治体ごとに人口・世帯などの社会条件やエネルギー需給構造、エネルギーインフラ、再生可能エネルギー導入ポテンシャルなどは異なり、それぞれの自治体で効果的な対策も異なることが推察される。例えば、寒冷な地域では総じて家庭部門の暖房需要が大きく、北海道の世帯あたり灯油消費量は32.0 GJ/世帯、青森県は34.6 GJ/世帯と高いため、これらの地域では灯油からエアコンへの転換(電化)は効果的な対策となり得る。他方、比較的灯油消費量が低い沖縄県(2.2 GJ/世帯)などでは、北海道や東北地域で期待されるほどの効果は見込めないであろう(いずれも2019年度。都道府県別エネルギー消費統計と住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査に基づく)。また、都市ガスや天然ガスへの転換には供給インフラが整っていることが必要であり、特に2030年までの短中期では既設インフラがない地域での灯油やLPGからの転換には困難が大きいと考えられる。いっぽう、太陽光発電や風力発電、地熱発電などが豊富に確保できる地域では、電化とこれら再生可能エネルギーの導入を組み合わせることの効果は大きいと期待される。

以上を踏まえ本研究では、全国大でのカーボンニュートラル実現に向けた対策を地方自治体で一律に実施した場合の効果を定量的に評価することとし、Fujino *et al.* (2011)のアプローチを参考に、まずエネルギー需要側での対策を実施することによるエネルギー消費量やCO₂排出量の変化を評価し、ついでエネルギー供給側で対策を実施することによる変化を評価した。具体的には、図1にまとめるように、(1)基準年におけるエネルギー需給やCO₂排出量と、将来年度(2050年)における人口・世帯数や産業部門の活動量などのマクロフレームの変化のみを考慮した基準エネルギー消費量・CO₂排出量を推計

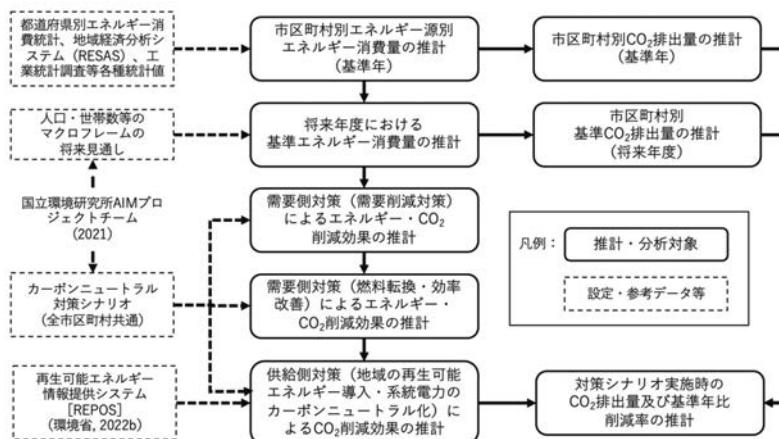


図1 本研究の分析フロー。

し、(2)国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2021)を参考に設定した部門別の需要削減、二次エネルギー間での燃料転換、効率改善等に関するシナリオを適用してエネルギー消費量やCO₂排出量の変化を定量的に評価する。つぎに、エネルギー供給側での対策として、(3)自治体の再生可能エネルギー導入ポテンシャルの活用や系統電力のカーボンニュートラル化によるCO₂削減効果を推計し、対策シナリオ実施時のCO₂排出量の変化や基準年比削減率を推計した。最後に、これら結果も踏まえて自治体ごとの削減量等の違いを分析し地方自治体レベルでの脱炭素社会実現可能性について考察を行った。

2. 地方自治体別のエネルギー需給構造の推計

2.1 市区町村別推計手法の概要

我が国の温室効果ガス排出量は、2020年度で11.5億トンCO₂であり、うちエネルギー起源のCO₂排出量が84.2%、非エネルギー起源も含めるとCO₂排出量が90.8%と大きな割合を占めている(GIO, 2021)。これを踏まえると、地方自治体でのカーボンニュートラルの検討でもエネルギー需給に関する対策が重要であるといえる。

環境省は、地方自治体別のCO₂排出量の現況に関する部門別推計結果を公表しているほか、部門別・分野別の活動量の推移や再生可能エネルギー導入状況等も加えた自治体排出量カルテを整備し、地方自治体別のCO₂削減対策検討に資する情報の提供を進めている(環境省, 2022c, 環境省, 2022d)。しかしこれらはいずれもCO₂排出量についてであり、例えば家庭部門での暖房の電化など化石燃料から電力への燃料源の転換の効果や、部門の中でも電力を消費する機器に限った効率改善効果の推計などでは、それぞれの部門でどのようなエネルギーをどの程度消費しているかの情報が必要となる。

我が国では、国全体と都道府県別のエネルギー需給に関する情報は、資源エネルギー庁が総合エネルギー統計と都道府県別エネルギー消費統計として作成、公表しているが、市区町村単位での公的な統計は整備されていない。そこで本研究では、環境省の「地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル：算定手法編 Ver.1.1」(環境省, 2022e)を参考に、都道府県別のエネルギー消費量をもとに部門別に設定した指標を用いて按分することで市区町村別の消費量を推計した。

具体的には、産業部門のうち製造業は、都道府県別エネルギー消費統計の分類に従って食品飲料製造業、繊維工業など11業種の別に、地域経済分析システム(Regional Economy Society Analyzing System, RESAS)及び工業統計調査から得られる製造品出荷額等を指標として按分した(RESAS, 2022)。ただし、製造品出荷額等のデータにおいては、特に町村など

