

地域循環共生圏を軸とした 社会変革へ向けて 産業と再生可能エネルギー

福士 謙介

東京大学未来ビジョン研究センター 教授/地域システム設計研究ユニット

菊池 康紀

東京大学未来ビジョン研究センター 准教授/地域システム設計研究ユニット

尾畑 留美子

東京大学未来ビジョン研究センター 客員研究員/地域システム設計研究ユニット
尾畑酒造株式会社 専務

藤田 壮

東京大学大学院工学系研究科 教授



要約

本社会提言は、以下の3つの提言を行う。

1) 再生可能エネルギーの導入は地域の産業やその産業から製造される製品の価値を高める

地域の伝統・文化や地理的条件と関連づいた産業は、カーボンニュートラルの達成後もその地域において中心となりうるものであり、持続可能性が高いといえる。このとき、地域の住民や関連するステークホルダーにとって遺すべきものとして、その地域の人々の感性や物事の筋、物語としての受け入れやすさ、価値観など、情理にあうかどうかを、継続的な「対話」により明らかにするプラットフォームが必要である。地域の社会経済にとっては、化石資源等域外品の購入により流出していた財を地域の中で循環させられるよう、産業構造を可視化させながら対話を行う必要がある。ここで、若手世代が既にSDGs等を前提した価値観を持ちつつあることを想定し、再生可能資源の付加価値の定義と可視化を行うべきである。

2) 再生可能エネルギーの地域における社会実装は、地域の公共団体による支援を前提に、成功例を重ねる形で導入されるべきである

廃校を活用して酒蔵として再生し、さらに、里山循環型産業として原料やエネルギーからの環境負荷も低減させようとする日本酒製造の事例にもあるが、地域が一丸となって再生可能エネルギーを活用する産業を支えていくことが有効である。とくに、エネルギー事業そのものを考えた場合、その公共性の強さから、市場経済だけにそのコントロールを委ねるべきではない。制度的なものに加え、エネルギーの見える化や市民理解のための教育システムの構築、関係する地域のエコシステムやインフラストラクチャーとの調整などが必要であり、自治体だけに限らず農業協同組合や森林組合、教育機関といった、公共団体の関与が不可欠である。

3) 地域のエネルギー転換を行うためには、カーボンニュートラルだけではなく多面的な価値を勘案すべきである

再生可能エネルギーの導入は、エネルギーの転換だけでなく、地域の産業や暮らし方へも影響を与えうる。地域においてはSDGsの推進や住民の幸福増進等の社会の根幹にかかわる事項が主の課題となりうるが、自然災害や感染症、そして、戦争のような外的攪乱要因に対して脆弱であるので、これらを解決・緩和できるような基盤が必要であり、再生可能エネルギーの導入をその強化につなげるべきである。このような観点から再生可能エネルギーの導入を促進することは、結果的に地域に多面的な価値を生み出す事となり、最終的には地域の魅力に繋がり、人口減少に歯止めをかけたたり移住者を増やしたりする事になる。

目次

要約	1
目次	2
1. はじめに	3
1.1. 国内外における社会の将来ビジョンとこれからの地域の開発	3
1.2. 日本のエネルギー事情と地域	3
1.3. これからの地域開発	4
1.4. 地域循環共生圏	4
2. 社会提言	4
3. 社会提言の詳細	5
3.1. 提言(1) 再生可能エネルギーの導入は地域の産業やその産業から製造される製品の価値を高める	5
3.2. 提言(2) 再生可能エネルギーの地域における社会実装は、地域の公共団体による支援を前提に、成功例を重ねる形で導入されるべきである	6
3.3. 提言(3) 地域のエネルギー転換を行うためには、カーボンニュートラルだけではなく多面的な価値を勘案すべきである	8
謝辞	9
参考文献	10

