

査読付き投稿論文

「ゼロカーボンで栄える関西」の展望と課題

歌 川 学
堀 尾 正 鞠Prospects and Challenges of
"Kansai Region Flourishing with Zero Carbon"

要 旨

関西圏（滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県）の気候変動対策をパリ協定後の、2050年度排出ゼロを目指さなければいけない状況に適合したものとし、持続可能な経済圏域に移行していくためには、現状の大幅な見直しと、現実的で量的効果のあるシナリオに基づいた政策の確立が求められる。そのために、まず、気温上昇2℃未満、および、1.5℃未満抑制のための世界のカーボンバジェット（許容累積CO₂排出量、以下「CB」と略す）から、人口比および業種ごとの排出構造考慮で関西圏のCBを試算した。気温上昇1.5℃未満抑制の場合、2017年度排出量の7～13年分（人口比）ないし7～12年分（排出構造考慮）に過ぎない量であり、切迫した状況であることが判明した。

そこで、既存の省エネ技術の実装と、再生可能エネルギー（以下「再エネ」と略す）普及を柱としたシナリオに基づいて、関西圏の2030年度および2050年度のCO₂排出量、最終エネルギー消費量、電力消費量を推計し、2050年度に2017年度比で90%以上削減することが可能であることを確認した。また、この排出経路の累積CO₂排出量は、気温上昇2℃未満抑制の人口比配分のCBに近いことがわかった。

また、2050年度の電力需要（電力消費量）にこたえ得る再エネ電力供給可能性を検討し、需要を上回る供給を実現するための条件を明らかにした。さらに、再エネ電力100%段階での需給調整について、広域連系を考慮した試算を行い、再エネ電力100%になると需給調整が困難になるといったことを理由にした再エネ電力導入抑制の必要はないことを示した。対策の費用効果性を、マクロおよびミクロ（事業者レベル）の2つの視点から検討し、ゼロカーボンを地域発展と両立させることが可能であることを示した。

以上に基づいて、2050年度までにCO₂排出量実質ゼロをめざす自治体の省エネ・再エネ、地域電力政策等の可能性について、滋賀県および湖南市の試算例も示して検討し、地域エネルギー会社の役割が要となることを論じた。

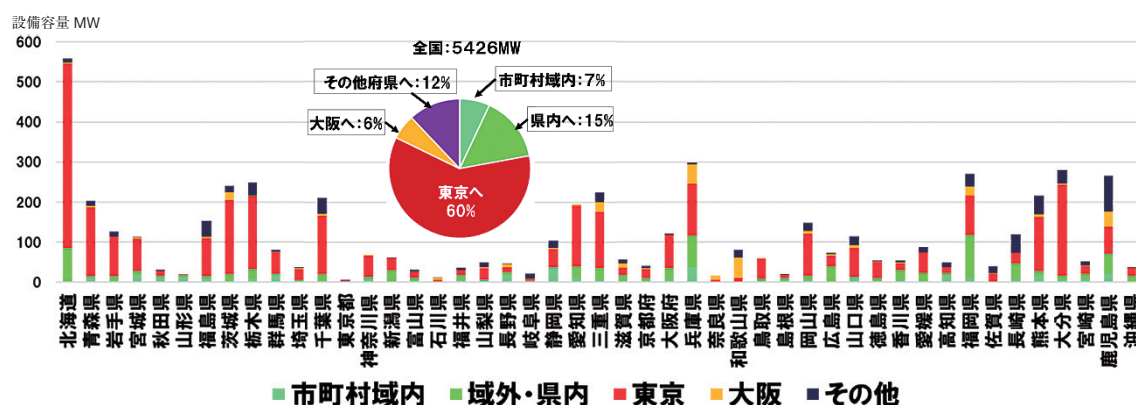
キーワード

キーワード：CO₂ 排出削減、カーボンバジェット、再エネ自給、需給調整、地域経済活性化

1. 緒 言

破壊的な気候変動の回避は持続型社会への移行の基本条件である。そのための条件として、IPCC（2013）による2℃未満抑制シナリオ（今世紀後半時点でCO₂排出実質ゼロが必要）、お

よび、IPCC（2018）による1.5℃未満抑制シナリオ（今世紀なかばの時点で実質ゼロが必要）が提示され、さらに、今後排出できる累積CO₂排出量がカーボンバジェット（CB）として算出されてきた。そのような中、政府の公式削減目標（2016年閣議決定）は2050年までに80%削減（基準年は不明）であったが、2020年



(資源エネルギー庁 (2016) より作成; 本社所在地を帰属先とし、共同事業の場合には均等分割した)

図 1.1 全国のメガソーラーの帰属先

10月菅新首相は、2050年までに温室効果ガス (GHG) 排出量を実質ゼロにすると表明した。すでに2019年以来、環境省は、全国の自治体に「2050年度 CO₂ 排出量実質ゼロ (2050ゼロカーボンシティ)」の宣言を促してきた。2021年2月17日時点で、全国では265自治体が、また関西圏では、4府県3政令市16市町村が呼応している。いよいよ「ゼロカーボン」(CO₂ 排出量実質ゼロ) への具体的な計画策定が課題となっている。

歌川・堀尾 (2020) は、日本全体について、最終消費全部門のエネルギー消費量と、購入電力と化石燃料それぞれからの CO₂ 排出量を、ボトムアップモデルにより積算し、マクロな検討を行った。それにより、これまでに実績のある技術を適用するだけで、かなりの省エネルギー (以下「省エネ」と略す) が可能であり、さらに電気自動車 (以下「EV」と略す) 化、石炭火力の廃止、再エネのさらなる導入をすれば、日本の90%以上の CO₂ 排出量の削減と「持続可能な産業社会への移行」(以下「移行」と略す) が技術的・経済的に無理なく実施可能であることを明らかにした。

上記の研究結果は、まだ「移行」に対応しないまま化石燃料に依存して活動している多くの現業主体にとって、早めの業態転換が経済的にも得策であることを示したものである。しかし、2019年6月の閣議決定戦略 (2019) に見られるように、日本の政策空間においては、水素燃料電池自動車 (FCV)、CCS (CO₂ 回収・地中隔

離)、CCU (CO₂ 回収再利用; CO₂ を水素と反応させて炭化水素などに変換し利用する) など、専門家以外には検討することも困難な大きな構想が錯綜し、現実的な移行の可能性が見えにくいのが現状である。

堀尾は、CO₂ 排出量の60-80%削減が閣議決定された2008年-2013年にわたり、JST-社会技術研究開発センターにて「地域が元気になる脱温暖化」を追求した (堀尾一重藤 (2014))。気候変動対策と地域の持続可能性の実現とを結合して追及するこのような方向性は、2015年9月の国連サミットで策定された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」と持続可能な開発目標 (SDGs) の採択により世界的にも定式化され、また、環境省の「地域循環共生圏」の概念と地域循環共生圏づくりを支援する補助事業 (環境省 2018) にも共有されている。

地域が、地域に存在する再エネの「享受権」 (神奈川県松田町 2020) を行使すれば、光熱費の地域外への支払いを抑制し、地域経済を豊かにできるはずである。しかし、実際には、櫻井 (2018) が指摘してきたように、市町村域内への帰属割合は小さく、地域の富がほとんど域外に吸い上げられる「非地域帰属」状態が続いている (図 1.1 参照)。

このような状況であるからこそ、日本全体について歌川・堀尾 (2020) が適用した原則を、限定された圏域や個別自治体に適用し、より実態の見えやすい条件の下で、「地域が栄えるゼロカーボン」の展望とその実現方法を検討する

ことは、きわめて有効であると考えられる。そこで本研究では、関西圏について、まず第1に、2050年度 CO₂ 排出量実質ゼロの目標を実現するためのエネルギー需給シナリオを検討する。具体的には、2030年度および2050年度のエネルギー需要を予測し、次に、技術的・経済的に現実的と考えられる範囲での再エネ導入量の推定、さらに、変動性電源の調整可能性の検討を行って、圏域におけるエネルギー自給の可能性を明らかにする。第2に、シナリオ実現のための政策設計の要点となる実施者にとっての費用効果性、制度や慣行の困難点・課題、個別自治体等の課題を検討する。

2. 関西圏における「移行」（持続型の産業社会への移行）の可能性と現状

2.1 関西圏の取り組みの現状

関西地域は、現在、国土面積の7.2%に、人口の16.3%、就業者の15.5%を擁し、GDP の15.3%を産出（2018年度）している日本屈指の活動的な地域である。また、気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）が1997年に京都で開催されてからは、関西では自治体および民間により温暖化対策への先進的な取り組みが進められてきた。特に京都市は、京都市地球温暖化対策条例の規定に基づいて、早い時期から自治体としての対策を行ってきた。また、COP3を境に、関西では、気候ネットワーク、地球環境市民会議（CASA）、自然エネルギー市民の会、環境市民などのNPO/NGOが、気候変動対策民間非営利組織の拠点となり全国的にも重要な活動をリードしてきた。その他、葉の花プロジェクト（回収食油由来BDFの利用）、京都市バスのBDF利用や、市民共同発電所（第2号；湖南市）などの試みも知られている。また最近では、シュタットベルケネットワークの活動、宗教者による再エネ重視のTERA Energy（株）、地域生協による電力小売会社ならコープでんき（通称）、龍谷大学出資による地域太陽光発電会社プラスソーシャル（株）の展開（地域貢献型メガソーラーを和歌山県印南町2箇所）、舞鶴のパームオイル発電

反対運動の成功なども特筆に値する。表2.1に関西各自治体の取り組みの現状を示す。

2000年代後半以降、IPCCは気候変動の悪影響回避のため極めて厳しい対策を提示するようになったが、パリ協定後は、世界各地で温暖化対策の動きが活発に展開されている。そのような中、関西圏の自治体には、今では微温的となった低炭素化政策から、地域経済の好循環と連動した本格的・定量的な脱炭素政策への転換が求められていると考えられる。すなわち、目標自体の高度化と再提示、それに続くべきロードマップの確立や地域経済との連携強化、地域再エネ供給会社など推進主体の設立などが求められていると言えるであろう。

重要な産業拠点を有する地域の脱炭素を進めるうえでは、産業部門の取り組みは、当然のことながら中心的な課題である。2016年度には全国で1000事業所に過ぎない3万t-CO₂（直接排出）以上のCO₂を排出する事業所で日本のCO₂排出量の67%、8.1億t-CO₂を排出している。日本における大口排出事業所によるCO₂排出量の分布を図2.1に示す。

関西圏においても、エネルギー転換部門と産業部門によるCO₂排出は全体の約70%（直接排出）であり、排出削減を最優先とすべき大口排出事業所が多数ある。関西圏における主要CO₂排出源（関西圏における主な企業と圏内の主な事業所のエネルギー起源CO₂排出量）と各社の取り組みの現況を表2.2に示す。なお、表2.2の欄外には、関西圏でRE100加盟企業（再エネ100%目標をもつ企業の集まり）、SBT（Science Based Targets）認定企業（産業革命前からの世界平均気温上昇1.5℃未満適合のものに限る）、CO₂排出実質ゼロを表明した企業の例を示す。前述のように、脱炭素への世界的な流れが加速しているにもかかわらず、エネルギー多消費業種すなわち電力業、コークス製造業、鉄鋼業、化学工業、石油精製業、窯業土石製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業に属する企業では、最近幾つかの企業が2050年CO₂排出量実質ゼロ目標を定めたところであり、多くの企業はまだ2050年CO₂排出量実質ゼロ目標もなく、排出実質ゼロへのロードマッ

表 2.1 関西圏自治体の地球温暖化対策計画（2021年2月4日現在）

		2050年度 CO ₂ 排出量 実質ゼロ	気候非 常事態	計 画 名 () 内は策定年月	温室効果ガス削減目標			備 考
					2025年度	2030年度	2050年度	
府 県	滋賀県	○		滋賀県低炭素社会づくり推進計画 (2017年3月)		2013年度 比23%		
	京都府	○		京都府地球温暖化対策推進計画 (2020年11月改定中間案)		13年度比 40%以上	排出量 実質ゼロ	
	大阪府	○		大阪府地球温暖化対策実行計画区域 施策編 (2021年1月改定案)		13年度比 40%		
	兵庫県	○		兵庫県地球温暖化対策推進計画 (2021年1月改定案)		13年度比 35%、 最大38%	排出量 実質ゼロ	
	奈良県			奈良県環境総合計画2016-2020 (2020年12月改定案)		13年度比 45.9%		
	和歌山県			第4次和歌山県環境基本計画 (2021年3月改定案)	13年度比 22%	13年度比 26%	排出量 実質ゼロ	
政 令 指 定 都 市	京都市	○		京都市地球温暖化対策計画 (2021年1月改定案)		13年度比 40%		条例で 排出量 実質ゼロ
	大阪市	○	○	大阪市地球温暖化対策実行計画区域 施策編 (2020年12月改定案)		13年度比 30%	排出量 実質ゼロ	
	堺市		○	堺市地球温暖化対策実行計画区域 施策編 (2017年8月)		13年度比 27%	80% (基準年無)	
	神戸市	○		神戸市地球温暖化防止実行計画 (2015年9月)		13年度比 34%		

◇2050年度 CO₂ 排出量実質ゼロ表明自治体：府県・政令指定都市の他、滋賀県湖南市、京都府宮津市、亀岡市、京田辺市、京丹後市、大山崎町、与謝野町、大阪府豊中市、吹田市、泉大津市、枚方市、東大阪市、阪南市、兵庫県明石市、奈良県生駒市、和歌山県那智勝浦町；◇気候非常事態宣言自治体：府県・政令指定都市の他、大阪府泉大津市、河内長野市、熊取町、河南町、兵庫県明石市；◇再エネ100%目標自治体：兵庫県宝塚市（運輸燃料を除く（宝塚市2015））

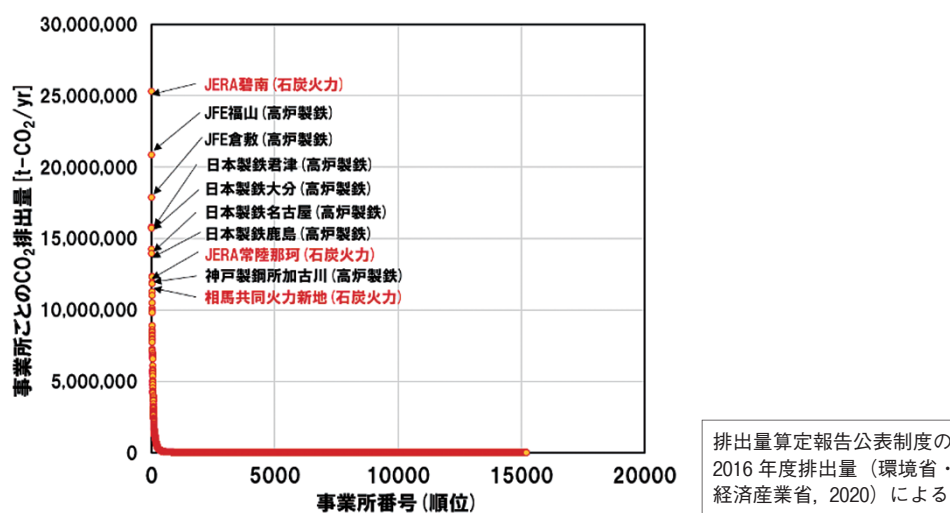
図 2.1 事業所ごとの年間 CO₂ 排出量（直接排出）ランキング（2016年度）