規模の小さな自治体では対象事業所数が1つのみであるなどにより一部の業種の結果が秘匿とされている。そこで本研究では、従業者数や県全体での製造品出荷額等をもとに秘匿値を推計し、これに基づいて市区町村の業種別・燃料源別エネルギー消費量を按分した。産業部門の農林水産業、鉱業他、建設業と、業務部門の電気ガス熱供給水道業、情報通信業などの14業種は、RESASや経済センサスの従業者数に基づいて市区町村別の消費量を推計した。家庭部門のエネルギー消費量は、世帯人員や戸建・集合住宅の別、また気候条件などで異なることが推察されるものの、本研究では世帯数に比例するとして都道府県別の用途別エネルギー消費量(住環境計画研究所, 2021)も考慮して推計した。運輸部門は、環境省のマニュアル(環境省, 2022e)に基づき、旅客自動車と貨物自動車ともに都道府県別に燃料消費量を調査している国土交通省の自動車燃料消費量調査をもとに、市区町村別の自動車保有台数を指標として按分を行った。なお、運輸部門のうち二輪車と鉄道、船舶、航空は推計の対象外としたが、これら輸送機関のエネルギー消費量は、旅客運輸と貨物運輸をあわせると全国大では運輸部門全体の12.7%(資源エネルギー庁, 2022)を占めていることを勘案すると、全輸送機関を対象とした推計と対策効果の評価は今後の課題である。

本研究では、都道府県別エネルギー消費統計の分類に基づき石炭、石炭製品、原油、ガソリン・灯油などの軽質油製品、重油などの重質油製品、LPGなどの石油ガス、天然ガス、都市ガス、再生可能・未活用エネルギー、電力、熱それぞれにエネルギー消費量を推計した。なお、都道府県別エネルギー消費統計では、エネルギー源として事業用水力発電と原子力発電の区分も設定されているが、いずれの都道府県でも計上されていないことから除いた。

エネルギー源のうち、天然ガス、都市ガスと、運輸部門のLPGについては、市区町村別の推計に際して供給インフラの有無を考慮した。具体的には、天然ガスと都市ガスについては、まず日本ガス協会(2021)に掲載のある事業者について、各社のWebサイト等も参照しながら供給区域に含まれる市区町村と需要家数を整理した。つぎに、産業部門と業務部門は、供給区域に含まれる市区町村であれば天然ガス・都市ガスが利用可能と仮定して、都道府県全体の消費量を該当する市区町村のみで按分した。家庭部門では、ガス料金の請求書が発行されているメーター数(調定数)の約96%が家庭用であることから(日本ガス協会, 2021)、1需要家は1世帯に相当すると仮定し、需要家数に応じて市区町村別に都市ガス消費量を按分した。なお、ガスを利用する世帯では都市ガスかLPGのいずれかのみを使用しているとの想定のもとで、残りの世帯はLPGを利用するとして消費量を求めた。運輸部門のLPGについては、

全国 LP ガス協会(2022)より LP ガススタンド所在地を整理し、都道府県全体の消費量を LP ガススタンドが立地する市区町村の自動車保有台数で按分することで市区町村別の LPG 消費量を求めた。

2.2 市区町村別のエネルギー消費量の推計結果

本研究では、運輸部門の推計に用いた自動車燃料消費量調査において都道府県ごとの燃料消費量が公表されるようになった 2013 年度から、指標として用いる統計値等が全部門において整理できた 2018 年度までを対象に、市区町村別の部門別・エネルギー源別消費量を推計した。なお、按分指標のうち従業員数は隔年の調査であるため、推計では線形内挿または直近の調査結果を用いることとした。

図 2 に、地球温暖化対策計画(令和 3 年 10 月 22 日閣議決定)で 2030 年度の削減目標の基準年とされている 2013 年度における、市区町村別の部門別エネルギー消費量の推計結果を総消費量の大きい自治体から降順に並べたものを示す。全ての部門・エネルギー源の合計(総エネルギー消費量)に着目すると、市区町村ごとにエネルギー消費量には大きな幅があり、最大の 610.5 PJ(610,500 TJ) から最小は 16 TJ

と、3 万 8 千倍もの差があることがわかる。また、エネルギー消費量の大きな自治体から順に合計した総消費量の全自治体のエネルギー消費量に対するシェアを見ると、上位 19 自治体でエネルギー消費量全体の 30% を占め、以降 50% となるのは上位 67 自治体、70% となるのが上位 201 自治体となり、分布の偏りを示す尺度の一つであるジニ係数も 0.542 と、自治体間でのエネルギー消費量の偏りが大きいことが示されている。これについては、エネルギー消費量の小さな自治体から順に見た場合、全市区町村(1,741 自治体、北方領土を除く)の半数(870 自治体)を合わせても全体の 5% にすぎないことから示唆されるものである。このような地方自治体間の差には、人口や従業者数の違いとともに、産業部門の製造業の立地の有無が大きく影響している。

図 3 に、エネルギー消費量の上位 67 自治体(全自治体のエネルギー消費量の 50%)の部門別シェアを総エネルギー消費量とともに示す。エネルギー消費量の大きな自治体の多くでは、産業部門(製造業)の消費量が多いという特徴を有することがわかる。製造業の中でも、化学工業や鉄鋼・非鉄・金属製品

