

カーボンバジェットを考慮した地域の CO₂ 排出削減シナリオ

Local area CO₂ reduction scenario with Carbon Budget

歌川 学*

1. はじめに

気候変動の悪影響を抑えるため、温室効果ガス排出削減目標強化が課題になっている。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）1.5℃特別報告書⁽¹⁾が気温上昇1.5℃未満抑制を実現する排出許容量とともに代表的排出経路「2050年CO₂排出ゼロ」(図1)を示した後、国、自治体・地域、企業で気温上昇1.5℃未満抑制（産業革命前比）を意識した「2050年CO₂排出実質ゼロ」目標が増加している⁽²⁾。企業の脱炭素・再生可能エネルギー100%目標拡大はサプライチェーン全体の脱炭素化を促しつつあり、脱炭素は市場への参加条件になりつつある。国・自治体は気候変動の悪影響防止と地域発展のため、企業は本業のために脱炭素に取り組む時代となった。

日本でも政府が2050年の温室効果ガス排出量を実質ゼロにする方針を示した。自治体では「2050年CO₂排出量実質ゼロ」方針を298自治体が表明した（2021年3月2日現在）。排出ゼロ目標自治体

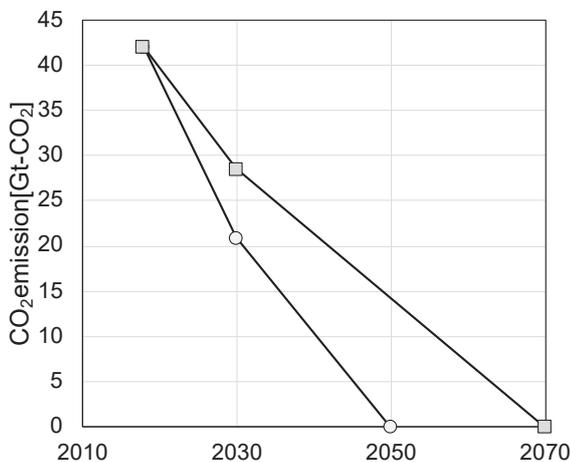


図1 気温上昇1.5℃未満抑制、2℃未満抑制の代表的排出経路

Fig.1 1.5 degree and 2 degree emission pass way

の人口は1億人を越えた⁽³⁾。排出ゼロ目標表明済の約300自治体だけでなく、これに続くことが期待される残り1500の自治体も、排出ゼロにむけた排出削減の具体的な対策経路・排出経路（ロードマップ）を示すとともに、そのための政策を自治体計画で策定することが求められる。

ここではすでに排出ゼロ目標を策定した自治体、さらに今排出ゼロ目標を検討している自治体の削減目標、対策、CO₂排出削減経路の手がかりとなるカーボンバジェットを考慮した地域のエネルギーシナリオ検討について述べる。

2. カーボンバジェット

「カーボンバジェット」は気候変動抑制のための累積排出量上限である。

2.1 カーボンバジェットの考え方

バジェットは「予算」の意味で、排出削減目標の立て方としては、目標年単年度ではなく、累積排出量の目標を考える手法である。気候変動の悪影響は気温上昇に関連し、気温上昇は累積排出量に密接に関連する。また累積排出量を一定以下にする目標とすれば対策先送りが許されず、単年度目標の場合に比べて目標年に至る排出削減をより計画的に考えることができる。

2.2 世界のカーボンバジェット

IPCCはカーボンバジェットを気温上昇抑制のための累積排出量上限として定義、IPCC第5次報告で気温上昇2℃未満抑制（産業革命前比）のための累積排出量の知見と値⁽⁴⁾、IPCC1.5℃特別報告書で気温上昇1.5℃未満抑制のための累積排出量の知見と具体値が示された⁽¹⁾。

* 産業技術総合研究所

気温上昇2℃のカーボンバジェットは近年の世界のCO₂排出量の約20年分(2018年以降に換算)、1.5℃のカーボンバジェット(2018年以降、排出ゼロになるまでの累積値として定義)は、近年の世界のCO₂排出量の10~20年分に相当する。