1. はじめに

1.1. 国内外における社会の将来ビジョンとこれからの地域の開発

パリ協定（UNFCCC, 2015）や持続可能な開発目標（SDGs: Sustainable Development Goals）（United Nations, 2015）、バイオエコノミー（European Commission, 2018）、第5期科学技術基本計画における Society 5.0（内閣府, 2016）、第五次環境基本計画における地域循環共生圏（環境省, 2018）など、将来社会のビジョンに関する多様な提案が国内外で出されている。いずれもより良い社会システムが満たす要件や姿、含まれている機能について示しているものであり、気候変動緩和のための低炭素化と適応のための技術開発、デジタル革命、誰一人取り残さない社会、地域資源を活かした自立・分散型の支え合う社会、自由な選択が許される資源の心配がない全員参加型の社会など、細部に違いはあるものの、共通点も多い。特定の学術分野だけで到達できる将来社会ビジョンではないことは、それぞれの定義からも明らかであり、要素技術、技術を組合せた技術システム、それを活用する社会・経済システム、などといった異なる層を超えた熟議が必要といえる。

1.2. 日本のエネルギー事情と地域

近年のエネルギーに関わる事情は、国内外を問わず、気候変動問題との関わりが強く議論されてきた。1992年の地球サミット以降、気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）の報告書によって、地球規模の気候変動に関する状態や因果関係、影響の研究が進み、さらに、その原因が人間の活動であるということが明らかになってきた。その後も京都議定書（1997）、パリ協定（2015）等の脱炭素の世界的な動きが広がっている。このような流れの中で、国内ではエネルギー政策の基本的な方向性がエネルギー基本計画に示されている。2011年の福島第一原子力発電所における事故などの影響により、電源構成や需給見通しなどが変化してきたが、大きな流れとしては、再生可能資源由来のエネルギー比率の増加を目指してきている。（Fukushima et al., 2011; 古山, 2019a; 2019b）これは、2015年のパリ協定で2030年に温室効果ガス（GHG）排出量を26%削減することを約束し、2016年には2050年までに80%削減することを閣議決定、2020年にカーボンニュートラルを表明していたことにも関連している。第6次エネルギー基本計画（経済産業省資源エネルギー庁, 2021）では、2050年のカーボンニュートラル実現に向けた課題と対応を整理し、2050年を見据えた2030年のGHG排出46%削減から50%を目指すための政策対応についても記載されることとなった。

現在、一次エネルギー国内供給の割合としては、約90%を化石エネルギーに依存しており、そのほとんどを輸入に頼っている（IEA, 2019; 経済産業省資源エネルギー庁, 2021）。再生可能資源によりこれらを代替するには、資源調達に関する戦略の変化が必要となる。このとき、国内の再生可能エネルギー供給見込み量として、一次エネルギーベースで30~61%といった調査結果（環境省, 2015）もあり、自治体別の供給ポテンシャル情報が集まってきている（環境省, 2020）。

エネルギーは兌換性が高く、生活の基盤を与えるだけでなく、様々な産業に新しい機会を与え、地域における生活の豊かさを支えるものであり、これを持続可能にすることは生活全体を持続可能とすることにつながる。導入が進んでいる再生可能エネルギーは、その多くが太陽光に依存しており、都市部ではエネルギー生産が難しく、他方、地方においては太陽光、太陽熱、風力に加え、中小規模水力、バイオマス等の再生可能エネルギーの活用ポテンシャルは高い。豊富な再生可能エネルギーを活用し様々な産業が生まれる可能性を秘めている。世界のエネルギー投資の中で2020年に最も新規投資額が多かった電源は再生可能エネルギーであった（IEA, 2021）。これは様々な制度、技術、管理、世論が熟成し、再生可能エネルギーの社会実装が容易になってきたということが事実であったことを語っている。

2050年カーボンニュートラルの達成を表明した地方公共団体は2019年9月には4自治体であったも

のが、翌年には166、2021年末時点では514と急増しており、表明自治体総人口では1.1億人を越えた（環境省、2021）。再生可能エネルギー（再エネ）の導入は脱炭素に向けた重要技術のひとつであり、2012年の固定価格買取制度の開始を機に導入が加速し、拡大が進んできた。しかし、その大部分を占める太陽光発電と風力発電は天候の影響を受ける変動性再エネであり、導入量が多い地域では接続回答保留となっていたり、一部地域では出力抑制の頻度が増したりと、導入拡大の障壁が顕在化しつつある。更なる導入拡大のためには需給の時空間ギャップを埋めるエネルギー貯蔵やエネルギーキャリアを組み合わせた統合的な地域システムとしての設計に基づいた導入が重要度を増している。