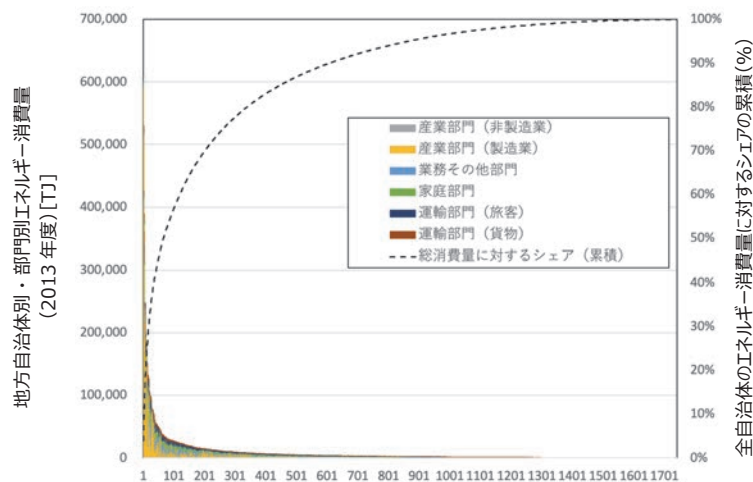


図 2 市区町村別の部門別エネルギー消費量の推計結果(2013 年度)。

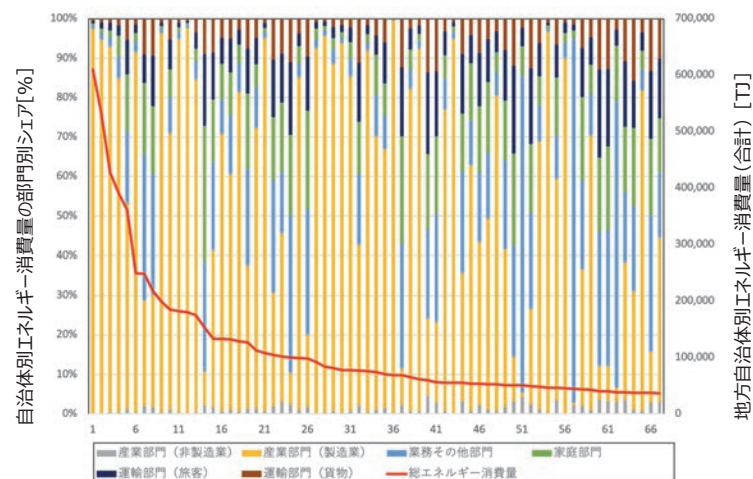


図 3 市区町村別エネルギー消費量の部門別シェア(2013 年度)(消費量上位 67 自治体)。

製造業の立地する自治体のエネルギー消費量が大きい傾向があり、これら産業の製造品出荷額等が大きい千葉県市原市や岡山県倉敷市、大分県大分市、神奈川県川崎市などがエネルギー消費量の大きな自治体として位置している。いっぽう、これら自治体と比較して業務部門や家庭部門の割合が大きな北海道札幌市や神奈川県横浜市、愛知県名古屋市、大阪府大阪市なども含まれているが、これらは、多くの人口を有している、商業活動が活発であるなど、それぞれの地域で中核的な役割を果たす都市を含む自治体である。また、東京都千代田区や港区、新宿区はそれぞれのエネルギー消費量の7割以上が業務部門により占められている。

このような市区町村別の特徴は、エネルギー源別で見た消費量にも反映している。鉄鋼・非鉄・金属製品製造業のエネルギー消費量の大きな自治体では石炭の消費量が大きく、化学工業の大きな自治体では非エネルギー利用も含めて石油・石油製品の消費量が多い。また、業務部門や家庭部門のエネルギー消費量が多い自治体では、電力とともに都市ガスの消費量が多い傾向がある。ただし、業務部門と家庭部門の割合が大きくとも、エネルギー消費量の小さな自治体は都市ガスの供給インフラが整備されていないことが多く、電力とLPGを含む石油製品の消費量が多いことが特徴となっている。

3. 将来シナリオに基づく地方自治体でのCO₂削減効果分析

3.1 カーボンニュートラル実現に向けた対策シナリオ

本研究では、需要側での対策については、国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2021)(以下「AIM 分析」とする。)の社会変容シナリオを参考に、2050年の需要削減や燃料転換、効率改善に関する削減率や効率改善量等の効果と導入量に関するシナリオ(需要側対策シナリオ)を設定し、前章で推計した部門別・エネルギー源別消費量に適用することで市区町村別に将来のエネルギー消費量の変化とCO₂削減量を評価した。表1に、想定した需要側対策シナリオをまとめて示す。

需要側での対策は、部門別に大きく需要削減、燃料転換、効率改善の別に設定した。2050年の削減率や普及率等は、原則参考とした資料内の値を用いているが、断熱建築物の普及と断熱住宅の普及に関する基準別シェアなど、グラフのみが示されている対策については、それぞれの領域の高さを読み取って推計、設定した。なお、家庭部門のルーターの効率改善や業務部門のサーバー・ストレージ・変圧器の効率改善などいくつかの対策については、本研究で用いているエネルギー消費量等のデータでは直接に考慮・反映することが困難であったため除いてい

る。また、産業部門のうち、鉄鋼業、セメント、有機化学で想定されている炭素回収貯留(Carbon Capture and Storage, CCS)も除いた。

対策実施によるエネルギー消費量変化やCO₂排出量の削減効果は、エネルギー消費量に需要削減率や効率改善率を直接乗じたり、技術ごとのエネルギー消費量削減効果に普及率を乗じた量を減じたりすることで求める。また、電化率の向上のように基準年