これらの知見はまもなく発表されるIPCC第6次報告書でさらに整理されると考えられる。

2.3 日本と地域のカーボンバジェット

世界の「カーボンバジェット」を手がかりに、日本全体、自治体の累積排出量上限をどう考えればよいかを次に述べる。

ひとつは図1の排出経路で日本も削減を行うことである。この考え方は、世界の「カーボンバジェット」を排出量比で配分することになる。

もうひとつは人口比の配分である。世界の「カーボンバジェット」の各国への配分については、IPCC第5次報告で様々な考え方が整理されている^(5,6,7)。この中でシンプルな考え方として人口比で各国に配分する方法がある。この方法によると日本のカーボンバジェットは気温上昇1.5℃未満抑制で71~130億t-CO₂で、2019年度排出量比で6~12年分に相当する。

次に、日本の「カーボンバジェット」を自治体に配分する。これには単純に人口比で配分する考え方と、排出構造を考慮した配分の考え方がある。

人口比配分の場合は、日本に配分されたバジェットを、国内人口比で各自治体に割り振る。

排出構造考慮の配分には様々な方法があり得るが、ここでは部門別・業種別に現在のCO₂排出量比例で日本の「カーボンバジェット」を割り振った後、これを活動量(生産量、業務床面積、世帯数、旅客輸送量、貨物輸送量)の比で各自治体に配分する。活動量のデータが得られない場合には、エネルギー消費量やCO₂排出量に関連し、これに準ずる指標(市町村のデータが得やすい指標では、製造品出荷額等、従業者数、自動車保有台数など)で各自治体に配分する。

公平性の観点では世界の「カーボンバジェット」を日本に割り振る際には人口比などの指標で配分し、日本の「カーボンバジェット」は排出構造で難易度が変わらないように排出構造を考慮することが望ましいといえる。

3. 地域のCO₂排出削減

次に、自治体で排出削減する具体的な手段について整理する。

3.1 2050年排出ゼロにむけたロードマップの例

地域の2050年排出ゼロにむけたロードマップとして東京都⁽⁸⁾と長野県⁽⁹⁾の例がある。東京都は目標を強化している。ここでは長野県の例を紹介する。

長野県は2050年CO₂排出実質ゼロ目標を持ち、気候非常事態宣言も行い、「気候危機突破方針」⁽⁹⁾の中でCO₂排出実質ゼロへのロードマップを有する。ここでは技術導入対策などによりエネルギー消費量を2050年にむけ70%削減し、再生可能エネルギーを2050年にむけ3倍以上に増加、その結果2050年にCO₂排出量をほぼゼロにし、高温熱利用で一部残る排出を森林吸収などとあわせてゼロにしている。

こうした具体的なロードマップ、シナリオの策定が全市町村に求められているといえる。なお、県のカーボンバジェットについては、長野県は算出していない。

3.2 自治体のCO₂排出ゼロへの対策

自治体・地域のCO₂排出量削減は、主に省エネと再エネで実現する。

省エネは以下のような大規模な設備投資で実現する。産業・業務・家庭部門で、更新時、あるいは大規模改修時に設備・機器を省エネ型に更新する。また、業務・家庭部門で、新築時あるいは大規模改修時に断熱建築、将来はゼロエミッションビル、ゼロエミッションハウスの省エネ性能を選択し、可能ならゼロエミッションビル、ゼロエミッションハウスの再エネ利用も実現する。運輸部門では、自動車は2050年までに電気自動車に転換するとともに、公共交通機関シフト、自動車自体の輸送効率化を行う。設備投資による基本性能を上げずに運用だけで大きな省エネを実現するのは不可能である。設備投資をすれば快適性を損なわずに省エネが実現する。

