

課題名 2-1302 再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築

課題代表者名 本藤 祐樹（国立大学法人横浜国立大学 環境情報研究院 教授）

研究実施期間 平成25～27年度

累計予算額 64,833千円（うち平成27年度：21,611千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード エネルギー政策、再生可能エネルギー、持続可能性、地球温暖化対策、地域、ライフサイクル分析、産業連関表、意思決定支援、多基準評価、問題構造化

研究体制

- (1)再生可能エネルギー技術の価値評価に関する情報基盤の構築(国立大学法人横浜国立大学)
- (2)再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムの提案(独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構)

研究協力機関

独立行政法人労働政策研究・研修機構
スイス連邦工科大学チューリッヒ校

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

固定価格買取制度などにより、再生可能エネルギーの導入量は急速に増加しつつある。しかし、闇雲に導入量を増やすのではなく、各技術の特性を把握した上で、それが生み出す正負の価値と導入コストのバランスを十分に考慮して、長期的な視点に立って導入を進めることが、今後肝要となる。再生可能エネルギーの導入は目的ではなく、持続可能な社会の構築にむけた手段である。それ故に、再生可能エネルギーの導入が生み出す公共的な価値の最大化に向けた、合理的な導入政策が求められている。

太陽光発電や風力発電など各技術の環境価値に関してはライフサイクルアセスメント(LCA)などによって数多くの評価研究がなされてきた。また、社会経済価値の評価研究についてもLCA的な観点から雇用創出効果などを分析した研究例が散見されつつある。しかし現実の再生可能エネルギーの導入戦略や政策の立案において、既往研究の寄与は十分と言えない。その理由は第一に、これまでの技術評価研究は、個別技術ごとの評価であったり、環境価値だけに絞った評価であったりするためである。持続可能性という観点から、再生可能エネルギーが持つ異なる価値を多面的に、かつ様々な技術を同じ土俵で包括的に評価するためのフレームワークが求められる。第二に、地域特性を考慮した技術評価が不十分である。再生可能エネルギー技術は様々な地域に幅広く導入され、その効果は導入される地域特性と密接な関係にある。それ故に、技術の導入効果を、地域レベルできめ細やかに評価できることが望まれる。第三に、このような技術評価の結果(持続可能性情報)を再生可能エネルギー導入の意思決定に如何に反映させるかの検討はほとんどない。この先、分散型である再生可能エネルギーの導入に関しては、科学的な知見に基づく地域レベルでの新しい意思決定のあり方が必要になると考えられ、それに向けた検討が求められる。

2. 研究開発目的

本研究では、上述した背景のもとに、国ならびに地域における再生可能エネルギー技術導入に関する戦略・政策・施策の立案を支援する評価基盤を構築することを目的とする。この評価基盤は「客観的な情報基盤」と「人々の考え方(主観)を活用する意思決定支援システム」で構成される。

客観的な情報基盤に関しては、第一に、様々な再生可能エネルギー技術の多面的な価値を同じ土俵で包括的に評価するために、「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表(以下、再エネI/O表)」の開発を目指す。再エ

ネI/O表は、再生可能エネルギーを用いた発電技術のみならず熱生産技術も対象として、各技術の環境価値(温室効果ガス削減など)ならびに社会経済価値(雇用創出など)を包括的に評価できるフレームワークを提供する。また、地域レベルでの再生可能エネルギー導入の検討を支援する地域エネルギーデータベースのプロトタイプを作成する。第二に、再エネI/O表を用いて、各種再生可能エネルギー技術のライフサイクル環境・社会経済影響を評価するための手法を開発する。この開発手法の特長のひとつは、技術導入の影響を地域レベルできめ細やかに評価できることにある。

主観を活用する意思決定支援システムに関しては、情報基盤から得られる客観的な情報(温室効果ガス削減効果、雇用創出効果、導入ポテンシャルなど)と、地域の人々の主観という両者を活用した、再生可能エネルギーの導入戦略の立案に資する、グループ意思決定支援システムの提案を目指す。提案システムの特長のひとつは、問題の理解から意思決定を行うまでの流れの中で、客観的な情報をインプットすることに加えて、それらの情報を上手に活用できる仕組みを持っていることにある。

3. 研究開発の方法

(1)再生可能エネルギー技術の価値評価に関する情報基盤の構築(サブテーマ1)

サブテーマ(1)では、情報基盤として、再エネI/O表と地域エネルギーデータベース、ならびに、それらを用いてライフサイクルの視点から環境・社会経済影響を評価するための手法を開発した。加えて、今後の再生可能エネルギー政策の立案に資する知見を得るために、開発した手法に基づき事例分析を実施した。

1)再生可能エネルギー部門拡張産業連関表(再エネI/O表)と地域エネルギーデータベース

現在公表されている産業連関表は、再生可能エネルギー技術(以下、再エネ技術)に関連する部門が独立部門として扱われておらず、再エネ技術の導入による影響・効果の的確な分析・評価には不十分である。そこで、日本の最新の産業連関表(2011年表)を母体にして、文献調査やヒアリング調査などを通して必要データを収集し、再エネ関連部門を明示的に組み込むことによって、再エネI/O表を新たに開発した。その上で、開発した再エネI/O表を用いて各再エネ技術の経済波及効果を計測し、それらに特徴的な違いがあることを確認することで、再エネI/O表の有効性を確認した。さらに、再エネI/O表の作成を通して得られた再生可能エネルギーに関する情報を整理し、今後、再エネI/O表が公的に作成されることを念頭に、再エネ関連の統計の整備の方向性について検討した。

再生可能エネルギー技術導入の地域レベルでの検討においては、当該地域の再生可能エネルギーの導入ポテンシャルなどを把握する必要がある。それ故に、基礎自治体別のエネルギーデータベースの作成を視野に、日本の基礎自治体に多い中山間地域の一例として山梨県都留市を取り上げ、既存調査・研究の情報を可能な限り生かし、地域エネルギーデータベースを作成した。

2)再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響の評価手法

作成した再エネI/O表を用いて、第一に、国レベルで技術別にライフサイクル環境・社会経済影響の推計方法を確立し、実際にその方法に基づき再エネ技術のライフサイクル温室効果ガス排出量と雇用創出量を推計した。第二に、再エネ技術の導入がもたらす環境・社会経済影響の変化を地域別に評価する方法を開発し、バイオガス発電技術の雇用創出ポテンシャルを取り上げてケーススタディを実施した。第三に、再エネ技術が導入される地域によって、その影響や効果が異なることを定量的に示す手法を開発し、再生可能エネルギーを用いた住宅用給湯システムを事例として温室効果ガスの削減効果に関する分析を実施した。

(2)再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムの提案(サブテーマ2)

サブテーマ(2)では、再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムのプロトタイプを作成し、その有効性について社会実験を通して検証した。

1)プロトタイプの作成

意思決定を支援するための科学的方法(意思決定分析)をはじめとし、参加型テクノロジーアセスメントや討論型世論調査など関連する既往研究の調査ならびに欧州の先進事例に関する調査に基づき、地域における再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムを試作した。

2)プロトタイプの有効性の検証

山梨県都留市においてワークショップを行い、再生可能エネルギーの導入に係わる仮想的な問題に、作成したグループ意思決定支援システムのプロトタイプを適用することで、その有効性を検証した。有効性に関しては、「想定する効果が得られるか」という観点と「低コストで実施可能か」という観点から検討した。想定する効果が得られ

るか否かについては、主に、参加者の考え方や選好などがワークショップを通してどのように変化したかを統計的に分析することで明らかにした。

4. 結果及び考察

(1)再生可能エネルギー技術の価値評価に関する情報基盤の構築(サブテーマ1)

1)再生可能エネルギー部門拡張産業連関表(再エネI/O表)と地域エネルギーデータベース

客観的な情報基盤の核として開発された、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表(再エネI/O表)の概念図を図1に示す。再エネI/O表は、最新の公的なI/O表を基礎として、12種の再エネ発電技術と5種の熱生産技術のライフサイクル(設備製造、燃料製造、施設建設、施設運用、施設廃棄)に関連する59部門が新設されている。再エネI/O表の作成にあたっては、公表データ(各種統計資料や論文、報告書)と非公表の事業者データを組み合わせることで詳細な費用構成を推計する方法を用いることで、高い精度と信頼性を実現している。

次いで、再エネI/O表を用いて再エネ技術別にその導入に伴う経済波及効果を計測することで、再エネI/O表の有効性を確認した。図2に一例として、6種の再エネ発電設備の運用に伴い間接的に誘発される生産活動を示す。図2の凡例の数値は、各技術の施設運用(発電および維持管理)に伴う間接的な生産誘発効果を示している。同じ再エネ発電技術でも種類によってその間接的な経済誘発効果は0.053~1.242と大きく異なる。また、生産活動が誘発される産業部門も再エネ技術によって大きな差異があることが認められた。

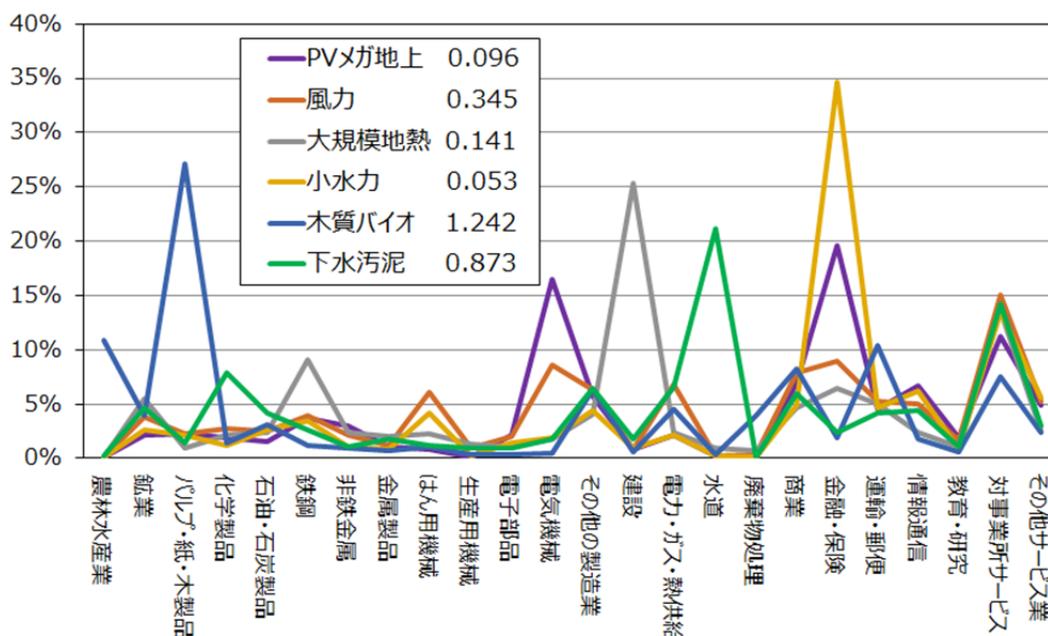
最後に、再エネI/O表の作成を通して得られた再生可能エネルギーに関する情報を整理したところ、発電に関しては一元的な情報源が存在しておらず、熱生産に関してはそもそも情報が少ない状況であった。また、再エネ発電・熱生産設備に特有の製品や部品の輸入に関する公開情報もほとんど得られなかった。今後、再エネに関する公的な統計を整備するために、設備の製造に関する情報は、国が製造事業者に対して投入調査(産業連関構造調査)を実施したり、関連業界団体が自主的にとりまとめたものを国が一元化したりすることなどが考えられる。また、施設の建設や運用に関する情報は、設置業者や事業主体による自治体への届け出制度と自治体から国への報告制度を組み合わせることで、集約することなどが考えられる。

		既存 394部門				再エネ・発電 新設41部門					再エネ・熱 新設18部門				最終 需要
		中間需要				[1-1]	[1-2]	[1-3]	[1-4]	[1-5]	[2-1]	[2-2]	[2-4]	[2-6]	
		1	2	...	394										
中間投入	部門1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1394}									f_1	
	部門2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2394}									f_2	
	⋮	⋮	⋮									⋮	
	部門394	x_{3941}	x_{3942}	...	x_{394394}									f_{394}	
	[1-1] 再エネ・発電「設備製造」新設4部門														
	[1-2] 再エネ・発電「施設建設」新設23部門														
	[1-3] 事業用電力(発電)分割5部門														
	[1-4] 再エネ・発電「運用」新設14部門														
	[1-5] 事業用電力(送配電)分割1部門														
	[2-1] 再エネ・熱「設備製造」新設2部門														
	[2-2] 再エネ・熱「施設建設」新設7部門														
	[2-4] 再エネ・熱「運用」新設7部門														
	[2-6] 再エネ・熱「燃料製造」新設1部門														
	粗付加価値	v_1	v_2	...	v_{394}										
国内生産額	x_1	x_2	...	x_{394}											

本研究で作成された2013年再エネI/O表(投入係数表)はインターネット上に公開しており、以下から入手可能である。

<http://www.hondo.ynu.ac.jp/renewables/>

図1 再エネI/O表の概念図



注：図中の数値は各技術の生産誘発係数(間接分)を示す。

図2 再エネ発電設備の運用に伴い間接的に誘発される生産活動の部門構成比

地域エネルギーデータベースに関しては、日本の基礎自治体に多い中山間地域の典型として山梨県都留市を取り上げ、実際に当該地域の供給と需要の両側面からデータベースを作成することで、供給と需要の両面から基礎自治体別エネルギーデータベースの作成は十分に可能であることを明らかにした。導入ポテンシャルに関しては既存情報の活用できることを確認し、不足している情報に関しては地理情報システム(GIS)を用いた推計手法を新たに提示し、実際に推計を試みた。

2) 再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響の評価

作成した再エネI/O表を用いて、再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響を評価する方法を開発し、いくつかのケーススタディを実施した。以下では、3種のケーススタディの結果を示す。

第一に、幅広い再エネ技術の環境・社会影響を同一フレームワークで評価可能という再エネI/O表の特長により、再エネ技術のCO₂削減効果や雇用創出効果などを横並びで比較分析することが出来るようになった。分析結果の一例として、技術別のライフサイクル雇用創出ポテンシャルを図3に示す。技術の違いによって雇用創出ポテンシャルは1.0～4.7人・年/GWhと大きな差異があることが明らかになった。木質バイオマス発電の運用時(燃料製造時を含む)の雇用量の多いことが特徴的である。発電燃料である木質チップの生産に伴うチップ製造業および林業での誘発生産額が大きいこと、加えて、これら産業が労働集約的であることに起因している。同様に、バイオガス発電も運用に伴う雇用量が多い。これは、燃料であるバイオガスの生産施設の運転、保守、修理に伴う誘発雇用量が大きいためである。逆に、太陽光発電など他の技術は、燃料を要しないため施設建設に伴う一時的な雇用創出量が相対的に大きい。しかし運用に伴う雇用量もゼロではなく、例えば、大規模太陽光発電は、日常の保守・点検や修繕、交換部品製造など継続的な雇用が生み出され、全雇用創出量の40%近くを占めている。ここでは雇用効果の結果について紹介したが、各技術が持つ様々な効果や影響を定量的に把握することで、「効果ベース」で技術導入を支援する政策の立案に寄与する。

第二に、従来技術を再エネ技術で置き換えることによる環境・社会経済影響を地域別に評価できる手法を開発した。この手法は、導入影響を地域別に知ることができるという特長に加えて、容易に評価が可能という強みを持つ。汎用的な利用を念頭に開発した本手法による評価結果を、地域間の取引に関する情報量が多いが作成のコストが非常に大きい地域間産業連関表を用いた評価結果と比較することで、両者の差が小さく、本手法が妥当であることも確認した。ケーススタディとして、北海道鹿追町におけるメタン発酵ガス化発電技術の導入に伴いライフサイクル全体で創出される雇用を地域別に推計し、導入地域、北海道内、国内、海外において、どのような

雇用がどれくらい生まれるかを分析した。技術導入による全雇用創出量の33%が導入地域で、46%が道内で生まれ、海外に漏れるのは6%にとどまることが明らかになった。他方、太陽光や風力発電は、ライフサイクルで誘発される全雇用量の30～35%が海外で誘発される。このような影響・効果の空間的情報は、例えば、地域活性化を重視した再エネ導入に向けた政策の検討に資する。

第三に、再エネ技術の効果を最大限に引き出すために、再エネ技術を導入する地域の特性(気象条件など)を考慮して、その導入がもたらすライフサイクル環境・社会経済影響を評価する手法を開発した。ケーススタディとして、発電技術と熱生産技術を同一フレームワークで取り扱えるという再エネI/O表の特長を生かし、太陽光発電とヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システム(以下、PV&HP給湯システム)と太陽熱給湯システムを取り上げ、導入地域の違いによるCO₂削減効果について分析した(図4)。東京では両システムの削減効果はほぼ同等であるが、寒冷な札幌においては太陽熱給湯システムの削減効果が高い。寒冷地域ではヒートポンプ給湯器の効率が低く、系統電力の消費量が多くなるためPV&HP給湯システムの方が不利となる。逆に温暖な那覇ではPV&HP給湯システムの方が優位である。つまり、地域に適する再エネ技術は、地域特性によって異なる。また、温暖な那覇はそもそも給湯需要が札幌や東京と比べて小さく、再エネ技術の導入効果自体があまり大きくない。つまり、同一の再エネ技術であっても地域特性(気象条件や電源構成など)によってその効果は大きく異なる。このように、本研究で開発した手法を用いることで、技術特性と地域特性の両方を考慮したきめ細やかな評価が可能となり、より効果的な再エネ導入政策を立案するための情報を提供できる。

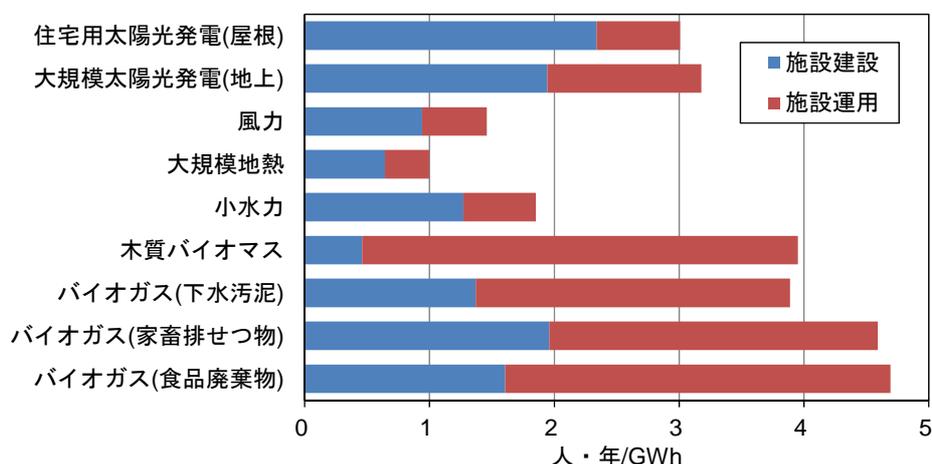


図3 再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャル

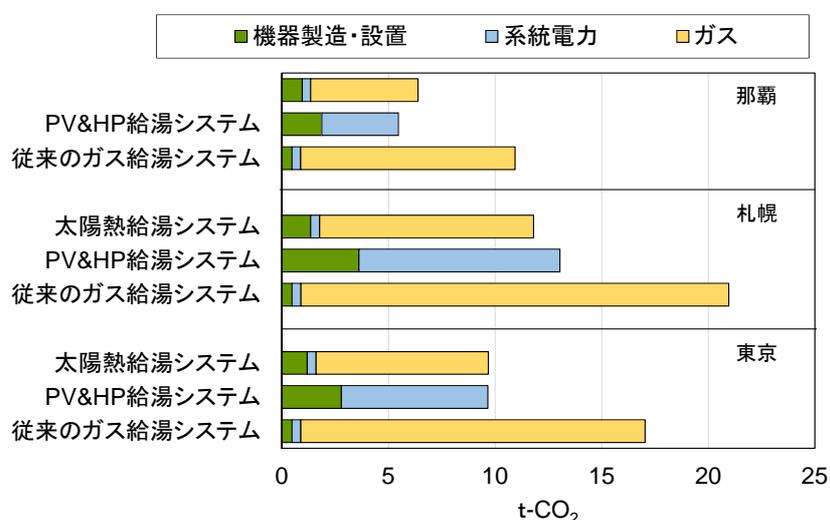


図4 住宅用給湯システムのライフサイクルCO₂排出量

(2)再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムの提案(サブテーマ2)