表1 想定した需要側対策シナリオまとめ

産業部門 [需要削減] ●マテリアル効率の改善による物質需要の低減 ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)電炉鋼の利用拡大 ●(窯業・土石製品製造業)クリンカ比率の低減 [燃料転換] ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)電炉鋼の利用拡大(再掲) ●産業用ヒートポンプ機器の普及 ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)COURSE50・フェロコックスの普及 ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)水素還元製鉄の普及 ●化石燃料熱利用の合成燃料による代替 [効率改善] ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)次世代コークス炉の普及 ●(鉄鋼・非鉄・金属製品製造業)従来型省エネ技術の普及 ●(窯業・土石製品製造業)廃棄物利用技術の普及 ●(窯業・土石製品製造業)従来型省エネ技術の普及 ●(化学工業)従来型省エネ技術の普及 ●低炭素工業炉の普及 ●産業用モータの普及 ●インバータ制御の普及 ●高性能ボイラの普及 ●産業用ヒートポンプ機器の普及(再掲)	業務部門 [需要削減] ●断熱建築物の普及(ストック量比でのシェアで設定) ●エネルギー管理システムの導入 [燃料転換] ●冷暖房機器の電化率向上 ●給湯機器の電化率向上 ●燃料燃焼における合成燃料の利用拡大 [効率改善] ●空調機器(電気・ガス)の効率改善 ●電気ヒートポンプ給湯器の効率改善 ●LED照明の普及
家庭部門 [需要削減] ●断熱住宅の普及(ストック量比でのシェアで設定) ●エネルギー管理システムの導入 [燃料転換] ●暖房機器の電化率向上 ●給湯機器の電化率向上 ●燃料燃焼における合成燃料の利用拡大 [効率改善] ●エアコン(冷房・暖房)の効率改善 ●電気ヒートポンプ給湯器の効率改善 ●調理用ガスコンロの効率改善	運輸部門 [需要削減] ●旅客輸送需要の低減 ●貨物輸送需要の低減 [燃料転換] ●旅客輸送での電動自動車普及率の向上(保有ベース) ●貨物輸送での電動自動車普及率の向上(保有ベース) ●燃料燃焼における合成燃料の利用拡大 [効率改善] ●乗用車(内燃機関)の効率改善 ●BEV乗用車・貨物車の効率改善 ●貨物車(軽油・ガソリン)の効率改善 ●FCV貨物車の効率改善

の状況が地域ごとや業種ごとに異なる対策については、第2章で推計した地方自治体別のエネルギー消費量を現状の水準として、2050年までの変化で対策実施による効果を推計する。なお、断熱住宅や断熱建築物の普及に関しては、基準年における断熱基準別シェアは市区町村ごとに異なることが推察されるものの、推計に十分な情報が得られなかったことから、本研究では全市区町村でシェアが同様に推移すると仮定し、省エネルギー基準の地域区分ごとに異なる暖冷房負荷等の削減率のみを考慮した。

エネルギー供給側の対策としては、それぞれの自治体内の再生可能エネルギーの導入と系統電力のカーボンニュートラル化の2つを想定する。

再生可能エネルギー導入による温室効果ガス排出量削減効果は、AIM分析では一般送配電事業者の送配電区域(10地域)を単位に地域間の連系や毎時の需給バランスを考慮できる電源モデルを用いているが、本研究では、地域をまたいだ電力の融通や時間単位での需給バランスは考慮せず、市区町村ごとに需要側対策実施後の年間の電力消費量と再生可能エネルギー導入ポテンシャル量を比較して再生可能エネルギー導入によるCO₂削減効果を求めた。市区町村ごとの再生可能エネルギー導入ポテンシャル量は、再生可能エネルギー情報提供システム(Renewable Energy Potential System, REPOS)(環境省, 2022b)に基づいて設定した。なお、REPOSにて公開されている市区町村別の導入ポテンシャルは住宅用等太陽光発電、陸上風力発電、中小水力発電(河川)、地熱発電のみであることから、本研究ではこれら4種を対象に電力需要量との比較を行うこととし、その他の再生可能エネルギー種(公共系等太陽光発電、洋上風力発電、バイオマス発電)は発電設備の立地地域には直接供給せず、電力系統に連系されて系統電力のカーボンニュートラル化に貢献しているものと仮定した。

系統電力のカーボンニュートラル化は、AIM分析にて発電電力量に占める脱炭素電源の割合が2050年

には100%に達しているとの結果に基づき、系統電力の排出係数をゼロと想定し、それによるCO₂排出量の変化を対策の効果と見なすこととした。

3.2 対策シナリオに基づく地方自治体別2050年エネルギー消費量・CO₂排出量の推計

図4に、対策シナリオに基づいて推計した地方自治体別の2050年CO₂排出量を、基準年に対するCO₂削減率の分布としてまとめたものを示す。本研究で想定した対策シナリオのみで100%削減(カーボンニュートラル)を実現できる自治体はなかったが、9割を超える自治体が2013年比90%以上の削減率を達成できており、特に97%削減~99%削減の範囲に含まれる自治体が多いことがわかる。削減率が80%に達しない自治体は合計28自治体あるが、これらは化学工業や鉄鋼・非鉄・金属製品製造業等の製造業のシェアが高いという共通した特徴を持つ。本研究で想定した対策シナリオでは、需要側(産業部門)でのCCS導入を想定していないが、化学工業等でのCCS導入を考慮することにより、これら自治体でも他の自治体と同程度までCO₂削減率を引き上げることができるものと推察される。

いずれの自治体もカーボンニュートラルを達成できなかった理由は、本研究の対策シナリオでは、民生(業務・家庭)部門や運輸部門において電化をしてもなお消費される灯油などの化石燃料を合成燃料に転換すると想定しており、この合成燃料製造由来のCO₂が一定程度排出されるためである。AIM分析では、合成燃料由来のCO₂排出量は、CCS付きバイオマス発電(BioEnergy with Carbon Capture and Storage, BECCS)や森林吸収により相殺するとしているが、本研究の供給側対策ではこれら技術や対策は考慮しておらず、結果としてCO₂排出量が避けられなかったものと考えられる。