表 2.2 関西圏における主な企業（圏内の主な事業所）の CO₂ 排出量と削減の取り組み（2021年2月現在の公表資料による）

業 種	企 業	エネルギー 起源 CO ₂ 排出 量 [万 t-CO ₂] (直接排出)*	主 な 事 業 所	エネルギー 起源 CO ₂ 排出 量 [万 t-CO ₂] (電力熱配分後)*	備 考
電力業	関西電力	4,153	舞鶴（石炭）火力 姫路第二 LNG 火力 堺港 LNG 火力	1,050 980 536	このほか姫路第一、 南港、他
	コベルコパワー神戸	725	神鋼神戸石炭火力	725	石炭火発増設計画
	電源開発	294	高砂石炭火力	294	
	泉北天然ガス火力	219	泉北天然ガス火力第一、第二	219	
コークス 製造業	関西熱化学		加古川工場	54	
鉄鋼業	神戸製鋼所		加古川製鉄所 神戸製鉄所	1,244 268	神戸の高炉は廃止 このほか高砂他。
	日本製鉄		和歌山製鉄所 広畑製鉄所	830 218	このほか海南、堺、 尼崎他
化学工業	三井化学		大阪工場	166	
	カネカ		高砂工業所	98	
	ダイセル		網干工場	63	
石油精製	JXTG		和歌山工場 堺工場	102 74	
	コスモ石油		堺製油所	88	
	大阪国際石油精製		大阪製油所	50	2020年製油所廃止
窯業土石	住友大阪セメント		赤穂工場	94	GHG289万 t-CO ₂ **
	日本電気硝子		滋賀高月事業場 能登川事業場	44 42	
	AGC		高砂事業所	26	
	日本板硝子		舞鶴工場	25	

*2016年度のエネルギー起源 CO₂ 排出量。直接排出は、事業用発電、熱供給の熱源の CO₂ 排出量をエネルギー転換部門の排出とする統計。電力熱配分後は、事業用発電の CO₂ 排出量を電力消費量に応じて、熱供給の熱源の CO₂ 排出量を熱供給量に応じて産業部門、業務部門、家庭部門、運輸旅客部門、運輸貨物部門に配分する統計。

**セメント製造業はエネルギー起源 CO₂ 以外に、工業プロセスの CO₂ 排出量、廃棄物の CO₂ 排出量などがあるため、GHG（温室効果ガス）排出量も記す。

RE100 加盟企業（ ）内は目標年：積水化学（2030年）、パナソニック（2050年）、小野薬品工業（2050年）、大和ハウス（2040年）、積水ハウス（2040年）、住友林業（2040年）、アシックス（2050年）、アサヒグループホールディング（2050年）、高島屋（2050年）、イオン（2050年）、J. フロント リテイリング（2050）、ノーリツ（2050）、村田製作所（2050）、日清食品ホールディングス（2050）。

SBT（Science Based Targets）認定企業（産業革命前からの世界平均気温上昇1.5℃未満適合のものに限る）：武田薬品工業、小野薬品工業。

CO₂ 排出量実質ゼロ表明企業（ ）内は目標年：三井化学（2050年 GHG 排出実質ゼロ）、パナソニック（2050年）、オムロン（2050年）、小野薬品工業（2050年）、武田薬品工業（2040年）、高島屋（2040年外商配送、2050年施設排出）。

LCE：ライフサイクル排出。

プも明確ではなく、本格的な脱炭素化への取り組みはまだ手付かずであることがわかる（なお、関西ではパルプ・紙・紙加工品製造業の中のエネルギー多消費業種のパルプ製造業、洋紙製造業、板紙製造業に属しエネルギー起源CO₂排出量が20万t-CO₂以上の事業所はない）。

世界の先進的な産業界および政府は、産業の脱炭素変革に向けた姿勢を明確にしつつある。EU（2020）の水素戦略もその一環であり、90%以上削減の後の素材産業の本格的脱炭素と再エネ100%における需給調整に向けた取り組みと考えられる。日本では、旅客用自動車交通を対象に水素利用を、また、石炭火力発電の継続のためにCCUを推進するとしてきたが、EUの水素戦略ではこれらは2次的3次的な位置づけである。日本の産業部門も、上記戦略を最終的脱炭素化への宣言と受け止め、産業体系の変革に着手すべきであろう。

地方における削減対策を設定するうえでは、大口の排出者の脱炭素化について、国、都道府県、市町村のうち誰が責任を持つのかという設定が重要であるが、本研究ではそれについての深入りは避け、関西圏の現状を共有するにとどめる。

2.2 関西圏に許容される今後の累積CO₂排出量＝「カーボンバジェット」(CB)

関西圏がいま直面しつつある状況をさらに詳しく見るためには、まず、これから排出することが許されるCO₂排出量、すなわち、CBを概算しておく必要がある。日本では、CBについての議論が、国、自治体、産業界、学界のほぼすべてにおいて低調であるが、IPCC（2013）およびIPCC（2018）それぞれで明示されており、IPCC（2014）では世界のCBを各国へ配分する方法についても議論されている。国際社会の中での日本の立場を明示していくためにも、CBについて熟知し、具体的な配分のケーススタディも進めておく必要がある。

CBと「累積削減義務量」（削減しなければならない累積の排出量：Cumulative Reducing Obligation, 以下CROと略す）との合計が「対策なし（BAU）の場合の累積排出量」となる。

世界のCBまたはCROを各国に配分する方法については6種類の考え方がIPCC（2014）で示されている（付録A1参照）。その中で、単純で世界的な場での合意を得やすいと言えるのは一人当たりのバジェットを均等配分するという「人口比基準」の考え方（付録A1.1のルール②）である。そこで、IPCCの2℃および1.5℃シナリオそれぞれに対して、日本に配分されるCBを「人口比基準」で算定した結果、現在の排出を続けた場合には、1.5℃シナリオの場合にはあと6～11年で、また2℃シナリオの場合にはあと11～12年で、CBを使い果たすことがわかった（付録A1参照）。研究者を含め看過されてきたCBについてのこの不都合な真実を早期に認識していく必要がある。

各地域での削減計画策定には、日本へ配分されたCBを、さらに各地域に配分する必要があるが、その方法はまだ確定していない。ここでは、とりあえず次の2つの方法を考える。ひとつは人口比であり、もうひとつは、業種ごとの排出構造を考慮した配分である。後者では、日本の排出量を総務省の産業大分類における業種ごとの排出量に基づいて配分（ただし、産業部門については、さらに中分類に基づいて配分）したのち、各都道府県・市町村に配分するにあたっては、排出量ではなく「活動量」に比例させて配分し集計するという手順を採用する。「活動量」は、製造業については「生産量」を当てることが望ましいが、市町村で得られる指標として「製造品出荷額等」で代表させ、業務部門については「床面積」などが望ましいが「従業員数」で代表させた。ここで、排出量基準ではなく活動量で、同一業種内での各市町村への配分を行うということは、CO₂排出量削減対策で遅れている事業所のある都道府県・市町村に対し、業種内平均値での配分をすることにより削減を促す効果を持つ。ただし、中分類業種間でも、価格が安いという理由で石炭を多消費してきた業種や、省エネ法ベンチマークも達成できていない業種など、業種ごとに大きな差があり得る。業種間の削減義務の公平性をどう確保するかについてはなお議論の余地がある。それぞれの方法で計算したCBを付録A1の表

A-1 に示す。気温上昇1.5℃未満抑制のための関西圏のカーボンバジェットは、人口比で配分した場合に2017年度排出量の7～13年分、排出構造考慮の場合に2017年度排出量の6～12年分である。

3. 関西ゼロカーボン目標設定のためのシナリオおよびケース

3.1 需要およびCO₂排出削減予測

3.1.1 需要シナリオの設定

シナリオは、「活動量（サブ）シナリオ」と「対策ケース」の組み合わせで構成する。このシナリオとボトムアップ法（式（1））に基づいてCO₂排出削減量を推定する。

将来の「活動量」シナリオについては、「大量生産継続」シナリオと「活動量中位」シナリオを設定した（付録A2.2参照；歌川・堀尾（2020）と同じ）。「対策」ケースには、①「対策なし（以下BAUと略す）」（活動量あたりエネルギー消費量も、エネルギー消費量あたりCO₂排出量も一定）、②「技術普及」、③「技術普及・電炉拡大」の3ケース（歌川・堀尾（2020）と同じ）に、①*「技術普及強化」、②*「技術普及強化・電炉拡大」、③「全電化」の3ケースを加えた6ケースを設定した。なお、①*、②*ケースにおける「強化」の意味は、歌川・堀尾（2020）以後の技術進展として、1）建築断熱技術における業務ビルのゼロエミッションビルへの進展および住宅のゼロエミッション住宅への進展、2）産業用中温熱利用および産業用低温熱利用におけるヒートポンプ技術の進展と電化による再エネ転換、3）急速充電技術の進展などを考慮したものである。活動量の想定の詳細は付録A2.3の表A-3、各部門の省エネ想定の詳細は付録A2.3の表A2-4、電化についての想定の詳細は付録A2.3の表A2-5、再エネ・燃料転換の想定の詳細は付録A2.3の表A-6を参照されたい。対策ケースの

要点を下記1)～6)に列記する：

1) CO₂排出量削減のための対策技術は、現在すでに存在する実用技術に限定し、開発中の技術は原則として採用しない。EV化については商業化が間近な大型トラックも含めて想定する。

2) 各部門における省エネと再エネ実装を中心に対策シナリオを構成する。

3) 電力と低温熱利用は再エネに転換する。自動車はEV化により再エネ電力に転換する。

4) 産業の高温熱利用は化石燃料利用継続とする。「技術普及＋電炉拡大」ケースでは、高炉転炉法による一貫製鉄とスクラップからの電炉製鋼の比、すなわち高炉電炉比率を7：3から3：7へと電炉にシフトする。「全電化」ケースでは全高温熱利用を電化する。

5) 再エネ水素は、鉄、化学等の素材産業のゼロカーボン化、および、航空、船舶輸送等の完全ゼロカーボンのためには必要になる可能性がある（EU2020）。IEA（2019a）も、水素は、あくまでも再エネ変動電力が日常的に需要を上回る状況での原料用をにらんだ貯蔵手段としている。現在は、再エネ電力が需要を上回る以前の段階であり、今回は想定しない。

6) 排出枠購入は想定しない。

以上の2シナリオ・6ケースからなる合計12ケースについて、2030年度および2050年度の、最終エネルギー消費、電力消費、CO₂排出量（エネルギー起源）を比較した。

3.2 シナリオによる予測結果

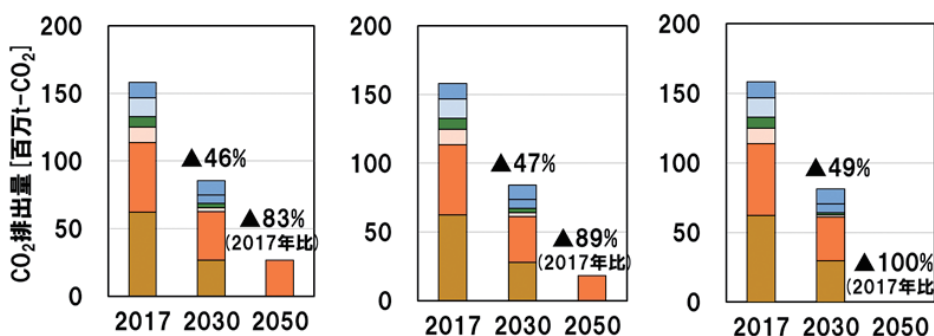
3.2.1 CO₂排出量大幅削減の可能性と

カーボンバジェットとの関係

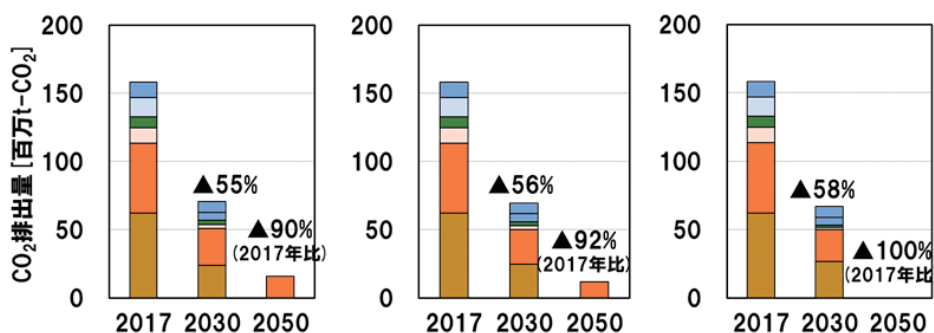
上記の設定に基づいて、関西圏全体および各府県について、各ケースの2050年度までの最終エネルギー消費（需要）、電力消費量、CO₂排出量を積算した。まず、2030年度および2050年度のCO₂排出量を、それぞれの活動量の3ケースについて図3.1に示す。

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{1990年比} \\ \text{CO}_2 \text{削減幅} \\ \text{[Gt/yr]} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{1990年} \\ \text{排出量} \\ \text{[Gt/yr]} \\ \hline \end{array} - \sum_{\text{全部門}} \begin{array}{|c|} \hline \text{設定} \\ \text{「活動量」} \\ \text{[unit/yr]} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{設定「対策」の} \\ \text{エネルギー} \\ \text{原単位 [PJ/unit]} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{設定「対策」} \\ \text{の排出係数} \\ \text{[Gt/PJ]} \\ \hline \end{array} \quad (1)$$

大量生産継続シナリオ



活動量中位シナリオ



ケース: 技術普及強化 技術普及強化+電炉拡大 全電化

■ 購入電力 ■ 産業 ■ 業務 ■ 家庭 ■ 運輸旅客 ■ 運輸貨物

図3.1 2つのシナリオと3つのケースに対応するCO₂排出量とその部門別構成

どのシナリオにおいても、今回設定した、既存の優良技術普及とエネルギー源の再エネへの転換により80%を大きく超えるCO₂排出量の削減が可能であることが明らかである（ここでは2017年度比であるが、2017年度のCO₂排出量は1990年度の排出量の0.98倍ⁱ⁾であるので換算しても大きくは変わらない）。