次に、エネルギーを電力、熱利用、運輸燃料それぞれについて再エネ転換、あるいは電化の上で再エネ転換し、CO₂排出ゼロを実現する。運輸燃料は電化がメインとなる。

なお、再エネ転換に課題のあるエネルギー用途があるのでこれについて次に述べる。

3.3 エネルギー用途と再エネ転換

エネルギー用途と再エネ転換の可能性を整理する。エネルギー用途を、電力、低温熱利用(100℃以下)、中温熱利用(100~200℃)、高温熱利用(200℃以上)、自動車燃料、船舶航空燃料に分ける。

このうち、電力、低温熱利用、中温熱利用、自動

車燃料・非電化鉄道燃料については現状技術（長距離トラックは開発間近の技術）で再エネ転換が可能である。中温熱利用は熱利用のままでは再エネ転換の手段がバイオマスなどに限定されるが、電化・ヒートポンプ利用で大きな省エネになるとともに、再エネ電力利用が可能になる。自動車燃料は電気自動車化で大きな省エネになるとともに、再エネ電力利用が可能になりこのことで再エネ転換が容易になる。非電化鉄道の旅客についてはバッテリー車などの実績がある。これらの用途については現状技術で再エネ転換が可能である。

高温熱利用、船舶航空燃料の再エネ転換には課題がある。この一部用途については、高炉製鉄の生産を電炉に代替つまり電化し、再エネ電力に変えることができる。また電気加熱が容易な用途もある。小型船舶については電化例がある。その他については再エネ転換について技術的課題がある。但し、各分野で技術開発が行われている。

3.4 現状技術での再エネ転換・排出削減

現状の優良技術普及でどこまで削減ができるかについて検証すると、エネルギー起源 CO₂ 排出量を 2050 年までに 1990 年比 90~95% 削減が可能であり、費用対効果もよい⁽¹⁰⁾。再エネ転換に課題があるのは全体の 5~10% といえる。

3.5 水素利用について

水素は化石燃料からも作ることができるが脱炭素にならない。ここでは再エネ電力による製造を考える。先に高温熱利用、船舶航空燃料で再エネ転換に課題があることを述べた。それ以外の用途は再エネ電力、再エネ熱利用が可能で、水素を使わずに脱炭素化が可能である。再エネ水素は高温熱利用、船舶航空燃料の再エネ転換に資する可能性がある。但しその製造は再エネ電力の発電量が日常的に需要を大きく上回るようになってから⁽¹¹⁾、時期としては 2030 年度、あるいは 2040 年度以降と考えられる。

4. 地域の CO₂ 削減シナリオ

以下にカーボンバジェットと地域 CO₂ 排出シナリオ試算を行う。対象に、いずれも大規模工業地域のない長野県と京都府を選んだ。

4.1 地域排出シナリオの試算方法

(1) 地域排出シナリオの試算

この試算では既存技術の普及による排出削減・累積排出量を試算し、カーボンバジェットとの比較を行う。排出ゼロには残りの削減は新技術の利用により行う。但しここでは新技術活用の削減は考慮して

いない。森林吸収も考慮していない。

活動量は 2050 年度にむけ、産業部門と運輸貨物は全国人口比で、業務部門、運輸旅客部門は地域の人口比で推移と想定する。家庭部門は世帯数を用い、人口、世帯数ともに社会保障人口問題研究所の将来予測を用いる。対策をしない場合は最終エネルギー消費量、CO₂ 排出量は活動量に比例して増減するものとする。

対策は、省エネについて設備機器、建築ども、更新の際に既存優良技術を普及させ、再エネ電力と再エネ熱の普及を想定する。商業化が間近の電気自動車も普及を想定、それ以外は想定しない。100℃以上の産業熱利用のうち、100~200℃の中温熱利用はヒートポンプ利用で電化し再エネ電力転換を見込む。自動車は 2050 年度までに電気自動車に転換し、再エネ電力転換を見込む。200℃以上の産業熱は化石燃料を残すものとする。