つぎに、地方自治体別のCO₂削減量とその部門別割合の分析結果を図5に示す。図中の円の面積はCO₂削減量に比例しており、円の中心が部門別の割合を示している。例えば、図の左下の頂点に位置す

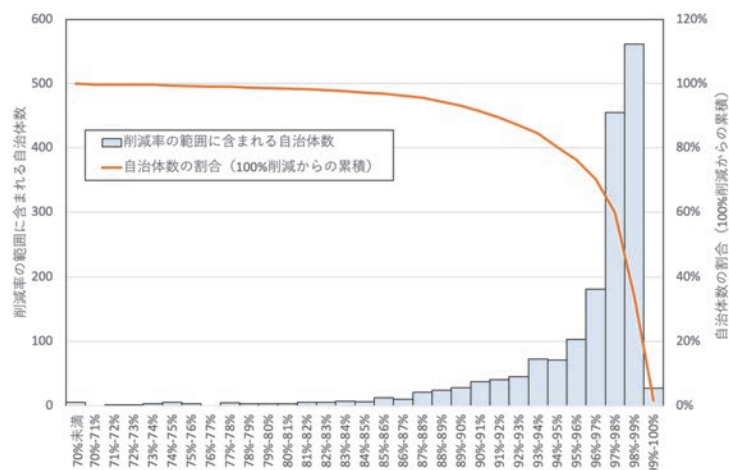


図4 地方自治体別の削減率(2013年比)の分布と100%削減からの累積自治体数。

る場合、産業部門と運輸部門の割合がいずれも0%で、業務・家庭部門の割合が100%となる。

CO₂削減量は、最大の33,400 kt-CO₂から最小の1.3 kt-CO₂まで幅広いが、概ねエネルギー消費量の大きな自治体がCO₂削減量でも大きくなる傾向を示している。部門別割合に着目すると、7割以上の自治体がCO₂削減量に占める運輸部門の割合が3割を下回っており、また全自治体(1,741)の半数以上となる1,068自治体は、民生(業務・家庭)部門の割合が4割を超えている。民生部門の削減量が8割を超えるのは21自治体であり、東京都千代田区、中央区、港区などの東京都区部の自治体や沖縄県那覇市などが含まれる。これら地域は、卸小売業やサービス業などの業務部門(第三次産業)の従業者数がそれぞれの周辺地域と比較して大きいという共通点を有している。また、CO₂削減量の大きな自治体は、産業部門の割合が高い傾向があり、エネルギー消費量(図3)で上位に位置する千葉県市原市や岡山県倉敷市、大分県大分市などはその90%以上が産業部門における削減である。いっぽう、運輸部門のCO₂削減量が全体の4割を超えるのは全体の3%程度と少ない。基準年(2013年度)において東日本大震災等の影

響により産業活動が極端に縮小していた福島県内の自治体を除き、運輸部門の割合が高い自治体の多くは、基準年(2013年度)における運輸部門のエネルギー消費量が全体の50%以上とともにも高く、民生(家庭・業務)部門、産業部門と続いている。これらの結果より、国全体と同様に地方自治体においてもCO₂削減量やその部門別割合はエネルギー消費と密接な関係を有しており、地方自治体が独自にカーボンニュートラルに向けた対策を検討する際に参照できるエネルギー需給情報の作成と整備が重要であることが示唆されるものである。

対策実施による地方自治体別のCO₂削減率の変化を、標準地域コードに基づき左から北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄の順に並べたものを図6に示す。図中のマイナスの領域は、基準年よりもCO₂排出量が増加することを表している。なお、本研究では、図1の分析フローに示したように、人口・世帯数等のマクロフレームの変化のみを考慮したCO₂排出量に対して、需要削減、燃料転換・効率改善の需要側対策の効果を分析し、ついで供給側対策の効果を分析しており、削減率は対策なし、需要側対策、供給側対策の順に累積で示されている。

マクロフレームの変化のみを考慮した対策なしのCO₂削減率を見ると、多くの自治体は人口減少等の影響により基準年よりもCO₂排出量が減少しているものの、91の自治体は基準年よりも増加する結果となった。これら自治体について部門別にCO₂排出量の増減を詳細に見ると、共通して産業部門のCO₂排出量が増加していることがわかった。本研究では、基準年(2013年度)から2018年までは前章で推計したエネルギー消費量に従うものとし、2018年から2050年までの変化はAIM分析のマクロフレームに沿って設定しているが、対策なしでCO₂排出量が増加する自治体では、企業の新規立地などの影響により2013年から2018年にかけて産業部門のうち特に