さらに必要なのは、単年度の排出量の視点だけではなく、2018年度から2050年度までの累積CO₂排出量が2.で紹介したCBの範囲に入るかどうかという視点から、シナリオの妥当性を見ていくことである。図3.2に、2つのシナリオに対応するCO₂排出量の累積値の推移が付録の表A-1の関西圏に配分されたCB内に入るかどうかの推算結果を示す。図3.2では、CBは、気温上昇2℃未満抑制のCB（人口比）（図3.2ではCB人口比2℃未満抑制）、気温上昇2℃未満抑制のCB（排出構造考慮）（図3.2ではCB排出構造考慮2℃未満抑制）、気温上昇1.5℃未満抑制のCB（人口比）（図3.2ではCB人口比1.5℃未満抑制）、気温上昇1.5℃未

満抑制のCB（排出構造考慮）（図3.2ではCB排出構造考慮1.5℃未満抑制）、計4本の水平線で表されている。これに対し、累積の排出量は、大量生産継続・技術普及+電炉拡大の場合、すでに2030年に気温上昇1.5℃未満抑制のCB（人口比）、気温上昇1.5℃未満抑制のCB（排出構造考慮）を超え、2040年には気温上昇2℃未満抑制のCB（人口比）、気温上昇2℃未満抑制（排出構造考慮）のCBを超える。一方、活動量中位シナリオ・技術普及+電炉拡大ケースの場合、2030年代前半で気温上昇1.5℃未満抑制のCB（人口比）、気温上昇1.5℃未満抑制（排出構造考慮）を超え、2040年には気温上昇2℃未満抑制のCB（排出構造考慮）を超えるものの、気温上昇2℃未満抑制のCB（人口比）の中によりやく収まる。そこで、累積排出量を、気温上昇1.5℃未満抑制のCB以内に収めるための一つの試みとして、石炭火力の停止を2025年に一挙に行った場合についても試算を行った。しかし、何とか気温上昇2℃未満抑制のCB（排出構造考慮）に近づけることはでき

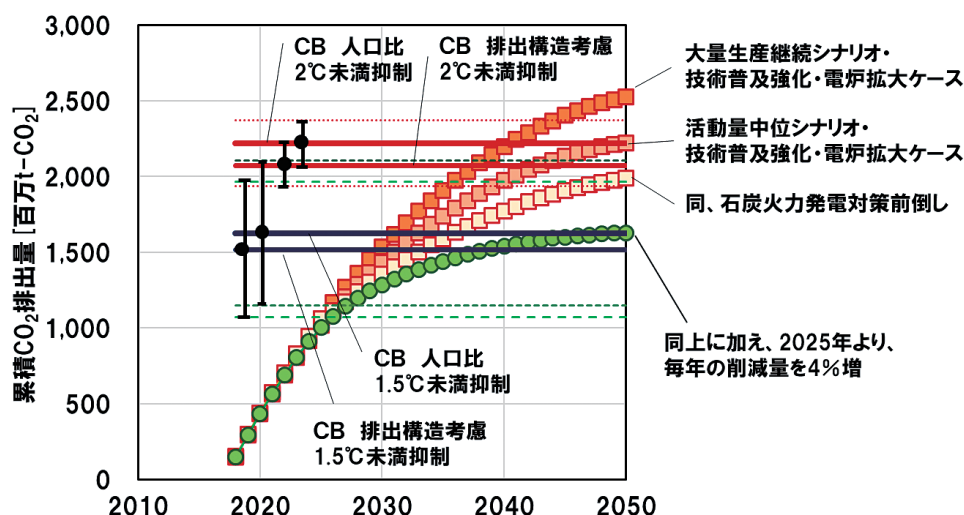


図 3.2 活動量中位シナリオ・技術普及・電炉拡大ケースの累積排出量推移とカーボンバジェット（CB）との関係

たが、気温上昇1.5℃未満抑制のCB（人口比、排出構造考慮の両方）には対応できないことがわかった。2018年以降の累積CO₂排出量を、気温上昇1.5℃未満抑制のCB以下に抑えるためには、さらに、各種の対策によるCO₂排出量の削減を、各年度で4%ずつ強化していく必要があることを確認した。以上より、現在議論されている石炭火力の停止の重要性はもとより、対策の前倒しの必要性が明らかとなった。

3.2.2 エネルギー消費量および電力消費量（電力需要）

最終エネルギー消費の推移を、「活動量中位」シナリオの3ケースについて図3.3に示す（図ではエネルギー消費量と記述）。エネルギー消費量はBAUでも、人口減により2030年度に6%、2050年度に20%減少するが、「技術普及強化」ケースでは、それぞれ44%、68%となり、大幅な削減が示された。

歌川・堀尾（2020）と同じケースを含む2シナリオ・6ケースについての、最終エネルギー消費、電力消費量、CO₂排出量の推計結果を表3.1に一括して示す。

電力消費量は、活動量中位シナリオの場合、「BAU」ケースでは、2030年度に4%、2050年度に20%減少するが、「技術普及強化」ケースでは、それぞれ36%、38%の減少、「技術普及強化+電炉拡大」ケースでは、それぞれ34%、35%の減少となり、熱利用や運輸燃料から電力へのシフトなど電化が進むため、電力消費量の

減少幅はエネルギー消費量の減少幅よりは小さいものとなる。しかしそれでも、全電化の場合でさえ、電力消費量は2017年度よりは削減でき、ゼロカーボン社会への移行が大きな効果を持つことが予想できる。なお、大量生産継続シナリオについては、関西圏でも全国でも、製鉄所や石油化学工場の休廃止が行われ、今後も予定されているため、このように推移する可能性は小さいとも考えられる（最終エネルギー消費の部門別構成については、のちに図3.5に示す）。

各削減因子のCO₂排出削減量への寄与（BAUからの）の程度を、2030年度および2050年度について図3.4に示す。2050年度までの削減寄与では省エネの寄与が1/2強、脱石炭（図3.4では石炭→再エネ）が1/4程度を占め、その重要性を示している。

3.2.3 2050年の再エネ自給の可能性

以上のエネルギー需要に対し、関西圏の再エネ自給の可能性はどの程度と考えるべきだろうか。大工業地帯を有する関西圏は、エネルギー自給によるゼロを標榜できるのだろうか。もちろん、ここで「自給」を検討する目的は、配電網を周囲と切り離す意味ではなく、地域の再エネ発電所（大型水力発電所を含む）の年間発電量が年間電力需要を上回ることが可能かどうかを検討することである。再エネ電力のうち太陽光発電と風力発電は変動性電源であり、大きなエネルギー需要を持つ圏域が周辺諸地域と融通を図り需給調整を行うことは必須である。ただ

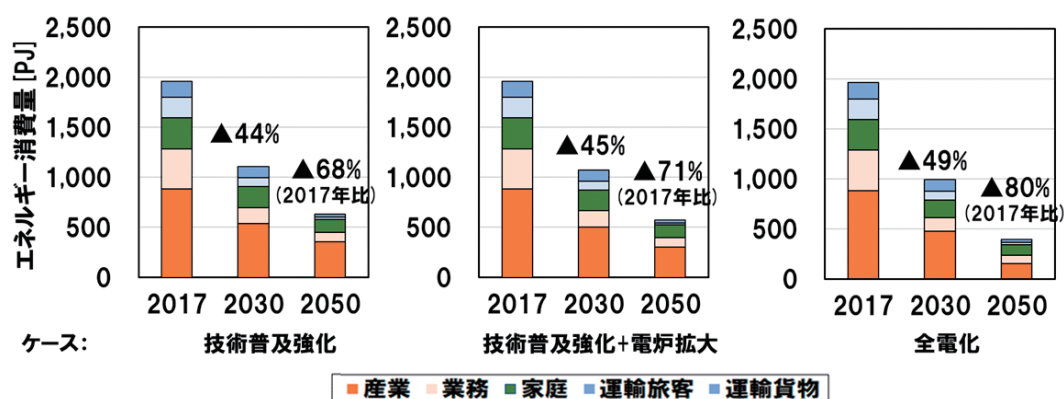


図 3.3 活動量中位シナリオの各ケースに対応する最終エネルギー消費量

表 3.1 全活動量シナリオ・対策ケースからの変化幅 (%) 算定結果

活動量シナリオ		大量生産継続						活動量中位					
対策ケース (*付のものは歌川・堀尾(2020)に強化条件を追加)		①	②	①*	②*	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
		BAU	技術普及	技術普及強化	技術普及強化・電炉拡大	技術普及強化・電炉拡大	全電化	BAU	技術普及	技術普及強化	技術普及強化・電炉拡大	技術普及強化・電炉拡大	全電化
最終エネルギー消費	2030年度	+6	-30	-32	-32	-35	-39	-9	-41	-44	-43	-45	-49
	2050年度	-10	-53	-57	-58	-63	-76	-26	-63	-68	-66	-71	-80
電力消費量	2030年度	+5	-28	-30	-25	-26	-20	-4	-34	-36	-32	-34	-28
	2050年度	-10	-31	-30	-24	-22	-6	-20	-39	-38	-36	-35	-23
CO ₂ 排出量	2030年度	+13	-45	-46	-46	-47	-49	-3	-54	-55	-54	-56	-5
	2050年度	-4	-81	-83	-86	-89	-100	-21	-88	-90	-90	-92	-100

①と①*、②と②*の相違点: 1) 業務建築物の断熱について①②は断熱基準より2割向上まで、①*②*はゼロエミッションビルの普及を想定、住宅の断熱について①②は断熱基準より2割向上まで、①*②*はゼロエミッション住宅の普及を想定。2) ①*②*は中温熱利用、低温熱利用の一部を電化。3) 急速充電技術の進展に伴い、2050年度のトラックのEV割合を、①*②*で強化した。詳細はA-2参照。

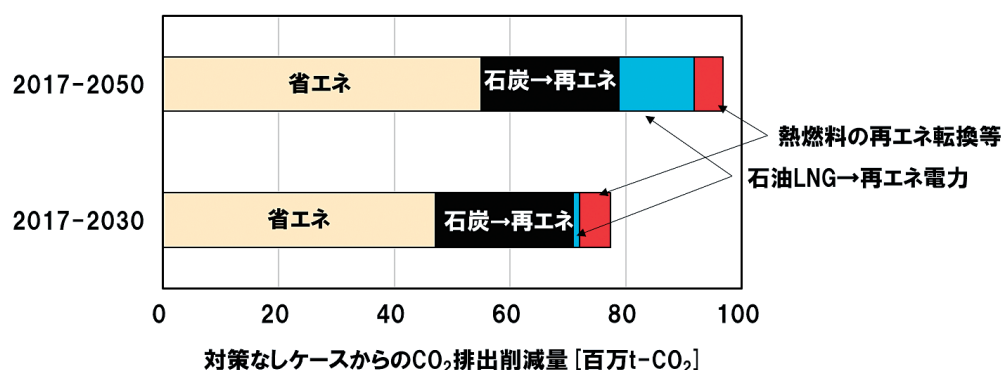


図 3.4 排出削減への各対策の寄与 (活動量中位シナリオ・技術普及強化・電炉拡大ケース)

し、関西圏内には、大需要地もあればエネルギー供給側となる地域も存在している。圏域内で後者がその能力を発揮することは、圏域外からの対外エネルギー支出を削減し、圏域の購買力を増大させる効果がある。年間電力需要を上回る地域の再エネ発電所の年間発電量が可能かどうかの検討は地域の経済力の強化戦略を考えるうえで、重要な意義を持つ。

再エネ供給の視点から見ると、関西圏では、都市・工場等の屋根置き太陽光発電、営農型太陽光発電、京都・兵庫・和歌山県の陸上風力発電（環境省 2020）、京都北部および紀州・淡路島沖の洋上風力発電（環境省 2020）の資源などが有力である。ただし、農林業地域、中山間地域においては、小水力発電とバイオマス発電および熱利用の良好な環境が存在している。バイオマスは熱利用および運輸燃料にも使用され、限定された地域において農林業と連携した地域経済循環に重要な役割を果たすが、ここでは電力についてのみ検討する。

試算にあたっては、各種発電設備の導入可能性を、物理的・経済的に現実性があると考えられる範囲で設定する。すなわち、住宅・業務・産業施設の屋根置き太陽光発電については環境省（2020）の想定（施設種類によって異なるが、民間業務施設：延床面積の10～15%；公共施設：17～82%が想定されている）の1/4に、また、営農型太陽光発電については、農地（果樹園も対象となり得るがここでは除外した）および耕作放棄地の1/2を対象とし、太陽光パネル面積はさらにその90%（構造物占拠面積を除く太陽光パネル設置可能面積率）×33%（太陽光パネル設置率）に設置するものとした。太陽光発電については、このほかにも、需要地に近いスペースとして、駐車場なども有望であるが、今回は考慮していない。なお、設定にあたっては既設分と今後の設置分とが重複しないよう、設備容量10kW未満の太陽光発電既設分を合計から外した。

設備利用率には、環境省（2020）の想定分については対応する設定値、それ以外は調達価格算定委員会（2020）を参考に、住宅用太陽光発電は12%、その他太陽光発電は14%とした。こ

の設備利用率の差は、住宅用太陽光発電の場合はパネル面積に基づいて設備容量を算定しているが、その他のものについては、ビルの屋根や野建て太陽光発電設備については環境省（2020）が実績値に近い想定を用いているのにならったことによる。さらに、水平面積基準で計算している営農型太陽光の場合には、パネル角度の効果を反映させ、前2者の実績値と同じ14%を用いたものである。

2050年度の関西圏における再エネ電力の可能性について、上記設定と、それから推計される設備容量、発電量、および各再エネ電力の割合を表3.2に示す。この結果を、2つの活動量シナリオに対応する2050年度の電力需要と対比させて図3.5に示す。

図3.5より、関西圏の再エネ電力は、大量生産維持シナリオの場合でも全電化ケースを除き、また、活動量中位ケースではすべてのケースについて、電力需要を上回る規模となる可能性が十分あることがわかった。ただし、前節で付言したように今後の電力需要は、2030年度までの楽観的な需給見通し（資源エネルギー庁 2015）に基づく上記大量生産維持シナリオのそれよりは低くなるものと考えられるので、関西圏におけるCO₂排出量実質ゼロ、年間電力需要を上回る地域の再エネ発電所の年間発電量の可能性は十分な実現性を持つといつてよい。