1.3. これからの地域開発

日本では、戦後の高度経済成長期において、鉄道・道路等の交通ネットワーク、電源・送配電網、都市部におけるガスパイプライン等のエネルギーインフラ、医療提供体制、上下水道等の環境インフラ、防災インフラ、など、国土の隅々まで、ほぼ同じ機能・形式をもった社会インフラが整備された。また、中央と地方の収入差は存在するが、政治的な不安定を生むほど大きくはない。日本の経済的地位は高く、1960年～1990年代ではアメリカに次ぐ経済規模を達成していた。教育の程度は高く、国民は誇りを持って暮らしている。内閣府の調査では55.3%（内閣府、2022）の国民が現在の生活に満足している。（2021年度の調査結果。2019年度の調査結果73.8%から大きく下落していることから、新型コロナウイルス感染症拡大による影響が出ているものと推察される。）

高度経済成長期に都市化が急激に進み、東京、大阪、名古屋等の大都市圏集中型の人口配置となり、この傾向は今後も続くと予測できる（国土交通省、2020）。地方は人口減少が進み、過疎化が進んでいる。その結果、地方におけるマーケットは縮小し、雇用の確保もままならない状態である。第1次産業は自動化・機械化が進み人手はかからなくなってきたが、従事者は減少しており、その結果、耕作放棄地の増加や漁船の減少等による国防上の問題等、国土管理のあり方に関して、課題が顕在化している。

1.4. 地域循環共生圏

第五次環境基本計画（2018年4月閣議決定）で提唱されている地域循環共生圏は、自然共生社会、循環型社会、脱炭素社会の統合による持続可能な地域のモデルを示す概念であり、環境、社会、経済の統合化によるローカルなSDGsの実現に貢献するものである。地域循環共生圏は再生可能エネルギー利用を基盤とし、農林水産業をはじめとする地域産業と農山漁村のあらゆる資源を統合的に活用し、自然資本に依拠した自立分散型の地域づくりを目指すものである。これは新しい農村政策（農林水産省、2021）としても検討されるものである。

このような地域づくりにより、新規産業や雇用が創出されるばかりでなく、地域間の連携や国際的な連携も相互補完的に進めることができる。これは、日本の人口の現状と将来の姿を示し今後目指すべき将来の方向を提示していく「まち・ひと・しごと創生長期ビジョン」（総務省、2019）や、一部改正された地球温暖化対策推進法における地方創生につながる再エネ導入の促進ともつながるものである。すなわち、地域循環共生圏は、地産地消の考え方を超えて、地域内異業種連携、地域間連携、国際連携を可能とし、雇用、教育、生活、保健等のあらゆる分野を考慮に入れた地域の発展を可能とする。地域循環共生圏の創造の背景には、再生可能エネルギー、すなわち太陽（電気・熱）、風力、中小水力、地熱、バイオマス等の地域で生産されるエネルギー利用が技術的、経済的、政策的に可能となってきたからという理由がある。

2. 社会提言

本社会提言は上記のような背景に基づき、以下の3つの提言を行う。

- 1) 再生可能エネルギーの導入は地域の産業やその産業から製造される製品の価値を高める
- 2) 再生可能エネルギーの地域における社会実装は、地域の公共団体による支援を前提に、成功例を重ねる形で導入されるべきである
- 3) 地域のエネルギー転換を行うためには、カーボンニュートラルだけではなく多面的な価値を勘案すべきである

3. 社会提言の詳細

3.1. 提言(1) 再生可能エネルギーの導入は地域の産業やその産業から製造される製品の価値を高める

再生可能エネルギーに関連する技術を効果的に地域へ導入していくためには、その地域のエネルギーについてのみ調査をするだけでは不十分である。変化する社会の中で、個性ある「系」である地域ごとに、カーボンニュートラル後も継続して遺したい産業や景観、伝統・文化がどのようなものなのか、また、当該地域でどのような産業を新規に興したいのか、地理的条件や資源の賦存量などとも合わせて十分に検討をしていくことで、実現したい地域の将来ビジョンが明らかとなる。このとき、地域の住民や関連するステークホルダーにとって遺すべきものとして、その地域の人々の感性や物事の筋、物語としての受け入れやすさ、価値観など、情理にあうかどうかを、継続的な「対話」により明らかにするプラットフォームが必要である。その上で、その将来ビジョンを、カーボンニュートラルに実現できる技術・システムの開発・設計を行うことが、地域が意欲的に変革をおこしていくために不可欠である。これにより、地域の産業やその産業から製造される製品の価値を高めることにつながる。