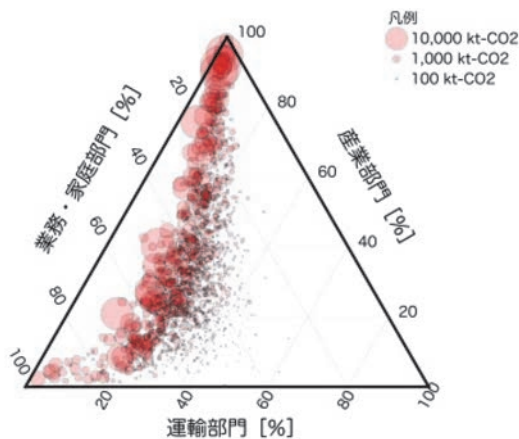


図5 地方自治体別CO₂削減量の部門別割合。

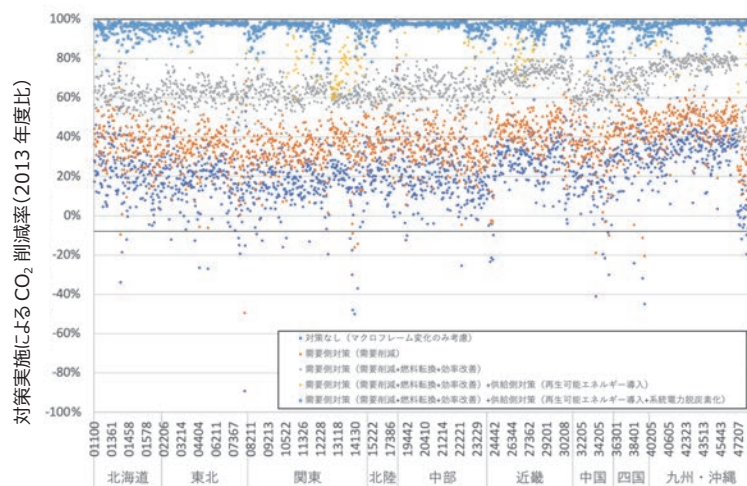


図6 地方自治体ごとの対策別CO₂削減率の変化。

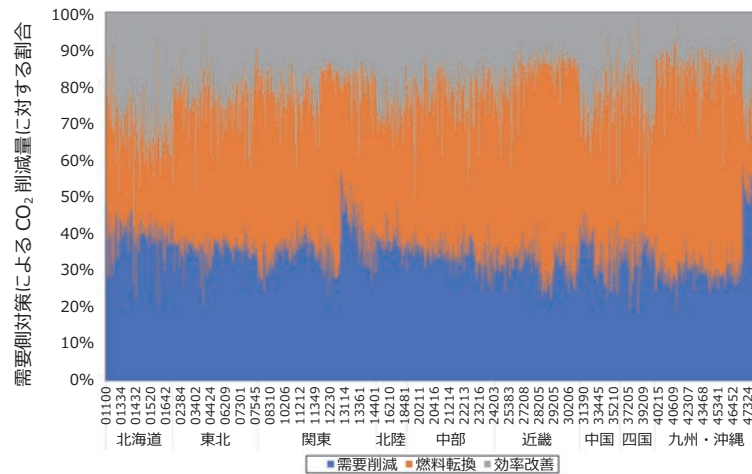


図7 地方自治体ごとの需要側対策によるCO₂削減量の割合。

製造業のCO₂排出量が増加し、結果として2050年のCO₂排出量も増加したものと考えられる。

つぎに、需要側対策によるCO₂削減率の変化を見ると、全自治体の約95%でCO₂削減率が50%を超え、83自治体は80%を超えることがわかった。需要側対策による削減率が50%未満となったのは、対策なしケースでCO₂排出量が増加している自治体のほか、那覇市や石垣市など沖縄県内の自治体が含まれる。これは、沖縄県内の自治体は他地域と比較して冷暖房用途でのエネルギー消費が少ないため、断熱住宅・建築物や冷暖房機器の電化率向上などの対策の効果が少なくなるためであると考えられる。

供給側対策については、約9割の自治体は地域内の再生可能エネルギー導入ポテンシャルで電力消費量を賄うことができ、カーボンニュートラル化された系統電力の供給が必要となるのは、東京都千代田区や中央区などの特別区や多摩市、調布市、埼玉県さいたま市や川口市、千葉県千葉市、市川市、神奈川県横浜市、川崎市など首都圏の大都市や、愛知県名古屋市周辺、京都府京都市や大阪府大阪市、堺市、兵庫県神戸市、広島県広島市、福岡県北九州市、福岡市など、それぞれの地方の中核的な都市や周辺自治体である。ただし、本研究では賦存量から法令、土地用途などによる制約を考慮した導入ポテンシャルを用いており(環境省, 2022b)、コストなどの事業性を考慮した場合にはポテンシャル量は減少することが見込まれ、再生可能エネルギーのみで賄えるとされた自治体でも、系統電力の供給が必要となる可能性があることには留意が必要である。

最後に、需要側対策に着目して、地方自治体ごとのCO₂削減量の違いを分析する。図7は、標準地域コードの昇順に、需要側対策によるCO₂削減量に対する需要削減、燃料転換、効率改善の各対策の割合を示したものである。

それぞれの対策の削減率の違いを見ると、同じ都道府県内でも違いはあるものの、総じて北海道(01100～)や東北地方(02201～07564)、新潟を含め

た北陸地方(15100～18501)など寒冷な地域では需要削減対策によるCO₂削減量が大きく、九州地方(40100～46535)など温暖な地域では電化などの燃料転換による削減量が大きい。これは、寒冷な地域では特に暖房用途でのエネルギー消費が大きく、断熱建築物や断熱住宅の普及による削減効果が高いためであると考えられる。また、沖縄県(47201～)も需要削減の割合が高いが、これは前述したようにCO₂削減量全体に占める需要側対策による削減率が他の地域と比較して低いため、燃料転換や効率改善よりも、エネルギー管理システム導入によるエネルギー需要削減や旅客・貨物輸送需要の低減など、エネルギー消費量の定率削減を想定する需要削減の効果が相対的に大きくなったためである。いっぽう、東京都(13101～)も同様に需要削減の効果が大きい。これは特別区など業務部門の割合が大きい自治体が多く、基準年においてもエネルギー消費量に占める電力の割合が高いため、電化などの燃料転換の効果が低くなったことによると考えられる。