(2) 地域カーボンバジェットの試算

各自治体のカーボンバジェットについて、日本に人口比で世界のカーボンバジェットをわりふる。気温上昇 1.5℃未満抑制のカーボンバジェットは 2018 年から排出ゼロまでで定義されている。2℃未満抑制のカーボンバジェットは期間をあわせて換算する⁽¹²⁾。

これを、排出構造を考慮し、自治体に割り振る。この際、業務、家庭部門は部門ごとに活動量比で、運輸部門は運輸旅客と運輸貨物の機関毎に活動量比で割り振る。産業部門は業種別に産業分類の中分類毎に分けて活動量比で割り振る。

活動量は産業部門は生産量、業務部門は床面積、家庭は世帯数、運輸旅客は旅客輸送量、運輸貨物は貨物輸送量が望ましい。但し、家庭の世帯数以外は国と自治体でこれら活動量データが得られないまたは得にくいいため、ここでは環境省の区域の温室効果ガス排出量の現況推計手法⁽¹³⁾を参考に、次善の策として産業部門製造業は製造品出荷額等、産業部門非製造業と業務部門は従業者数、運輸旅客および運輸貨物の自動車については自動車保有台数で割り振った。船舶、航空は割り振らないこととした。

4.2 地域排出シナリオの例

(1) 京都府について

京都府は、間接排出でエネルギー転換部門（自家消費）と産業部門をあわせた CO₂ 排出割合は約 3 割である。

先の方法で、京都府のカーボンバジェット（2018~2050 年度）は、気温上昇 1.5℃未満抑制目標では

98~182Mt-CO₂、気温上昇2℃未満抑制で179~205 Mt-CO₂と求められる。これをもとにここではこの幅の上限値を取り1.5℃未満抑制相当として2018~2050年度の累積CO₂排出量目標182 Mt-CO₂、2℃未満抑制相当として2018~2050年度の累積CO₂排出量目標205 Mt-CO₂を得る。2018~2050年度の累積排出量だけでは行政目標として扱いにくいので、線形削減の排出経路を想定し、1年分あるいは複数年の5年分などに分割した目標をたてて管理することが考えられる。

2030年度の間目標は気温上昇1.5℃未満抑制を想定すると、2018年度のエネルギー起源CO₂排出量が11.26Mt-CO₂であり、線形に減少することを想定して求めると6.77 Mt-CO₂となり、これは2018年度比40%削減に相当する。

次にこの達成について地域エネルギーシナリオ計算を行い、カーボンバジェットと比較する。

結果は、2050年度のエネルギー消費量は2017年度比約65%削減である。消費電力量は2050年度に2017年度比約35%削減である。京都府には府内電力消費に匹敵する府内再生エネ電力可能性があり、洋上風力を含めればその10倍以上の可能性がある。CO₂排出量は2050年度に2017年度比100%近い削減になる(図2)。

減になる(図2)。

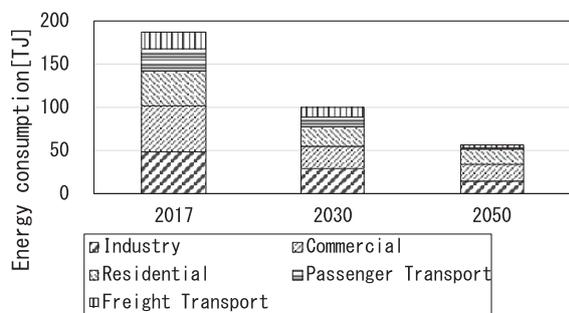
2018年度以降のCO₂累積排出量は約182 Mt-CO₂で気温上昇1.5℃のカーボンバジェット以内におさめることができる(図2)。