例えば、農林業から得られるバイオマス資源は、化成品やエネルギーの原料としての活用が期待でき、かつ、地域における社会経済への好循環を引き起こしうる (Kikuchi et al, 2020)。炭素吸収源としても改めて着目されつつある森林資源は、多くの国内の地域において、高樹齢化が進んでおり、“伐らなすぎて”不健全な状態にある。適度な伐採と植林や、単層林から複層林や天然林へ林相を誘導するなどを組み合わせた森林の再構成をしながら、木製品やエネルギーとして活用していくことが望まれる (Oosawa et al, 2016; Goh et al., 2020)。さらに出力抑制や系統接続回答保留となっている太陽光・風力発電については、地域交通、福祉、など、異業種間で課題を克服するために資源を共有する産業共生が、農林業地域における脱化石資源化の地域イノベーションにつながる事が分かってきている。

こうした複合的な観点で産業の構造が変わっていくことにより、経済の好循環を目指すことができる。日本全体で見ても、化石資源の購入のために国外へ流出していた財を低減させることは国内産業の生産額を向上させ、付加価値を向上させることは明らかである。これを可視化して議論するための方法論として、産業連関表を用いた地域経済の可視化がある。しかし、個々の地域においては、産業構造の中に含まれている産業が異なるため、地理的バウンダリを地域に限定した場合、必ずしもすべての地域において社会経済的に良い波及が起こらない可能性がある。技術導入と社会経済性評価の範囲の一致については、意思決定者が考える経済範囲と、社会経済性を評価するために用いる産業連関表の経済範囲が異なると、両者の経済規模や産業構造の違いにより、評価結果に齟齬が生じる可能性が高い。

日本では、部門数などの違いはあるが、47都道府県すべての産業連関表（以下、都道府県表）が作成されている一方、一部の政令指定都市や研究対象とされた市町村以外の地域では、産業連関表は作成されていない。環境省が地域経済循環分析用データとして作成している約 1,700 自治体の地域産業連関表は、各自治体の統計情報（各産業の従業員数など）と、各産業の平均的な材料の投入構造を用いたノンサーベイ法で作成されたものであり、部門分類の問題等も含め、必ずしも地域の特性を表しきれていない。そのため、多くの地域では技術の導入範囲と一致しない都道府県表や全国表を用いる必要がある。全国表と都道府県表を用いた結果の比較研究は存在するものの、都道府県とそれよりも小さな地域の不一致

が、社会経済性の分析結果に与える影響については十分に研究されていない。都道府県の範囲であれば多くの産業が存在するが、市町村の範囲では存在しない産業が多く、技術導入の社会経済効果が地域外に流出する可能性が高い。そのため、全国表と都道府県表以上の差異が生じる可能性がある。限られた資金や時間、情報を有効利用しつつ、地域の意思決定に有益な情報を提供するためには、範囲の異なる産業連関表を用いる際に生じる結果の差異や解釈の齟齬を明らかにし、適切なシステム設計へつなげる方法論が不可欠である。（尾下 他、2019；兵法 他、2021）

他方、再生可能エネルギーを効果的に地域へ導入するために、その産業周辺のサプライチェーンも一緒に考え、地域へ新規に導入していくことも有効といえる。その意味では、余剰資源・廃棄物となってしまうような物質・エネルギーを産業間で有効に利用し合う産業共生を、実際に一定の範囲に導入するエコインダストリアルパーク（Chertow 2000）を地域に計画（兼松 他、2017）していくことなど、生産者と消費者との連携も考慮した商業圏の構築も有効といえる。関連して、例えば自治体による新電力などが一つの方策として検討されており、年々件数が増大している（稲垣ら、2021）。このとき、その経営・事業運営形態が地域主体か否かによって、地域にとっての付加価値が異なり、地域経済循環の観点での効果が異なることが指摘されている（稲垣、2020；稲垣ら、2021）。地域にとってより良い形の導入のされ方が検討されるべきであり、そのための事前の設計と評価が重要といえる。