4. おわりに

本研究では、我が国の地方自治体を対象に、国全体のカーボンニュートラル社会実現に向けた対策を一律に実施した場合のエネルギー消費量やCO₂排出量の変化を推計し、脱炭素化の実現可能性を評価した。具体的には、まず資源エネルギー庁の都道府県別エネルギー消費統計をもとに、各種統計を組み合わせた按分により地方自治体別のエネルギー需給データを作成し、国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2021)(AIM分析)を参考に需要削減や電化などの燃料転換、機器等の効率改善といった需要側対策と、地域の再生可能エネルギーの活用や系統電力の脱炭素化の供給側対策を対策シナリオとして想定し、その効果を推計した。

本研究より、我が国全体の脱炭素化に向けた対策を着実に実施することにより、9割を超える自治体

が基準年比 90%以上の削減となるなど、地方自治体レベルでも CO₂ 排出量の大幅削減が実現可能であることがわかった。また、地方自治体ごとに異なるものの、おおむね CO₂ 削減量の 50%以上が需要側対策であり、断熱建築物・住宅の普及や脱物質化、移動需要の低減、空調・給湯機器の電化、高効率機器への買い換えなど、地域の住民や企業の主体的な取り組みが地域のカーボンニュートラル化には不可欠であることが示唆されている。同様に、地域での再生可能エネルギーの利用拡大も重要な取り組みであり、地域内のポテンシャル量の活用だけではなく、余剰エネルギーの地方自治体間での融通など、複数の地域が連携したシステム構築を通じた活用が望まれるものである。

いっぽう、このような地方自治体レベルでの取組のみでは十分ではなく、系統電力の脱炭素化や、化学工業、鉄鋼・非鉄・金属製品製造業等の産業部門(製造業)での CCS の普及、化石燃料を代替する合成燃料の製造時等に排出される CO₂ をネットゼロとするための BECCS 等のネガティブ排出技術の開発・普及といった、政府や広域的に事業を行う企業などによる国レベルの取組も同様に重要である。

対策シナリオに基づく効果の推計からは、カーボンニュートラルに向けた対策それぞれの効果は地方自治体のエネルギー需給構造に大きく影響されることが明らかとなった。エネルギー需要の面では、多くの自治体が産業部門または民生(業務・家庭)部門のエネルギー消費量が大きく、これら部門での対策の効果も大きい。いっぽう、運輸部門での対策の効果が主となるのは運輸部門のエネルギー消費量が全体の 5 割を超えるなど限られた自治体にとどまる。また、北海道や東北、北陸などの寒冷な地域では特に暖房用途のエネルギー消費が大きい。ため、建築物や住宅の断熱強化による CO₂ 削減効果は高いが、九州や沖縄県など温暖な地域では冷暖房用途のエネルギー消費が少なく、需要削減よりも電化などの燃料転換による CO₂ 削減量が多い。

なお、対策シナリオの効果の推計においては、断熱強化や機器の買い換え、再生可能エネルギー設備の導入に要する費用や、系統電力における脱炭素化対策の実施に伴う電力価格の変化等、コスト面については考慮していないことには留意が必要である。AIM 分析では、国全体を脱炭素化するために必要な追加投資額は社会変容シナリオで 2014 年から 2050 年までの年平均 9.5 兆円、うち需要側での取り組みとなる技術導入や断熱強化等は年平均で 4.8 兆円とされている。これを単純に地方自治体ごとの需要側対策による CO₂ 削減量に比例して割り振ると、削減量が小さな自治体でも年間 1~2 億円、大規模な削減が必要とされる自治体では 400 億円~1,500 億円もの追加投資が必要となる。これに加えて再生可能エネルギー導入のための負担も必要であることも

勘案すると、地方自治体レベルでの取り組みに要する追加投資額を誰が、どのように負担するかの制度設計も求められるといえよう。

最後に、本研究では地方自治体ごとのエネルギー消費量等を都道府県等の広域的な統計から様々な指標により按分して求め、CO₂ 排出量や対策シナリオの効果推計を行ったが、これまでに述べてきたように地方自治体それぞれに効果的な対策はエネルギー需給構造によって異なる。また、按分による推計では、同じ都道府県内でも異なる気象条件、産業構造、ライフスタイル、自治体をまたいだ通勤も含めた移動の特性などを反映させることが困難である。そのため、エネルギーや CO₂ 排出量に関わる公的機関も含めた地方自治体のエネルギー需給構造の把握のための統一的な手法作りが、地方自治体のカーボンニュートラル化に向けた計画作りにおける今後の重要な課題のひとつである。

謝 辞

本研究は、(独)環境再生保全機構・環境省の環境研究総合推進費(1-2003/JPMEERF20201003)、国立研究開発法人国立環境研究所の持続可能地域共創研究プログラム、文部科学省の「大学の力を結集した、地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発」により実施された。関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 地域経済分析システム (RESAS) (2022) 産業構造マップ・製造業・製造業の構造. <https://resas.go.jp/industry-statistics-all/> (2022 年 4 月 21 日確認)
- 脱炭素かわさき市民会議実行委員会 (2022) 「脱炭素かわさき市民会議」について. <https://www.cckawasaki.jp/kwccca/citizen.html> (2022 年 3 月 22 日確認)
- Fujino, J., Hibino, G., Ehara, T., Matsuoka, Y., Masui, T. and Kainuma, M. (2011) Back-casting analysis for 70% emission reduction in Japan by 2050. *Climate Policy*, 8(sup1), S108-S124. <https://doi.org/10.3763/cpol.2007.0491>
- 星野優子・小川順子 (2021) 家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査の個票データに基づく地域別、エネルギー構成別、所得階層別のエネルギー源別価格と支出の分析. エネルギー資源学会論文誌, 42(4), 194-203. https://doi.org/10.24778/jjser.42.4_194
- 一般社団法人 環境政策対話研究所 (2021) ゼロカーボンシティと市民参画に関するアンケート報告書. <https://cdn.goope.jp/61503/210126145523-600faecbdc1ec.pdf> (2022 年 3 月 22 日確認)
- 一般社団法人 全国 LP ガス協会 (2022) LP ガススタンド所在地. <https://www.japanlpg.or.jp/customer/>