1)プロトタイプ作成

再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムを試作した。このプロトタイプは大きく、「準備するプロセス」と「選択するプロセス」の2段階で構成される。1段目の「準備するプロセス」は、再生可能エネルギーの導入に係わる問題を正しく把握した上で、その導入に向けた複数の代替案(選択肢)を作り出し、代替案の選択における評価基準を決めるプロセスである。2段目の「選択するプロセス」は、複数の導入案がもたらす結果を見極めながら、トレードオフ(ある評価基準を改善しようとする、他の評価基準を悪化せざるを得ない状況)の妥協点を探り出し、実際に代替案を選択するプロセスである。結果の見極めや妥協点の探し出しにおいて、サブテーマ(1)で構築した情報基盤から提供される客観的な持続可能性情報(温室効果ガス削減効果、雇用創出効果、発電コスト)が活用される。

2)プロトタイプの有効性の検証

試作したグループ意思決定支援システムの有効性を二段階に分けて検証した。

一段目の「準備するプロセス」の検証のために、地方自治体における再生可能エネルギー導入ビジョンの立案を事例としたワークショップを実施した。その結果、比較検討される代替案(プロジェクト、シナリオ等に相当)ならびに評価基準を体系的に作成する方法(すなわち問題構造化手法)の有効性が確認された。まず、問題構造化手法を用いることで、様々な見方を踏まえたグループとしての評価基準が作成できるとともに、当初予期しなかった新しい代替案(プロジェクト)をグループとして作成することができた。次いで、質問紙を用いて、問題構造化手法は有用か否かについて参加者に評価してもらったところ、9割が肯定的な回答をした。この「有用である」という意味を分析した結果、参加者は、問題となっている対象を改めて考え直したり、異なる視点から見直したり出来るという点で有用であると認識していた。

二段目の「選択するプロセス」の検証のために、6種の再生可能エネルギー発電技術(太陽光、風力、地熱、小水力、木質バイオマス、バイオガス)に対する選好順位の決定を問題として取り上げたワークショップを実施した。サブテーマ(1)の成果である各種再生可能エネルギーの技術特性に関する情報(すなわち持続可能性情報)の提供、ならびに、その情報の的確な活用を手助けする手法(すなわち意思決定支援手法)の利用が、参加者の選好順位に与える影響について分析した。その結果、参加者個々の選好順位は情報の提供と支援手法の利用によって大きく変化すること、さらに、その個々の変化がグループとして同じ方向へ収束していくことが明らかになった。図5から後者の様子が見て取れる。この図は、参加者のグループとしての整合性が、ステップの進展に伴いどのように変化したかを示す。縦軸の数値が大きいほど、グループ内における選好順位の整合性が高いこと(すなわち参加者間の潜在的なコンフリクトが小さいこと)を意味する。ステップを踏むに従って、グループ内における選好順位の整合性が高まっている。例えば、情報の提供(ステップ0→1)によって参加者個人の選好順位が変化した、その変化の方向は、グループ内の整合性が高まる方向、つまり潜在的なコンフリクトが減少する方向であった。特に、情報支援手法の利用(ステップ2→3)が整合性を大きく向上させており、グループとしての調整(話し合い等)を行わないにも関わらず整合性が高まっていることが注目される。

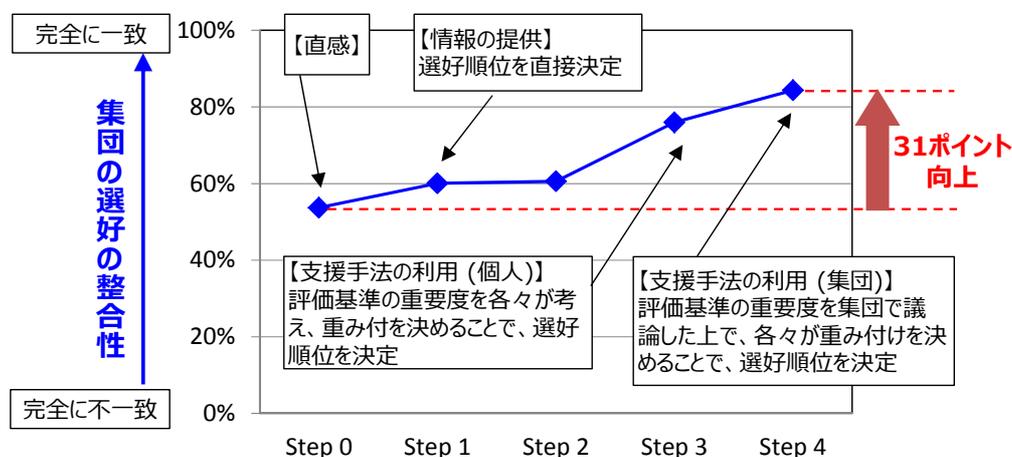


図5 集団としての選好の整合性の変化

なお、提案システムの検証のために実施したワークショップは実質2日間ほどであり、より大規模な会議を開催し、長期にわたり対話を行う類似の方法に比べて低コストであると判断される。このことも考え合わせると、再生可能エネルギーの導入に関わる意思決定において、提案システムは、「不必要なコンフリクト」を「低コスト」で低減できる可能性がある。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

第一に、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を作成し、再生可能エネルギー技術・政策の環境・社会経済影響を包括的に評価できるフレームワークを提供した。発電技術のみならず熱生産技術も対象としている点、また400部門以上の詳細な産業連関表に幅広い再生可能エネルギー技術の関連部門を組み込んでいる点は、世界的に見ても初の試みである。

第二に、その作成した再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いて、各種再生可能エネルギー技術の導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響を明らかにした。特に、幅広い再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャルを、同一のフレームワークのもと横並びで推計した研究は世界的にも希有であり意義の高い成果である。

第三に、再生可能エネルギー技術の導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響を、技術特性に加えて地域特性を反映して評価する手法を開発した。この手法は、技術特性と地域特性の両者を反映して影響を推計できること、ならびに、推計の容易さと精緻さのバランスを考慮し汎用的な利用を可能にしていること、に特長を持つ。

第四に、人々の再生可能エネルギー技術の選択において、各技術の特性（GHG排出、雇用創出、コスト）に関する定量情報の提示、ならびに意思決定支援手法の利用が、グループ内の潜在的なコンフリクトを低コストで低減できる可能性を示した。再生可能エネルギー導入に関して意思決定を分析し支援する方法を提示した例は世界的に見ても少なく、さらに再エネI/O表などから得られる定量情報と意思決定とを結びつけた研究はほとんどなく、新しい科学的な知見を提供するものである。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

第一に、環境省の「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会（平成25～26年度、地球環境局・総務課・低炭素社会推進室）」において、当該検討会の委員として、本研究で得られた再生可能エネルギーの導入に伴う効果・影響に関する最新の知見をインプットすることで貢献した。

第二に、政策立案に関与するステークホルダーへのインプットという観点からは、自由民主党の政務調査会の資源・エネルギー戦略調査会において、本研究の成果の一部について講演した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

第一に、本研究で開発された、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を核に据えた情報基盤は、国の再エネ導入に関する合理的な戦略・政策・制度の立案に寄与することが期待される。例えば、地域特性と技術特性の違いを考慮して効果の高い（CO₂削減や雇用創出など）再エネ戦略・政策を策定することや、費用対効果の高い再エネ事業を特定して支援することなどに活用される。さらに、この開発手法をユーザーフレンドリーなツール（例えばエクセルなどで簡単に評価できるツール）とすることで、環境行政の現場での、より有効な活用が見込まれる。

第二に、国だけではなく地方自治体の環境行政においても、本研究で開発した情報基盤は効力を持つと期待される。例えば、自らの地域特性を生かした効果的な再エネ事業を見出すことや、自地域における再エネ事業がもたらす環境価値や社会経済価値を把握することが可能となり、独自性を持った再エネ政策・施策の立案に貢献すると考えられる。また、そのような貢献をより確固たるものにするために、国の環境行政と同様、ユーザーフレンドリーなツール化が有効である。

第三に、情報基盤の構築を通して、再エネ技術に関する統計の不備を具体的に指摘し、今後の公的な統計整備の方向性を示した。特に、公的な産業連関表（次に発行される2015年表）において再エネ部門の創設が検討されつつあり、今後、その検討の場に本研究で得られた知見を提供できることが見込まれる。加えて、環境省で別途検討を進めている環境分野分析用産業連関表と組み合わせることで、環境政策に対して、さらに有効な知見

を提供する分析が可能となる。

第四に、本研究で提案するグループ意思決定支援システムは、「地域の独自性」を生かした地域エネルギー戦略(ビジョン)を作成できるとともに、その決定における「不必要なコンフリクト」を「低コスト」で低減できる可能性を持つ。分散型である再エネの導入に関しては、将来的に、科学的な知見に基づく地域レベルでの新しい意思決定のあり方が必要になると考えられる。また近いところでは、COP21のパリ協定を受けて、各自治体で温室効果ガス削減にむけたビジョンが作成されることが考えられる。このような場面での活用が期待される。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 鶴谷昌洋、兵法彩、工藤祐揮、本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 92(10), 985-996 (2013).
「廃棄物系バイオマスの利活用に伴う環境影響—三浦バイオマスセンターを事例として—」
- 2) 兵法彩、本藤祐樹、工藤祐揮：日本LCA学会誌, 10(1), 13-24 (2014).
「バイオマスプラント建設のGHG排出量推計に向けた産業連関表の活用」
- 3) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：日本エネルギー学会誌, 94(2), 159-169 (2015).
「地域別の雇用変化に着目したバイオマス事業のソーシャルライフサイクル評価」
- 4) Shunichi Hienuki, Yuki Kudoh and Hiroki Hondo: The Case of Japan, Journal of Cleaner Production, 93, 203-212 (2015).
“Life Cycle Employment Effect of Geothermal Power Generation Using an Extended Input-Output Model”
- 5) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：日本エネルギー学会誌, 94(12), 1397-1413 (2015).
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用」
- 6) 門倉宏子、本藤祐樹：日本LCA学会誌, 12(2), 97-105 (2016).
「家庭用太陽熱給湯器のエネルギー収支とライフサイクルCO₂排出量」
- 7) Yue Moriizumi and Hiroki Hondo: Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2015.0569, 1-8 (2015)
“Employment effects of renewable energy technologies: a life-cycle approach”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 本藤祐樹、森泉由恵、中野諭：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「再生可能エネルギー産業連関モデルの開発」
- 2) 林清忠：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「グループ意思決定分析によるエネルギー選択支援の可能性—再生可能エネルギーへの転換を念頭においた包括的サーベイ」
- 3) 森泉由恵、本藤祐樹、稗貫峻一：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「地域における効果的な太陽光発電の導入に向けた技術評価ツールの開発」
- 4) 稗貫峻一、本藤祐樹、工藤祐揮：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「地域産業連関モデルに基づいた再生可能エネルギー技術導入が中山間地域にもたらす影響分析」
- 5) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「家畜排せつ物の利活用を事例とした地域バイオマス事業の環境・社会経済影響評価」
- 6) 本藤祐樹、森泉由恵、中野諭、稗貫峻一、兵法彩：第23回日本エネルギー学会年次大会(2014)
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成—発電技術を対象に—」
- 7) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：第23回日本エネルギー学会年次大会(2014)
「地域の状況に適した太陽光発電システム選択のための産業連関表の開発」
- 8) 稗貫峻一、本藤祐樹、中野諭：第23回日本エネルギー学会年次大会(2014)
「再生可能エネルギー技術評価のための国/県産業連関表の効果的な利用」

- 9) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第23回日本エネルギー学会年次大会（2014）
「家畜排せつ物由来のバイオガスシステム導入が地域内外に及ぼす影響」
- 10) 山本亮、佐藤裕一、吉田聡、佐土原聡：2014年度日本建築学会大会学術講演会（2014）
「環境工学協働による地球環境対応型都市づくりに関する体系的な研究 その30：都留市における湧水・用水活用ヒートポンプの導入効果に関する研究」
- 11) Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi and Aya Heiho: The LCA XIV International Conference, San Francisco, USA, (2014)
“Group decision support integrated with life cycle assessment: a study for generating regional energy strategies”
- 12) Shunichi Hienuki, Yuki Kudoh and Hiroki Hondo: The 11th International Conference on EcoBalance (2014)
“Scenario analysis on the future generation mix in Japan using input-output tables”
- 13) Aya Heiho, Hiroki Hondo and Yue Moriizumi: The 11th International Conference on EcoBalance (2014)
“Benefits of biogas projects from local and global perspectives”
- 14) 中野諭、本藤祐樹、森泉由恵、稗貫峻一、兵法彩：環太平洋産業連関分析学会第25回大会（2014）
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成と応用：下水汚泥バイオマス発電」
- 15) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵、中野諭、伊藤亮太：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2014）
「複数のバイオマス発電技術に着目した再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成」
- 16) 門倉宏子、本藤祐樹：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2014）
- 17) 林清忠、本藤祐樹、森泉由恵、兵法彩、伊藤亮太：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「再生可能エネルギーに対する選好構築過程：持続可能性情報と決定支援手法が与える影響の解明」
- 18) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭、兵法彩、乗松義弥、山下達也、伊藤亮太：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「環境・社会・経済的価値評価のための再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発」
- 19) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵、中野諭：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「産業連関表を用いたバイオガス発電技術のライフサイクルGHG分析」
- 20) 門倉宏子、本藤祐樹：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「家庭給湯用の太陽熱利用システムのライフサイクルエクセルギー分析」
- 21) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「再生可能エネルギー技術の雇用創出ポテンシャル」
- 22) 稗貫峻一、本藤祐樹、中野諭：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「再生可能エネルギーの導入が地域内外にもたらす社会経済影響」
- 23) 乗松義弥、本藤祐樹、森泉由恵、稗貫峻一：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「地熱発電のライフサイクルGHG排出分析」
- 24) 伊藤亮太、本藤祐樹、森泉由恵、兵法彩：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「木質バイオマス発電の地域別CO₂削減ポテンシャル」
- 25) 佐藤裕一、佐土原聡：2015年度日本建築学会大会学術講演会（2015）
「地球環境未来都市研究 その13 都留市木質バイオマスエネルギーポテンシャルの把握」
- 26) Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi, Aya Heiho and Ryota Itoh: The LCA XV International Conference, Vancouver, Canada, (2015)
“Preference construction processes for renewable energies: Assessing influence of sustainability information and decision support methods”
- 27) 林清忠、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「問題構造化手法が地方公共団体の地域エネルギー戦略策定に果たす役割」
- 27) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「効果的なバイオガス事業の選択に向けた環境特性評価ツールの作成」
- 29) 乗松義弥、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いた地熱発電のライフサイクルCO₂排出分析」
- 30) 清水恭亮、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）

「太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析—CO₂削減の観点から—」

31) 末永亮太、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）

「日本における地中熱ヒートポンプのCO₂削減ポテンシャル評価」

7. 研究者略歴

課題代表者：本藤 祐樹

京都大学 大学院エネルギー科学研究科修了、博士（エネルギー科学）、現在、横浜国立大学
大学院環境情報研究院 教授

研究分担者

1) 佐土原 聡

早稲田大学 大学院理工学研究科修了、工学博士、現在、横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院 教授

2) 林 清忠

岐阜大学 大学院農学研究科修了、博士（農学）、現在、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 上席研究員

2-1302 再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築

(1) 再生可能エネルギー技術の価値評価に関する情報基盤の構築

国立大学法人横浜国立大学

環境情報研究院

都市イノベーション研究院

本藤 祐樹

佐土原 聡

<研究協力者>

国立大学法人横浜国立大学 環境情報研究院

森泉 由恵

独立行政法人労働政策研究・研修機構

中野 諭

平成25(開始年度)～27年度累計予算額：55,105千円（うち平成27年度：18,042千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

再生可能エネルギー技術の導入は、温室効果ガスの削減の環境価値だけではなく、雇用創出や新産業創出などの社会経済価値が期待されている。闇雲に導入量を増やすのではなく、各技術の特性を把握した上で、それが生み出す正負の価値と導入コストのバランスを十分に考慮して、長期的な視点に立って導入を進めることが肝要である。本研究（サブテーマ1）では、再生可能エネルギー技術の環境・社会経済面における影響や効果をライフサイクルの視点から分析・評価するための客観的な情報基盤を構築することを目的とする。

本研究（サブテーマ1）では第一に、様々な再生可能エネルギー技術を同じ土俵で包括的に評価できる「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」を作成した。「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」は、再生可能エネルギーを用いた発電技術のみならず熱供給技術も対象として、17種の再生可能エネルギー技術の環境価値（温室効果ガス削減など）ならびに社会経済価値（雇用創出など）を包括的に評価できるフレームワークを提供することに特徴を持つ。第二に、その「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」を用いて、各種再生可能エネルギー技術のライフサイクル環境・社会経済影響を評価するための手法を開発した。この開発手法の特徴は、再生可能エネルギー技術の導入影響を地域レベルで容易に評価できることにある。一例として、開発手法を用いて再生可能エネルギー技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャルを推計した結果、誘発される雇用の量や質は各技術によって大きく異なることが認められた。さらに、雇用創出を地域別に分析したところ、例えば北海道における廃棄物系バイオガス発電技術の導入により創出される雇用の約8割が道内で生じることが明らかになった。このように、技術特性と地域特性の両方を考慮することで、再生可能エネルギー技術の導入がもたらす影響や効果をよりの確かつ精緻に把握することが可能になった。

[キーワード]

再生可能エネルギー、エネルギー政策、産業連関表、ライフサイクル分析、地域

1. はじめに

再生可能エネルギー技術の導入は、温室効果ガスの削減の環境価値だけではなく、雇用創出や新産業創出などの社会経済価値が期待されている。加えて福島原発事故を契機に再生可能エネルギー技術には強い期待が寄せられている。しかし、闇雲に導入量を増やすのではなく、各技術の特性を把握した上で、それが生み出す正負の価値と導入コストのバランスを十分に考慮して、長期的な視点に立って導入を進めることが肝要である。再生可能エネルギーの導入は目的ではなく、持続可能な社会の構築にむけた手段である。環境と経済の好循環を可能とする、再生可能エネルギー技術の合理的な導入戦略が求められている。

太陽光発電や風力発電など各技術の環境価値に関してはライフサイクルアセスメント（LCA）などによって数多くの評価^{1)~5)}がなされてきた。また、社会経済価値の評価研究に関してはLCA的な観点から雇用創出効果を分析した研究^{6)~10)}が散見されつつある。しかし、現実の再生可能エネルギーの導入戦略や政策の立案においては、既往研究の寄与は十分と言えない。第一に、これまでの技術評価研究は、個別技術ごとの評価であったり、環境価値だけに絞った評価であったりする。再生可能エネルギーが持つ異なる価値を多面的に、かつ様々な技術を同じ土俵で包括的に評価するための手法論やデータベースが望まれる。第二に、地域特性を考慮した技術評価が不十分である。再生可能エネルギー技術は様々な地域に導入されるため、その技術特性は導入される地域特性に依存する。それ故に各地域の異なる特性を反映した評価が求められる。

2. 研究開発目的

上述した背景のもとに、サブテーマ1においては、再生可能エネルギー技術の環境面・社会経済面における影響や効果をライフサイクルの視点から分析・評価するための客観的な情報基盤を構築することを目的とする。

この目的を達成するために、第一に、様々な再生可能エネルギー技術を同じ土俵で包括的に評価できる「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」を作成することとした。本研究で開発する「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」は、再生可能エネルギーを用いた発電技術のみならず熱供給技術も対象として、各技術の環境価値（温室効果ガス削減など）ならびに社会経済価値（雇用創出など）を包括的に評価できるフレームワークを提供できることに特徴を持つ。第二に、その「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」を用いて、各種再生可能エネルギー技術のライフサイクル環境・社会経済影響を評価するための手法を開発することとした。この開発手法の特徴は、地域レベルで再生可能エネルギー技術の評価を可能としていることにある。

なお、サブテーマ1にて開発された情報基盤から得られた情報は、サブテーマ2において実施された「再生可能エネルギーを用いた発電技術の選択に情報提供が与える影響」に関する分析において用いられた。

3. 研究開発方法

(1) 効果的な情報基盤作成に向けた調査

再生可能エネルギー技術の地域レベルでの分析や評価にも効果的な情報基盤を作成するためには、自治体における再生可能エネルギー（以下、再エネ）の導入に向けた考え方、導入政策・施策、意思決定の現状などについて把握する必要がある。それ故に、情報基盤の作成に先立ち、表(1)-1に示されるように、再エネ導入において先進的取り組みを行っている7自治体に対しヒアリング調査を実施し、その調査結果に基づき、地域における再エネ導入に資する客観的情報のあり方について検討した。