表3.2および図3.5が示唆しているもう一つの重要な点は、今後の再エネ電源開発と地域経済との関係である。2050年度の再エネ電力量合計の約4割を占める洋上風力発電をどれだけ地域に帰属するものとして実装していくか、また、全太陽光発電の約6割の可能性を持ち、農村・農業政策とも地域経済の好循環戦略とも深くかわりうる営農型太陽光発電の可能性をどのように考えるかは、重要な論点である。2040年度以降は大型風力発電の実装が進むと思われるので、風力発電事業が支配的となった後には、営農型太陽光発電の余地は少なくなるであろう。社会的に存在感のある地域密着型事業としての営農型太陽光発電の成否は、2020年代における取組にかかっていると言えるかもしれない。まだ関西圏ではほとんど展開していない営農型太

表 3.2 関西圏における再エネ電力の可能性

種 類	試 算 の 条 件	設備容量 [万kW]	発電量 [億kWh]	設備 利用率	割 合
太陽光発電 (未利用地：10kW以上)	2019年12月段階の認定設備容量（経済産業省 2020a）。 設備容量10kW未満のものは次の太陽光発電（住宅） と重複するので合計に入れない。	617	76	14%	7.2%
太陽光発電（住宅）	環境省（2020）によるポテンシャルの1/4。	671	81	14%	7.7%
太陽光発電 (工場・業務施設屋根置き)	環境省（2020）によるポテンシャルの1/4。	200	24	14%	2.3%
太陽光発電 (未利用地)	環境省（2020）のうち、河川、砂浜、港湾などリスク の高い場所、都市公園や自然公園などを除き、ポテン シャルの1/4。	59	7	14%	0.7%
太陽光発電 (営農型)	農地および耕作放棄地（農林水産省 2016）の半分に 導入する。導入農地の90%の面積の1/3を太陽光発電 パネルで覆うと想定。	2,289	281	14%	26.7%
陸上風力発電	環境省（2020）によるポテンシャルの1/2。	484	112	26%	10.7%
洋上風力発電 (着床式)	日本風力発電協会（2020）のポテンシャルを採用。 環境省（2020）の1/6	220	76	39%	7.2%
洋上風力発電 (浮体式)	日本風力発電協会（2020）のポテンシャルを採用。 環境省（2020）の1/4	1,050	360	39%	34.3%
小水力発電	環境省（2020）を採用。	23	14	73%	1.4%
地熱発電	環境省（2020）によるポテンシャルの1/2。	0.001	0.1	80%	0.003%
バイオマス発電	2019年12月の認定設備容量（経済産業省 2020a）を採 用。	32	20	70%	1.9%
合 計		6,514	1,155		100%
参考：大型水力発電	図 3.5 の大型水力と同じもの	388	125	37%	

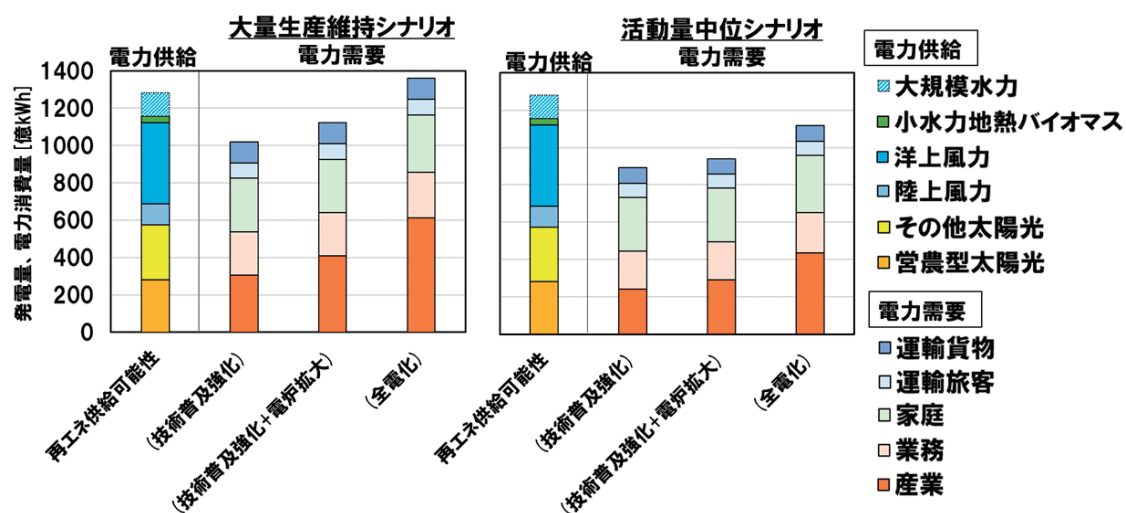


図 3.5 2050年度の関西圏における電力需要と再エネ電力自給可能性（総量ベース）

表 3.3 活動量中位シナリオにおける2050年度の光熱費総額と内訳

ケース	光熱費総額	電気代	再生可能熱利用
BAU	7.59兆円	2.83兆円	200億円
技術普及強化	1.52兆円	1.12兆円	1,200億円
技術普及強化・電炉拡大	1.48兆円	1.14兆円	1,200億円

陽光発電についてはさらに4.で議論することにする。

上記再エネ電力100%は今から30年先の話であり、2040年度頃までは、天然ガス火力など既存の調整電源による調整を想定でき、送電線の容量にも余裕があることが明らかとなっている（安田 2018）ので、個別事業者や自治体等では、再エネの導入に躊躇する必要はない。しかし、再エネ電力100%には、多数の集合化の効果により短周期の変動は平準化されとしても、大きな日変動と年変動に対しては十分なバッファが必要となる。表3.2に示した量の再エネ導入が2050年度に現実的であるか否かは、再エネ発電量の時間的変動を、変動する需要とマッチングする需給調整の検討を経てはじめて結論付けられるものであるので、節をあらためて3.4で検討することにする。

3.3 対策の効果と費用の推定

3.3.1 光熱費対外支払い額の推定

現在、光熱費の大半は域外に、最終的には域外に、流出（対外支払い）していると考えられる（一部は域内燃料事業者の経費や利益に回る）。省エネと「地域帰属型」の再エネ導入による光熱費減少分は、地域内に蓄積ないし循環するわけで、地域における省エネと自前再エネ実装の原資とすることができる。現在の光熱費支払額が今後の地域主体による脱炭素化への投資額を十分上回ることが、脱炭素経済への移行による地域経済活性化の必要条件であるので、以下にそれを確認する。

関西圏で現在支払われている光熱費を、エネルギーの消費量と単価の積を部門ごと・エネルギー種別ごとに求めてその総和をとることにより推算した。2017年度については、エネルギー消費量の2017年度実績と、2017年度のエネルギー

単価（日本エネルギー経済研究所 2020）から、関西圏の2017年度の光熱費総額は約5.7兆円であったと推定される。

一方、2050年度の光熱費は、2050年度の化石燃料の国内単価を、2040年度まではIEA（2019b）が示している日本の化石燃料輸入単価の将来予測に比例するものとして求めた後、それを2050年度まで外挿し、各シナリオで推定した消費量との積の総和をとって求めた。活動量中位シナリオについての結果を表3.3に示す。「技術普及強化」ケース、「技術普及強化・電炉拡大」ケースでは、2050年度の光熱費は対策なしの場合に比較して6.1兆円減少している。採用する再エネが「地域帰属型」であればこの金額が域内に還流することになる。

3.3.2 対策の費用対効果

上記対策（省エネおよび再エネ実装）を実施するために必要な設備投資額は、累積光熱費削減額で回収できる性格のものである。投資効果を確認するために、累積光熱費削減額と、対策設備投資額を比較し、回収年数と回収後の収益について検討しておく。累積光熱費削減額は、上で求めた各年度のBAUケースと技術普及強化・電炉拡大ケースの光熱費の差額の期間累積額である。なお、ただし、2050年度までの設備投資で2050年度以降に回収する分は、前記の累積光熱費削減額には入れないこととする。こうして、2020年度から2050年度までの累積光熱費削減額を求めると、110兆円となる。

一方、式（2）のように、削減に必要とされる各年度の設備投資額の追加分を各年度の光熱費削減額で割ったものが投資回収年なので、以下では、投資回収年のデータより削減額を推定する。

投資回収年についてのデータは多岐にわたるので、ここでは表3.4のように分布を考慮して

$$[\text{投資回収年}] = [\text{設備投資額の追加分}] / [\text{毎年の光熱費削減額}] \quad (2)$$

表 3.4 投資回収年の想定

部 門 等	投資回収年		備 考
	2030年度まで	2030年度以降	
再エネ発電所	8～15年	8～15年	
産業部門	2～8年		
業務部門（電力）	2～8年		
業務部門（熱利用）	2～10年		建築を考慮。回収年も使用期間も長い。
家庭部門（電力）	2～10年		
家庭部門（熱利用）	3～15年		建築を考慮。回収年も使用期間も長い。
運輸、内燃機関車買い換え	1～3年	—	2030年度まで
運輸、電気自動車（乗用車）	—	—	2030年度の新車単価を現在の内燃機関車と同じとし、途中年は線形補完とした。
運輸、電気トラック	—	—	

設定した。想定した投資回収年より各年度の設備投資額追加分を求め、これを期間にわたり積分して、累積設備投資額（追加分）を算出した。その結果、2020～2050年度までの累積設備投資額（追加分）は、約33～74兆円と、上記累積光熱費削減額110兆円をかなり下回り、想定した対策シナリオは、マクロには十分費用効果的（投資回収可能）であると言える。

3.4 2050年度再エネ電力100%段階の需給調整とさらなる再エネ導入の妥当性の確認

3.4.1 再エネ需給調整課題の概要

100%にいたる再エネ導入促進戦略の妥当性を確認するために、表3.2で想定した再エネ設備が導入された2050年度を想定し、変動する需要と変動性電源（太陽光発電、風力発電）の日変化および年変化に対し、他電源、貯蔵・調整電源、他地域の電源との融通、さらにやむを得ない場合には出力抑制により、妥当な貯蔵電源の規模、および他地域との融通の程度等の概算を行った。以下、その結果を紹介し、どのような政策課題が存在するかを検討した。

まず、再エネ電力100%における変動性電源からの電力を有効に活用するために発生する需給の著しいアンバランスの一例を図3.5に示す。太陽光発電が昼間に大幅に需要を超えて発電す

ることはすでに九州電力エリアで発生してきたとおりである。再エネ導入を促進している現在においては、再エネの余剰分をできるだけ出力抑制せずに使用することが課題である。ただし、現在の発電設備でも、原子力発電、石油火力のように大きく抑制されているものもあり、設備容量は当然過大となっている。再エネ電力100%においては、電力の安定供給のために再エネの設備容量が過大となり、ある程度までの出力抑制を行うことはやむを得ない。この点は、現在の再エネ出力抑制が、火力や原子力発電を維持するために行われていることとは全く別の状況である。

電力需給バランスのための調整電源および調整の手段としては、既設の揚水発電を活用することはもちろん、既存の大型水力発電所の出力時間変化、変動する再エネ電力にあわせた需要時間のシフト（デマンドレスポンス）、その柔軟な形態として今後増大するEVや家庭用ヒートポンプ給湯設備の充電能力等を活用することができる。このほかに、蓄電池による大規模蓄電設備や、再エネ水素の貯蔵と利用およびPower to Xと呼ばれる各種エネルギーへの転換などが考えられる。

そこで、2050年度時点における関西圏の電力需給バランスのための調整電源およびその他の対策の規模を設定し、再エネ電力100%におけ

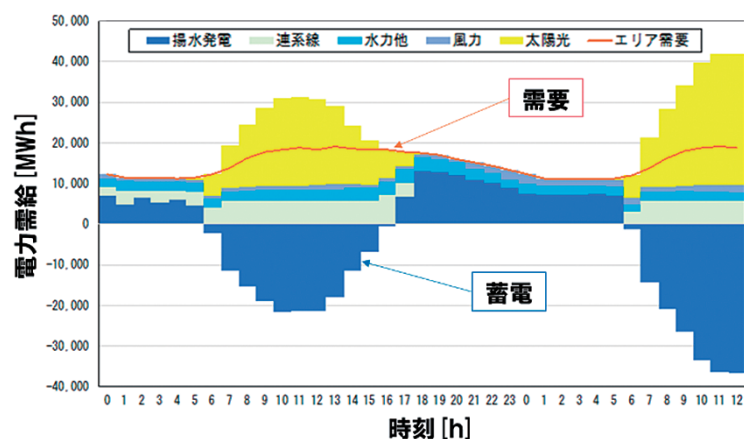


図 3.5 再エネ電力100%における日変化の一例と需給調整の課題

る需給調整の課題を検討する。解析は、2016～2019年度の関西圏のエネルギー種別送電線受け入れ電力量をもとに、需要の変動と太陽光発電、風力発電の変動パターンは現在と同じとし、現在の発電量に、導入した再エネ設備容量×設備利用率（表3.2）と現在のそれとの比（倍率＞1）をかけて推定した。電力消費量の変化も同様の倍率をかけて推定した（この場合は、需要が縮小するので倍率は1以下である）（詳細は付録A-3）。貯蔵・調整電源としては、現存の貯蔵・調整電源としての揚水発電（関西電力喜撰山（466MW）、奥多々良木（1,932MW）、奥吉野（1,206MW）、大河内（1280MW）および電源開発池原（関西電力分175MW）の各揚水発電所）に加え、2050年度時点における関西圏のEVおよび「エコキュート」などの商品名で知られる家庭用ヒートポンプ給湯機、および、産業部門の素材4業種（鉄鋼、化学、セメント、紙・パルプ）における酸化物還元用水素および高温熱需要のもつ貯蔵能力、さらに、周辺の圏域との間の広域連携による調整の可能性を概算した。ただし、供給側で調整能力を持つが大型水力発電については、容量としては小さいのでここでは考慮しない。産業用の蓄熱システムについては今後の成長規模を見通しにくいので今回の計算からは除外する。

EVの蓄電能力の推定には、自家用車、バス・トラックそれぞれの電費を、6km/kWh、1km/kWhとし、1日走行距離を年間走行距離（国土交通省2018a）と自動車保有台数（国土

交通省2018b）より、30km、27kmと設定した上で、それらの1/2が余剰電力発生時に充電を行うものとして算出する。また、家庭用ヒートポンプ給湯器（容量：5kWh/世帯）は、2050年度には世帯の半分に普及しており、その容量の80%が毎日使用され、蓄熱時間が変動再エネにあわせて自動的にシフトするものとする。

蓄電以外のエネルギー貯蔵には、蓄熱および電気分解で水素に変換し貯蔵・利用する方式がある。ここでは、3.1のそれぞれのシナリオに基づいて、水素製造や貯蔵に適した場所として素材4業種を想定し、鉄鉱石等の還元材としての水素利用と水素燃焼による高温熱需要の充足を想定する（高温熱需要にはプラズマアーク方式による電熱方式も考えられるが炭素電極の消耗によるCO₂排出量の発生を伴うため、貯蔵可能な水素燃焼方式が可能であればその方が有利であろう）。