- standmap.html(2022年3月23日確認)
- 一般社団法人 日本ガス協会(2021)ガス事業便覧(2020年版).
- 株式会社 住環境計画研究所(2021)家庭用エネルギー統計年報 2019年版.
- 環境省(2022a)地方公共団体における2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況. <https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>(2022年4月21日確認)
- 環境省(2022b)再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS(リーポス)]. <https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/>(2022年3月28日確認)
- 環境省(2022c)部門別CO₂排出量の現況推計. https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikei2.html(2022年3月23日確認)
- 環境省(2022d)自治体排出量カルテ. https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html(2022年3月23日確認)
- 環境省(2022e)地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル(算定手法編)(Ver1.1). https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_santei_202103.pdf(2022年3月23日確認)
- 紀伊雅敦(2019)乗用車CO₂排出量の将来推計と要因分析:2050年の東京都市圏と香川県を例として. エネルギー資源学会論文誌, 40(4), 93-100. https://doi.org/10.24778/jjser.40.4_93
- 気候市民会議さっぽろ2020実行委員会(2021)気候市民会議さっぽろ2020最終報告書. https://citizensassembly.jp/system/wp-content/uploads/2020/09/sapporo2020ca_final_report.pdf(2022年3月22日確認)
- 国立環境研究所 AIMプロジェクトチーム(2021)2050年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析. https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/2021_2050Japan/20210630_NIES.pdf(2022年3月28日確認)
- 国立研究開発法人 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)(2021)日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2020年度)速報値. https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/jqjm10000011nkrn-att/L5-7gas_preliminary_2022-gioweb_ver1.0.xlsx(2022年3月23日確認)
- 国・地方脱炭素実現会議(2021)地域脱炭素ロードマップ. https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/pdf/20210609_chiiki_roadmap.pdf(2022年3月22日確認)
- 奥田啓太・越智雄輝・長谷川知子・五味 馨(2021)京都市を対象とした2050年二酸化炭素排出実質ゼロの姿の定量化. 土木学会論文集 G(環境), 77(5), pp.I_285-I_292. https://doi.org/10.2208/jscejer.77.5_I_285
- 小野寺弘晃・根本和宜・中田俊彦(2021)市区町村のエネルギー需給特性を考慮した広域圏エネルギーシステムの設計. エネルギー資源学会論文誌, 42(5), 337-350. https://doi.org/10.24778/jjser.42.5_337
- 重浩一郎・坂巻隆史・西村 修(2021)ゼロカーボンシティ実現に向けた再生可能エネルギー導入量と森林吸収量を考慮した市町村の二酸化炭素排出推計. エネルギー資源学会論文誌, 42(3), 158-165. https://doi.org/10.24778/jjser.42.3_158
- 資源エネルギー庁(2021)総合資源エネルギー調査会基本政策分科会(第44回会合), 資料2-8. https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/(2022年3月28日確認)
- 資源エネルギー庁(2022)2019年度総合エネルギー統計. https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/xls/2020fy/stte_2019.xlsx(2022年3月23日確認)
- 清水恭亮・本藤祐樹・森泉由恵(2018)太陽熱給湯システムの基礎自治体別CO₂削減ポテンシャル. 日本エネルギー学会誌, 97(6), 147-159. <https://doi.org/10.3775/jie.97.147>
- 首相官邸(2020)第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説. https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html(2022年3月22日確認)
- 田中昭雄(2022)住宅エネルギー消費の6用途分解と再生可能エネルギー利用量の推定. エネルギー資源学会論文誌, 43(1), 25-32. https://doi.org/10.24778/jjser.43.1_25
- 友藤大輔・秋澤 淳(2019)地理情報システムを活用した非住宅建築物におけるガスエンジンコージェネの導入ポテンシャル推計. 日本エネルギー学会誌, 98(4), 52-61. <https://doi.org/10.3775/jie.98.52>
- 鷺津明由・中野 諭(2020)社会統計に基づく住宅のエネルギー消費原単位の推計. エネルギー資源学会論文誌, 41(6), 282-289. https://doi.org/10.24778/jjser.41.6_282
- 鷺津明由・中野 諭(2022)地域別家庭CO₂排出量の推定手法の開発:地域別環境政策立案にむけて. エネルギー資源学会論文誌, 43(1), 15-24. https://doi.org/10.24778/jjser.43.1_15



芦名 秀一/Shuichi ASHINA

2006年東北大学大学院工学研究科修了, 博士(工学)。2006年より国立環境研究所にて勤務し, 主任研究員, 国際室長を経て, 2021年4月より社会システム領域地域計画研究室主席研究員。専門は機械・システム工学。アジア太平洋統合評価モデル(AIM)チームの一員として日本及びアジアでの国・都市脱炭素社会の姿及びその実現のための道筋研究に取り組むとともに, 政府審議会等での脱炭素計画・政策策定の議論にも貢献。近年はICT・IoTやAI的なアプローチを活用したモニタリングとその気候変動緩和研究への応用についても取り組んでいる。