表(1)-1 自治体における再生可能エネルギー導入に関する調査の概要

対象自治体	調査項目
北海道河東郡士幌町 北海道河東郡鹿追町 北海道足寄郡足寄町 北海道野付郡別海町 北海道伊達市 長野県飯田市 滋賀県	① 地域エネルギー政策に対する自治体の基本的な考え方について ② 再生可能エネルギー導入の評価について ③ 地域エネルギー政策における住民参加について ④ 意思決定場面での情報提供の方法について

(2) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発

新たに構築する情報基盤の核として「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」（以下、再エネ I/O 表）を開発した。現在公表されている産業連関表は、再生可能エネルギー技術（以下、再エネ技術）に関連する部門が独立部門として扱われておらず、再エネ技術の導入による影響・効果の的確な分析・評価には不十分である。そこで、最新の日本の産業連関表（2011 年表）¹²⁾を母体にして、文献調査やヒアリング調査などに基づき再エネ関連部門を明示的に組み込むことによって、「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表」（以下、再エネ I/O 表）を新たに開発した。

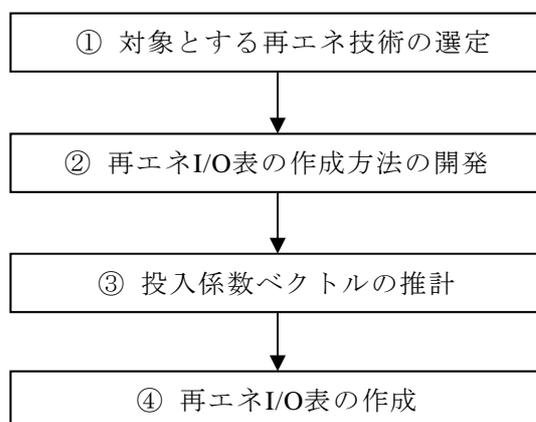
その上で、開発した再エネ I/O 表を用いて各再エネ技術の経済波及効果を計測し、各技術の導入がもたらす経済波及効果に特徴的な違いがあることを確認することで、再エネ I/O 表の有効性を明らかにした。

加えて、再エネ I/O 表の作成を通して得られた知見に基づき、今後、再エネ I/O 表が公的に作成されることを念頭に、再エネ関連の統計の整備の方向性について検討した。

1) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成方法の開発

本研究では、図(1)-1に示す手順に従って再エネI/O表を開発した。まず、①将来的な普及可能性について定性的に評価し、再エネI/O表に取り込む再エネ技術を選定した。次に、②文献調査やヒアリング調査などに基づきデータ入手可能性を検討の上、再エネ技術の投入係数ベクトルを推計

し、再エネI/O表を作成する方法を開発した。その上で、③開発した方法を用いて、文献調査やヒアリング調査などにに基づき、選定した再エネ技術の投入係数ベクトルを実際に推計した。最後に、④作成した各投入係数ベクトルを最新の日本の産業連関表（2011年表）に組み込み、再エネI/O表を作成した。



図(1)-1 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成手順

図(1)-2に作成された再エネI/O表の概念図を示す。既存の産業連関表に、再エネ技術に関連する部門（燃料製造、設備製造、施設建設、施設運用、施設廃棄）を中間投入・中間需要部門のベクトルとして新たに組み込むことで、再エネI/O表を作成した。

	中間投入部門	中間投入部門 (再エネ部門)	最終需要 部門	国内 生産額
中間需要部門	【既存部門】	【新設部門】		
中間需要部門 (再エネ部門)	【新設部門】			
粗付加価値部門				
国内生産額				

図(1)-2 再エネI/O表の概念図

2) 開発した再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の有効性の確認

作成した再エネI/O表を用いて各再エネ技術の生産誘発係数を計測することで、再エネI/O表の有効性を検証した。生産誘発係数 (O_j) は、経済波及効果を表す指標の1つであり、式(1)-1によって算出される。

$$O_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad \text{式(1)-1}$$

ここで、 b_{ij} は、式(1)-2で求められるレオンチェフ逆行列 \mathbf{B} の行列要素である。

$$\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad \text{式(1)-2}$$

ただし、 \mathbf{I} は単位行列、 \mathbf{A} は2013年の生産技術を表章した投入係数行列（行列要素である a_{ij} は、 $a_{ij} = x_{ij} / X_j$ で定義される）である。レオンチェフ逆行列の第 j 列は、部門 j に1単位の需要が生じた場合に直接・間接に誘発される各部門の生産額を示す。よって、生産誘発係数 O_j が2.5であれば、1億円の投資に対して、直接効果として1億円、間接効果として1.5億円の生産が誘発されることを意味する。

以上のように各再エネ技術に対して経済波及効果を推計し、その差異を示すことで、再エネI/O表の有効性を明らかにした。

3) 再生可能エネルギー技術に係わる公的な統計データ整備の方向性の提示

再エネI/O表の作成を通して得られた知見に基づき、再エネ技術に関する公的な統計データの整備のあり方について検討した。

第一に、再エネI/O表を作成するために収集した様々な統計を含む各種文献を整理し、どこにどのような情報があるかを明らかにした上で、今後の統計データ整備のあり方について提案をした。第二に、総務省が中心となって作成する公的な産業連関表において、再エネ技術に関連する部門を創設するという観点から、今後検討すべき点を提示した。

(3) 地域エネルギーデータベースの作成

地域レベルでの再生可能エネルギー技術の導入戦略を検討するためには、当該地域の再生可能エネルギーの導入ポテンシャルなどの地域特性を把握する必要がある。それ故に、本研究では、基礎自治体別のエネルギーデータベースの作成について検討するべく、日本の基礎自治体に多い中山間地域の一例として山梨県都留市を取り上げ、地域エネルギーデータベースを作成した。

1) 地域の再エネ導入ポテンシャルの推計

地域エネルギーデータベースにおける供給側の情報として、再エネの導入ポテンシャルのデータを整備した。

第一に、基礎自治体別の再エネ導入ポテンシャルに関する既存情報について調査し、山梨県都留市における導入ポテンシャルについて整理した。第二に、既存情報では得られなかった、①用水を用いた小水力発電ポテンシャル、②湧水・用水の熱利用ポテンシャル、③木質バイオマス（森林資源全体）のエネルギーポテンシャルについて、GIS（地理情報システム）を活用した推計方法を提案し、その方法にしたがって実際に都留市における導入ポテンシャルを推計した。

2) 地域におけるエネルギー需要空間分布の推計

地域エネルギーデータベースにおける需要側の情報として、GISを用いたエネルギー需要の空間分布を推計する方法を確立し、実際に山梨県都留市における住宅のエネルギー需要の空間分布を推計した。

(4) 再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響の評価手法の開発

作成した再エネI/O表を用いて、第一に、国レベルで技術別にライフサイクル環境・社会経済影響の推計手法を確立し、その手法に基づき再エネ技術のライフサイクル温室効果ガス排出量と雇用創出量を推計した。第二に、再エネ技術の導入がもたらす環境・社会経済影響の変化を地域別に評価する手法を開発し、その手法を用いてバイオガス発電技術の雇用創出効果に関するケーススタディを実施した。第三に、再エネ技術が導入される地域によって、その影響や効果が異なることを定量的に示す手法を開発し、導入地域に依存して温室効果ガスの削減効果が異なることを示した。

1) 技術別ライフサイクル環境・社会経済影響

再エネ技術の導入に伴うライフサイクルCO₂排出量（GHG）と雇用量を技術別に推計した。以下に、再エネ発電技術の雇用創出ポテンシャルを例に推計方法について述べる。

(a) ライフサイクル雇用創出ポテンシャルの推計

再エネ発電技術の導入に伴い生み出される1GWhあたりのライフサイクル雇用量は式(1)-3に基づき推計される。

$$\text{ライフサイクル雇用原単位 (人・日/GWh)} = \frac{L_p + L_c + L_o + L_d + L_f}{Q} \quad \text{式(1)-3}$$

ここで L_p 、 L_c 、 L_o 、 L_d 、 L_f は、それぞれ、設備製造、建設、運用、廃棄、燃料製造段階における雇用量（人・日）を示す。また、 Q は発電期間中における総発電量（GWh）である。各段階における雇用量（ L_i ）については、式(1)-4に基づき推計される。

$$L = I(I - A)^{-1}F \quad \text{式 (1)-4}$$

ここで、 L ：雇用係数ベクトル、 I ：単位行列、 A ：投入係数行列、 F ：最終需要ベクトルを示す。

例えば、設備製造段階における雇用量 (L_p) は、設備の総費用を式(1)-4の最終需要ベクトルとして与えることで、設備製造に伴い直接間接に誘発される雇用量を推計することが出来る。

なお、投入係数行列の作成については既に述べたが、誘発雇用量を求めるためには、雇用係数行列 (I) を作成する必要がある。以下に雇用係数の推計方法について述べる。

(b) 雇用係数の推計

雇用係数は、各部門の1単位あたりの生産に必要な労働力投入量を表す数値であり、各部門の就業者数（あるいは雇用者数）を、当該部門の国内生産額で除することで求められる。労働力投入量は、「人・日」または「人・年」で表される。新設部門の雇用係数は、「人・日」で求められる場合と、「人・年」で求められる場合にわけて推計した。

「人・日」で算出するのは、日給計算によって労務費が計上されている場合であり、代表的な例として建設部門における建設工事、運用部門における修繕工事での雇用があげられる。この場合は、工事見積書に計上されている労務費を、建設年における工種ごとの労務単価（円/人・日）で割って雇用者数（人・日）を算出した。雇用者数（人・日）は、該当する業種の年間労働日数を掛け合わせることで、「人・年」に換算することができる。

「人・年」で算出するのは、年収によって労務費が計上されている場合であり、機器製造部門や運用部門、燃料製造部門において年間を通じた継続的な雇用である。この場合は、計上されている人件費を、データ年における該当業種の平均年収（円/人・年）で割ることで雇用者数（人・年）を求めた。

上記の方法にしたがって求めた労働力投入量を、各部門の総生産額で除して雇用係数を算出した。既存部門の雇用係数は、既存の産業連関表の付帯表である雇用量の従業者数から求めた。

2) 地域影響に着目したライフサイクル環境・社会経済影響

再エネ技術の導入に伴う環境・社会経済影響の「変化」を「地域別」に評価する方法を開発し、ケーススタディを実施した。加えて、開発した評価手法の妥当性について検討した。以下では、雇用創出ポテンシャルを例にして、再エネ導入がもたらすライフサイクルにわたる影響の変化を地域別に評価する方法を述べる。

(a) 地域別の雇用創出ポテンシャルの推計

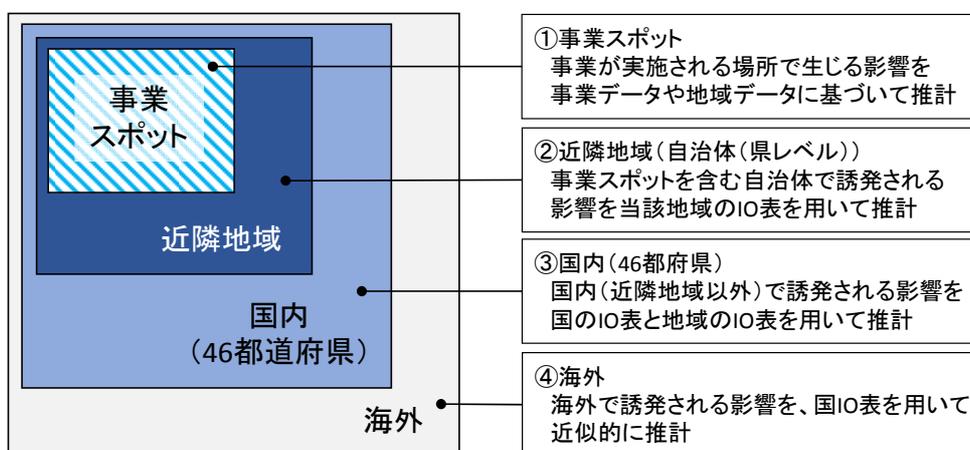
再エネ技術の導入は雇用量の増加をもたらすが、他方、導入前に用いられていた技術が利用されなくなることで雇用量が減少する。したがって、再エネ導入の雇用創出ポテンシャルは、その導入に伴う雇用量の増加から、導入前の技術が生み出していた雇用量を差し引くことで評価する必要がある。本研究では、再エネ技術の導入前後における2つのシステムを設定し、式(1)-5にしたがって推計される雇用変化量を用いて、再エネ導入の雇用創出ポテンシャルを評価する。

$$\text{再エネ導入に伴う雇用変化量[人・日]} \quad L = L_{\text{after}} - L_{\text{before}} \quad \text{式(1)-5}$$

ここで、 L_{before} ：導入前システムのライフサイクル雇用量、 L_{after} ：導入後システムのライフサイ

クル雇用量である。各システムのライフサイクル雇用量は、設備機器の製造、建設、運用の雇用量[人・日]の合計である。なお、両システムは、同一の便益（同一量の財やサービス）を生み出すように設定する必要がある。

式(1)-5で示される雇用量の変化を地域別に明らかにするために、導入前後の両システムのライフサイクル雇用量を、図(1)-3に示されるように、4つの区域（事業スポット、近隣地域、国内、海外）に分けて推計する。事業スポットは、再エネを導入し運用している場所すなわち、再エネ事業の実施場所を指す。例えばバイオマス発電事業であれば、原料収集、プラント建設、プラント運用（発電、発酵残渣処理・利用）が行われている場所は事業スポットとなる。近隣地域は、事業スポットを含む県レベルの自治体であり、国内は当該自治体を除く46都道府県、海外は日本以外を指す。



図(1)-3 地域別の環境・社会経済影響の推計

導入前後の両システムのライフサイクル雇用量は、式(1)-6に示されるように、4区域の合計値として表現される。

$$\text{ライフサイクル雇用量 } L_x = L_x^{\text{Spot}} + L_x^{\text{Prefecture}} + L_x^{\text{46prefectures}} + L_x^{\text{Other}} \quad \text{式(1)-6}$$

ここで、 x : *before*（導入前）または*after*（導入後）である。また、 L_x^{Spot} : 事業スポットの雇用量、 $L_x^{\text{Prefecture}}$: 近隣地域の雇用量、 $L_x^{\text{46prefectures}}$: 国内の雇用量、 L_x^{Other} : 国外の雇用量を示している。事業スポットの雇用量 (L_x^{Spot}) は、事業データや地域データを用いて実態に即した推計をする。事業スポット以外の雇用量 ($L_x^{\text{Prefecture}}$ 、 $L_x^{\text{46prefectures}}$ 、 L_x^{Other}) は、近隣地域、国内、海外の3つの区分に合わせて、国または地域（都道府県）の産業連関（I/O）表と各システムの金額データを用いて、式(1)-7～(1)-11に基づいて推計する。

$$\text{国内外合計} \quad L_x^{ALL} = L^T (I - A_{Japan})^{-1} F_x \quad \text{式(1)-7}$$

$$\text{国内} \quad L_x^{Japan} = L^T \{I - (I - \hat{M}_{Japan}) A_{Japan}\}^{-1} F_x \quad \text{式(1)-8}$$

$$\text{近隣地域} \\ \text{(自治体(県レベル))} \quad L_x^{Prefecture} = L^T \{I - (I - \hat{M}_{Prefecture}) A_{Prefecture}\}^{-1} F_x \quad \text{式(1)-9}$$

$$\text{国内 (46都道府県)} \quad L^{46prefectures} = L^{Japan} - L^{Prefecture} \quad \text{式(1)-10}$$

$$\text{海外} \quad L^{Other} = L^{ALL} - L^{JPN} \quad \text{式(1)-11}$$

ここで、 L ：雇用係数ベクトル（ T は転置を意味する）、 I ：単位行列、 A_{Japan} ：国I/O表の投入係数行列、 M_{Japan} ：国I/O表の輸入係数行列（ $\hat{}$ は対角行列を意味する）、 $A_{Prefecture}$ ：都道府県I/O表の投入係数行列、 $M_{Prefecture}$ ：都道府県I/O表の輸移入係数行列（ $\hat{}$ は対角行列を意味する）、 F_x ：各システムの最終需要ベクトル（金額データ）を示している。

(b) 開発した評価手法の妥当性の検証

上述した地域別の雇用創出ポテンシャルの評価手法は、汎用的な利用を念頭に、容易に推計できることを重視している。ただし、本研究のように各地域の産業連関表を用いた評価と、地域間の取引に関する情報量が多いが作成のコストがかかる地域間産業連関表を用いた評価とを比較することによって、両者の差が小さく、開発した評価手法が妥当であることを確認する。

3) 導入地域の違いを考慮したライフサイクル環境・社会経済影響

再エネ技術を導入する地域の特性を考慮して、その導入がもたらすライフサイクル環境・社会経済影響を評価する手法を開発し、ケーススタディを実施した。以下では、発電技術と熱生産技術を同一フレームワークで取り扱えるという再エネI/O表の特長を生かし、太陽光発電とヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システムと太陽熱給湯システムを事例として、導入地域の違いによるCO₂削減ポテンシャルの評価方法について述べる。

(a) ライフサイクルCO₂削減ポテンシャルの推計

再エネ技術の導入に伴うCO₂削減ポテンシャルは、その技術導入に伴うCO₂排出量と導入前の従来技術のCO₂排出量との差分で評価する必要がある。先に述べた雇用創出ポテンシャルの推計式(1)-5と同様に、再エネ技術の導入前後における2つのシステムを設定し、式(1)-12にしたがって推計される変化量をもって、再エネ導入のCO₂削減ポテンシャルを評価する。

$$\text{再エネ導入に伴うCO}_2\text{削減量[t-CO}_2\text{]} \quad E = E_{after} - E_{before} \quad \text{式(1)-12}$$

ここで、 E_{before} ：導入前システムのライフサイクルCO₂排出量、 E_{after} ：導入後システムのライフサ

イクルCO₂排出量である。各システムのライフサイクルCO₂排出量は、設備機器の製造、建設、運用、廃棄に伴うCO₂排出量の合計である。

(b) 地域別のライフサイクルCO₂排出量の推計

再エネ技術のライフサイクルCO₂排出量は、導入する地域の自然特性や社会特性に依存して異なる。例えば、住宅用太陽熱給湯システムのライフサイクルCO₂排出量は、日射量や気温など導入地域の気象条件などに依存する。また設置される世帯属性やその地域の電源構成などからも影響を受ける。

太陽エネルギーを用いた住宅用給湯システムのライフサイクルCO₂排出量は一般に式(1)-13に従って推計できる。

$$LCCO_2 = \sum\{e^T(I - A)^{-1}f\} + E \times e_{elec.} + \sum F_i \times e_i \quad \text{式(1)-13}$$

ここで、LCCO₂：ライフサイクルCO₂排出量、 e ：部門別直接CO₂排出原単位ベクトル、 T ：転置、 A ：投入係数行列、 f ：最終需要金額、 E ：電力消費量、 $e_{elec.}$ ：電力のCO₂排出係数、 F_i ：化石燃料 i の消費量、 e_i ：化石燃料 i のCO₂排出係数である。式(1)-13の第一項は、各システムを構成する機器の製造・設置・維持に伴うCO₂排出量を示している。第二項と第三項は、各システムの運用に必要な電力や化石燃料（ガス、灯油など）の消費に伴うCO₂排出量であり、これらは導入される地域の気象条件、電源構成、世帯属性などを独立変数とする関数である。

例えば、住宅用太陽熱給湯システムの場合、太陽熱温水器の補助熱源としてガス給湯器を用いていることが多い。その場合は、ガス給湯器の運用に伴いガスと電力を消費する。ガス消費量は対象となる住宅の給湯熱需要とガス給湯器による給湯率から求められる。電力消費量は建築研究所から提案されている推計式¹³⁾などから計算される。また、再生可能エネルギーを用いた住宅用給湯システムとして、太陽光発電とヒートポンプ給湯器を組み合わせたシステム（PV&HPシステム）も考えられる。この場合、ガスなどの化石燃料は必要としないが、系統電力を消費することもある。系統電力の消費量は、気象データ（例えば文献¹⁴⁾）を用いて建築研究所から提案されている推計式¹³⁾などから計算される。

4. 結果及び考察

(1) 効果的な情報基盤の構築に向けた調査

効果的な情報基盤を構築するために、再生可能エネルギー（以下、再エネ）導入において先進的取り組みを行っている自治体を対象にヒアリング調査を実施し、地域における再エネ導入に関して得られた知見を以下に示す。