(2) 長野県について

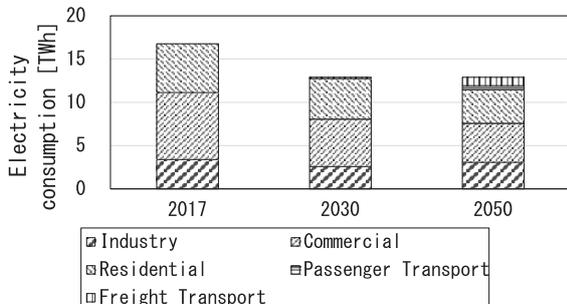
長野県は、間接排出で産業部門の排出量割合は2割強である。

長野県のカーボンバジェット(2018~2050年度)は、日本に人口比で世界のバジェットをわりふり、これを排出構造を考慮してわりふった場合、気温上昇1.5℃で90~164 Mt-CO₂、2℃で160~185 Mt-CO₂と求められる。これをもとに気温上昇1.5℃未満抑制相当として2018~2050年度の累積CO₂排出量目標164Mt-CO₂、2℃未満抑制相当として2018~2050年度の累積CO₂排出量目標185Mt-CO₂を得る。2018~2050年度の累積排出量だけでは行政目標として扱いにくいので、線形削減の排出経路を想定するなどした1年分あるいは複数年に分割した目標をたてて管理することが考えられる。

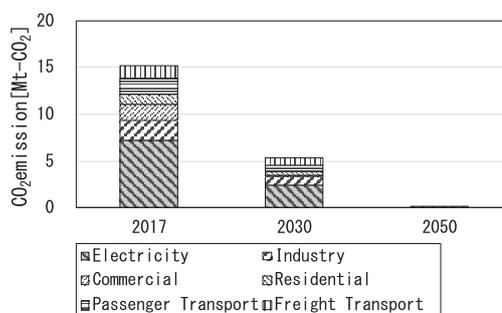
次にこの達成について地域エネルギーシナリオ計算を行い、カーボンバジェットと比較する。2050年度のエネルギー消費量は2017年度比約7割減で、ちょうど長野県の示したロードマップに近い。電力



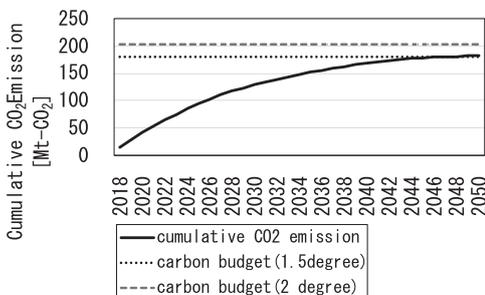
(a) エネルギー消費量
(a) energy consumption



(b) 電力消費量
(b) electricity consumption



(c) CO₂ 排出量
(c) CO₂ emission



(d) 累積排出量とカーボンバジェット
(d) cumulative CO₂ emission and carbon budget

図2 京都府のエネルギー・CO₂削減シナリオ
Fig.2 Kyoto Prefecture Energy and CO₂ reduction scenario

消費量は2050年度に2017年度比約3割の削減である。長野県は県内電力消費の3倍近い県内再エネ電力可能性がある。CO₂排出量は2050年度に100%近い削減になる(図3)。

2018年度以降のCO₂累積排出量は約164 Mt-CO₂で1.5℃のカーボンバジェット以内におさめることができる(図3)。

(3) 市町村の排出量について

市町村についても同じ考え方で排出ゼロに向けたロードマップを検討し、カーボンバジェットを考慮した累積排出量目標をたてることができる。

4. 対策の課題

自治体・地域で対策を進めるにあたって課題がある。

4.1 市町村のCO₂排出量実態把握の課題

日本の多くの市町村は公式の排出量統計の発表がない。環境省は全市町村について都道府県のCO₂排出量からの按分試算を行い、各市町村のCO₂排出量を試算している⁽¹⁴⁾。東京都、埼玉県は都県内の全市町村のCO₂排出量を発表し公表している⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。また環境コンサルタントのe-konzalも全市町

村のCO₂排出量を試算して公表している⁽¹⁷⁾。

対策には実態把握が不可欠である。現在は県などのデータから按分で求める手法が多く用いられ、これも実態把握に役立つものの、この方法では排出削減対策を行ってもその成果が市町村排出量に反映されない。今後、供給量調査などにより、国、都道府県、大学や研究機関なども協力し、エネルギー消費実態、CO₂排出実態を調査し、明らかにすることが課題である。