現在のエネルギー価格は化石燃料の価格がベースとなっているため、再生可能エネルギーの価格は高く見える。実際に再生可能資源を導入した場合に、特定地域におけるエネルギーの購入者価格が増加しうるが、地域全体での雇用者所得の向上により補填可能である事例（Kikuchi et al., 2020）など、地域経済循環の考慮が有効である地域もあるが、目先のコスト増により、投資控えが起こりうる。そのような状況を緩和するために、激変緩和のための経済的支援策と連携させた炭素税の地域ごとの導入等も検討されるべきである。

カーボンニュートラルに向かう社会において、再生可能エネルギーを産業に導入した場合、製品に対する付加価値は上がる。とくに、製品を欧米に輸出する場合は、カーボンニュートラルだけではなく、地域環境への影響、製品やその材料の製造時に人権やジェンダー等に配慮しているか等が重要なファクターとなっている。また、若手世代は SDGs や人権の世界共通の価値に対してとくに敏感であり、将来の購買層である若手世代の考え方に対して、製品創りをする上では真摯に対応すべきである。また、企業経営者や投資家は脱炭素への対応や SDGs の推進が、短期的な投資回収にはならないこと理解し、将来世代に対する投資と考えるべきである。こうしたことを域内外の関係者間で常に「対話」を通じて共有し、連携していくことが重要である。

3.2. 提言(2) 再生可能エネルギーの地域における社会実装は、地域の公共団体による支援を前提に、成功例を重ねる形で導入されるべきである

いくつかの事例を詳述する。成功例のひとつとして、地域資源のみで日本酒を造る取組を挙げたい。（Jarzebski et al., 2021）学校蔵（尾畑酒造（新潟県佐渡市））では材料の全てを佐渡市内のものを使用するだけでなく、その材料を生産する環境にも配慮し、環境負荷が少なく秀逸なランドスケープを生み出すような場所から採れる米を使用している。また、日本酒を造る上では少なからずエネルギーを使用するが、そのエネルギーはできるだけ再生可能エネルギー（太陽光発電）を使用している。再生可能エネルギーの導入は里山循環型産業としての日本酒のブランドの多面的な価値の1面であり、国際的な評価を高める上でも特に重要なものとする。そのような製品ならびにその製造工程そのものを研修や観光の資源として活用し、国際的に研修生を受け入れるなど、一部運用を行っている。（図1）

他にも、復興モデル都市としても指定された新地町では、復興計画に「スマート・ハイブリッドタウン

構想」を掲げ、地域の復興・発展だけでなく、新しい技術の組み合わせによるスマート化を行ってきた。情報通信技術とコミュニティを支える社会の仕組みを組み合わせることで、災害による避難や移転などで失われがちな地域の「絆」を再生しようというものである。この構想では、タブレットやスマートフォンなどの端末から住民と自治体や研究機関、企業をインターネットでつなぎ、環境や、エネルギー、生活の情報を共有している。自治体は、住民の方々の要請や発信を迅速に知ることができる双方向型の地域情報基盤のプロトタイプを構築してきた。（国立環境研究所、2016）（図2）



図1 尾畑酒造学校蔵と関連事業

種子島では、サトウキビ、安納芋などの青果用さつまいも、焼酎やでんぷん加工用のさつまいも、水稻、和牛（肥育）などの様々な農畜産業が存在している。中でもサトウキビは島の文化の一部として根付いており、島内のサトウキビから原料糖を製造するサトウキビ産業は、基幹産業の1つである。サトウキビの搾り粕（バガス）は古くから燃料として製糖工場内で利用されており、製糖に必要とする以上のバガス由来エネルギーが未利用資源として潜在していることが、研究により明らかとなっている。一方、焼酎工場や施設園芸では、100℃程度のいわゆる低温の熱需要があり、化石燃料が使用されている。製糖工場で見られる未利用のエネルギーを地域の中で利用（Fujii et al., 2019）できれば、脱化石資源に繋がるだけでなく、サトウキビの基盤強化にもなりうる。（Kikuchi et al., 2016; 2020）

これらの取組は、地域の自治体だけでなく、農業協同組合や森林組合、商工会などの、公的な役割を担う団体との連携が不可欠であった。地域の資源を効率よく組み合わせて活用していくためには、これら地域の公共団体と事業者の連携が重要である。とくに、エネルギー事業そのものを考えた場合、エネルギー事業の公共事業としての性質を鑑み、官民連携というのは必須であり、市場経済だけにそのコントロ