ヒアリング調査対象とした自治体は、長野県飯田市、北海道河東郡士幌町、北海道伊達市、北海道河東郡鹿追町、北海道足寄郡足寄町、北海道野付郡別海町、滋賀県である。

① 地域エネルギー政策に対する自治体の基本的な考え方について

ヒアリングを行った全ての自治体が、「地域の再エネ政策は地域自身で決めることが望ましい」との考えを持っていることが確認された。その理由として、国や都道府県レベルが策定するエネルギービジョンでは、地域の特性を的確に反映させることが困難であるという点があげられる。また、東日本大震災以降、まちづくりのビジョンにおいてもエネルギー政策の重要性が高まってきているため、まちとして考えていくべき問題であるという意見も聞かれた。

しかし同時に、全ての自治体が「地域の政策は、国の方針、国の政策に大きく左右されるため、実際には市や町が独自に計画を立てて行くことは難しい」と考えていることも明らかになった。よって、再エネ普及政策においては、国としての政策目標と地域の施策とを上手く調和させて行くことのできる仕組みが重要であることが確認された。

② 再生可能エネルギー導入の評価について

再エネの導入、特にバイオマスの利用においては、ほぼ全ての事例で「エネルギー生産」以外の課題の解決を目的として導入が進められていた。「エネルギー生産」以外の課題とは、家畜排せつ物の適正処理や林業の振興、地域資源の有効活用、雇用および新産業の創出、水質汚染対策などである。よって、資金補助を受けておらず評価の義務を負っていない場合は、事前・事後評価はほとんど行われていない。

今後、評価を行う場合、どのような指標で評価すべきと考えるかについてヒアリングしたところ、「事業採算性が最優先である」、「重要なのは建設コストと雇用創出量である」という意見があった一方で、「自治体は民間企業と異なり、収支が赤字であってもやるべき事が存在するため、経済収支だけでは判断できない」という意見も聞かれた。また、望ましい指標として、「町の発展のために次に講じる施策の参考となる指標」、「地域経済を活性化するための指標」、「地域内循環の進捗度合を測れる指標」など様々な意見があげられた。このことは、再エネ導入の影響を評価するためにどのような指標を用いるか、その選択においても地域の人々の意向や価値観、地域特性を反映させることが必要である可能性を示唆している。

他方、資金補助を受けている場合は、CO₂削減量、エネルギー生産量、雇用、費用便益比率などを指標とした評価が求められている。また、自治体自身も事前・事後評価は必須であると考えていることがわかった。しかし、一般の行政職員が自ら評価を行うのは、例え評価マニュアルを渡されたとしても技術的・時間的ハードルが高く不可能なため、コンサルタントに依頼せざるを得ないのが現状となっている。したがって、誰でも簡易に評価を行うことができるツール開発に対

するニーズは非常に高いことが確認された。

③ 地域エネルギー政策における住民参加について

ヒアリングを行った自治体では、現状、地域のエネルギー政策における住民参加は実現していないことが明らかになった。住民参加の例としてあげられたのは、「新エネルギービジョン」等の策定プロセスに数人の市民が参加した（ただし、自治体からの指名制である場合が多い）、あるいは、ビジョン策定のために住民アンケートを行い、再エネに関する意向・関心を調査した、といった形式的なものである。自治体側は住民の参加や意見を求めているが、エネルギー政策については住民の反応が無いとの意見が多く聞かれ、エネルギー問題に関する住民の関心の低さが浮き彫りになった。

このことは、再エネ導入を進める上での最大の課題が、共通して「主体の不在」であることにつながる。ヒアリングを行った全ての自治体が、先述の「新エネルギービジョン」や「バイオマスタウン構想」等を策定しており、その中でポテンシャル評価や導入目標量の設定を行っているが、目標の実現に対して実際に何らかの施策を講じる、あるいは具体的な導入計画を立てる、といったことはほとんど行われていない。絵は描いたものの、「誰がどうやるか」については何もなく、また実現のための「顔」も生まれて来ないため、現実には前に進まないとのことである。したがって、住民や事業者が再エネ導入に関する意思決定に参加し、地域の意思を形成して行く仕組みを作ることは、彼らの関与を促すという点で一定の価値があるものと考えられる。

④ 意思決定場面での情報提供の方法について

滋賀県では、県をあげた取組みとして、「2030年の理想の暮らし」というシナリオ策定を住民参加により行っている。シナリオ策定にあたっては、住民参加のワークショップで出た意見を計量モデルにより定量的に示し、その結果をワークショップにフィードバックして社会が成り立つか、あるいは自分たちが享受できる範囲かなどを検討し、再び話し合うという手法を採用している。シナリオの内容は再エネとは直接関係しないものの、話し合いと数値化のフィードバックを繰り返す手法は、意思決定における情報提供のあり方として有効であると考えられる。

また、様々な現地調査により、住民参加については先進的な地域と一般的な地域の差が非常に大きいことが確認された。住民参加の度合いは、過去の経験の蓄積によりその土壌が形成されているか否かが大きく影響している。よって、住民参加の土壌が培われていない自治体でグループ意思決定を行う場合には、その事を考慮した方法の開発が必要であることが認識された。

(2) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表

客観的な情報基盤の核となる再生可能エネルギー部門拡張産業連関表（再エネI/O表）を、前述した図(1)-1（第3章 研究開発方法）に示す手順に従って開発した。以下では、作成した再エネI/O表の枠組みを示した後で、本研究で開発した再エネI/O表の作成方法を、再エネ発電技術を例にして説明する。次いで、再エネI/O表を用いて再エネ技術別に経済波及効果を計測することで、その有効性について確認した。最後に、再エネI/O表の作成を通して得られた知見に基づき、公的な再エネI/O表の作成も視野に入れて、今後の再エネに関する統計整備のあり方について提示した。

1) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の枠組み

本研究で開発した再エネI/O表の枠組みを以下で説明する。発電技術12種、熱生産技術5種を選定して、それら技術のライフサイクルにわたり関連する部門（設備製造、燃料製造、施設建設、施設運用、施設廃棄）を新設した。

(a) 調査対象とする再エネ技術の選定

再エネI/O表の作成に向けて、各再エネ技術について将来的な普及の可能性の観点から定性的に評価し、その結果に基づいて調査対象とする技術を選定した。表(1)-2に示されるように、太陽光発電4種、風力発電、地熱発電2種、小水力発電、木質バイオマス専焼発電、メタン発酵ガス化発電3種の計12種の発電技術、ならびに、太陽熱2種、地中熱、木質バイオマス熱2種の計5種の熱生産技術を対象とした。

太陽光発電は、タイプの違いによる費用構造の差異を考慮するため、住宅用、小規模産業用（10kW以上50kW以下）、大規模産業用（屋根設置）、大規模産業用（地上設置）の4種を想定した。地熱発電は、井戸掘削費や輸送管敷設費など、規模の違いによる初期投資の差異が大きいため、大規模フラッシュと小規模フラッシュ（2MW未満）の2種を想定した。メタン発酵ガス化発電は、原料により、原料収集や前処理、排水処理などのプロセスが異なるため、下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物の3種の原料を想定した。

熱供給技術では、機器やシステムの構成が異なるため、太陽熱供給システムについて、自然循環型と強制循環型の2種を想定した。また、バイオマス熱では、燃料により用途やシステムが異なるため、木質チップと木質ペレットの2種を想定した。

表(1)-2 調査対象とした再生可能エネルギー技術

エネルギー		対象技術
電力	太陽光	住宅用太陽光発電 小規模産業用太陽光発電（屋根設置） 大規模産業用太陽光発電（屋根設置） 大規模産業用太陽光発電（地上設置）
	風力	大規模風力発電
	水力	中規模小水力発電
	地熱	小規模地熱発電（フラッシュ） 大規模地熱発電（フラッシュ）
	バイオマス	木質バイオマス専焼発電 メタン発酵ガス化発電（下水汚泥） メタン発酵ガス化発電（厨芥類） メタン発酵ガス化発電（家畜排せつ物）
熱	太陽熱	住宅用太陽熱給湯システム（水式・自然循環型） 住宅用太陽熱給湯システム（水式・強制循環型）
	地中熱	地中熱ヒートポンプシステム（クローズドループ）
	バイオマス熱	木質チップ燃焼熱利用システム（ボイラー） 木質ペレット燃焼熱利用システム（ボイラー）

(b) 再エネ技術に係わる新設部門

再エネI/O表は、現在公表されている最新の産業連関表である「平成23年(2011年)産業連関表」¹⁶⁾を基礎として作成した。図(1)-4に再エネI/O表の構造を示す。2011年産業連関表の基本分類は518行×397列であるが、再エネI/O表作成には、部門統合により正方化した395行×395列の表を用いた。この表に、新たに推計した再エネ発電技術に関連する41部門、再エネ熱供給技術に関連する18部門を組み込み、発電に関する既存部門を分割することで、最終的に459行×459列の表を作成した。表(1)-3に新設部門および分割部門の一覧を示す。以下に、新設部門の内容を述べる。

(b)-1 発電施設の建設および運用に関する新設部門

上述した12種の再エネ発電技術について、それぞれ、発電施設の設置や建設を行う建設部門と、発電施設の運転・維持管理を行う運用部門を新設した。再エネ発電施設の建設や運用は、2011年にその生産が行われていれば、理論上は既存の産業連関表のいずれかの部門に含まれている。しかし、それら既存部門の投入構造は、再エネ発電の投入構造を表しているとは言い難い。再エネ発電施設導入の波及効果を的確に把握するためには、再エネ発電技術の特徴を捉え、その特徴を反映した独立部門を設けることが不可欠である。そこで、再エネ発電の費用構造を、技術コスト情報に基づき可能な限り精緻に推計し、新たな部門を作成した。

なお、地熱発電（大規模）の建設部門では、発電施設の建設の他に、資源調査（重力探査、電磁探査、環境影響評価、噴出試験）、井戸掘削（調査井、生産井、還元井）、輸送管敷設（蒸気、熱水）に関する部門を新設した。

		既存 394部門				再エネ・発電 新設41部門					再エネ・熱 新設18部門				最終 需要
		中間需要				[1-1]	[1-2]	[1-3]	[1-4]	[1-5]	[2-1]	[2-2]	[2-4]	[2-6]	
		1	2	...	394										
中間投入	部門1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1394}									f_1	
	部門2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2394}									f_2	
	⋮	⋮	⋮									⋮	
	部門394	x_{3941}	x_{3942}	...	x_{394394}									f_{394}	
	[1-1] 再エネ・発電「設備製造」新設4部門														
	[1-2] 再エネ・発電「施設建設」新設23部門														
	[1-3] 事業用電力（発電）分割5部門														
	[1-4] 再エネ・発電「運用」新設14部門														
	[1-5] 事業用電力（送配電）分割1部門														
	[2-1] 再エネ・熱「設備製造」新設2部門														
	[2-2] 再エネ・熱「施設建設」新設7部門														
	[2-4] 再エネ・熱「運用」新設7部門														
	[2-6] 再エネ・熱「燃料製造」新設1部門														
粗付加価値	v_1	v_2	...	v_{394}											
国内生産額	x_1	x_2	...	x_{394}											

図(1)-4 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の構造

表(1)-3 新設部門および分割部門

エネルギー	プロセス	技術	新設部門・分割部門
[1] 電力	[1-1] 設備製造	太陽光発電 風力発電	01 太陽電池モジュール 02 タワー 03 ナセル 04 ブレード
	[1-2] 施設建設	太陽光発電 風力発電 小規模地熱発電 大規模地熱発電 小水力発電発電 木質バイオマス専焼発電 メタン発酵ガス化発電	01 住宅用太陽光発電設置 02 小規模産業用太陽光発電設置（屋根設置） 03 大規模産業用太陽光発電設置（屋根設置） 04 大規模産業用太陽光発電設置（地上設置） 05 風力発電施設建設 06 小規模地熱発電施設建設 07 重力探査 08 電磁探査 09 環境影響評価 10 噴出試験 11 調査井掘削 12 生産井掘削 13 還元井掘削 14 蒸気輸送管敷設 15 熱水輸送管敷設 16 大規模地熱発電施設建設 17 小水力発電施設建設 18 木質バイオマス専焼発電施設建設 19 メタン発酵ガス化発電施設建設（下水汚泥） 20 廃棄物処理施設建設（家畜排せつ物） 21 メタン発酵ガス化発電施設建設（家畜排せつ物） 22 廃棄物処理施設建設（食品廃棄物） 23 メタン発酵ガス化発電施設建設（食品廃棄物）
	[1-3] 運用（発電）		01 原子力発電 02 石炭火力発電 03 石油火力発電 04 LNG火力発電 05 水力発電（大規模）
	[1-4] 運用（発電）	太陽光発電 風力発電 小規模地熱発電 大規模地熱発電 小水力発電発電 木質バイオマス専焼発電 メタン発酵ガス化発電	01 住宅用太陽光発電 02 小規模産業用太陽光発電（屋根設置） 03 大規模産業用太陽光発電（屋根設置） 04 大規模産業用太陽光発電（地上設置） 05 風力発電 06 小規模地熱発電 07 大規模地熱発電 08 小水力発電 09 木質バイオマス専焼発電 10 メタン発酵ガス化発電（下水汚泥） 11 廃棄物処理（家畜排せつ物） 12 メタン発酵ガス化発電（家畜排せつ物） 13 廃棄物処理（食品廃棄物） 14 メタン発酵ガス化発電（食品廃棄物）
	[1-5] 送配電		01 送配電

表(1)-3 新設部門および分割部門（続き）

エネルギー	プロセス	技術	新設部門・分割部門
[2] 熱	[2-1] 設備製造	住宅用太陽熱給湯システム	01 太陽熱温水器（自然循環型）
			02 太陽熱温水器（強制循環型）
	[2-2] 施設建設	住宅用太陽熱給湯システム	01 太陽熱温水器設置（自然循環型）
			02 太陽熱温水器設置（強制循環型）
		地中熱ヒートポンプシステム	03 地中熱交換器設置
			04 熱源機器・室内機設置
		木質チップ燃焼熱利用システム	05 熱源機器設置
		木質ペレット燃焼熱利用システム	06 熱源機器・室内機設置
		木質ペレット製造	07 木質ペレット工場建設
	[2-4] 運用（熱供給・利用）	住宅用太陽熱給湯システム	01 太陽熱供給・利用（自然循環型）
02 太陽熱供給・利用（強制循環型）			
地中熱ヒートポンプシステム		03 地中熱供給	
		04 地中熱利用（冷房）	
		05 地中熱利用（暖房）	
木質チップ燃焼熱利用システム		05 木質チップ燃焼熱供給・利用	
木質ペレット燃焼熱利用システム		06 木質ペレット燃焼熱供給・利用（冷房）	
	07 木質ペレット燃焼熱供給・利用（暖房）		
[2-6] 燃料製造	木質ペレット	01 木質ペレット	

また、メタン発酵ガス化発電3種は、特殊な扱いを必要とする。ガス化発電には、廃棄物処理サービスの提供、および、メタンガスによる電力の生産という異なる2つの活動が含まれる。つまり、2つの独立した部門を新設しなければならない。しかしながら、電力の生産は、廃棄物処理サービス活動から独立しては存在し得ない。よって、建設部門では、処理施設建設、発電施設建設の2部門、運用部門では、処理施設運用、発電施設運用の2部門をそれぞれ新設した上で、両者のつながりを投入構造に反映させた。メタン発酵ガス化発電3種の推計方法の詳細については、「2）再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成方法」の「(b)推計の方法」において述べる。

(b)-2 発電設備の製造に関する新設部門

発電設備の製造に関しては、基本的に既存の産業連関表の部門を利用しているが、一部の設備の製造については、独立部門を新設した。具体的には、太陽光発電設備である太陽電池モジュール、風力発電設備であるタワー、ナセル、ブレードの製造である。独立部門を設けた理由として、第一に、これらの設備が太陽光・風力発電施設の建設費において非常に高い割合を占め、結果に大きな影響を及ぼすことがある。第二に、これらの設備の費用構造と、既存の産業連関表部門の費用構造には差異があり、既存の部門では、設備製造の技術特性を波及構造に反映させることが難しいためである。

(b)-3 発電・送配電部門の分離

再エネI/O表作成では、再エネ部門の新設に加え、既存の電力部門の分割も行っている。目的は、発電技術ごとの投入構造の差異をよりの確に表現し、技術の特徴を捉えやすくすることにある。既存の「事業用電力」部門には、電力の生産という活動と、電力の送電・配電という活動が含ま

れている。それ故に、まず、この2つの活動を切り離し、発電を行う部門と送配電を行う部門を別々に設けた。その上で、発電を行う部門を、さらに原子力発電、石炭火力発電、石油火力発電、LNG火力発電、水力発電（大規模）、その他の発電部門の6部門に分割した。その結果、既存の「事業用電力」部門は7部門に分割された。

なお、再エネ発電による電力を含め、各発電部門で生産された電力は全て送配電部門に産出され、当該部門から各部門に産出される。発電・送配電部門の分離方法の詳細は、「2）再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成方法」の(b)推計の方法において後述する。

(b)-4 熱供給システムの建設および運用に関する新設部門

上述した5種の再エネ熱供給システムについて、それぞれ、熱源機器の設置や建設を行う建設部門と、システムの利用・維持管理を行う運用部門を新設した。発電と同様に、熱供給システムの建設や運用は、既存の産業連関表のいずれかの部門に含まれる。しかし、該当する既存部門の投入構造を用いて熱供給システムの評価を的確に行うのは困難である。例えば、熱源機器の設置は、「住宅建築（木造・非木造）」部門や「非住宅建築（木造・非木造）」部門に含まれる。熱供給システム導入の波及効果の把握に、これらの部門を用いることが妥当であるとは考えにくい。よって、それぞれのシステムの設置業者から入手したコストデータに基づき、新たな部門を作成した。

また、本研究の分析対象は、給湯や冷暖房に利用することを目的に熱を自家消費するケースであるため^{脚注(1)-1}、運用に関する部門は存在せず、給湯システムや冷暖房システムを利用するために消費した電力等が各利用部門に計上されている。本研究は、熱供給システム導入の影響を評価することを目的とするため、独立した運用部門を設け、熱供給・利用に関わる活動を明示的に表現した。

なお、地中熱ヒートポンプシステムの建設部門では、生産活動の内容が異なるため、熱交換井の掘削やUチューブの施工を行う部門と、熱源機器・室内機の設置を行う部門をそれぞれ新設した。

(b)-5 熱供給設備の製造に関する新設部門

熱供給設備の製造に関しては、太陽熱温水器（自然循環型・強制循環型）の製造部門を新たに設けた。独立部門を設けた理由は、発電の場合と同様に、第一に、これらの設備が住宅用太陽熱供給システムの建設費において高い割合を占めるため、第二に、太陽熱温水器を含む既存部門は存在するものの、当該部門の国内生産額に占める太陽熱温水器の生産額は極めて小さく、既存の部門の投入構造では太陽熱温水器製造にともなう波及効果を捉えにくいと考えられるためである。

(b)-6 燃料の製造に関する新設部門

木質チップ燃焼熱利用システム、および、木質ペレット燃焼熱利用システムでは、それぞれ、木質チップ、木質ペレットを燃料として用いる。木質チップの製造に関しては、既存の「木材チップ」部門を利用することができるが、木質ペレットの製造に関しては適切な部門が存在しない。よって、再エネI/O表では、木質ペレット製造部門を独立部門として作成した。さらに、木質ペレ

^{脚注(1)-1} 熱を他の部門に販売する場合は、既存のI/O表「熱供給業」部門に含まれる活動となる。

ットの導入に伴い木質ペレット工場を新たに建設するケースの分析も可能にするため、木質ペレット工場建設部門を新設した。

2) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成方法

本研究で開発した再エネI/O表の作成方法について、以下では再エネ発電技術を例にして説明する。文献調査やヒアリング調査などによってコストデータ代表性などを検討した上で、各再エネ技術の投入係数ベクトルの推計を行い、2011年の産業連関表を土台として2013年版の再エネI/O表を作成した。

(a) 作成方法の概要

(a)-1 作成フロー

再エネI/O表作成は、図(1)-5に示すように、大きく4つのステップから構成される。

ステップ1では、投入額ベクトル（列部門）を作成する。投入額ベクトルのバランスは、式(1)-14のように表される。

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + v_j = x_j \quad \text{式(1)-14}$$