周辺圏域との間の広域連系は、中部、北陸、関西、中国、四国、九州の各電力エリアの送電網と地域間連系線で連結している西日本は、きわめて良好な状況にある。九州・四国・中国では太陽光発電の設置が進み、また今後は関西、中部でも再エネとりわけ太陽光発電・陸上風力発電・洋上風力発電の普及が見込まれている。九州・四国・中国・北陸で発生した余剰再エネ電力（電力需要（および貯蔵）を上回る再エネ電力）は、大消費地の関西他に送られ、さらに関西で余剰になった再エネ電力は中部へ送られ、最後に中部で余剰になった再エネ電力は出力抑

表 3.5 関西圏における2050年度の電力需給調整の手段とその規模

		調整能力* [万kW]	蓄電電力量 [億kWh]	備 考
調整能力合計	A	2,850	2.28**	2050年度の需給変動を2016-19年度実績に比例させて想定した需給トレンドにおいて、2017年6月29日 am11 に対応する時点に発生した供給不足が4年間で最も厳しい条件であった。この時の蓄電残量0.35億kWhを計算で設定した蓄電総容量2.63億kWhから差し引いた2.28億kWhを所要最小蓄電電力量とした。 なお、充・放電による電力損失は30%を仮定した。
揚水発電	B	506	0.405	関西電力エリアの揚水発電所設備容量（506万kW）× 8時間
電気自動車	C	830	0.664	自家用車、バス・トラックそれぞれの電費を6km/kWh、1km/kWhとし、年間走行距離と自動車保有台数より1日走行距離を30km、27kmとし、それらの50%が効果的に余剰電力発生時に充電を行うものとして算出した1日充電量。ただし営業用トラックは見込まない。
(家庭用給湯器)	D	(275)	(0.22)	給湯器は、放電はできないがデマンドレスポンスとしては役に立つので、量的効果を見るために参考値として掲載。容量を5kWh/世帯、関西圏の2050年度の世帯の半分に普及、その容量の80%を毎日使用し、蓄熱時間を変動再エネにあわせてシフトすると想定。
蓄電池施設および水素製造・利用施設	E	1,514*	1.21	$E = A - (B + C)$ 蓄電池施設および水素製造・利用施設（産業高温熱・還元剤利用業種で素材系4業種のうちパルプ・洋紙・板紙、有機化学、ソーダ工業、セメント製造、高炉製鉄）に想定される値。今後の開発要素を含む。

*) 調整能力は蓄電電力量を充電時間8時間で割って算出。

**) この数値は、中部・北陸以西で、余剰分を西から東に送電し、中部で調整するとして計算した広域連携による調整の効果を含む。なお、年平均の出力抑制率は中部・北陸以西全域で52%となった。

制されると仮定する。その際、地域間連系線の容量にも限りがあるため、送電容量を超える余剰分はそれぞれの送り手側で出力抑制されるとする。

これに従い、2016—2019年度の各年度の1時間ごとの送電線への電力受け入れ量実績（各送電会社データ）に基づいて、九州、四国、中国、関西、北陸、中部の1時間ごとの各エリアの需給バランスと余剰再エネ電力の送電量を試算、関西における余剰電力量の最大値を推定し、広域連系による調整量を推定し、再エネ電力100%の関西圏においてどれほどの貯蔵・調整電力の調達、域外からの融通、および、出力抑制の課題が発生するか、またそれらと、再エネ・ミックスの構成との関係はどうなるのかを検討した。

以上の条件で計算された、関西圏での余剰電力量（1時間ごとの余剰量の1年間の合計）と、既存の揚水、2050年度のEVの実効貯蔵能力、素材計4業種による水素貯蔵能力（変換ロスを

考慮した消費電力換算）、および、それらから決まる追加的な電力需給調整の手段とその規模を表3.5に示す（給湯器は参考値）。

これまで、西日本で太陽光発電や風力発電をさらに増強していく場合に、揚水発電や蓄電池の大規模な増強が必要なのではないかという懸念が日変動の大きな太陽光発電の導入を阻んだり、導入された発電設備に接続抑制を想定したりすることにつながっていた。しかし、今回の試算により、余剰再エネ電力を素材産業の高温熱と鉄鉱石還元に活用することで、変動再エネの余剰分の効果的な吸収と、鉄鋼等高温熱利用部門の再エネ100%への取り組みを同時に推進できること、再エネ100%を前提とした今後の国際市場で日本の素材産業が生き残るための展望にもつながることが明らかになった。また、EVの調整能力が極めて高いことから、固定価格買取制度の買取期間終了後の家庭用に導入が勧められている高価な家庭用蓄電池については必須ではないと言える。

4. ゼロカーボンの具体的取り組みを進めるために

3. では、一大産業圏である関西圏においても、優良技術適用に基づく省エネと再エネの導入で、CO₂ 排出量の90%削減と全電力需要に対する再エネ100%が不可能ではないこと、また、2℃以内に抑制するためのCB 上限内で「ゼロカーボン」に近い状態に移行できること、これにより、光熱費の対外支払いを大きく抑えることで、マクロには省エネ等への投資を十分回収することができることを明らかにした。したがって、優良技術の普及による省エネがすべての分野で積極的に行われるような取り組みが必要である。

また、2050年度に再エネ電力100%を実現した場合の需給調整は、揚水発電、電気自動車、家庭用給湯器、蓄電池施設および水素製造・利用施設の使用などにより、余裕をもって需給バランスを保つことが可能なことを明らかにし、再エネ導入をためらう必要はないことを示した。

再エネ電源としては、環境省のポテンシャルには含まれていない営農型太陽光発電の可能性も大きい。一方、大きなポテンシャルを持つ大型風力発電事業への準備も進んでいる。地域帰属性の高い再エネ電源をどう確保していくかが2020年-2030年代の重要課題となることが考えられる。

以上は、CCS、CCU、水素 FCV、原子力発電などを2050年にむけた大幅削減の必要条件とするといった類の、これまでの混乱した議論のりこえ、地に足のついた現実性のあるゼロカーボンの目標設定と取り組みができることを示したものである。そこで以下では、ゼロカーボンによる地域経済の好循環作戦を実施する側の視点から、現状と課題を検討したい。

4.1 市民、事業者、農業者による取り組みの費用対効果の現状

前報（歌川・堀尾 2021）では、家庭、業務部門事業者、農業者それぞれについて省エネと再エネ導入の設備投資と回収年数の概算を行い、

対策の費用対効果を検討し、比較的短期の回収が可能事例を表4.1のように提示した。なお、投資回収年の算定においては、設備は適切な時期に更新するものとし、対策設備の資本費と従来型を導入した場合の資本費との差額を対策の経費に繰り入れた。ただし、寿命が異なるものの比較となるので、使用年数を想定し、短寿命のものについては、必要な追加購入額も加えて対策の経費とした。

家庭についての結果より、およそ240万円の投資で、家庭の光熱費と自家用車のガソリン代の和の約7割が削減でき、10年以下の回収年数でCO₂ 排出量をほぼゼロにすることが可能である。回収年数は、今後さらに短縮される可能性がある。

業務部門事業者についてもCO₂ 排出量をほぼゼロにでき、投資回収年は10年以下にできる。なお、表4.1では断熱建築の導入は選択していないが、断熱基準を満たす住宅、建築物を選択した場合（追加建築費は国土交通省（2018）による）については、業務用建築（建設の発注の主体は業務部門事業者）で投資回収10年程度、住宅（建設の発注の主体は家庭）では15年程度となる。ゼロエミッション住宅・建築物の場合、投資回収は住宅で20年程度、業務用建築で15年程度である。建替え時を想定しているとはいえ、なお短縮のための工夫と制度的支援が必要と考えられる。

農業者の場合、農業機械、輸送機器の省エネ化（電化を含む）、ハウス・食品加工施設の暖房・給湯の脱炭素化、さらに営農型太陽光発電が想定される。これらのうち、農業機械の電化は現在開発が進行中であり、最終的には、内燃機関方式のものよりも軽量で安価な製品が登場するものと考ええる。また、農業の電化はICT化 IOT 化の方向性とも一致する。しかし、農業者による太陽光発電は、現在の固定価格買取制度の買取価格12-13円/kWhでは投資回収年が14年（調達価格算定委員会のソーラーシェアリングの上位5%のコスト例に基づく）と長くなってしまい、実現可能性は見えにくい。表4.1では導入経費が削減努力により2割削減された場合、回収年数が9年になることを示して

表 4.1 家庭、業務部門事業者、農業者の取り組み試算例

■家庭の取り組み										
用途	導入前	代替・導入後	導入 経費 (万円)	年間 光熱費 (万円)	年間 節約額 (万円)	使用 年数 (年)	使用期間 積算コスト(万円)	投資 回収年	CO ₂ 排出 削減量 (kg-CO ₂ /年)	備 考 (電力消費量は経済産業省 (2020b))
照明	蛍光灯 54W型	LED 9W型	1.0	0.24	0.08	10	3.4	0	36	5 灯を年間 2 千時間10年使用。 無更新 (寿命 2 万時間以上)。
動力	旧型冷蔵庫 2000年型	省エネ冷蔵庫 2020年型	25	0.6	1.4	15	34	0	302	401-450L 平均を 450-500L トッ プに更新。
給湯		太陽熱温水器 + ガス給湯器	27.5	2.6	2.6		79	7	331	半分を太陽熱、残りをガス給湯 器で賄う。
冷暖房		太陽熱暖房 + エアコン	27.5	0.7	2.7	20	41	8	783	暖房用エネルギーの半分を太陽 熱、残りをエアコンで賄う。
自家発 (購入電力)		太陽光発電設 備容量 3 ~ 5 kW、設 備 利 用率12%	90 ~ 150	7 ~ 11.5	7 ~ 11.5	30	-106 ~ -177	13	751 ~ 1251	7 割自家消費。設備費30万円 /kW、維持費0.345万円/kW年 (調達価格等算定委員会 2020)。
移動	1.2L 乗用車	電気自動車	200	4.5	5.5	10	245	9	1,129	年間走行 1 万km、電費 6 km/kWh。
合 計			239		24		35	10	3,832	光熱費と燃料代の和の約 8 割を 削減可。排出量はゼロに近い。
■業務部門事業者の取り組み										
照明	旧型蛍光灯 40W24本	LED 25W12本	6	2.4	5.3	10	30	0	1,157	年間 3 千時間、10年使用。 LED 更新なし (寿命内)。
動力	旧型冷蔵庫 2000年型	省エネ冷蔵庫 2020年型	25	0.6	1.4	15	34	0	302	401-450L 平均を 450-500L トッ プに更新。
給湯	ガス給湯器	太陽熱給湯 + ガス給湯器	30	1.1	1.1		53	17	277	給湯用エネルギーの半分を太陽 熱、半分をガス給湯器で賄う。
冷暖房	旧型エァ コン (2000 年平均)	新型エァ コン	30	4.9	3.2	15	104		995	旧型を2020年トップに更新。冷 房能力6.3kW (17-26畳相当)。
自家発	なし	太陽光発電設 備容量 5 ~ 10 kW、設 備 利 用率14.6%	140 ~ 280	11 ~ 23	11 ~ 23	30	-178 ~ -355	12	1,522 ~ 3,044	5 割自家消費。設備費、運転維 持費は家庭の場合と同じ。
合 計			300		34		-208	9	5,775	CO ₂ 排出量はゼロに近い。
■農業者の取り組み										
温室	A 重油 ボイラ	◎バイオマス ペレットボイラ	100	123	9		1,938	5.5	41,335	ペレット価格2.1円/MJ (飯田 市内南信バイオマス協同組合)。 導入経費は㈱Hibana より
輸送	軽トラック	◎EV 軽トラック	170	3.3	6.8	15	219	10	1,366	走行距離 10000km/ 年、電費 8.3km/L で試算。
自家発電	—	◎営農型太陽 光発電	524	56	56		-1,142	9	23,438	資本費、運転維持費を調達価格 等算定委員会 (2020) 上位 5 % 値よりさらに 2 割削減。
		マイクロ水力 発電 5 kW・ 設 備 利 用 率 60%。(条 件 がある場合)	260	68		30	-1,791	4	6,255	マルヒ㈱すいじん (メーカー希 望価格200万円) に工事費30% 想定。修繕費は総合資源エネ ルギー調査会 (2015)。
合計 (◎印のものを選択)			644		71		865	9	66,139	

光熱費単価は、家庭、小規模事業者とも2018年度電灯単価27円/kWh、都市ガス単価は家庭用3.9円/MJ、事業用2.1円/MJ、レギュラーガソリン単価150円/L、灯油配達単価100円/L、A 重油単価87.8円/Lを用いた。太陽光発電売電単価は家庭用21円/kWh、10kW以上の事業用13円/kWhを用いた。トータルコストが負の値の場合、売電ないし自家消費による購入電力削減分が設備投資と運転維持費を上回る。試算に補助金は見込んでいない。

いる。もちろん、たとえば21円/kWhに調達価格が見直された場合、回収年は7年程度となる。これまで、調達価格の見直しにより小型木質バイオマス発電が政策的に促進された例（調達価格等算定委員会 2015）もある。農業者自身による営農型太陽光発電を農村・農業振興の立場から支援するような買取価格の見直しはあってしかるべきであろう。

営農型太陽光発電の普及を促進するためには、CO₂ 排出ゼロにむけた農業政策が行われるとともに、共同発電によるコスト削減やスムーズな系統接続などに専門的な指導が広く受けられることが必要である。それらを支援する政策を明確にすること、固定価格買取制度の買取価格の見直し、系統情報公開の実現、農業・農村政策への位置づけ等を求めていくことはもとより、それらを推進する主体の形成が必要である。

4.2 地域からの再エネ推進の障壁と課題

4.1 で示唆した、価格面での再エネ実装の困難を含め、地域経済の好循環に資する地域帰属型エネルギー源の実装には、以下に列挙するような重大な課題がある：

a) 固定価格買取制度における買取価格設定：メガソーラー優先で、小規模再エネの経費が下がらないうちに買取価格が下げられたため、地域主体による実装が不利となっている。前述した営農型太陽光発電の支援を含め、買取価格の見直しが望まれる。

b) 優先接続問題：再エネ発電所を計画すれば優先的に送電線に接続する「優先接続制度」が実現していないため、計画しても送電線につなげない、長期間待たされる、高額な接続料を強要されるなどが発生してきた。再エネ電力の買取を機能させ、化石燃料による火力発電からの脱却を進めるためには、優先接続の原則を確立する必要がある。

c) 優先給電問題：送電線に接続されている発電所から再エネ電力を優先して送電線に受け入れる「優先給電制度」については、送配電等業務指針（電力広域的運営推進機関 2015）第174条などに定められているが例外も多く、送電線運用で再エネ発電の出力抑制をしながら火