ールを委ねることは出来ない。また、市民の理解を得るためには自治体の関与が必要である。関与の方法としては制度的なものに加え、エネルギーの見える化や市民理解のための教育システムの構築などがある。また、エネルギーの使用情報のガバナンスに関しても民間主導で行うにしても、一定の公共団体の関与が市民に対して安心感が生まれる。真に地域にとって魅力ある将来ビジョンとなっているか、その情理に基づくシナリオであることを確認し続けることが必要である。そこで、地域の中学生・高校生や、大学生、産学公の社会人など、異なる世代・立場のステークホルダーらと、地域の未来に関するワークショップなどを実施し、成果を発表していくなど、地域のビジョンとシナリオを熟議する場創り（中井 他、2018）が必要といえる。



図2 新地町における取組の複合化

3.3. 提言(3) 地域のエネルギー転換を行うためには、カーボンニュートラルだけではなく多面的な価値を勘案すべきである

地域において新しい技術や制度を導入するためには、当該技術だけでなく、技術に関連する社会システムや産業エコシステム、リテラシー、新しいものへの慣れ、といったことについて、十分な配慮が必要とされている。(Geels et al., 2017) 実際に、地域においては、カーボンニュートラルのためだけに新規なエネルギー関連技術を導入するという点については、一定の障壁があり、その他の、地域産業の強化や、利便性向上、医療・福祉、教育といった、様々な分野との複合的な取組であることを前提に、実証試験等を進めることが地域に受け入れられやすい (Kikuchi et al., 2020; 菊池 他, 2020; 五十嵐 他, 2020; 小原 他, 2018)。(図3) また、そのような多面的な活動は、それぞれ専門的であり、互いの波及効果が一般に分かりづらく、これを分かりやすい形に可視化して共有し、対話を促す仕掛けが必要である。例

例えば、地域産業や活動に関係する各種データの計測と集約、解釈と利用については、多様化する技術オプションの特性を把握（菊池 他、2020）しつつ、ライフサイクルアセスメントやマテリアルフロー分析、産業連関分析などの評価手法を用いたシステム設計を可能とする情報基盤が有効である（兼松 他、2022）。さらに、地域の中学校・高等学校における体験型学習に利用する（中井 他、2018;2019）など、再生可能エネルギーの導入に多様な多面的価値があることを意識し、大学等研究機関などが中心として活動することが重要といえる。加えて、このような取組があると、市民ファンドの活用のようなステークホルダーの主体的な関与というのが見込まれ、とくに再生可能エネルギーの導入には必要である。



図3 種子島における社会実装トライアル（松原 他、2022；東京大学未来社会協創推進本部、2021）

再生可能エネルギーの導入は、エネルギーの転換だけでなく、地域の産業や暮らし方へも影響を与えるが、それをまとめる主体（例えばタウンマネジメント）がないという実情があり、その成功例をつくり、相違点・共通点を意識しながら、それを水平展開していくことが必要である。とくに、再生可能エネルギーが導入されると産業も地理的に分散化される可能性がある。地域においては SDGs の推進や住民の幸福増進等の社会の根幹にかかわる事項が主の課題となりうるが、自然災害や感染症、そして、戦争のような外的攪乱要因に対して脆弱であるので、これらを解決・緩和できるような基盤が必要であり、再生可能エネルギーの導入をその強化につなげるべきである。このような観点から再生可能エネルギーの導入を促進することは、結果的に地域に多面的な価値を生み出す事となり、最終的には地域の魅力に繋がり、人口減少に歯止めをかけたたり移住者を増やしたりする事になる。

謝辞

本社会提言は著者らによる座談会（2022年3月11日開催）をもとに作成した。

本社会提言においては、環境再生保全機構 環境研究総合推進費（JPMEERF20192010, JPMEERF20213R01）、科学技術振興機構 COI-NEXT 共創の場形成支援プログラム（JPMJPF2003）、令和3年度環境経済の政策研究委託業務(多面的な価値指標による地域の持続的な社会シナリオの構築に関する研究)、日本学術振興会科学研究費助成事業（20K23360, 21K12336, 21K17919）の成果を含んでいる。また、東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座ならびに「イオン東大里山ラボ」（イオン環境財団