4.2 対策に資する政策例

対策に資する政策も必要である。ここでは専門的知見の地域での活用について指摘する。

大半の省エネ対策および再エネ熱利用は設備費などを光熱費減少で賄うことができる。多くの再エネ電力も設備費などを売電収入で賄うことができる。これは適正技術を適正コストで導入すれば事業採算性を確保できることを意味する。

事業採算性に従い対策を進めるためには適正技術・商品を選択するとともに、設備投資やメンテナンスの相場観が必要である。地域の幅広い主体がこのような選択ができるよう、国と自治体に加えて地

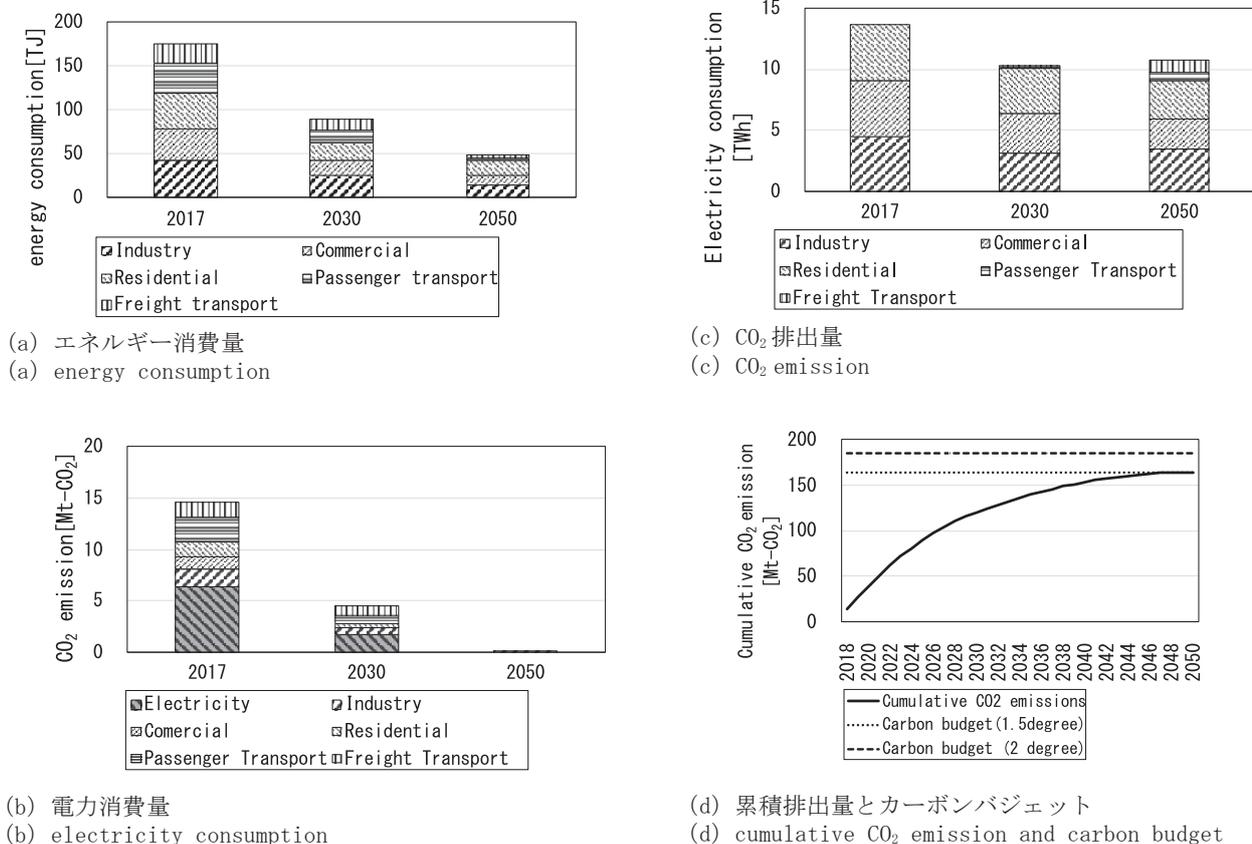


図3 長野県のエネルギー・CO₂削減シナリオ
Fig.3 Nagano Prefecture Energy and CO₂ reduction scenario

域の専門家、実務家が協力し、自治体が専門家・実務家と契約し、断熱建築、省エネ設備導入、再エネ発電所や再エネ熱設備導入の際の公的中立な診断・アドバイスを得られるようにすることが有効である。

4.3 光熱費の域外流出削減

省エネ・再エネ対策は、地域の光熱費の域外流出を大きく減らすことができる。

地域のエネルギー種別主体別エネルギー消費量にエネルギー単価をかけ、地域の年間光熱費を求めることができる。長野県の年間光熱費は約6,000億円、京都府の年間光熱費は約7,000億円と推定される(2017年度推計)。各地域は現状で膨大な支出を毎年行い、資金を地域外へ流出させている。

省エネは光熱費の域外流出を減らす。図4に長野県と京都府シナリオにおける京都府の光熱費削減を示す。加えて、再エネ普及も地域主体のもつあるいは参加する発電所や熱施設であれば光熱費支払先を域内に転換し、域外流出額を削減することができる。