ここで、 x_{ij} ：部門*i*から部門*j*への中間投入（百万円）、 v_j ：部門*j*の粗付加価値額（百万円）、 x_j ：部門*j*の総生産額（百万円）である。すなわち、投入額ベクトルを作成するためには、当該部門がどのような財・サービスをどれだけ購入したかというコスト構成を決定する必要がある。

ステップ2では、産出額ベクトル（行部門）を作成する。産出額ベクトルのバランスは、式(1)-15のように表される。

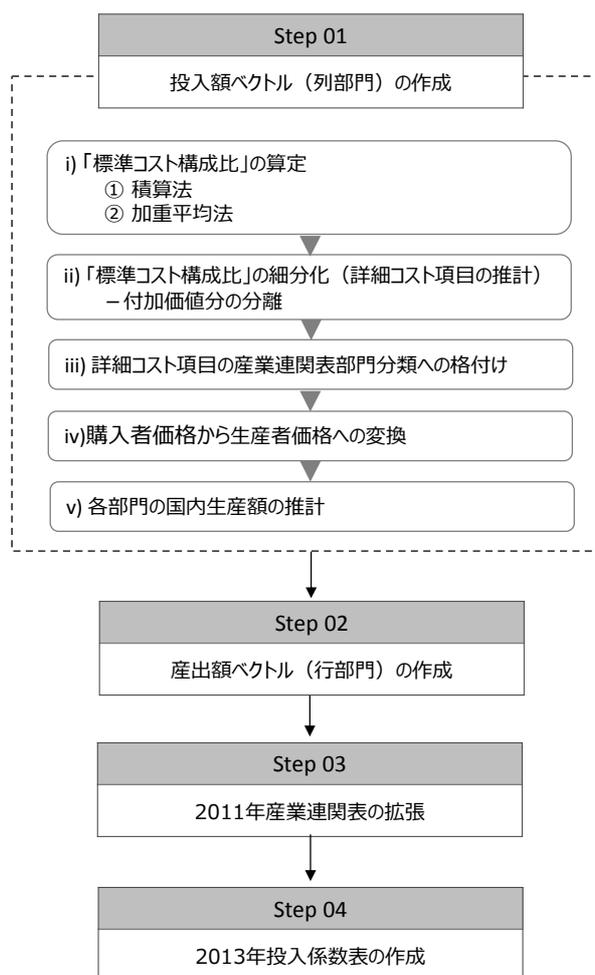
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + f_i = x_i \quad \text{式(1)-15}$$

ここで、 x_{ij} ：部門*j*の部門*i*に対する中間需要（百万円）、 f_i ：部門*i*に対する最終需要（百万円）、 x_i ：部門*i*の総生産額である。すなわち、産出額ベクトルを作成するためには、当該部門が生産した財・サービスを、どの中間需要・最終需要部門にどれだけ販売したかという販路構成を決定する必要がある。

ステップ3では、推計した投入額・産出額ベクトルを既存の2011年産業連関表に組み込む。

ステップ4では、ステップ3で作成した産業連関表を基に、2013年時点を想定した再エネI/O表（投入係数表）を作成する。

各ステップの詳細は、(b)推計の方法で述べる。



図(1)-5 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成フロー

(a)-2 コストデータ

投入額ベクトルの作成には、発電施設の建設や運用における費用の詳細な内訳データが必要となる。再エネ発電事業の初期投資やランニングコストについて、総額、あるいは非常に大まかなコスト構成は、一部、公表データとして存在するが、精度の高い推計を可能とする詳細データは公表されていない。

そこで、本研究では、民間発電事業者、発電施設導入自治体、電気・土木工事会社、プラントメーカー等にコストデータの提供を依頼し、発電施設建設工事の見積書や請求書、発電事業の収支決算書等を収集した（以下、事業者データ）。同時に、ヒアリングを重ねて建設工事や事業運営の実態や現状を把握し、その知見に基づき事業者データを分析した上で推計に活用している。

事業者データに関しては、表(1)-4に示す仕様に対応する2006年以降のデータを、各発電技術に対して複数（2～6件）入手して利用した。ただし、大規模地熱発電所は近年、新規には建設されていないため、業界団体によるモデル発電所のコストデータと、増設に伴う蒸気生産設備（井戸掘削や蒸気輸送管など）の事業者データ（1件）を用いた。家畜排せつ物と食品廃棄物を用いたメタン発酵発電はまだ事例が少ないため、これらも1件の事業者データ収集に留まった。

このような事業者データと公表データ（各種統計資料や論文、報告書）を組み合わせることで、高い精度と信頼性の実現を可能にしている。

表(1)-4 対象発電技術の仕様

	対象技術	出力
太陽光発電	住宅用太陽光発電	3-4kW
	小規模産業用太陽光発電（屋根設置）	10-50kW
	大規模産業用太陽光発電（屋根設置）	500kW-2MW
	大規模産業用太陽光発電（地上設置）	500kW-2MW
風力発電	風力発電	20MW
地熱発電	小規模地熱発電	2MW未満
	大規模地熱発電	30-50MW
小水力発電	小水力発電	200-1,000kW
バイオマス発電	木質バイオマス専焼発電	5-6MW
	メタン発酵ガス化発電（下水汚泥）	200-600kW
	メタン発酵ガス化発電（家畜排せつ物）	200-600kW
	メタン発酵ガス化発電（食品廃棄物）	200-600kW

(b) 推計の方法

(b)-1 ステップ1：投入額ベクトル（列部門）の作成

投入額ベクトルの作成は、5つのサブステップから構成される（図(1)-5）。

まず、i)では、各部門について「標準コスト構成比」を算定する。「標準コスト構成比」は、標準的と考えられる費用構造の大枠であり、費用を構成する要素と、それら各要素の費用総額における比率を決定することで求められる。前述の通り、本研究では、実際の再エネ事業の初期投資、ランニングコストデータを利用している。よって、「標準コスト構成比」の算定は、個々のデータの特異性を排除し、代表性を高めることを目的として行うものである。

本研究では、費用の構成要素をコスト項目と呼ぶ。コスト項目は、大分類のコスト項目、すなわち大コスト項目と、それを細分化した詳細コスト項目とに分けられる。表(1)-5に「標準コスト構成比」の算定に用いた大コスト項目を示す。

表(1)-5 「標準コスト構成比」の算定に用いた大コスト項目

建設費	運用費
調査・設計費	人件費
機器費	定期点検費
土木工事費（基礎工事費等）	修繕費
据付工事費	諸費（燃料費、消耗品費、水道光熱費等）
電気工事費	保険料
建築費	一般管理費
一般管理費	減価償却費
系統連系費	租税公課

「標準コスト構成比」の算定では、費用構造を可能な限り標準的なものとするため、①積算法、②加重平均法という2つの手法を用いた。以下に、それぞれの方法について述べる。

① 積算法：

積算法は、複数の事業者データを分析して大コスト項目を決定し、大コスト項目ごとに平均値を求め、それらを積み上げて「標準コスト構成比」を求める手法である。平均値の推計には公表データ（各種統計資料や論文、報告書）および事業者データを用いた。初期投資やランニングコストが発電施設のタイプに依らず共通した大コスト項目によって構成される場合には、①の手法を適用する。

以下では、運用費を例として、大コスト項目の内容と推計方法について述べる。運用費の大コスト項目は、人件費、定期点検費、修繕費、諸費、その他の費用から構成される。

<人件費>

人件費は、発電所の運転員、電気主任技術者（50kW以上の場合）の費用を対象とした。運転員の人数および年収は、ヒアリング情報に基づき設定している。電気主任技術者は、発電所の規模により、外部委託、兼任、専任の区別を設けている。また、地熱発電と木質バイオマス発電では、ボイラー・タービン主任技術者の人件費も計上した。電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者の年収は、全技術で共通としている。

<定期点検費>

定期点検費は、日常的な点検、および、法令に基づく点検のための費用を対象とした。発電技術ごとに、「毎年」、「隔年」、「4年おき」などの定期点検の頻度を設定した。定期点検費が様々な費用を含む形で一括して計上されている場合は、労務費、グリース等の消耗品費、賃料、一般管理費などの内訳を推計した。

<修繕費>

修繕費は、経年劣化や故障に対応するための機器・部品交換、主要機器のオーバーホールのための費用を対象とした。修繕は、機器メーカーが行う場合、メンテナンス会社が行う場合、事業者が自ら行う場合がある。ヒアリング情報に基づき、各発電技術について、修繕を実施する体制を設定した。修繕費は、全技術共通の劣化係数を用いて、運用年数を経るにつれ費用が増加するように設定した。

風力発電と小水力発電に関しては、他の技術と異なる設定をした。風力発電では、事業者データの実績値や文献値から部位別故障発生頻度を求め、求めた故障発生頻度と各部位の修繕工事費データから修繕費を推計した。また、運用期間中に発生する非計画的大規模修繕についても推計を行った。小水力発電についても同様に、運用期間中に発生する台風等の突発的被害による修繕費を考慮した。

<諸費>

諸費は、燃料費、消耗品費、水道光熱費、通信費等を対象とした。諸費の内容は、発電技術により異なる。例えば、地熱発電では、スケール対策のための薬品が投入される。また、メタン発酵ガス化発電では、脱硫や脱臭、シロキサン除去などの薬品が必要となるプロセスがある。薬品の詳細が不明な場合は、ヒアリング情報、文献情報に基づいてその種類を特定した。

<その他>

その他の費用として、一般管理費や減価償却費、各種税金があげられる。しかし、事業者データでは、これらの費用が計上されていない場合が多い。その場合は、有価証券報告書等の公表データを用いて別途推計した全技術共通の比率を用いて、これらの費用を推計した。

② 加重平均法：

複数の事業者データを加重平均することで「標準コスト構成比」を求める手法である。同一技術であっても、発電施設のタイプにより費用の構成要素が異なる場合に②の手法を適用する。例えば、小水力発電施設の建設では、施設により導水路や水圧管路の敷設費、その他設備の工事金額が多様であり、施設ごとに費用の構成要素が大きく異なる。その場合は、大コスト項目を決定してそれらを積み上げるよりも、複数のデータを加重平均する方が適切である。

次に、ii)では、事業者データを用いて「標準コスト構成比」の大コスト項目を詳細コスト項目に細分化する。なお、事業者データでは、産業連関表の付加価値部門に相当する項目が計上されていない場合が多い。例えば、建設費では、建設業者の一般管理費等（付加利益を含む）が工事見積書に明示的に計上されず、機器費や材料費に上乘せされていることがある。その場合は、細分化の過程で一般管理費等の引きはがしを行い、別途、付加価値分を推計する必要がある。

さらに、工事見積書や設計図書、請求書では、複数の詳細コスト項目が一括して計上されている場合がある。例えば、「発電設備費」として、機器本体費、設置のための材料費、電工や据付工の労務費の合計値が計上されていることがある。機器費、材料費、労務費は、それぞれ異なる産業連関表の部門に格付けられるため、「発電設備費」の内訳を推計する必要がある。本研究では、以下の3つの方法を用いて推計を行った。

① 他の工事見積書等の利用

機器費に労務費や材料費が含まれている場合、および、材料費に労務費が乗せられている場合に関しては、技術構造が近く、かつ、詳細コスト項目が記載されている他の見積書を用いて細分化を実施した。

② 標準歩掛、労務単価、資材単価データの利用

「掘削工事費」など、主に土木工事において費用が一括計上されている場合に関しては、公表データである標準歩掛と労務単価、資材単価等を用いて当該工事費の積算を行い、その数値に基づき細分化を行った。

③ 既存の産業連関表の利用

「附帯工事費」、「現場雑費」など、金額だけでなく費目の内容が不明な場合に関しては、既存の産業連関表において該当する建設・土木部門の構成比を用いて細分化した。

なお、一般管理費については、建設費、運用費ともに事業者データに基づき、人件費や減価償却費、旅費、通信費、事務用品費等の詳細コスト項目に分割した。

iii) 以上の手順で得られた詳細コスト項目を産業連関表の部門分類に対応させ、各部門に計上する。事業者データは、通常、購入者価格で表されているため、

iv) 生産者価格への変換を行う必要がある。推計した投入額から商業マージンおよび国内貨物運

賃を控除し、生産者価格に変換する。商業・運輸マージン率は、2011年産業連関表から算出した値を用いた。

v) 最後に、各種文献・統計資料を用いて各部門の1年間の国内生産額を求め、その数値と作成した事業単位の投入額ベクトルから、1年間の生産活動を単位とする投入額ベクトルを推計した。ただし、先述したように、メタン発酵ガス化発電については、投入構造にとおいて他の発電技術とは異なる特殊な扱いをしている。また、既存の「事業用電力」部門の分割は、上記の方法とは異なる手法を用いて推計を行っている。以下に、メタン発酵ガス化発電の投入構造の考え方、および、「事業用電力」部門分割の推計方法について述べる。

<メタン発酵ガス化発電>

メタン発酵ガス化発電では、発電という活動を行うために、必ず、廃棄物処理という活動が必要になる。ガス化発電では、処理部門と発電部門がわかれているため、2つの活動のつながりを数値化する必要がある。そこで、本研究では、発電事業者が処理事業者からバイオガスを購入するという取引を想定することで、2つの活動のつながりを投入係数に反映させている。すなわち、発電部門は、下水汚泥の場合は既存の「下水道」部門、家畜排せつ物の場合は新設した家畜排せつ物処理部門、食品廃棄物の場合は新設した食品廃棄物処理部門から、それぞれバイオガスを購入する。これにより、廃棄物処理に伴いバイオガスが生産され、それを用いて発電が行われたという関係を表現することができる。

バイオガス購入額は、バイオガス単価に、発電に使用したバイオガス量を乗じて求めた。バイオガス単価は、天然ガス（国産）の単価にバイオガス発熱量と天然ガス発熱量の比を乗じて求めた値に、0.5^{脚注(1)-2}を掛け合わせることで算出した。

<発電・送配電部門の分離>

既存の産業連関表における電気業関連部門は、行が1部門（「事業用電力」部門）、列が3部門（「事業用原子力発電」「事業用火力発電」「水力・その他の事業用発電」部門）設けられている。再エネI/O表では、これらを、行・列ともに原子力発電、石炭火力発電、石油火力発電、LNG火力発電、水力発電（大規模）部門、送配電部門の6部門に分割した。列部門の分割は、以下の手順で行った。

既存の産業連関表では、送配電にかかる費用は発電3部門の中に含まれている。よって、まず、送配電部門の切り分けを行う必要がある。この推計には、各電力会社の有価証券報告書を利用した。有価証券報告書における「電気事業営業費用明細表」では、営業費用が、水力発電費、汽力発電費、原子力発電費、内燃力発電費、新エネルギー等発電費、送電費、変電費、配電費、販売費、一般管理費にわかれて記載されている。既存の産業連関表の発電3部門には、送電・変電・配電・販売費と一般管理費が、発電実績に応じて配分されている。そこで、別途公表されている「部門共通費用帰属明細表」^{脚注(1)-3}を用いて、「発電費＋一般管理費」と「送電・変電・配電・販売費

脚注(1)-2 第4回調達価格等算定委員会提出資料を参考に設定した数値である。

脚注(1)-3 「部門共通費用帰属明細表」により、発電部門、および、送電・変電・配電・販売部門の別に一般管理費を把握することができる。

＋一般管理費」の比を求め、産業連関表における送配電部門の国内生産額を決定した。その上で、発電実績にしたがい、発電3部門からそれぞれ分割する金額を決定した。発電3部門からの送配電部門の引き剥がしは、「電気事業営業費用明細表」を利用し、可能な限り、実際の費用構造を反映させた^{脚注(1)-4}。

次に、「事業用火力発電」部門を、石炭火力発電、石油火力発電、LNG火力発電に分割した。この推計では、まず、発電実績を基に、各火力発電部門の国内生産額を決定した。次に、「電力需給の概要」を用いて石炭・石油・LNG火力発電の別に各発電燃料の投入量を把握し、「石炭」「原油」「天然ガス」「灯油」「軽油」「A重油」「B・C重油」「液化石油ガス」「その他の石炭製品」部門から「事業用火力発電」部門への投入金額を、石炭・石油・LNG火力発電部門に振り分けた。国内生産額から発電燃料の投入額を差し引いた残りの金額は、既存の「事業用火力発電」部門の投入係数にしたがい按分し、各部門に計上した。

最後に、「電気事業営業費用明細表」を用いて、「水力・その他の事業用発電」部門を、水力発電（大規模）部門と、その他の発電部門とに分割した。その他の発電部門は、新設した再エネ部門のいずれかに対応する。

(b)-2 ステップ2：産出額ベクトル（行部門）の作成

産出額ベクトルは、ステップ1のv)で推計した各部門の国内生産額の産出内訳を決定することで作成される。新設部門の産出先は、以下の通りである。設備製造部門（太陽電池モジュール、タワー、ナセル、ブレード）の生産物は、全て対応する建設部門に産出される。建設部門の生産物は、全て最終需要部門（固定資本形成部門）へ産出される。ただし、大規模地熱発電の資源調査・井戸掘削・輸送管敷設部門の産出先は、大規模地熱発電施設建設部門とする。

運用部門の生産物は、既存の電力5部門（原子力発電、石炭火力発電、石油火力発電、LNG火力発電、水力発電（大規模））を含め、全て新設部門である送配電部門に産出される。送配電部門から各部門への産出比率は、分割前の「事業用電力」部門と同じとした。

メタン発酵ガス化発電の処理施設運用部門の生産物は、処理サービスである。よって、家畜排せつ物処理部門の産出先は、「酪農」部門とした。食品廃棄物処理部門については、公営の場合は全て最終需要部門（家計消費支出）へ産出され、民営の場合は「卸売」「宿泊業」「飲食サービス」部門へ産出されるとした。

(b)-3 ステップ3：2011年産業連関表の拡張

前述の通り、新設部門の生産活動は、既存の2011年産業連関表のいずれかの部門に含まれている。したがって、新設部門を既存の産業連関表に組み込む際には、新設部門の投入額・産出額を、該当する既存部門から差し引く必要がある。新設部門の活動が、複数の既存部門にわかれて計上されている場合は、部門定義に従い、それぞれに国内生産額を推計し、それぞれ金額を差し引いた。その上で、新設部門を2011年産業連関表に組み込んだ。

^{脚注(1)-4} 「電気事業営業費用明細表」からは、例えば、発電部門に対して送配電部門の減価償却費が高いこと、逆に、損害保険費が低いこと、あるいは、廃棄物処理費がゼロであること等の情報を得ることができる。また、当然ながら、送配電部門に発電燃料は投入されない。

(b)-4 ステップ4： 2013年投入係数表の作成

ステップ4では、ステップ3で拡張した産業連関表を基に、2013年を想定した再エネI/O表（投入係数表）を作成する。2013年の投入係数表を作成する目的は、以下の2つである。第一に、FIT開始後の状態を反映した分析を可能にするためである。第二に、2011年に導入されていない技術（小規模地熱発電など）を表に組み込むためである。

2011年と2013年の投入係数表で異なる点は、運用部門（発電、送配電）の投入係数である。2013年の投入係数表では、再エネ発電部門の投入額ベクトルの国内生産額は、「発電量（送電端）×FIT買取価格」で求めた売電収入となる。国内生産額から総費用を差し引いた差額は、営業余剰部門に計上される。これにより、FIT導入後の投入係数が作成される。各技術の発電量および買取価格は、2013年の実績値を用いている。運用部門以外の部門については、ステップ3で作成したI/O表の投入係数をそのまま用いる。また、送配電部門に関しては、2013年の投入係数表では2013年の電源構成を反映して各発電部門からの投入係数が決定されている。

3）作成された投入係数ベクトルと投入係数行列

前述した再エネI/O表の作成方法にしたがって作成された、投入係数ベクトルと投入係数行列について述べる。

(a) 投入係数ベクトル

上述した方法に基づき、59の再エネ関連部門について投入係数ベクトルを作成した。一例として、風力発電の建設部門の投入係数ベクトルの推計結果を表(1)-6に示す^{脚注(1)-5}。

推計した投入係数ベクトルの特徴としては、表(1)-6からわかるように幅広い財・サービスの投入が認められることである。これは、再エネI/O表の作成において「標準コスト構成の細分化」と「付加価値分の推計」の改善が功を奏した結果である。開発した作成方法を用いることで、より実態を反映した信頼性の高い再エネI/O表の作成が可能となる。

開発した再エネI/O表を用いて再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響の評価を行う重要な前提条件は、投入係数が安定的であること、つまり投入される財・サービスと産出される電力や熱との技術的な関係が大きく変動しないことである。本研究で提案する再エネI/O表の作成方法では、対象とする再エネ技術の出力規模を一定の範囲内に限定し、複数の事業者データを用いて標準コスト構成の細分化を行っており、そのことによって安定的な生産技術を表章する投入係数を作成できた。