力発電の電力を受け入れている時間帯も多いのが現状である。積極的に再エネが優先されるような優先給電の原則を確立する必要がある。

d) 電力市場問題：日本では、発送電分離には着手したものの、発電会社と送電会社を法律上分離しただけの「法的分離」段階にある。法的分離段階では、ホールディングスの形で両者が傘下に置かれるか、発電および小売会社の子会社として送電会社が置かれるケースが多く、系列外の発電会社による送電線使用が不利になる懸念がある。2003年と2009年の EU 指令で推奨された「資本分離」（発電会社と送電会社の資本の完全分離；ただし現在は選択制）に至るにはなお時間が必要であるとしても、中立的送電線使用を保証する仕組みが必要である。

e) ファイナンス問題：省エネ・再エネ設備投資は、投資回収見込みの堅い事業であるが、金融機関の理解が十分でないことなどから融資を断られるケースが少なくない。行政が金融機関に情報提供すること、条件を満たす融資の債務保証、金融担当者の研修制度などが考えられる。

f) 専門人材不足問題：地域の省エネ事業、再エネ発電事業、電力小売会社、自治体の環境・エネルギー部局などで専門人材が不足しているか、地域の専門人材を活かせていない。

さて、固定価格買取制度は、2011年に制定された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づくものであるが、同法の目的を第1条は次のように述べ、「地域の活性化」にも触れてはいた：「この法律は、エネルギー源としての再生可能エネルギー源を利用することが、内外の経済的社会的環境に応じたエネルギーの安定的かつ適切な供給の確保及びエネルギーの供給に係る環境への負荷の低減を図る上で重要となっていることに鑑み、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関し、その価格、期間等について特別の措置を講ずることにより、電気についてエネルギー源としての再生可能エネルギー源の利用を促進し、もって我が国の国際競争力の強化及び我が国産業の振興、地域の活性化その他国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。」

しかし、2012年、自治体等がこの制度を活用して地域活性化につなぐための制度上および施行上の配慮が全くないままに、固定価格買取制度が施行された。そのため、近年喧伝されているシュタットベルケのような事業を実現する方向で自治体が固定価格買取制度を機敏に活用することはできず、結果として図 1.1 に示したような、地域に帰属しない再エネ発電所が多数建設された。8年を経過した今、これまでエネルギーや電力については国や電力会社の所管であるとして担当課等を設置していなかった自治体も、少しずつではあるが態勢を整えてきている。また、エネルギー問題への市民の関心も高まってきている。大口投資家やゼネコンの関心は太陽光発電から大型風力発電へ移っているが、地域においては、地域経済の好循環につながるような形で「ゼロカーボン」を展開するための地域の主体的な力を強化していくことが必要であると言える。

4.3 「ゼロカーボン」型地域エネルギーシステム実装主体の構築と課題

これからの再エネ政策の基本は、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電およびバイオマス熱利用等全てについて、地域を主体とした事業として地域経済の好循環につなげていくことだと言える。そのための最も重要なことは、上記を総合的に推進していく専門的かつ資本力のある主体を地域が持つことである。具体的には、地域主体が中心に出資・運営し、地域へのエネルギー供給、再エネ電源開発、省エネ投資の指導などを一括して行う「地域エネルギー会社（社会的企業）」を自治体と地元企業の共同プロジェクトとして実現することが想定される。現在、電力小売会社には電源表示義務もないので、消費者が再エネ割合の高い持続可能な電力小売会社を選択することは容易ではない。地域エネルギー会社は、このような困難を克服し市民のニーズに応えていくことができる。

WWEA 世界風力発電協会（2011）は、コミュニティパワー三原則を提案している。

- ① 地域の利害関係者がプロジェクトの大半もしくはすべてを所有している

- ② プロジェクトの意思決定はコミュニティに基礎をおく組織によって行われる

- ③ 社会的・経済的便益の多数もしくはすべては地域に分配される

各地域において、地域の主体（自治体はその代表）が過半数の出資を行い、上記三原則を満たす地域の電力小売会社がつくられることが望まれる。ただし、設立にあたっては、地域の電力小売会社であっても技術・経営・市場の専門性も必要なので、専門的支援を得て設立することが望ましい。

自ら高い専門性を有し、大手新電力のバランシンググループにも入らず自ら需給調整も行っている例としては、福岡県のみやまスマートエナジー、鳥取県のローカルエナジーなどが挙げられる。また、これら地域電力小売会社の支援で設立・運営を行っているケースもある。パワーシフト（NGO 団体等が運営するプロジェクト）は、再エネ電力比率が高く地域を中心に活動する電力小売会社を紹介している（パワーシフト 2020）。

大手企業の協力を得た例としては、湖南省は、2012年に全国に先駆けて「湖南省地域自然エネルギー基本条例」（湖南省 2012）を制定し、地域の自然エネルギーは地域固有の資源であること、地域に根ざした主体が地域の発展につながるように活用すること、活用にあたっては、持続性のある活用法に努め、公平性および他者への影響に十分配慮することなどを定めた。2016年には、大手建設コンサルタント企業パシフィックコンサルタントの子会社パシフィックパワーなどとともに「こなんウルトラパワー（株）」を設立し、湖南省が50.86%を出資した。また、シン・エナジー（株）（本社：神戸市）は、成田香取エネルギーの設立支援など地域で再エネ事業を実施する際には、資本金のうち5-6割以上の地元出資割合を目標としている（重藤 2020）。

一方、奈良県生駒市では、生駒市が51%出資し、大阪ガスなどと設立した「いこま市民パワー（株）」の市の保有する施設への電力供給を市が随意契約で決めたことに対し、一部住民が「生駒市が周辺よりも割高な電気代を負担して

いる」との監査請求（2018年11月請求、2019年2月に却下）や生駒市議会議員からの訴訟が伝えられている。これについて北村（2019）は、「市は流出エネルギー費の削減効果や付加価値の地元での循環、いこま市民パワーの誕生による経済効果などをもっと数値化する努力をすべき」、「RE100を目指す企業への再エネ電気の付加価値分や企業誘致効果の観点から」「値段だけではない「電気の質」をもっとクローズアップしてよい」、さらに、「現在のいこま市民パワーの電力の調達先の96%以上が大阪ガスであることについて」も説明が必要だという趣旨のコメントを述べている。地域のエネルギー会社の課題を考えさせられる事例である。

地域の電力小売会社は、地域および周辺の再エネ発電所の電力を集め地域に販売する企業として各地でスタートしているが、自由化の進展とともに、競争も激しくなる趨勢にある。そのような激動が予想される環境の下で、地域の電力小売会社は、単に小売りにとどまることなく、地域のエネルギー企業として、地域の再エネ発電を増やし、地域消費電力に占める再エネ割合を増やし、地域発展に寄与するゼロカーボン社会構築への歴史的な役割を果たしていく必要がある。そのためには、公共施設への電力供給契約などで経営を安定させつつも、新規電源の開発、地域内のゼロカーボン化への細かい指導など、地域と密着しつつ規模を拡大する経営戦略が重要となる。

地域での電源開発という視点からは、これからの地域太陽光発電のなかでも大きな可能性を有する営農型太陽光発電について、農村と農業の将来像を意識した新たなアプローチが必要と考えられる。その場合、土地改良組合、生活協同組合などが、合意形成から資金面まで、積極的な役割を発揮されることに期待したい。

営農型太陽光発電と並んで、プラスソーシャル洲本^株が洲本市で行っているような「ため池太陽光発電」の可能性も無視できない。一例として、農業用ため池の管理および保全に関する法律（2019）第4条第3項に基づいて公開されているため池データベース（兵庫県、2014）によれば、宍粟市、たつの市、赤穂市、相生市、

佐用町、上郡町を含む千種川流域には437ものため池が存在している。ため池太陽光発電は、農地法の制約もなく水利組合等の意志に基づいて行うことができ、ため池の補修費等の捻出にもつながる。自治体としてはため池堰堤の破堤などの災害防止の視点からも推進することができる。さらに、上下のため池の間の水位調節機能を転用すれば揚水機能も期待でき、負荷追従機能を持ったシステム実現の可能性もある。これらについては、経験豊富な土地改良組合などの積極的なリーダーシップが望まれる。滋賀県の場合には琵琶湖逆水と組み合わせた土地改良ののち、ため池の水利価値は半減している。このような場合には埋め立てるなどし、地域の太陽光発電に活用することも考えられる。

関西の林地においては、林業を支える形での小水力発電の好適地が多数存在する。奈良県東吉野村の東吉野小水力発電^株³⁾は林業者の手によるそのような取り組みの一例である。林業残渣等を利用し、林産業と連携した小型バイオマス熱電併給システムも、地域と林業を支援し、エネルギーへの地域の自覚的な取り組みを引き出す契機として重要な意義をもつ。

地域のエネルギー企業は、事業および技術の両面で専門的知見、専門人材の蓄積を進めていく拠点でもある。各自治体には、そのような認識のもとに、資金、人材、発注、市民への情報発信、電力会社や国への働きかけ等、総合的に地域のためのエネルギープロジェクトを推進していくことが望まれる。情報発信の中では、自治体域内に電力を供給している電力小売会社のCO₂排出係数（電力消費量あたりCO₂排出量）、再エネ比率は公表義務ではないが、公表すれば消費者の環境重視の電力選択を促すことができる。東京都と京都府は域内へ電力を供給する電力小売会社のCO₂排出係数および将来計画を示している（東京都 2005、京都府 2006）。さらに、これからの風力発電事業への地域のかかわり方の設計、あるいは固定価格買取制度の買取期間終了後のメガソーラーの継承などに地域が主体的なアクションを起こすためにも、地域エネルギー会社およびその連携組織の存在はキーとなると考えられる。

4.4 ゼロカーボンへの自治体の課題

関西圏において2050年CO₂排出ゼロを計画的に実現するため、各自治体には、地域の排出実態の全体像を把握したうえで、省エネと再エネによるCO₂排出削減シナリオを構築し、2050年CO₂排出ゼロ・再エネ100%目標と、2030年、2040年、2050年までの省エネ対策、再エネ対策の段階的強化と対応政策を定めたロードマップの設定が期待される。ロードマップ作成にあたっては、地域発展や雇用増、地域課題解決などと両立する地域経済好循環の視点に立ち、光熱費流出額を大幅に減らすとともに、売電収入や、省エネ・再エネ導入のための工事費等を地域外に流出させないよう、地域主体自身による再エネ導入（地域帰属型）の促進、省エネ・再エネ導入にかかわる地域事業者の育成等が望まれる。

自治体が主体として取り組むべき課題として以下が考えられる：

- 1) 域内のエネルギー需給・CO₂排出量の実態把握
- 2) 2030年、2050年までの目標とそれを実現する排出削減ロードマップ
- 3) 目標、排出削減ロードマップを実現するための政策策定（都道府県においては、大口排出事業所・事業者の排出削減義務化政策や炭素価格付け政策、中小企業家庭むけの建築、エネルギー多消費設備機器についてはエネルギー効率規制、ゼロエミッションハウス・ゼロエミッションビル導入断熱建築規制、域内むけ電力のCO₂排出係数規制、法定外普通税・目的税によるインセンティブ強化などが可能である）
- 4) 域内における域内主体による再エネ電力・再エネ熱利用拡大、乱開発防止などの政策
- 5) 送電網への公正なアクセスを国・送電会社に求める政策と地域主体による再エネ発電所の拡大促進
- 6) 地域エネルギー会社、地域の電力小売会社の支援と地域電力人材育成
- 7) 営農型等地元発電の優遇
- 8) 消費者、事業者への明確な情報発信、省エネ推進に必要な、業種別事業所エネルギー効率・排出情報等の公表ⁱⁱ⁾

9) 域内事業者・家庭の対策について、省エネ診断・アドバイス、各種手続の代行支援、手続き一本化、専門事業者・金融機関紹介など

10) 自治体間連携による圏域戦略の推進

11) 自治体管理施設の率先実行（省エネトップランナー化、再エネ100%化の前倒し、省エネ再エネ設備投資計画立案・実行・公表、施設ごとのエネルギー効率・CO₂・再エネ割合情報の公開、費用対効果情報の公開など）

2) のロードマップの例としては、長野県（2020）がある。3) の大口排出事業所の削減義務化政策としては東京都（2020）がある。8) の中小企業支援について大阪府（2020）は、「省エネを実行するまでのプロセスの最初から最後までを切れ目なくサポートする」ワンストップサービスを開始している。

4.5 個別自治体の戦略

——湖南省の場合を考える

図3.5で示したように、省エネと電化によって需要を圧縮した2050年には、関西圏の需給関係はほぼ均衡するが、地域によっては著しいアンバランスに直面する可能性もある。2050年に向けて各自治体が再エネ100%を推進するためには、地域エネルギー会社とタイアップしたより能動的な方法による再エネ化が効果的と考えられる。一例として滋賀県全体および湖南省における2050年の需給予測を3.の技術普及ケースについて推定すると、図4.1、4.2のように、滋賀県については再エネ電力供給可能性が2050年度の電力需要予測を上回る一方、湖南省については業務、家庭、運輸旅客および運輸貨物（主に電気自動車分）の自給は視野に入るが産業を考えると不足するという結果になる。

関西圏全体、滋賀県全体では、年間値としては自給できるので、多数の工場が立地する湖南省の場合は、前述の地域エネルギー会社が、周辺から購入した再エネを市民および域内産業に供給していくことで、CO₂排出量ゼロを目指すことができる。

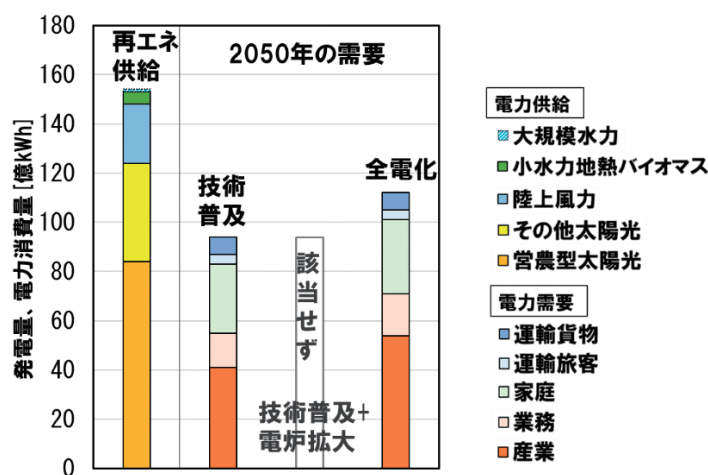


図 4.1 滋賀県の電力需要と地域再エネの供給可能性
(凡例は図 4.2 も同じ)