省エネ再エネには設備投資が必要である。この累積投資額を累積光熱費削減と比較する。少なくともこの2府県では対策が既存技術普及であり、先に示した全国の既存技術普及の場合と同じく、全体として投資回収可能であり、対策は地域全体にとって得になる。また設備投資は単なる支出ではなく、光熱費と異なり国内企業が受注、地元主体が受注すれば国外、地域外に大半を流出させることなく、地域で資金を循環できる可能性がある。

4.4 対策まとめ

対策の事業採算性を確保し、光熱費流出を減らし、対策で発生する設備投資、メンテナンスの域内企業

受注を高めていくことは地域経済発展として大変意義がある。環境政策だけでなく地域経済政策、地域産業政策としても推進されることが求められる。

5. まとめ

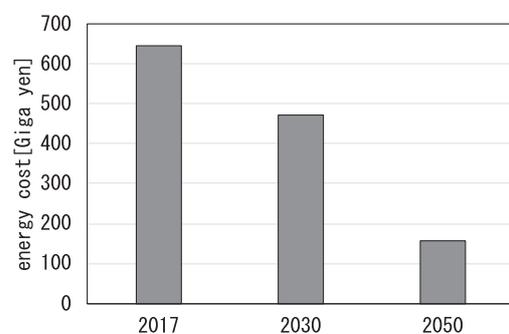
自治体・地域で脱炭素に取り組むには、2050年度までのロードマップをつくり、2050年度目標だけでなく累積排出量、中間年の目標を定め計画的に取り組むことが有効である。自治体・地域の累積排出量目標は世界のカーボンバジェットから定めることができる。累積排出量目標により対策を先送りせず、計画的に排出削減を実施できる。

大規模な工業地域を持たない2つの府県について世界のカーボンバジェットより地域カーボンバジェット、累積排出量目標を求め、この目標を既存の優良省エネ再エネ技術の普及で達成できることを示した。

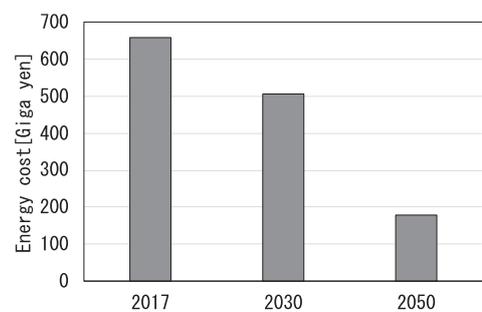
累積排出量目標を達成する対策として既存の優良省エネ再エネ技術の普及を選んだ場合、現状で地域から流出している莫大な光熱費を削減し、それとともに投資額を地域全体で回収できる可能性がある。脱炭素計画を着実に実施し、かつ流出光熱費を削減と投資額回収などの地域メリットを地域で活かすための課題を示した。