脚注(1)-5 ただし、熱関連部門は除いてある。

表(1)-6 風力発電施設建設部門の投入係数ベクトル

分類コード	部門名	投入係数	分類コード	部門名	投入係数
0111-01	米	0.000	1129-03	製氷	0.000
0111-02	麦類	0.000	1131-01	飼料	0.000
0112-01	いも類	0.000	1131-02	有機質肥料（別掲を除く。）	0.000
0112-02	豆類	0.000	1141-01	たばこ	0.000
0113-00	野菜	0.000	1511-01	紡績糸	0.000
0114-01	果実	0.000	1512-01	綿・スフ織物（合繊短繊維織物を含む。）	0.000
0115-01	砂糖原料作物	0.000	1512-02	絹・人絹織物（合繊長繊維織物を含む。）	0.000
0115-02	飲料用作物	0.000	1512-09	その他の織物	0.000
0115-09	その他の食用耕種作物	0.000	1513-01	ニット生地	0.000
0116-01	飼料作物	0.000	1514-01	染色整理	0.000
0116-02	種苗	0.000	1519-09	その他の繊維工業製品	0.001
0116-03	花き・花木類	0.002	1521-01	織物製衣服	0.000
0116-09	その他の非食用耕種作物	0.000	1521-02	ニット製衣服	0.000
0121-01	酪農	0.000	1522-09	その他の衣服・身の回り品	0.000
0121-02	肉用牛	0.000	1529-01	寝具	0.000
0121-03	豚	0.000	1529-02	じゅうたん・床敷物	0.000
0121-04	鶏卵	0.000	1529-09	その他の繊維既製品	0.000
0121-05	肉鶏	0.000	1611-01	製材	0.000
0121-09	その他の畜産	0.000	1611-02	合板・集成材	0.000
0131-01	獣医学	0.000	1611-03	木材チップ	0.000
0131-02	農業サービス（獣医学を除く。）	0.000	1619-09	その他の木製品	0.000
0151-01	育林	0.000	1621-01	木製家具	0.000
0152-01	素材	0.000	1621-02	金属製家具	0.000
0153-01	特用林産物（狩猟業を含む。）	0.000	1621-03	木製建具	0.000
0171-01	海面漁業	0.000	1621-09	その他の家具・装備品	0.000
0171-02	海面養殖業	0.000	1631-00	バルブ	0.000
0172-00	内水面漁業・養殖業	0.000	1632-01	洋紙・和紙	0.000
0611-01	金属鉱物	0.000	1632-02	板紙	0.000
0621-01	石炭・原油・天然ガス	0.000	1633-01	段ボール	0.000
0631-01	砂利・採石	0.000	1633-02	塗工紙・建設用加工紙	0.000
0631-02	砕石	0.001	1641-01	段ボール箱	0.000
0639-09	その他の鉱物	0.000	1641-09	その他の紙製容器	0.000
1111-01	食肉	0.000	1649-01	紙製衛生材料・用品	0.000
1112-01	肉加工品	0.000	1649-09	その他のバルブ・紙・紙加工品	0.000
1112-02	畜産びん・かん詰	0.000	1911-01	印刷・製版・製本	0.000
1112-03	酪農品	0.000	2011-01	化学肥料	0.000
1113-01	冷凍魚介類	0.000	2021-01	ソーダ工業製品	0.000
1113-02	塩・干・くん製品	0.000	2029-01	無機顔料	0.000
1113-03	水産びん・かん詰	0.000	2029-02	圧縮ガス・液化ガス	0.000
1113-04	ねり製品	0.000	2029-03	塩	0.000
1113-09	その他の水産食品	0.000	2029-09	その他の無機化学工業製品	0.001
1114-01	精穀	0.000	2031-01	石油化学基礎製品	0.000
1114-02	製粉	0.000	2031-02	石油化学系芳香族製品	0.000
1115-01	めん類	0.000	2041-01	脂肪族中間物	0.000
1115-02	パン類	0.000	2041-02	環式中間物	0.000
1115-03	菓子類	0.000	2041-03	合成染料・有機顔料	0.000
1116-01	農産びん・かん詰	0.000	2042-01	合成ゴム	0.000
1116-02	農産保存食料品（びん・かん詰を除く。）	0.000	2049-01	メタン誘導品	0.000
1117-01	砂糖	0.000	2049-02	可塑剤	0.000
1117-02	でん粉	0.000	2049-09	その他の有機化学工業製品	0.000
1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	0.000	2051-01	熱硬化性樹脂	0.000
1117-04	動植物油脂	0.000	2051-02	熱可塑性樹脂	0.000
1117-05	調味料	0.000	2051-03	高機能性樹脂	0.000
1119-01	冷凍調理食品	0.000	2051-09	その他の合成樹脂	0.000
1119-02	レトルト食品	0.000	2061-01	レーヨン・アセテート	0.000
1119-03	そう菜・すし・弁当	0.000	2061-02	合成繊維	0.000
1119-04	学校給食（国公立）★★	0.000	2071-01	医薬品	0.000
1119-05	学校給食（私立）★	0.000	2081-01	油脂加工製品・石けん・合成洗剤・界面活性剤	0.000
1119-09	その他の食料品	0.000	2081-02	化粧品・歯磨	0.000
1121-01	清酒	0.000	2082-01	塗料	0.000
1121-02	ビール類	0.000	2082-02	印刷インキ	0.000
1121-03	ウイスキー類	0.000	2083-01	写真感光材料	0.000
1121-09	その他の酒類	0.000	2084-01	農薬	0.000
1129-01	茶・コーヒー	0.000	2089-01	ゼラチン・接着剤	0.000
1129-02	清涼飲料	0.000	2089-09	その他の化学最終製品	0.000

表(1)-6 風力発電施設建設部門の投入係数ベクトル (続き)

分類コード	部門名	投入係数	分類コード	部門名	投入係数
2111-01	石油製品	0.003	3013-01	繊維機械	0.000
2121-01	石炭製品	0.000	3014-01	生活関連産業用機械	0.000
2121-02	舗装材料	0.002	3015-01	化学機械	0.000
2211-01	プラスチック製品	0.001	3015-02	鑄造装置・プラスチック加工機械	0.000
2221-01	タイヤ・チューブ	0.000	3016-01	金属工作機械	0.000
2229-01	ゴム製・プラスチック製履物	0.000	3016-02	金属加工機械	0.000
2229-09	その他のゴム製品	0.000	3016-03	機械工具	0.000
2311-01	革製履物	0.000	3017-01	半導体製造装置	0.000
2312-01	製革・毛皮	0.000	3019-01	金型	0.000
2312-02	かばん・袋物・その他の革製品	0.000	3019-02	真空装置・真空機器	0.000
2511-01	板ガラス・安全ガラス	0.000	3019-03	ロボット	0.000
2511-02	ガラス繊維・同製品	0.000	3019-09	その他の生産用機械	0.000
2511-09	その他のガラス製品	0.000	3111-01	複写機	0.000
2521-01	セメント	0.000	3111-09	その他の事務用機械	0.000
2521-02	生コンクリート	0.010	3112-01	サービス用機器	0.000
2521-03	セメント製品	0.003	3113-01	計測機器	0.000
2531-01	陶磁器	0.001	3114-01	医療用機械器具	0.000
2591-01	耐火物	0.000	3115-01	光学機械・レンズ	0.000
2591-09	その他の建設用土石製品	0.000	3116-01	武器	0.000
2599-01	炭素・黒鉛製品	0.000	3211-01	電子管	0.000
2599-02	研磨材	0.000	3211-02	半導体素子	0.000
2599-09	その他の窯業・土石製品	0.002	3211-03	集積回路	0.000
2611-01	鉄鉄	0.000	3211-04	液晶パネル	0.000
2611-02	フェロアロイ	0.000	3299-01	磁気テープ・磁気ディスク	0.000
2611-03	粗鋼 (転炉)	0.000	3299-02	電子回路	0.000
2611-04	粗鋼 (電気炉)	0.000	3299-09	その他の電子部品	0.000
2612-01	鉄屑	0.000	3311-01	回転電気機械	0.000
2621-01	熱間圧延鋼材	0.005	3311-02	変圧器・変成器	0.019
2622-01	鋼管	0.000	3311-03	開閉制御装置・配電盤	0.017
2623-01	冷間仕上鋼材	0.000	3311-04	配線器具	0.002
2623-02	めっき鋼材	0.000	3311-05	内燃機関電装品	0.000
2631-01	鑄鍛鋼	0.000	3311-09	その他の産業用電気機器	0.004
2631-02	鑄鉄管	0.000	3321-01	民生用エアコンディショナ	0.000
2631-03	鑄鉄品及び鍛工品 (鉄)	0.000	3321-02	民生用電気機器 (エアコンを除く。)	0.000
2699-01	鉄鋼シャースリット業	0.000	3331-01	電子応用装置	0.000
2699-09	その他の鉄鋼製品	0.000	3332-01	電気計測器	0.000
2711-01	銅	0.000	3399-01	電球類	0.001
2711-02	鉛・亜鉛 (再生を含む。)	0.000	3399-02	電気照明器具	0.000
2711-03	アルミニウム (再生を含む。)	0.000	3399-03	電池	0.000
2711-09	その他の非鉄金属地金	0.000	3399-09	その他の電気機械器具	0.000
2712-01	非鉄金属屑	0.000	3411-01	ビデオ機器・デジタルカメラ	0.000
2721-01	電線・ケーブル	0.011	3411-02	電気音響機器	0.000
2721-02	光ファイバケーブル	0.003	3411-03	ラジオ・テレビ受信機	0.000
2729-01	伸銅品	0.000	3412-01	有線電気通信機器	0.006
2729-02	アルミ圧延製品	0.000	3412-02	携帯電話機	0.000
2729-03	非鉄金属素形材	0.000	3412-03	無線電気通信機器 (携帯電話機を除く。)	0.000
2729-04	核燃料	0.000	3412-09	その他の電気通信機器	0.000
2729-09	その他の非鉄金属製品	0.000	3421-01	パーソナルコンピュータ	0.000
2811-01	建設用金属製品	0.005	3421-02	電子計算機本体 (パソコンを除く。)	0.000
2812-01	建築用金属製品	0.000	3421-03	電子計算機附属装置	0.002
2891-01	ガス・石油機器・暖房機器	0.000	3511-01	乗用車	0.000
2899-01	ボルト・ナット・リベット・スプリング	0.000	3521-01	トラック・バス・その他の自動車	0.000
2899-02	金属製容器・製缶板金製品	0.000	3522-01	二輪自動車	0.000
2899-03	配管工事附属品・粉末や金製品・道具類	0.000	3531-01	自動車用内燃機関	0.000
2899-09	その他の金属製品	0.000	3531-02	自動車部品	0.000
2911-01	ボイラ	0.000	3541-01	鋼船	0.000
2911-02	タービン	0.000	3541-02	その他の船舶	0.000
2911-03	原動機	0.000	3541-03	船用内燃機関	0.000
2912-01	ポンプ・圧縮機	0.000	3541-10	船舶修理	0.000
2913-01	運搬機械	0.000	3591-01	鉄道車両	0.000
2914-01	冷凍機・温湿調整装置	0.000	3591-10	鉄道車両修理	0.000
2919-01	ヘアリング	0.000	3592-01	航空機	0.000
2919-09	その他のはん用機械	0.000	3592-10	航空機修理	0.000
3011-01	農業用機械	0.000	3599-01	自転車	0.000
3012-01	建設・鉱山機械	0.000	3599-09	その他の輸送機械	0.000

表(1)-6 風力発電施設建設部門の投入係数ベクトル (続き)

分類コード	部門名	投入係数	分類コード	部門名	投入係数
3911-01	がん具	0.000	5921-01	公共放送	0.000
3911-02	運動用品	0.000	5921-02	民間放送	0.000
3919-01	身辺細貨品	0.000	5921-03	有線放送	0.000
3919-02	時計	0.000	5931-01	情報サービス	0.000
3919-03	楽器	0.000	5941-01	インターネット附随サービス	0.000
3919-04	筆記具・文具	0.000	5951-01	映像・音声・文字情報制作業	0.000
3919-05	畳・わら加工品	0.000	5951-02	新聞	0.000
3919-06	情報記録物	0.000	5951-03	出版	0.000
3919-09	その他の製造工業製品	0.001	6111-01	公務(中央)★★	0.000
3921-01	再生資源回収・加工処理	0.000	6112-01	公務(地方)★★	0.000
4111-01	住宅建築(木造)	0.000	6311-01	学校教育(国公立)★★	0.000
4111-02	住宅建築(非木造)	0.000	6311-02	学校教育(私立)★	0.000
4112-01	非住宅建築(木造)	0.000	6312-01	社会教育(国公立)★★	0.000
4112-02	非住宅建築(非木造)	0.000	6312-02	社会教育(非営利)★	0.000
4121-01	建設補修	0.000	6312-03	その他の教育訓練機関(国公立)★★	0.000
4131-01	道路関係公共事業	0.000	6312-04	その他の教育訓練機関(産業)	0.000
4131-02	河川・下水道・その他の公共事業	0.000	6321-01	自然科学研究機関(国公立)★★	0.000
4131-03	農林関係公共事業	0.000	6321-02	人文科学研究機関(国公立)★★	0.000
4191-01	鉄道軌道建設	0.000	6321-03	自然科学研究機関(非営利)★	0.000
4191-02	電力施設建設	0.000	6321-04	人文科学研究機関(非営利)★	0.000
4191-03	電気通信施設建設	0.000	6321-05	自然科学研究機関(産業)	0.000
4191-09	その他の土木建設	0.000	6321-06	人文科学研究機関(産業)	0.000
4611-04	自家発電	0.000	6322-01	企業内研究開発	0.009
4621-01	都市ガス	0.000	6411-01	医療(入院診療)	0.000
4622-01	熱供給業	0.000	6411-02	医療(入院外診療)	0.000
4711-01	上水道・簡易水道	0.000	6411-03	医療(歯科診療)	0.000
4711-02	工業用水	0.000	6411-04	医療(調剤)	0.000
4711-03	下水道★★	0.000	6411-05	医療(その他の医療サービス)	0.000
4811-01	廃棄物処理(公営)★★	0.002	6421-01	保健衛生(国公立)★★	0.000
4811-02	廃棄物処理(産業)	0.006	6421-02	保健衛生(産業)	0.000
5111-01	卸売	0.019	6431-01	社会保険事業★★	0.000
5112-01	小売	0.004	6431-02	社会福祉(国公立)★★	0.000
5311-01	金融	0.002	6431-03	社会福祉(非営利)★	0.000
5312-01	生命保険	0.000	6431-04	社会福祉(産業)	0.000
5312-02	損害保険	0.002	6441-01	介護(施設サービス)	0.000
5511-01	不動産仲介・管理業	0.000	6441-02	介護(施設サービスを除く。)	0.000
5511-02	不動産賃貸業	0.002	6599-01	対企業民間非営利団体	0.000
5521-01	住宅賃貸料	0.000	6599-02	対家計民間非営利団体(別掲を除く。)	0.000
5531-01	住宅賃貸料(帰属家賃)	0.000	6611-01	物品賃貸業(貸自動車を除く。)	0.032
5711-01	鉄道旅客輸送	0.007	6612-01	貸自動車業	0.000
5712-01	鉄道貨物輸送	0.000	6621-01	広告	0.003
5721-01	バス	0.000	6631-10	自動車整備	0.000
5721-02	ハイヤー・タクシー	0.000	6632-10	機械修理	0.001
5722-01	道路貨物輸送(自家輸送を除く。)	0.005	6699-01	法務・財務・会計サービス	0.006
5731-01	自家輸送(旅客自動車)	0.001	6699-02	土木建築サービス	0.031
5732-01	自家輸送(貨物自動車)	0.000	6699-03	労働者派遣サービス	0.000
5741-01	外洋輸送	0.000	6699-04	建物サービス	0.002
5742-01	沿海・内水面輸送	0.005	6699-05	警備業	0.000
5743-01	港湾運送	0.000	6699-09	その他の対事業所サービス	0.002
5751-01	航空輸送	0.000	6711-01	宿泊業	0.000
5761-01	貨物利用運送	0.000	6721-01	飲食サービス	0.000
5771-01	倉庫	0.000	6731-01	洗濯業	0.002
5781-01	こん包	0.000	6731-02	理容業	0.000
5789-01	道路輸送施設提供	0.000	6731-03	美容業	0.000
5789-02	水運施設管理★★	0.000	6731-04	浴場業	0.000
5789-03	水運附带サービス	0.000	6731-09	その他の洗濯・理容・美容・浴場業	0.000
5789-04	航空施設管理(国営)★★	0.000	6741-01	映画館	0.000
5789-05	航空施設管理(産業)	0.000	6741-02	興行場(映画館を除く。)	0.000
5789-06	航空附带サービス	0.000	6741-03	競輪・競馬等の競走場・競技団	0.000
5789-09	旅行・その他の運輸附带サービス	0.000	6741-04	スポーツ施設提供業・公園・遊園地	0.000
5791-01	郵便・信書便	0.000	6741-05	遊戯場	0.000
5911-01	固定電気通信	0.002	6741-09	その他の娯楽	0.000
5911-02	移動電気通信	0.001	6799-01	写真業	0.000
5911-09	その他の電気通信	0.000	6799-02	冠婚葬祭業	0.000
5919-09	その他の通信サービス	0.000	6799-03	個人教授業	0.000

表(1)-6 風力発電施設建設部門の投入係数ベクトル (続き)

分類コード	部門名	投入係数
6799-04	各種修理業 (別掲を除く。)	0.000
6799-09	その他の対個人サービス	0.000
6811-00	事務用品	0.004
6911-00	分類不明	0.000
R101-01	太陽電池モジュール	0.000
R101-02	タワー (風力発電)	0.109
R101-03	ブレード (風力発電)	0.132
R101-04	ナセル (風力発電)	0.283
R102-01	住宅用太陽光発電設置	0.000
R102-02	小規模産業用太陽光発電設置 (屋根設置)	0.000
R102-03	大規模産業用太陽光発電設置 (屋根設置)	0.000
R102-04	大規模産業用太陽光発電設置 (地上設置)	0.000
R102-05	風力発電施設建設	0.000
R102-06	小規模地熱発電施設建設	0.000
R102-07	重力探査 (大規模地熱発電)	0.000
R102-08	電磁探査 (大規模地熱発電)	0.000
R102-09	環境影響評価 (大規模地熱発電)	0.000
R102-10	噴出試験 (大規模地熱発電)	0.000
R102-11	調査井掘削 (大規模地熱発電)	0.000
R102-12	生産井掘削 (大規模地熱発電)	0.000
R102-13	還元井掘削 (大規模地熱発電)	0.000
R102-14	蒸気輸送管敷設 (大規模地熱発電)	0.000
R102-15	熱水輸送管敷設 (大規模地熱発電)	0.000
R102-16	大規模地熱発電施設建設	0.000
R102-17	小水力発電施設建設	0.000
R102-18	木質バイオマス専焼発電施設建設	0.000
R102-19	メタン発酵ガス化発電施設建設 (下水汚泥)	0.000
R102-20	廃棄物処理施設建設 (家畜排せつ物)	0.000
R102-21	メタン発酵ガス化発電施設建設 (家畜排せつ物)	0.000
R102-22	廃棄物処理施設建設 (食品廃棄物)	0.000
R102-23	メタン発酵ガス化発電施設建設 (食品廃棄物)	0.000
4611-01a	原子力発電	0.000
4611-02a	石炭火力発電	0.000
4611-02b	石油火力発電	0.000
4611-02c	LNG火力発電	0.000
4611-03a	水力発電 (大規模)	0.000
R104-01	住宅用太陽光発電	0.000
R104-02	小規模産業用太陽光発電 (屋根設置)	0.000
R104-03	大規模産業用太陽光発電 (屋根設置)	0.000
R104-04	大規模産業用太陽光発電 (地上設置)	0.000
R104-05	風力発電	0.000
R104-06	小規模地熱発電	0.000
R104-07	大規模地熱発電	0.000
R104-08	小水力発電	0.000
R104-09	木質バイオマス専焼発電	0.000
R104-10	メタン発酵ガス化発電 (下水汚泥)	0.000
R104-11	廃棄物処理 (家畜排せつ物)	0.000
R104-12	メタン発酵ガス化発電 (家畜排せつ物)	0.000
R104-13	廃棄物処理 (食品廃棄物)	0.000
R104-14	メタン発酵ガス化発電 (食品廃棄物)	0.000
4611-04	送配電	0.001
7000-00	内生部門計	0.781
7111-001	宿泊・日当	0.000
7111-002	交際費	0.002
7111-003	福利厚生費	0.004
9111-000	賃金・俸給	0.115
9112-000	社会保険料 (雇用主負担)	0.008
9113-000	その他の給与及び手当	0.002
9211-000	営業余剰	0.029
9311-000	資本減耗引当	0.008
9321-000	資本減耗引当 (社会資本等減耗分)	0.000
9411-000	間接税 (関税・輸入品商品税を除く。)	0.052
9511-000	(控除) 経常補助金	0.000
9600-000	租付加価値部門計	0.219
9700-000	国内生産額	1.000