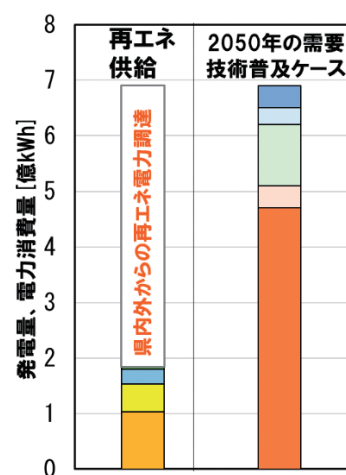


図 4.2 湖南省の電力需要と地域再エネの供給可能性

5. 結 論

関西圏が、地域の発展と両立する形でゼロカーボン（二酸化炭素排出ゼロ）の現実的な展望を持つことが可能であることを明らかにすることを目的として、まず、関西圏の自治体および企業におけるゼロカーボンへの取り組みの現状を確認した。そのうえで、関西圏に課せられる削減量を世界のカーボンバジェット（CB）から算定し、産業革命前からの気温上昇を1.5℃に抑制するためには、人口比では2017年排出量の7～13年分、産業構造考慮の場合には6～12年分となり、きわめて切迫した状況であることを明らかにした。

次に、歌川・堀尾（2020）の全国シナリオを関西圏に適用し、既存技術を駆使した実現可能性の高い省エネシナリオで需要がどこまで圧縮できるかを明らかにし、活動量中位シナリオでは技術普及強化ケースで2017年比90%、電炉拡大では92%、さらにすべての高温熱プロセスを電化した場合には100%の排出削減が可能であることを示した。

さらに、2050年度に向け、関西圏内での再エネ電力の自給可能性について、技術的・経済的に現実性があると思われる範囲でポテンシャルを積算した結果、全電化ケースを除き、技術普及ケース、およびこれに電炉拡大を加えたケースのいずれについても、供給可能性が上回り、

大きな自給力の実現も不可能ではないことを示した。

このシナリオについて、累積CO₂排出量を算定したところ、気温上昇2℃未満抑制の産業構造考慮のCBおよび人口比のCBの中央値を超えるが、2℃気温上昇人口比配分および産業構造を考慮して配分したCB以内に収まることを明らかにした。

また、2050年度の電力需要にこたえ得る再エネ供給可能性を検討し、需要を上回る供給を実現するための条件を明らかにした。さらに、再エネ電力100%段階での需給調整について、広域連系を考慮した試算を行い、再エネ電力100%になると需給調整が困難になるといったことを理由にした再エネ導入の抑制の必要はないことを示した。対策の費用効果性については、マクロおよびミクロ（事業者レベル）の2つの視点から検討し、ゼロカーボンを地域発展と両立させることが可能であることを示した。

最後に、省エネ、再エネ電力、再エネ熱利用およびバイオマス、広域連携について、地域自治体政策の視点から議論した。その中で、地域エネルギー会社の設立とそれを活用した省エネ、再エネの推進、地域外資本・技術による支援のあるべき姿、および、大排出源を抱える自治体の戦略を論じた。最後の点については、滋賀県と湖南省についての需給試算例も示した。

謝辞 本論文作成にあたり、有意義な意見交換をいただきました参議院議員・前滋賀県知事嘉田由紀子様、滋賀県琵琶湖環境部温暖化対策課、京都府環境部エネルギー政策課、大阪府環境農林水産部エネルギー政策課、兵庫県農政環境部環境管理局温暖化対策課、奈良県水循環・森林・景観環境部水資源政策課、和歌山県環境生活部環境政策局環境生活総務課・産業技術政策課、湖南省長谷畑英吾様と湖南省役所の皆様、地球環境戦略研究機関 (IJES) の皆様、シン・エナジー(株)の乾正博社長様、(株)レスポンスアビリティの足立直樹社長様、および、秋澤 淳教授 (東京農工大学)、重藤さわ子准教授 (事業構想大学院大学) 両先生に謝意を表します。

注

- 1) (国立研究開発法人) 産業技術総合研究所安全科学部門主任研究員
- 2) (一社) 共生エネルギー社会実装研究所所長、元龍谷大学政策学部特任教授、東京農工大学名誉教授
- 3) <http://east-yoshino.com/>
- i) 各県発表のエネルギー起源 CO₂ 排出量で比較。ただし奈良県は1990年度値が得られなかったため経済産業省の都道府県別エネルギー消費統計の CO₂ を使用、運輸部門については自家用乗用車のみ。
- ii) 経済産業省が公表している素材系製造業業種の省エネ法ベンチマークでエネルギー消費量 (生産量比) (経済産業省 2020a)。東京都は業務部門の排出量取引制度対象事業所の典型業種について床面積あたりエネルギー消費および床面積あたり CO₂ 排出量の平均レベルと上位15%、25%水準 (優良レベル) の情報を提供している (東京都 2014)。東京都は中小企業向け業種ごとの平均値も公表している (東京都 2009)。このような情報提供を各自治体が行う体制を実現することが、ゼロカーボンへの第1歩としてまず必要なことだと言える。優良事例を共有し他施設の対策を促すには、個別事業所実績の公表が望まれる。欧州自治体では業務部門の施設毎のエネルギーや CO₂ 排出量の格付け表示を施設に張り出す所が随所にある (例、display campaign 2003)。経済産業省の省エネ法ベンチマークは個別事業所の値を公表していないが、岡山県が県の地球温暖化対策計画書制度で個別事業所について上記ベンチマークの値 (生産量当りエネルギー量) を公表している (岡山県 2009)。また、業務部門の床面積あたりエネルギー消費および床面積あたり CO₂ 排出量の情報については、排出量取引制度 (東京都 2014、埼玉県 2014) や地球温暖化対策計画書制度に基づいて公開している自治体もあるが、東京都を除くと業種内、業種横断で情報が提供されておらずきわめて利用しにくいのが実情である。各自治体は、上記のような現状を

大幅に改善し、利用しやすい形で実態データの公開を行うことにまず取り組んでほしい。同時に、ゼロカーボンを目指す自治体は、協力し合って、主要な省エネ対策を業種別に網羅したものの提供に取り組んでいただきたい。

引用文献 (外国文献: アルファベット順、日本語文献: 五十音順)

- Display Campaign (2003): Communicate your buildings performances. <http://www.display-campaign.org/spip.php?lang=en>
- EU (2020): European Commission, A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, 2020.8.7. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- IEA (2019a): World Energy Outlook 2019.
- IEA (2019b): Status of Power System Transformation.
- IPCC (2013): IPCC 第5次評価報告書第1作業部会報告.
- IPCC (2014): IPCC 第5次評価報告書第3作業部会報告.
- IPCC (2018): IPCC 1.5℃特別報告書.
- World Wind Energy Society (2011): WWEA defines Community Power <https://wwindea.org/blog/2011/05/23/communitypowerdefinition/>
- 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
- 歌川学・堀尾正靱 (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.
- 歌川学・堀尾正靱 (2021): 「地域経済活性化に寄与する飯田市域の CO₂ 排出ゼロシナリオの展開」、機関誌『学輪』第7号、pp. 37-52.
- 近江貴治、歌川学、上園昌武、氏川恵次、塩飽敏史 (2019): 「IPCC 1.5℃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.
- 大阪府 (2020): 「省エネコストカットまるごとサポート事業」. <http://www.pref.osaka.lg.jp/eneseisaku/sec/es-whole-support.html>
- 岡山県 (2009): 「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」. <https://www.pref.okayama.jp/page/detail-82017.html>
- 閣議決定文書 (2016): 「地球温暖化対策計画」.
- 閣議決定戦略 (2019): 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」.

- 神奈川県松田町（2020）：「松田町再生可能エネルギーの利用等の促進に関する条例」。
- 環境省（2018）：「第五次環境基本計画」。
- 環境省（2020）：「令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書」。
- 環境省・経済産業省（2020）：温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度開示データ。
- 北村和也（2019）：「電気料金は本当に安ければいいのか？」。 <https://www.energy-democracy.jp/2760#more-2760>
- 京都府（2006）：「電気事業者排出量削減計画・報告・公表制度」 <https://www.pref.kyoto.jp/tikyuu/electricity/main.html>
- 経済産業省（2020a）：「エネルギーの使用の合理化等に関する法律に基づくベンチマーク指標の報告結果について」 https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/benchmark/
- 経済産業省（2020b）：「省エネ性能カタログ」2020年7月版。
- 国土交通省（2018a）：「自動車燃料消費量統計2018」
- 国土交通省（2018b）：「自動車保有台数」
- 国土交通省（2018）：「住宅の省エネ性能の実態等に関する追加分析」、住宅・建築物のエネルギー消費性能の実態等に関する研究会第5回資料。
- 国立社会保障・人口問題研究所（2017）：「日本の将来推計人口（平成29年推計）」。
- 国立社会保障・人口問題研究所（2018）：「日本の地域別将来推計人口（平成30（2018）年推計）」。
- 国立社会保障・人口問題研究所（2019）：「日本の世帯数の将来推計（都道府県別推計）（2019年推計）」。
- 湖南省（2012）：「湖南省地域自然エネルギー基本条例」 <https://www.city.shiga-konan.lg.jp/kurashi/kankyo/5/4453.html>
- 埼玉県（2014）：「地球温暖化対策計画・実施状況の公表」 <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0502/keikakukouhyou.html>
- 櫻井あかね（2018）：「固定価格買取制度導入後のメガソーラー事業者の地域性」、日本エネルギー学会誌、97、pp. 379-385。
- 重藤さわ子（2020）：「コロナ体験後に考える、地域資源の活用と循環型地域経済の意味 都市と農村、共生の事業原則とは」、事業構想2020年9月号、pp. 140-141。
- 資源エネルギー庁（2015）：「長期エネルギー需給見通し関連資料」、総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会第11回会合資料3。
- 資源エネルギー庁（2016）：「事業計画認定情報の公表」 <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfo>
- 全日本トラック協会（2020）：「トラック輸送産業現状と課題」。
- 総務省（2014）：「日本標準産業分類」。
- 宝塚市（2015）：「宝塚エネルギー2050ビジョン」 <http://www.city.takarazuka.hyogo.jp/kankyo/energy/1014261/1010471.html>
- 調達価格等算定委員会（2015）：「平成27年度の調達価格等に関する意見」。
- 調達価格等算定委員会（2020）：「令和2年度の調達価格等に関する意見」。
- 電力広域的運営推進機関（2015）：「送配電等業務指針」、2015年4月25日施行。
- 東京都（2005）：「エネルギー環境計画書制度」。 <https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/supplier/publications.html>
- 東京都（2009）：「低炭素ベンチマーク」。 <https://www8.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/ondanka/benchmark/index.html>
- 東京都（2014）：温室効果ガス総量削減義務化制度実績の公表 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/data/index.html
- 東京都（2020）：温室効果ガス総量削減義務制度 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/index.html
- 長野県（2020）：「気候危機突破方針」。 <https://www.pref.nagano.lg.jp/ontai/happyou/200401press.html>
- 日本エネルギー経済研究所（2020）：「エネルギー経済統計要覧2020」、省エネルギーセンター。
- 日本風力発電協会（2020）：「洋上風力の主力電源化を目指して」、洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会第1回会合資料。
- パワーシフト（2020）：「パワーシフトキャンペーン紹介電力会社」 <https://power-shift.org/map/>
- 兵庫県（2014）：「西播磨西部 千種川流域圏 地域総合治水推進計画」。 <https://web.pref.hyogo.lg.jp/whk12/documents/kg01-haifu04.pdf>
- 堀尾正靱、重藤さわ子（2014）：「地域が元気になる脱温暖化社会を！ ―「高炭素金縛り」を解く「共－進化」の社会技術開発―」、公人の友社。
- 安田陽（2018）：「送電線は行列のできるガラガラのそば屋さん？」、インプレス R&D。
- 山口美智子（2014）：「東近江市における取組紹介」、第2回 循環共生型の地域づくりに向けた検討会 資料2、環境省。 <https://www.env.go.jp/policy/chiikikento/attach/02/mat02.pdf>

付 録

A1. カーボンバジェット (CB) の 国・地域への配分について

A1.1 割り振りのルール 世界のCBの国ごとの配分原則の可能性として、IPCC (2014) が提示した考え方を以下に示す：

- ①CRO を能力 (Capability) 基準で配分：一人当たりの GDP に比例して RO を配分
- ②CB を平等 (Equality) に配分：一人当たりのバジェットを均等に配分。人口比配分。
- ③責任と能力と発展の権利 (Responsibility, Capability, Need) で配分：①と②を組み合わせ、さらに低所得者には削減義務を免除
- ④一人当たり累積温室効果ガス排出量均等 (Equal Cumulative per Capita Emissions) 基準で配分：1850年以降の累積排出量を考慮して一人当たり CB を配分
- ⑤段階的 (Staged) 基準で配分：一人当たり排出量等に基づいて CRO を途上国の工業化などに応じた発展段階ごとに割りつける (例えば一人あたり排出量が設定値を超えた国に削減義務を課し、一人あたり排出量が設定値以下の国には努力目標を求め、一人あたり排出量が設定値以下の国には対策資金・技術の国際的支援を行うなど)。
- ⑥費用効果性 (cost effectiveness) 基準で配分：排出削減コスト (CO₂ 排出量を 1 トン減らすのに要する費用；効果が費用を上回る場合はマイナスになる) の高い先進国に多くの CB を割り当てる。この配分方法では、先進国よりも新興国の CRO が多くなる一方、途上国には CRO が過大になる可能性もある。IPCC (2014) は、この指標は「公平性」を表していない『参考値』として位置づけている (明日香ら (2015) の解説を参照)。

A1.2 CB の日本、および関西圏への配分
まず、世界の CB を 2017 年の人口基準 (ルール ②) で日本に割り振る。IPCC (2013) は、気温上昇 2℃ 未満抑制の世界の CB を、基準年を 2012 年として算定し、IPCC (2018) は、気温上昇 1.5℃ 未満抑制の世界の CB を 2018 年以降

で算定している。ここでは、気温上昇 2℃ 未満抑制の CB を気温上昇 1.5℃ 未満抑制と同じ基準年 2017 年で求めた近江ら (2019) の値を用いる。2017 年の日本の人口は 1.27 億人、世界全体では 75.5 億人であるから、世界の CB に人口比をかけることにより日本の CB が求められる。