参考文献

- 1) IPCC「1.5℃特別報告書」, 2018.
- 2) Climate Ambition Alliance : Net Zero 2050
<https://climateaction.unfccc.int/views/cooperative-initiative-details.html?id=94>



(a) 長野県
(a) Nagano Prefecture



(b) 京都府
(b) Kyoto Prefecture

図4 対策による光熱費の削減
Fig.4 Energy cost reduction

- 2021年2月12日閲覧。
- 3) 環境省「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>
 2021年3月2日閲覧。
 - 4) IPCC「第5次評価報告書第1作業部会報告」,2013
 - 5) IPCC「第5次評価報告書第3作業部会報告」,2014.
 - 6) Niklas Höhne, Michel den Elzen and Donovan Escalante, 2014. Regional GHG reduction targets based on effort-sharing : a comparison of studies, Climate Policy, Vol. 14, No. 1, 122-147.
 - 7) 明日香壽川, 上園昌武, 歌川学, 甲斐沼美紀子, 田村堅太郎, 槌屋治紀, 外岡豊, 西岡秀三, 朴勝俊, Pranab Jyoti BARUAH, 増井利彦, 脇山尚子 (2015) : 「2015年パリ合意に向けての日本における温室効果ガス排出削減中長期目標試算の比較分析(1) : 2011年以降に示された試算結果の比較」.
https://www-iam.nies.go.jp/aim/////projects_activities/prov/2015_indc/document01_ver20150727.pdf
 - 8) 東京都「ゼロエミッション東京戦略」, 2019.
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/policy_others/zeroemission_tokyo/strategy.html
 2021年2月12日閲覧。
 - 9) 長野県「気候危機突破方針」,2020.
<https://www.pref.nagano.lg.jp/ontai/happyou/200401press.html>
 2021年2月12日閲覧。
 - 10) 歌川学・堀尾正鞆 (2020) : 「90%以上のCO₂削減を2050年までに確実にするための日本のエネルギー・ミックスと消費構造移行シナリオの設計」, 化学工学論文集, 第46巻, 第4号, pp.91-107.
 - 11) IEA : Status of Power System Transformation 2019
[https://www.iea.org/reports/status-of-power-](https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2019)
 - system-transformation-2019
 2021年2月12日閲覧。
 - 12) 近江貴治, 歌川学, 上園昌武, 氏川恵次, 塩飽敏史 (2019) : 「IPCC1.5℃特別報告書に基づく地域カーボンバジェットの算出と考察」, 日本環境学会全国大会講演論文集, A-1.
 - 13) 環境省「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)(Ver1.0)」
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/manual.html#tabBody_03
 2021年2月12日閲覧。
 - 14) 環境省「部門別CO₂排出量の現況推計」
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikai.html
 2021年2月12日閲覧。
 - 15) ECO ネット東京62「東京都区市町村温室効果ガス排出量」
<https://all62.jp/jigyo/ghg.html>
 2021年2月12日閲覧。
 - 16) 埼玉県温暖化対策課・埼玉県環境科学国際センター「埼玉县市町村温室効果ガス排出量推計報告書」
<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0502/sicyouson.html>
 2021年2月12日閲覧。
 - 17) e-konzal「全基礎自治体のエネルギー消費量・エネルギー起源CO₂排出量データベース」
<https://www.e-konzal.co.jp/e-co2/>
 2021年2月12日閲覧。

著者略歴



東北大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。工業技術院公害資源研究所入所、産業技術総合研究所に改組。博士(工学)。専門は機械工学、環境工学で温暖化対策、省エネ対策の技術選択評価、対策シナリオ研究に従事。