(b) 投入係数行列

図(1)-6に、作成した2013年再エネI/O表（投入係数表）の概念図を示す。2011年産業連関表の基本分類の既存394部門に、再エネ関連部門が創設されるとともに、事業用電力部門を分割した複数の発電部門と送配電部門が追加されている。

再エネI/O表は、現実のデータを用いた精緻な推計に基づき作成されていることが大きな特徴であるが、もう一つの特徴として、再エネ関連部門を内生化していることがあげられる。これにより、再エネ技術導入の効果を容易に評価することが可能となる。既存のI/O表を用いて、例えば、再エネ発電施設の建設による影響評価を行う場合、①「電力施設建設」部門の最終需要に事業費を一括して与える、② 事業費を細分化し、それぞれを該当するI/O部門の最終需要に与える、という2つの方法がある。しかし、①は「4）再エネI/O表の有効性の検証」にて後述するように適切な評価ができない可能性が高く、②は一般には技術的に難しく機会費用が高い。再エネI/O表では、建設投資額を最終需要として一部門に与えるだけで、再エネ発電施設の建設による波及効果を算出することができる。例えば、あるメガソーラー発電施設の建設費が3億円の場合、「大規模産業用太陽光発電設置（地上設置）」部門に最終需要として3億円^{脚注(1)-6}を与えて計算すれば、その施設建設に伴う経済波及効果を算出することができる。

作成した2013年再エネI/O表（投入係数表）、再生可能エネルギー政策の検討に幅広く利用してもらうため、インターネット上に公開している。再エネI/O表は下記の以下のウェブページから入手が可能である。

<http://www.hondo.ynu.ac.jp/renewables/>

		内生部門												
		1	2	...	394	[1-1]	[1-2]	[1-3]	[1-4]	[1-5]	[2-1]	[2-2]	[2-4]	[2-6]
内生部門	部門1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1394}									
	部門2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2394}									
	⋮	⋮	⋮									
	部門394	x_{3941}	x_{3942}	...	x_{394394}									
	[1-1] 再エネ・発電「設備製造」新設4部門													
	[1-2] 再エネ・発電「施設建設」新設23部門													
	[1-3] 事業用電力（発電）分割5部門													
	[1-4] 再エネ・発電「運用」新設14部門													
	[1-5] 事業用電力（送配電）分割1部門													
	[2-1] 再エネ・熱「設備製造」新設2部門													
	[2-2] 再エネ・熱「施設建設」新設7部門													
	[2-4] 再エネ・熱「運用」新設7部門													
	[2-6] 再エネ・熱「燃料製造」新設1部門													
	粗付加価値													
国内生産額														

図(1)-6 2013年再エネI/O表（投入係数表）の概念図

脚注(1)-6 正確には、建設費が2013年時点での価格では無い場合、2013年時点の価格へ変換する必要がある。

4) 再エネI/O表の有効性の検証

作成した再エネI/O表を用いて、再エネ技術の施設建設ならびに施設運用（発電、熱生産）に伴う生産誘発効果を推計した。その結果、下記に示すように、再エネ技術によって生産誘発効果が大きく異なることが示され、再エネI/O表の有効性が確認できた。

(a) 再エネ発電施設の建設

12種の再エネ発電技術のうち、大規模産業用太陽光発電（地上設置）、風力発電、大規模地熱発電、小水力発電、木質バイオマス発電、メタン発酵ガス化発電（下水汚泥）の6種類を取り上げ、その施設建設ともなう生産誘発効果の大きさと部門構成比を、それぞれ表(1)-7と図(1)-7に示す。表(1)-7の数値は、各技術の施設建設による生産誘発効果とその間接分を示している。例えば、太陽光発電の場合、1億円の投資に対して、直接効果として1億円、間接効果として2.01億円、計3.01億円の生産が誘発されることを意味する。図(1)-7は、その経済誘発効果の間接分が、どの産業でどのくらい生じるか（生産誘発係数の部門構成比）を示している。なお、図(1)-7は、各技術の特徴を見やすくするために、基本分類（459部門）で推計された結果を24部門に集約したものである。

基本分類での詳細な推計結果は文献¹⁵⁾にて公表されている。

① 技術による波及効果の差異

表(1)-7に示されるように、各技術の生産誘発係数は、2.507から3.011（間接効果は1.507から2.011）の間に分布している。誘発効果が突出して高い発電技術はないが、図(1)-7で示されるように、その内訳は技術により大きく異なる。例えば、太陽光発電では、「電気機械」の誘発効果が非常に大きく、全体の25%を占める。これは、太陽電池モジュールとパワーコンディショナー、およびその部品の生産が誘発されるためである。また、架台やモジュールの生産を通じて、「非鉄金属」や「電子部品」等の素材産業の生産が誘発されている。太陽光発電では、機器の投入比率が大きいために誘発係数を全体的に押し上げている。

風力発電では、「はん用機械」への波及が大きく、全体の26%を占める。これは、主に、ナセルやブレード、および、その関連部品の生産が誘発されることによる。次いで波及効果大きい「鉄鋼」には、タワーの製造、ナセル内の機器の製造、基礎工事に用いられる鉄筋の生産による誘発が含まれる。

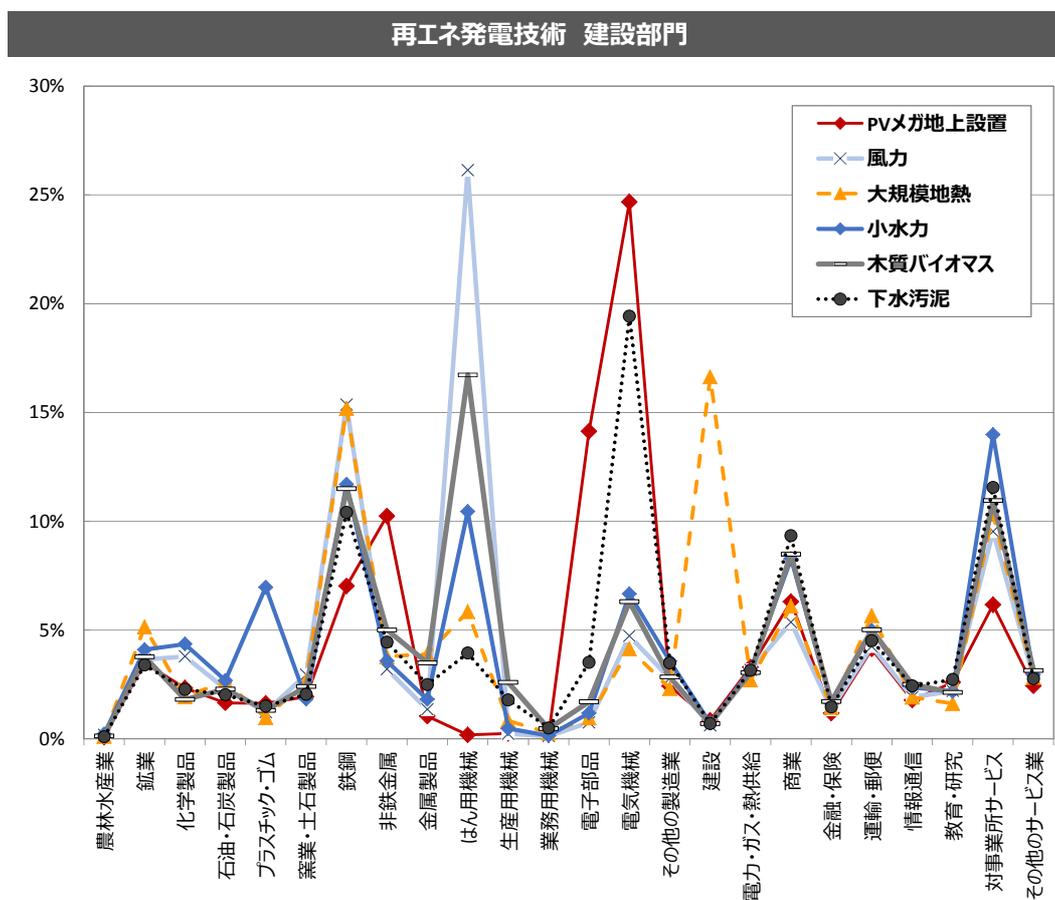
大規模地熱発電で誘発効果大きい部門は「建設」であるが、これは生産井・還元井掘削による誘発である^{脚注(1)-7}。大規模地熱発電の建設でもタービンやポンプ等、様々な機器が投入されるが、生産井・還元井掘削への波及効果が大きいため、機器製造への波及効果が薄められている。

小水力発電は、タービン製造の影響により「はん用機械」の誘発が大きい他、水圧管路の生産に伴い「鉄鋼」、「プラスチック・ゴム」に誘発効果もたらされることが特徴的である。木質バイオマス発電は、ボイラ、タービン、コンベア製造の影響が大きく、「はん用機械」への波及が全体の17%を占める。ガス化発電（下水汚泥）では、「電気機械」へのインパクトが大きく、波及効果全体の19%を占める。これは、発電機（ガスエンジン）による影響である。

^{脚注(1)-7} 通常、建設部門の生産物は最終需要部門（固定資本形成）に計上されるため、建設部門の生産物が他の部門へ中間投入されることはないが、本研究では、大規模地熱発電の技術特性を明確に表現するため、井戸掘削部門から発電所建設部門へ投入する形式を取っている。

表(1)-7 再エネ発電施設の建設にともなう生産誘発効果

対象技術	生産誘発係数	生産誘発係数 (間接分)
大規模産業用太陽光発電（地上設置）	3.011	2.011
風力発電	2.796	1.796
大規模地熱発電（フラッシュ）	2.875	1.875
小水力発電	2.566	1.566
木質バイオマス専焼発電	2.507	1.507
メタン発酵ガス化発電（下水汚泥）	2.721	1.721



図(1)-7 再エネ発電施設の建設による波及効果の技術間比較（生産誘発係数の部門構成比）

② 全技術共通の波及効果

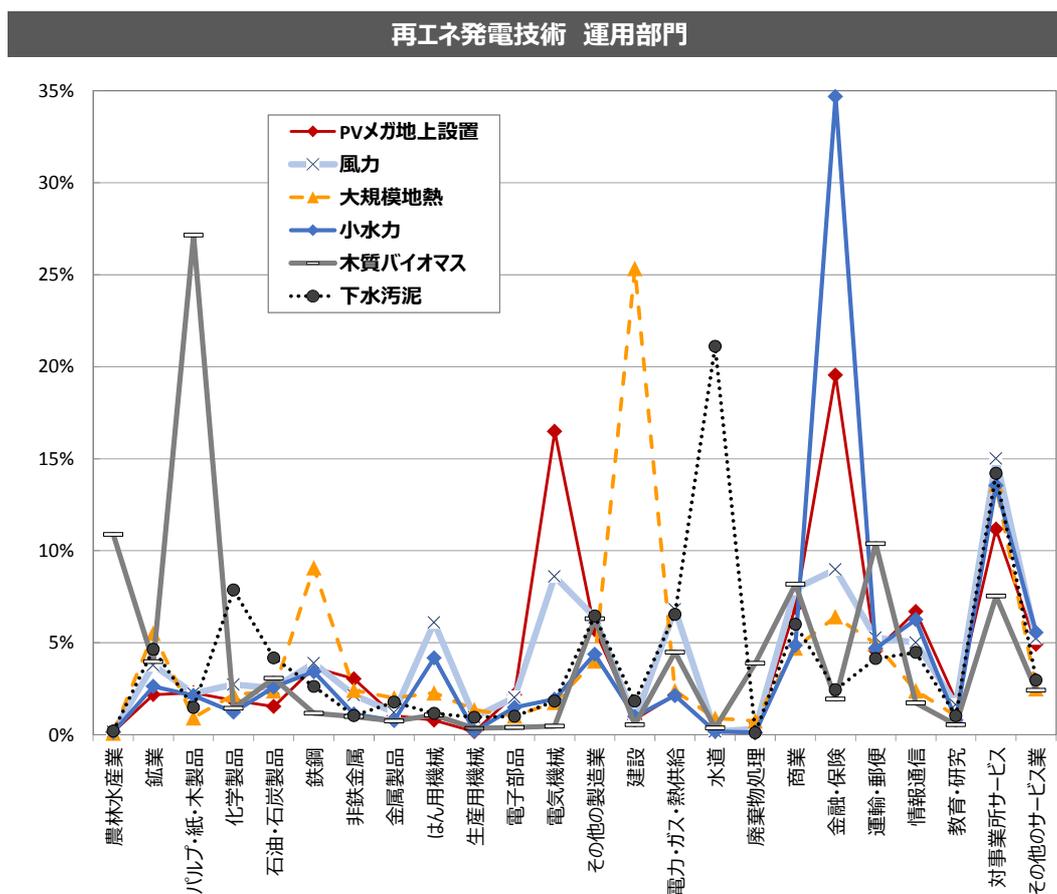
製造業への波及効果が技術により異なるのに対し、サービス業にもたらされる誘発効果は、全技術でほぼ共通している。施設建設の前に実施される調査・設計やコンサルタント、工事での重機などのリースによる影響が大きい「対事業所サービス」の他、幅広い生産活動にサービスを提供する「商業」や「運輸・郵便」に大きな波及効果が生まれている。

(b) 再エネ発電施設の運用

表(1)-8と図(1)-8に、施設建設と同じ6種の技術の施設運用（発電）にともなう生産誘発効果の大きさと部門構成比を示す。なお、図(1)-8は図(1)-7と同じく、各技術の特徴を見やすくするために、基本分類（459部門）で推計された結果を24部門に集約したものであり、基本分類での詳細な推計結果は文献¹⁵⁾にて公表されている。

表(1)-8 再エネ発電施設の運用（発電）にともなう生産誘発効果

対象技術	生産誘発係数	生産誘発係数 (間接分)
大規模産業用太陽光発電（地上設置）	1.096	0.096
風力発電	1.345	0.345
大規模地熱発電（フラッシュ）	1.141	0.141
小水力発電	1.053	0.053
木質バイオマス専焼発電	2.242	1.242
メタン発酵ガス化発電（下水汚泥）	1.873	0.873



図(1)-8 再エネ発電施設の運用による波及効果の技術間比較（生産誘発係数の部門構成比）

① 技術による波及効果の差異

運用部門の生産誘発係数は、木質バイオマス発電とメタン発酵ガス化発電がそれぞれ2.242と1.873と、その他の技術（1.053～1.345）よりも大きい（表(1)-8）。前者は、発電燃料（木質チップ、バイオガス）の生産にともなう波及効果が大きく、その影響で誘発係数が高くなっている。木質バイオマス発電では、燃料として使用する木質チップの生産が誘発され（「パルプ・紙・木製品」）、そこからさらに上流の林業（「農林水産業」）の生産も引き起こしている。ガス化発電（下水汚泥）では、その活動が下水処理サービス活動に付随するため、「水道」の生産が誘発されている。また、燃料であるバイオガスを精製する過程で薬品が必要となるため、その影響が「化学製品」の誘発効果に表れている。

それ以外の技術は、相対的に機械製造部門の比率が高い。これは、定期点検および修繕によって引き起こされる生産である^{脚注(1)-8}。波及効果の内容をみると、太陽光発電ではパワーコンディショナー（「電気機械」）、風力発電では風向風力計、航空障害灯（「電気機械」）、ヨーシステム（「はん用機械」）、小水力発電ではタービン、ベアリング（「はん用機械」）の修繕や交換による生産誘発効果が創出されている。大規模地熱発電では、運用時に行われる井戸の追加掘削によって、「建設」の生産が誘発されることが特徴的である。

② 全技術共通の波及効果

全技術において、サービス業への波及効果が大きく、中でも、「金融・保険」の割合の高さが際立っている。この波及効果は、第一に、投入係数に占める損害保険費のウエイトが高いこと、第二に、金融業・保険業の感応度が高いことによるものである。小水力発電と太陽光発電では保険費以外の運用コストが小さいため、この特徴が顕著に表れている。次いで、「対事業所サービス」に大きな波及効果が生み出されている。これは、「対事業所サービス」がほぼ全ての生産活動に関わる部門であることに加え、発電施設の事務部門で直接的に必要な会計等の専門職サービス等も当該部門に含まれているためである。

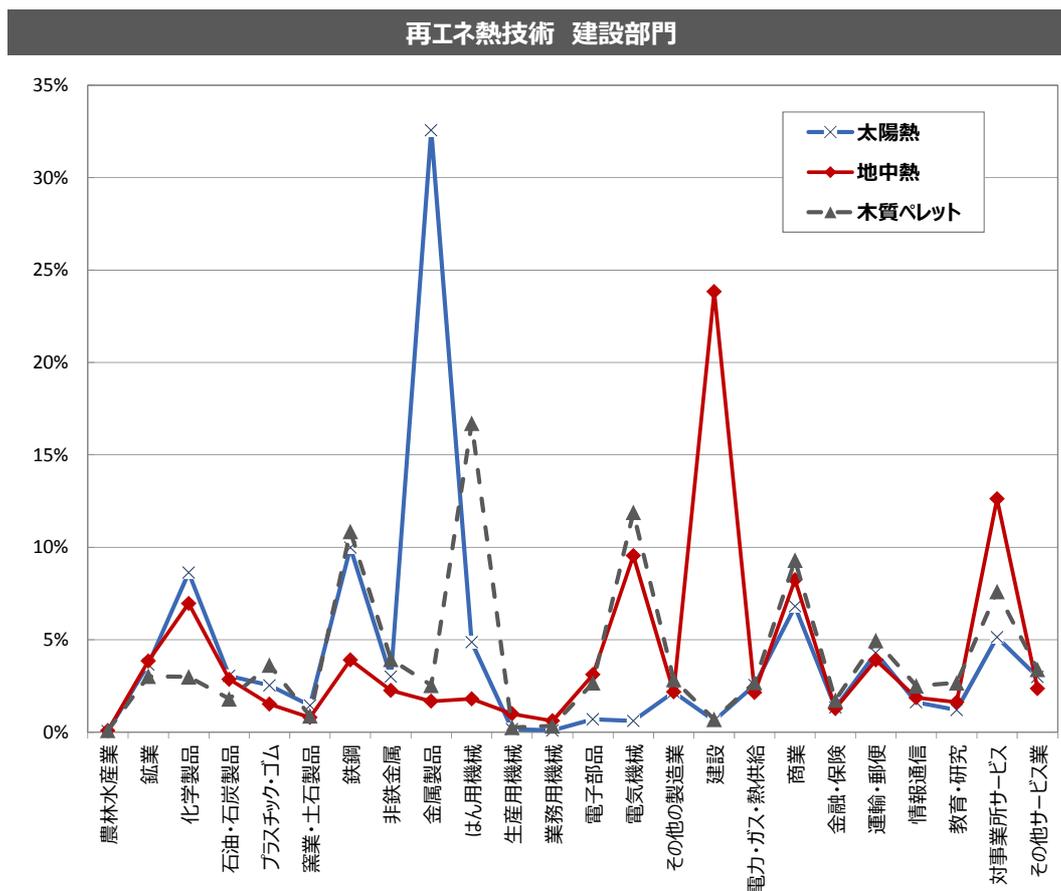
(c) 再エネ熱供給施設の建設

5種の再エネ熱供給技術のうち、住宅用太陽熱給湯システム（自然循環型）、地中熱ヒートポンプシステム、木質ペレット燃焼熱利用システムの3種を取り上げ、その施設建設にともなう生産誘発効果の大きさと部門構成比を、それぞれ表(1)-9と図(1)-9に示す。表(1)-9の数値は、各技術の施設建設による間接的な生産誘発効果の合計値を示している。例えば、地中熱の場合、1億円の投資に対して、直接効果として1億円、間接効果として2.165億円、計3.165億円の生産が誘発されることを意味する。図(1)-9は、その間接的な経済誘発効果が、どの産業でどのくらい生じるか（生産誘発係数の部門構成比）を示している。発電技術と同様に、各技術の特徴を見やすくするために、基本分類（459部門）で推計された結果を24部門に集約したものである。