と未来ビジョン研究センターの共同研究) との共同プロジェクトの成果を含んでいる。

参考文献

- Chertow, M. R. (2000), Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy Environment*, 25(1), 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- European Commission, (2018) Bioeconomy, <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm> (4/11/2019)
- Fujii, S., Horie, N., Nakaibayashi, K., Kanematsu, Y., Kikuchi, Y., Nakagaki, T. (2019). Design of zeolite boiler in thermochemical energy storage and transport system utilizing unused heat from sugar mill. *Applied Energy*, 238, 561-571. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.104>
- Fukushima, Y., Kikuchi, Y., Kajikawa, Y., Kubota, M., Nakagaki, T., Matsukata, M., Kato, Y., Koyama, M. (2011), Tackling Power Outages in Japan: The Earthquake Compels a Swift Transformation of the Power Supply, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 44(6) 365-369. <https://doi.org/10.1252/jcej.11we094>
- Geels, F.W., Sovacool, B., Schwanen, T., and Sorrell, S. (2017), Sociotechnical transitions for deep decarbonization, *Science*, 357 (6357), 1242–1244. <https://doi.org/10.1126/science.aao3760>
- Goh, C.S., Aikawa, T., Ahl, A., Ito, K., Kayo, C., Kikuchi, Y., Takahashi, Y., Furubayashi, T., Nakata, T., Kanematsu, Y., Saito, O., Yamagata, Y. (2020) Rethinking sustainable bioenergy development in Japan: Decentralised system supported by local forestry biomass, *Sustainability Science*, 15, 1461-1471. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00734-4>
- 兵法彩、菊池康紀 (2021) 市町村産業連関表の作成・応用実態に基づく作表フローの構築、*日本 LCA 学会誌*、17(3), 174-192. <https://doi.org/10.3370/lca.17.174>
- 五十嵐悠、兼松祐一郎、菊池康紀 (2020)、地域における脱炭素化技術システムオプションの導入計画支援、*公共研究*、16(1), 40-52, <https://doi.org/10.20776/S18814859-16-1-P40>
- 稲垣憲治 (2020)、自治体新電力の現状と地域付加価値創造分析による内発的発展実証、*京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座ディスカッションペーパー No.18*
- 稲垣憲治、小川祐貴、諸富徹 (2021) 自治体新電力の現状と発展に向けた検討～74 自治体新電力調査を踏まえて～、*京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座ディスカッションペーパー No.37*
- International Energy Agency (2019), *World Energy Balances 2019*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview> (14/3/2022)
- International Energy Agency (2021), *World Energy Investment*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2021> (14/3/2022)
- Jarzebski, M.P., Elmqvist, T., Gasparatos, A., Fukushi, K., Eckersten, S., Haase, D. Goodness, J., Khoshkar, S., Saito, O., Takeuchi, K., Theorell, T., Dong, N., Kasuga, F., Watanabe, R., Sioen, G.B., Yokohari, M., Pu, J. (2021). Ageing and population shrinking: implications for sustainability in the urban century. *npj Urban Sustain* 1, 17. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00023-z>
- 兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀 (2017)、農林業地域における産業共生の計画プロセスのアクティビティモデルとデータモデル、*化学工学論文集*、43(5), 347-357. <https://doi.org/10.1252/kakorobunshu.43.347>
- 兼松祐一郎、藤井祥万、尾下優子、五十嵐悠、菊池康紀、地域のカーボンニュートラルに向けた技術オプションの導入を支援する情報基盤の開発、*公共研究*、In press