次に、日本に配分した CB を関西圏に割り振る。そのルールとしては、人口比による配分と、CO₂ 排出量にかかわる業種の排出構造を考慮した配分とが考えられる。後者は、まず各部門・業種別の現在の排出量割合 (全国) でそれぞれの部門・業種に CB を割り振ったうえで、それぞれに関西圏の各部門・業種の対全国活動量比をかけ、全部門の総和をとったものを関西圏への割り振りとする。これら二つの方法によって関西圏の CB を算出した。

以上の結果を表 A-1 に示す。また、その際に行った各部門・業種ごとの CB 算出の一例を、気温上昇 1.5℃ 未満抑制の CB を、世界の CB の下限から求める場合について、表 A-2 に示す。

表 A-1 関西圏のカーボンバジェット (CB)

	CB [百万t-CO ₂]			
	気温上昇1.5℃未満抑制		気温上昇2℃未満抑制	
	人 口 比	排出構造考慮	人 口 比	排出構造考慮
世 界	420,000～770,000 (10～18年分)		758,000～868,000 (18～21年分)	
日 本	7,092～13,000 (6～11年分)		12,800～14,700 (11～12年分)	
関西6府県	1,148～2,104 (7～13年分)	1,070～1,965 (7～12年分)	2,071～2,372 (13～15年分)	1,935～2,215 (12～14年分)

() 内は世界は現在のCO₂排出量 (IPCC 2018)、日本は2018年度CO₂排出量、関西6府県のうち兵庫県は2017年度エネルギー起源CO₂排出量、他5府県は2017年度CO₂排出量でCBを割った値。

表 A-2 各部門・業種へのカーボンバジェット (CB) 配分の一例 (気温上昇1.5℃未満抑制上限の場合)

部門 など	業種中分類など	望ましい 配分指標	次善の 指標	2017年度全国 CO ₂ 排出量 [Mt-CO ₂] (電力熱配分後)	CBを2017年度 CO ₂ 排出量比 で部門・業種 ごとに配分 [Mt-CO ₂]	関西圏の 全国比活動 量比率	関西圏の CB [Mt-CO ₂]
産業	非製造業 (3業種): 農林水産業、鉱業、建設業	生産量など (業種ごと)	従業者数	26.3	287	8.1%	23
	製造業 (25業種) (日本標準産業分類 (総務省 2014) の製造業の中分類)	同上	製造品出荷額等	383.6	4,192	20.2%	848
業務	15業種: 電気ガス熱供給水道業、情報通信業、運輸業・郵便業 (注: 業務部門)、卸売業・小売業、金融業・保険業、不動産業・物品賃貸業、学術研究・専門・技術サービス業、宿泊業・飲食サービス業、生活関連サービス業・娯楽業、教育・学習支援業、医療・福祉、複合サービス事業、他サービス業、公務、業種不明・分類不能	床面積 (業種ごと、一部除く)	従業者数	209.6	2,291	14.9%	341
家庭		世帯数		186.4	2,037	16.6%	338
運輸 旅客	6 機関 (乗用車、バス、二輪車、鉄道、船舶、航空)	旅客輸送量	自動車保有台数等	126.9	1,387	11.9%	165
運輸 貨物	4 機関 (トラック、鉄道、船舶、航空)	貨物輸送量	同上	86.5	945	11.8%	111
エネルギー転換 (火力発電所の自家消費、製油所など)				90.8	993	14.0%	138
工業プロセス				47.0	504		
廃棄物				29.5	317		
その他				3.1	35		
合計 (1.5℃未満抑制シナリオの場合、日本のCBの上限値)				1,189.7	13,001		1,965

今回はエネルギー起源CO₂排出量のみ検討した。非製造業、製造業、業務部門とも業種別に試算。運輸は自動車細分類別に試算。船舶、航空は配分しない。配分は、経済センサスが2016年度データであることから2016年度指標で実施。

A2. 排出削減シナリオの詳細設定

A2.1 使用データについて 関西圏のエネルギー消費量は、産業部門、業務部門、家庭部門は経済産業省の都道府県別エネルギー消費統計を用いた。運輸部門のうち自動車については国土交通省の自動車燃料消費統計を用いた。鉄道については国土交通省の鉄道統計年報を用いた。このうち近鉄については、旅客輸送量（人キロ）でエネルギー消費総量を中部圏と関西圏に分割した。JR 西日本については旅客輸送量（人キロ）で、関西圏（ただしデータで見る JR 西日本2019年版で得られた同社近畿統括本部の分のみ）とそれ以外を分割した。新幹線、JR 貨物、船舶および航空は解析対象外とした。

A2.2 物質的活動量の設定 エネルギー消費量は、GDP（付加価値）や、出荷額・売上高よりも、エネルギーに関連する活動量に左右される。設定を表 A-3 に一括して示す。各シナリオに共通して、人口は、国立社会保障・人口問題研究所の出生中位・死亡中位想定を、世帯数は同機関の推計を用いた（国立社会保障・人口問題研究所 2017, 2018, 2019）。

(1)大量生産継続シナリオ このシナリオでは、2030年度までは総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し（資源エネルギー庁 2015）における生産量・輸送量などの活動量見通しを用いる。その後、各種活動量は、2050年度まで人口減に応じてゆるやかに減少すると設定する。この時の人口は、産業と運輸貨物の各部門はマーケットが全国にまたがることから、全国の人口に比例して減少することとしたが、

業務、運輸旅客の各部門は地域依存であることから、関西圏の人口に比例して減少するとした。
(2)活動量中位シナリオ このシナリオでは、2050年にむけ、2015年の一人当たり活動量を一定とし、人口減に比例して減少すると設定する。また、輸出については、現在輸出が過剰となっている素材（鉄鋼、窯業土石（セメント）、化学（医薬品、洗剤等を除く）、紙パルプ（パルプ、洋紙、板紙のみ））については、今後は新興国での現地生産が進むと想定し、ネットでの輸出が2050年に0となるよう直線的に減少するとする。

A2.3 「対策」の設定 省エネ対策は（歌川・堀尾 2020）に基づいて設定した（表 A-4）。ただし業務部門と家庭部門については、断熱強化に関し、政府が基準を設定し実装が始まったゼロエミッションハウス、ゼロエミッションビルの本格実装を想定した。電化については、産業低温熱・中温熱の電化、トラック EV 化について、歌川・堀尾（2020）の設定より強化した（表 A-5）。炭素集約度改善は（歌川・堀尾 2020）に基づいて設定した（表 A-6）。

表 A-3 活動量の想定（対策なしの場合エネルギー消費量は活動量比例）

部 門	活動量	大量生産継続シナリオ		活動量中位シナリオ	
		内 需	輸出との関係	内 需	輸出との関係
産業部門	生産量・生産指数	長期エネルギー需給見通しに沿って拡大。2030年以降は、産業は全国人口比で、業務は関西圏人口比で減少。	内需と同じ。つまり日本の全国の将来人口に比例。	全国の将来人口に比例	素材については2050年にゼロ。他は内需と同じ。
業務部門	床面積	関西圏人口比で減少。		関西圏将来人口に比例	
家庭部門	世帯数	関西圏世帯数		関西圏世帯数	
運輸旅客部門	旅客輸送量	長期エネルギー需給見通しに沿って拡大。2030年以降は、旅客は関西圏人口比、貨物は全国人口比で減少。		関西圏将来人口に比例	
運輸貨物部門	貨物輸送量			全国の将来人口に比例	

表 A-4 各部門の省エネ想定

			2015年比の活動量あたりエネルギー消費量の改善				
			技術普及		技術普及強化		
			2030	2050	2030	2050	
産業部門	高炉製鉄業		9%	9%	左に同じ		
	電炉普通鋼		17%	17%			
	電炉特殊鋼		44%	44%			
	セメント製造業		11%	11%			
	洋紙製造業		52%	52%			
	板紙製造業		40%	40%			
	石油化学基礎製品製造業		0%	0%			
	ソーダ工業		2%	2%			
	石油精製業		14%	14%			
	非素材製造業：生産設備の省エネ		25%	25%			
	照明、従業者向け空調		業務部門と同様				
業務部門	暖房：高効率&個別空調、エアコン転換、建築断熱強化		60%	80%	左に同じ		
	冷房：高効率&個別空調、エアコン転換（業務部門）		55%	75%			
	給湯：高効率給湯、配管断熱強化（業務部門）		50%	75%			
	厨房：省エネ機器導入		15%	40%			
	照明・動力：省エネ照明、省エネ機器導入、設備インバータ化&BEMS		55%	65%			
	平 均		50%	70%			
家庭部門	暖房：高効率&個別空調、エアコン転換、建築断熱強化		35%	50%	42%	77%	
	冷房：高効率&個別空調		35%	35%	38%	45%	
	給湯：高効率給湯		25%	35%	22%	38%	
	厨房：省エネ機器導入		10%	15%	10%	15%	
	照明・動力：省エネ照明、省エネ機器導入		20%	30%	24%	32%	
	平 均		25%	35%	28%	47%	
運輸旅客	自家用乗用車	内燃機関車のエネルギー効率改善	45%	左に同じ			
		運用によるエネルギー効率改善（業務用のみ）	10%				
		電気自動車割合	20%				100%
	タクシー	内燃機関車のエネルギー効率改善	36%				
		運用によるエネルギー効率改善	10%				
		電気自動車割合	3%				100%
	バス	内燃機関車のエネルギー効率改善	15%				
		運用によるエネルギー効率改善	10%				
		電気自動車割合	3%				100%
	鉄道		8%				想定なし
運輸貨物	トラック	内燃機関車のエネルギー効率改善	15%				
		運用によるエネルギー効率改善	10%				
		電気自動車割合	3%	90%	3%	100%	
	鉄 道	想定なし					

活動量は、産業部門は生産量・生産指数、業務部門は床面積、家庭部門は世帯数、運輸旅客部門は旅客輸送量、運輸貨物部門は貨物輸送量。

表 A-5 電化についての想定

ケース	期間	産 業	業務・家庭	運輸旅客	運輸貨物
技術普及	2030年			乗用車は20%、タクシーとバスは3%EV化	トラックは3%EV化
	2050年			100%EV化	90%EV化
技術普及強化	2030年	低温熱の1/3を電化。ソーダ工業、有機化学工業素材、石油精製業、コークス製造業、ガラス製造業、セメント製造業、石灰製造業、高炉製鉄業、製鋼圧延業、非鉄金属第一次および第二次精錬業では見込まない。		乗用車は20%、タクシーとバスは3%EV化	トラックは3%EV化
	2050年	低温熱の2/3、中温熱の1/4を電化。ソーダ工業、有機化学工業素材では低温熱の1/3を電化する。非製造業は10%を電化。石油精製業、コークス製造業、ガラス製造業、セメント製造業、石灰製造業、高炉製鉄業、製鋼圧延業、非鉄金属第一次および第二次精錬業では見込まない。		100%EV化	同左。
技術普及・電炉拡大	2030年	技術普及ケースに加え、高炉割合を50%に低下		技術普及ケースと同じ	技術普及ケースと同じ
	2050年	技術普及ケースに加え、高炉割合を30%に低下		100%EV化	90%EV化
技術普及強化・電炉拡大	2030年	技術普及ケースに加え、高炉割合を50%に低下		技術普及強化ケースと同じ	技術普及強化ケースと同じ
	2050年	技術普及ケースに加え、高炉割合を30%に低下		100%EV化	同左。
全電化	2030年	熱利用（高温熱を含む）を50%電化	同左	技術普及強化ケースと同じ	技術普及強化ケースと同じ
	2050年	熱利用（高温熱を含む）を100%電化	同左	100%EV化	同左。

表 A-6 再エネ・燃料転換の想定

	再エネ	燃料転換
電 力	2050年までに再エネ電力に転換	
低温熱 中温熱	業務家庭は、2050年までに再エネ熱利用、あるいは電化のうえ再エネ電力利用。産業の低温熱利用、中温熱利用の一部を電化のうえ再エネ転換する。電化率は表 A-5 の通り。	想定なし。
高温熱	一部を電化のうえ再エネ転換するものとする電化率は表 A-5 の通り。	段階的に天然ガス転換。ただし鉄鋼高炉の石炭・石炭製品転換は1割に留める。また、石油精製業の石油から天然ガスへの転換は想定しない。
運輸燃料 (自動車)	EV化で再エネ電力利用。バイオ燃料は想定しない。	想定なし。

A-3 電力需給解析

再エネ設備容量には表 3.2 のほかに廃棄物発電246MWを加えた。電力需要は、全国については2010年度比30%削減、関西については3.1で見込んだ省エネの電力消費削減率が各時刻においてなされると想定した。余剰再エネ電力の流れは、西日本においては九州エリアから中国エリア、四国エリアからは中国エリアと関西エ

リア、中国エリアから関西エリア、北陸エリアから関西エリアおよび中部エリア、関西エリアから中部エリアを想定した。一方向の想定により、電力が例えば関西エリア→四国エリア→中国エリア→関西エリアのようなループ計算になることも防止できる。東日本は、北海道エリア→東北エリア→関東エリアの流れを想定し、関東エリアの余剰電力は中部エリアに送ることを

想定した。その他詳細は註1-3の通り。

註1：2050年度の全国の設備容量は、太陽光発電350GW、陸上風力発電150GW、洋上風力発電230GWとし、太陽光発電は270GWの容量を2020年3月導入量、陸上風力発電と洋上風力発電はポテンシャル量（環境省2020）に応じて各地域に割り振り、関東エリア、中部エリア、関西エリアは個別に推定した。一般水力発電は31GW、地熱発電は8.5GW、バイオマス発電は4.8GW、廃棄物発電は1.15GWとし、地熱発電はポテンシャル量（環境省2020）、一般水力発電、バイオマス発電、廃棄物発電は現在の導入量に応じて各地域に割り振った。

註2：関西エリアの電源別設備利用率は表3.2に倣い、太陽光発電は14%で統一した。一般水力発電の設備利用率は大規模44%、小規模50%を想定し全国の設備想定

より按分し47.6%とした。全国の設備利用率は、陸上風力発電、洋上風力発電の2050年度の設備利用率は環境省（2020）にならった。太陽光発電は14%で統一した。一般水力発電の設備利用率は関西エリアの通りである。

註3：九州エリア-中国エリアの地域間連系線運用容量を2020年現在の6倍の1,668万kW、中国エリア-関西エリアは4倍の1,664万kW、関西エリア-中部エリアは4倍の1,000万kWと想定した。四国エリア-中国エリアは2倍の240万kW、四国エリア-関西エリアは2倍の280万kW、北陸エリア-関西エリアは2倍の380万kW、北陸エリア-中部エリアは2倍の60万kWとする。東日本は北海道エリア-東北エリアは現在の5倍の450万kW、東北エリア-東京エリアは増強計画の1.5倍の1,542万kW、東京エリア-中部エリアは増強計画の2倍の600万kWとする。