- Kanematsu, Y., Oosawa, K., Okubo, T., Kikuchi, Y. (2017) Designing the scale of a woody biomass CHP considering local forestry reformation: a case study of Tanegashima, Japan, *Applied Energy*, 198, 160-172, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.021>
- 環境省(2015) 平成 26 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討委託業務報告書、<https://www.env.go.jp/earth/report/h27-01/> (14/3/2022)
- 環境省 (2018) 地域循環共生圏 <https://www.env.go.jp/seisaku/list/kyoseiken/index.html> (14/3/2022)
- 環境省(2020)、再生可能エネルギー情報提供システム (REPOS) 、<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/31.html> (14/3/2022)
- 環境省 (2021) 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> (14/3/2022)
- 環境省 (2021) 地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について、<http://www.env.go.jp/press/109218.html> (14/3/2022)
- 経済産業省資源エネルギー庁 (2021) 、第 6 次エネルギー基本計画、https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/ (14/3/2022)
- 菊池康紀、五十嵐悠、兼松祐一郎、地域における再生可能エネルギーの主力化に向けた技術システム案の生成、*地球環境*、24(2) (2020)
- Kikuchi, Y., Kanematsu, Y., Ugo, M., Hamada, Y., Okubo, T. (2016) Industrial Symbiosis Centered on a Regional Cogeneration Power Plant Utilizing Available Local Resources: A Case Study of Tanegashima, *Journal of Industrial Ecology*, 20(2) 276-288. <https://doi.org/10.1111/jiec.12347> .
- Kikuchi, Y., Nakai, M., Kanematsu, Y., Nakai, M., Kanematsu, Y., Oosawa, K., Okubo, T., Oshita, Y., Fukushima, Y. (2020) Application of technology assessments to co-learning for regional transformation: a case study of biomass energy systems in Tanegashima. *Sustain Sci* 15, 1473–1494. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00801-1>
- 国土交通省 (2020) 、令和 2 年度国土交通白書、<https://www.mlit.go.jp/statistics/hakusyo.mlit.r2.html>
- 国立環境研究所 (2016) 、福島県新地町のスマート・ハイブリッドタウン構想、<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/60/column1.html> (14/3/2022)
- 古山通久 (2019a) 次世代エネルギー技術の最前線, *パリティ*, 34(1), 76-82
- 古山通久 (2019b) 蓄電池を援用した低コスト再エネ水素製造システムの経済的合理性: フェルミ推定の試行的適用, *えねるみくす*, 98, 255-261
- 松原宏、地下誠二 (編) (2022) 、日本の先進技術と地域の未来、東京大学出版 ISBN978-4-13-046136-8
- 内閣府 (2016) , 科学技術基本計画 <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html> (4/11/2019)
- 内閣府 (2022) , 国民生活に関する世論調査、<https://survey.gov-online.go.jp/r03/r03-life/index.html> (14/3/2022)
- 中井美和、栗島英明、倉阪秀史、菊池康紀 (2018) 、産学公の協創による柔軟な地域づくりへの挑戦、*環境経済・政策研究*、11(2), 65-69. https://doi.org/10.14927/reeps.11.2_65
- 中井美和、栗栖俊之、神園奉和、柿内康志、大久保達也、菊池康紀 (2019) , エネルギーの経験学習がリテラシーと選好に与える影響の分析～種子島の高校生を対象として～、*日本 LCA 学会誌*、15(4), 343-359. <https://doi.org/10.3370/lca.15.343>
- 農林水産省 (2021) 、新しい農村政策の在り方に関する検討会、https://www.maff.go.jp/j/study/nouson_kentokai/farm-village_meeting.html (14/3/2022)
- 小原聡、寺島義文、菊池康紀、福島康裕、安原貴臣、杉本明 (2018) 、サトウキビを原料とする砂糖・エタノール同時増産技術のパイロット実証、*化学工学論文集*、44(4) 260-270 (2018) <https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.260>
- Oosawa K., Kanematsu Y., Kikuchi Y. (2016): “Forestry and Wood Industry”, in “Energy Technology

Roadmaps of Japan: Future Energy Systems Based on Feasible Technologies Beyond 2030”

Kato Y., Koyama M., Fukushima Y., Nakagaki, T., Springer: Tokyo, 391-403.

尾下優子、兵法彩、大内田弘太郎、兼松祐一郎、福島康裕、菊池康紀 (2019)、技術導入による社会経済的影響の評価：種子島地域エネルギーシステムにおける産業連関分析の例、日本 LCA 学会誌、15(4), 360-376 <https://doi.org/10.3370/lca.15.360>

総務省(2019)、まち・ひと・しごと創生長期ビジョン（令和元年改訂版）、https://www.chisou.go.jp/sousei/mahishi_index.html (14/3/2022)

東京大学未来社会協創推進本部、「東大×SDGs: 先端知からみえてくる未来のカタチ」、山川出版社(2021) ISBN-13 : 978-4634151833

United Nations (2015) Sustainable Development Goals <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (4/11/2019)

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), (2015) The Paris Agreement, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (4/11/2019)