^{脚注(1)-8} 本研究では、波及構造を正確に把握するため、修繕費を「機械修理」部門からの投入とはせず、事業者データの実際の会計処理に従い、機器購入費と人件費として計上している。

表(1)-9 熱供給システムの建設にともなう生産誘発効果

対象技術	生産誘発係数	生産誘発係数 (間接分)
太陽熱（自然循環型）	2.832	1.832
地中熱	3.165	2.165
木質ペレット	2.675	1.675



図(1)-9 熱供給システムの建設による波及効果の技術間比較（生産誘発係数の部門構成比）

表(1)-9に示されるように、各技術の生産誘発係数は、2.675から3.165（間接効果は1.675から2.165）と推計された。発電施設の建設と同様、3種のシステムの建設がもたらす波及効果は技術により大きく異なる結果となった（図(1)-9）。

太陽熱では、「金属製品」への波及が非常に大きく、全体の32.6%を占める。これは、第一に、システムの建設にともない誘発される太陽熱温水器の製造、すなわち、集熱器や貯湯槽の製造において金属製品が多く使用されていることに起因する。第二に、補助熱源として設置されるガス給湯器の製造が誘発されることによるものである^{脚注(1)-9}。これら金属製品の生産を通じて、「鉄鋼」

脚注(1)-9 ガス給湯器は「ガス・石油機器・暖房機器」部門であり、当該部門は36部門分類では「金属製品」部門に分類される。

への波及が生じている。

地中熱では、「建設」への波及が大きく、全体の23.8%を占める。これは、地中熱交換器の設置による誘発である^{脚注(1)-10}。地中熱交換井の掘削では重機が用いられるため、リースや機械修理が誘発されることにより「対事業所サービス」にも大きな波及効果が生じている。「建設」以外で波及効果が大きい「電気機械」、「化学製品」に関しては、前者は熱源機器や室内機、および、その関連部品の生産、後者は配管の生産が誘発されることによるものである。

木質ペレットでは、建設費に占める熱源機器・室内機の割合が非常に高い。その影響が「はん用機械」、「電気機械」の誘発効果に表れている。さらに、そこから波及が広がり、それらの機器の製造するための「鉄鋼」の生産が誘発されている。

(d) 再エネ熱供給施設の運用部門

表(1)-10と図(1)-10に、施設建設と同じ3種の技術のシステムの運用にともなう生産誘発効果の大きさと部門構成比を示す。なお、図(1)-10は図(1)-9と同じく、各技術の特徴を見やすくするために、基本分類（459部門）で推計された結果を24部門に集約している。

表(1)-10が示すように、熱供給システムの運用部門の生産誘発係数は、木質ペレット燃焼熱利用システムが、太陽熱給湯システム、地中熱ヒートポンプシステムよりも若干大きい結果となった。これは、第一に、発電技術と同様、燃料である木質ペレットの製造にともなう波及効果が大きいこと、第二に、補助燃料としてLPGが用いられることの影響の大きさに起因する。木質ペレット製造にともなう生産誘発効果は「パルプ・紙・木製品」、さらにその先の「農林水産業」に創出されている。LPG消費にともなう生産誘発効果は、「石油・石炭製品」、さらにその先の「鉱業」で引き起こされている。

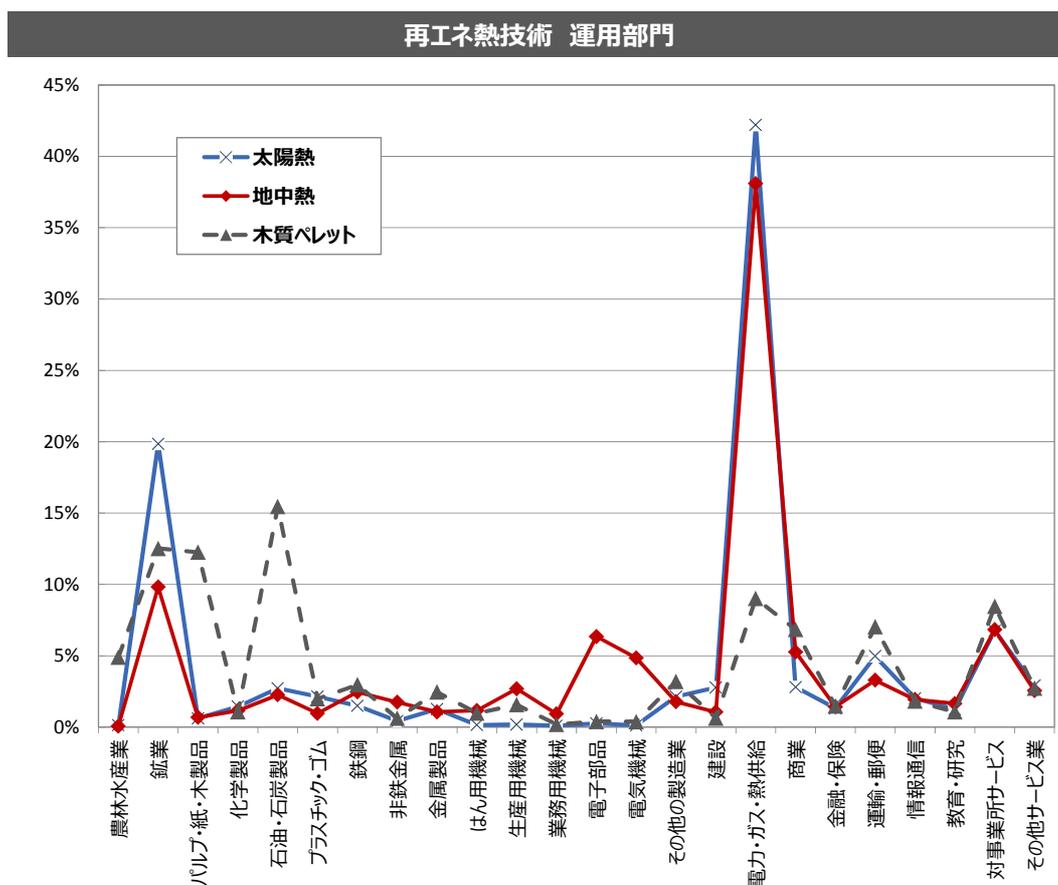
一方、太陽熱給湯システムでは運用時に電力と都市ガスが、地中熱ヒートポンプシステムでは運用時に電力が消費される。これらの影響は、「電力・ガス・熱供給」の生産が誘発されることに表れている。また、木質ペレットと同様に、そこからさらに上流の「鉱業」の生産が生み出されている。

このように、熱供給システムの運用では、定期点検や機器の交換などの生産活動も行われているものの、LPGや電力、都市ガス消費の影響が非常に大きい点が発電技術と異なっている。

表(1)-10 各熱供給システムの運用にともなう生産誘発効果

対象技術	生産誘発係数	生産誘発係数 (間接分)
太陽熱（自然循環型）	1.888	0.888
地中熱	1.399	0.399
木質ペレット	2.653	1.653

^{脚注(1)-10} 大規模地熱発電と同様に、地中熱ヒートポンプシステムの技術特性を明確に表現するため、地中熱交換井の掘削や熱交換器の設置は、熱源機・室内機設置部門へと投入される形式を取っている。通常は、建設部門の生産物は最終需要部門（固定資本形成）に計上される。



図(1)-10 熱供給システムの運用による波及効果の技術間比較（生産誘発係数の部門構成比）

5) 再生可能エネルギー技術に係わる公的な統計データ整備の方向性の提示

再エネI/O表の作成を通して得られた知見に基づき、再エネ技術に関する公的な統計データの整備のあり方について検討した。

(a) 再エネを用いた電力・熱の生産量・額

情報基盤の構築において、我が国における再エネを用いた電力・熱の生産量・額に関する情報を必要としたため、再エネ発電に関しては表(1)-11に示すような様々な文献等を利用した。このことは、これらの情報に関して一元的な情報源が存在していないことを示している。太陽光発電、風力発電、地熱発電に関しては、個別技術ごとには比較的情報がまとまって存在しているが、小水力発電、木質バイオマス発電は個別に見ても十分な情報が存在していない。また、再エネ熱に関しては、さらに情報が少ない状況である。

今後、再エネの効果的な導入に向けた政策や制度の立案、またそれら进行评估するためには、再エネに関する情報を一元的にまとめた統計の整備が求められる。再エネ発電・熱設備に特有の製品（太陽電池、ブレードなど）に関しては、国が製造事業者に対して投入調査（産業関連構造調査）を実施したり、関連業界団体が自主的にとりまとめたものを国が一元化したりすることなど

が考えられる。また、再エネ発電・熱生産設備の建設や運用に関する情報は、設置業者や事業主体による自治体への届け出制度と自治体から国への報告制度を組み合わせることで、集約することなどが考えられる。

表(1)-11 再エネ発電技術に関する製造、建設、運用の生産量・額の推計において利用した文献等

発電技術	段階	利用した文献等
太陽光発電	製造	平成23年産業連関表,平成27年,総務省 JPEAのHP「日本における太陽電池の出荷量」
	建設	電気事業便覧,平成24年,電気事業連合会統計委員会 地方公営企業年鑑,平成23年,総務省 資源エネルギー庁のHP「RPS法」 太陽光発電システム等の普及動向に関する調査報告書,H25.2,資源エネルギー庁 JPEAのHP「日本における太陽電池の出荷量」
	運用	電気事業便覧,平成24年,電気事業連合会統計委員会 2011年度RPS法施工状況 FIT情報公開用サイト「買取電力量」 資源エネルギー庁のHP「RPS法」 資源エネルギー庁のHP「太陽光発電の導入量」
風力発電	製造	風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書,平成25年5月,一般社団法人日本産業機械工業会
	建設	電気事業便覧,平成24年,電気事業連合会統計委員会
	運用	電気事業便覧,平成24年および26年,電気事業連合会統計委員会 資源エネルギー庁のHP「RPS法」 FIT情報公開用サイト「買取電力量」
大規模地熱発電 (フラッシュ)	建設	地熱発電の現状と動向,2006,社団法人火力原子力発電技術協会 NEPCのHP「平成23年度 中小水力・地熱発電開発費等補助金(地熱発電開発事業)」
	運用	電気事業便覧,平成24年および26年,電気事業連合会統計委員会 資源エネルギー庁のHP「RPS法」 FIT情報公開用サイト「買取電力量」
小水力発電 (200~1000kW)	建設	全国小水力利用推進協議会HPデータベース 10電力会社のHP
	運用	全国小水力利用推進協議会HPデータベース 10電力会社のHP 環境省のHP
木質バイオマス 発電	建設	WEB調査
	運用	農林中金総合研究所「木質バイオマス発電の動向と課題への対応」,2013.10 経済産業省のHP「固定価格買取制度」
バイオガス発電 (下水汚泥)	運用	平成24年度版 下水道統計第69号
バイオガス発電 (生ごみ)	運用	バイオマス発電燃料等に関する廃棄物該当性の判断事例集,H24,環境省 平成25年度食品循環資源の再生利用等実態調査報告,農林水産省 日田市ヒアリング調査

(b) 再エネ技術に関連する製品の輸入

再エネ発電・熱技術は初期投資が大きく、その設備に使われている各種製品(例えば、太陽電池、ローターブレード、水車など)が国産か否かによって、再エネ導入による国内産業の活性化や雇用創出効果は大きく変わり得る。しかし、これらの製品の輸入割合(言い換えれば国産割合)に関する統計情報はほとんど得られなかった。したがって、本研究では、業界団体や専門家など

に対するヒアリング調査に基づき、大まかな比率を設定した。

今後、これらの製品の輸入／国産の情報を得るためには、再エネ発電・熱設備に特有の製品（太陽電池、ブレードなど）の製造事業者に対する投入調査（産業連関構造調査）の実施などが考えられる。また、上記(a)で述べたような再エネ発電・熱生産設備の設置業者や所有者による届け出の際に、特定の製品を指定して、国産か海外産かもあわせて報告を求めることも考えられる。

(c) 公的な再エネI/O表の整備

再エネ技術の環境・社会経済影響の評価を行う際に、再エネ技術の投入構造が既存の産業連関表の電力や熱供給部門のそれと同質であるとみなせるのであれば、既存の産業連関表を用いれば良い。しかし、再エネ技術の投入構造は既存の電力や熱供給部門のそれと異なるばかりではなく、再エネ技術間でも異質であることが本研究で明らかになった。産業連関表では、1つの内生部門において投入構造が異なる産出物が混在し、かつその生産額が大きい場合には、独立した内生部門を設定すること（列部門を分割すること）が検討される。

本研究において再エネI/O表の作成の障壁となったのは、事業者データの入手が困難であることを除くと、再エネ技術の投入構造や原材料の調達先に関する情報を一元的に入手可能な公的な統計データがないことと、再エネ技術間で公的な統計データから得られる情報量の多寡にばらつきがあることである。国が事業者に投入調査（産業連関構造調査）を実施したり、事業者が公的機関に何かしらの届け出を行うタイミングで共通の様式の調査を行ったりすることで、再エネ技術の情報を一元的に入手可能な公的な統計データを整備する必要があるだろう。

また、これまでは電源の区別なく電気事業者から電力を購入することが一般的であったが、電力の自由化によって今後消費者が電源を選択できるようになれば、再エネ技術の産出構造も既存の電力部門のそれとは異なるものになる可能性がある。その際には、産業連関表の行部門についても分割が検討されるだろう。

今後再エネ技術の普及が進むことによって、その生産額が増大し、また産出先も既存の電力や熱供給部門と異なるようになれば、再エネ技術について拡張した産業連関表を公的に整備することが社会的に要請される。このように実態を把握した公的な統計データの整備は、再エネ技術の精緻な評価のために不可欠である。また、拡張の対象には、総務省が中心となって作成する産業連関表だけでなく、環境省が作成する環境分野分析用産業連関表¹⁶⁾における物量や環境負荷因子の表も含まれる。本研究で開発した再エネI/O表の作成手法は、これらの公的な再エネI/O表の作成に寄与すると考えられる。

(3) 地域エネルギーデータベースの作成

基礎自治体別のエネルギーデータベースの作成可能性について検討するため、日本の基礎自治体に多い中山間地域の典型として山梨県都留市を取り上げ、地域における再エネ導入ポテンシャルとエネルギー需要空間分布を推計し、プロトタイプを作成した。

1) 既往調査を活用した導入ポテンシャル

環境省が実施した既存調査である「平成24年度再生可能エネルギーに関する基礎情報整備」¹⁷⁾

のデータに基づき、山梨県都留市における再エネの賦存量と導入ポテンシャルを整理した（表(1)-12）。平成25年6月に「平成24年度再生可能エネルギーに関する基礎情報整備」¹⁷⁾が公表された後も、基礎自治体別に最新の導入ポテンシャルがGISを用いて推計されており、太陽光発電、風力発電、中小水力発電（河川部）、地熱発電、太陽熱、地中熱については、基礎自治体別に導入ポテンシャルデータを用いることが可能である。ただしバイオマスについては当該報告書では検討対象外となっている。

バイオマスについてはNEDOが公表している「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」¹⁸⁾のデータに基づき整理した（表(1)-13）。「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」¹⁸⁾においても、各種バイオマスの賦存量と有効利用可能量が基礎自治体別に推計されており、基礎自治体別の導入ポテンシャルデータとして利用である。

表(1)-12 山梨県都留市における再エネ導入ポテンシャル¹⁷⁾

種類	項目	推計値
太陽光発電	住宅用等太陽光発電の導入ポテンシャル	65kW
	公共系等太陽光発電の導入ポテンシャル	38kW
風力発電	風力発電の賦存量	205kW
	風力発電の導入ポテンシャル	1kW
中小水力発電 （河川部）	中小水力（河川部, 3万kW未満）の賦存量	62kW
	中小水力（河川部, 3万kW未満）の導入ポテンシャル	62kW
地熱発電	地熱発電の賦存量	0kW
	地熱発電の導入ポテンシャル	0kW
太陽熱	太陽熱利用の導入ポテンシャル	20,537万MJ
地中熱	地中熱の導入ポテンシャル	131,865万MJ

賦存量： 設置可能面積、平均風速、河川流量等から理論的に算出することができるエネルギー資源量。現在の技術水準では利用することが困難なもの（例：風速5.5 m/s 未満の風力エネルギーなど）を除き、種々の制約要因（土地の傾斜、法規制、土地利用、居住地からの距離等）を考慮しないもの。

導入ポテンシャル： エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量。「種々の制約要因に関する仮定条件」を設定した上で推計される。賦存量の内数となる。

既存設備の取扱い： 賦存量や導入ポテンシャルには既存設備の設備容量は含まれていない。

表(1)-13 山梨県都留市における未利用系・廃棄物系バイオマスの有効利用可能量¹⁸⁾

種類	細分類	推計値
未利用系	木質系（林地残材、切捨間伐材、果樹剪定枝、タケ）	7,901GJ/年
	農業残渣（稲わら、もみ殻、麦わら、その他）	3,390GJ/年
	草本系（ササ、ススキ）	38,877GJ/年
廃棄物系	木質系（製材廃材、建築廃材、新增築廃材、公園剪定枝）	6,834GJ/年
	家畜糞尿・汚泥（牛・豚・鶏、下水・し尿・浄化槽余剰・集落排水）	116GJ/年
	食品系（食品加工、家庭系厨芥、事業系厨芥）	15,896GJ/年
合計		73,614GJ/年

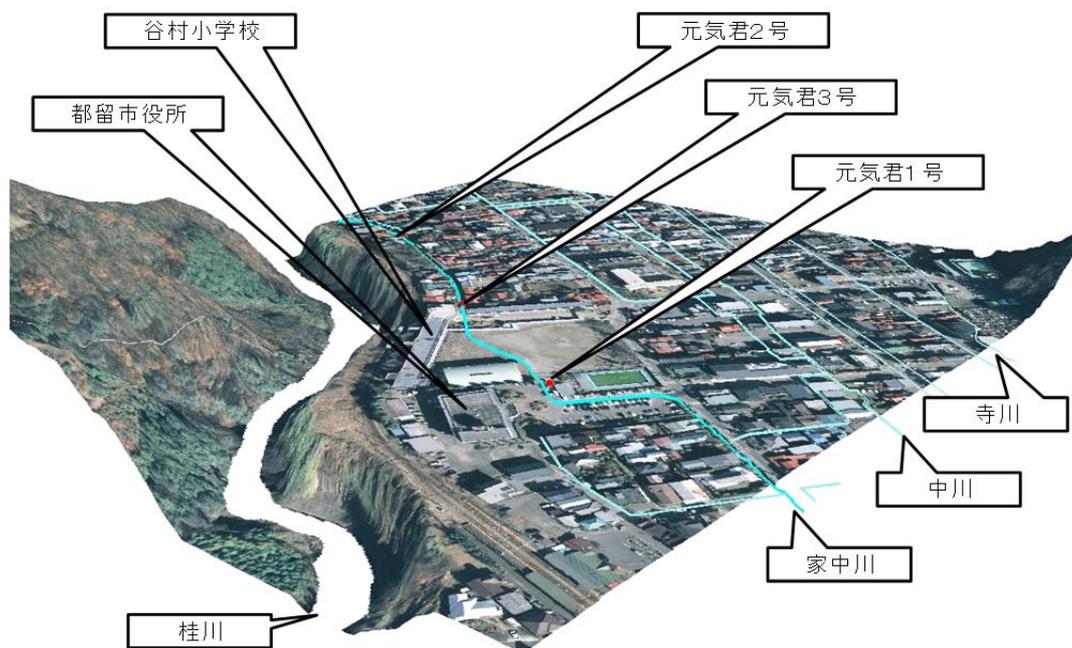
2) GISを用いた導入ポテンシャルの推計

一部の再エネ、具体的には用水を用いた小水力発電と湧水・用水の熱利用に関しては、既存調査から基礎自治体別に導入ポテンシャルを把握することが出来なかったため、GISを用いた推計手法を開発した。また、木質バイオマスに関しては、林地残材や切捨間伐材などの未利用部分だけでなく森林資源全体としてのポテンシャルについて推計した。

(a) 河川・用水ネットワーク図の作成

都留市は、富士山からの湧水起源の豊かな水、市街地の傾斜した地形が特徴であるため、湧水・用水を活用した小水力発電と熱利用が考えられる。しかし既存調査では、表(1)-12にまとめたように、河川水を利用した中小水力発電の導入ポテンシャルしか推計されていない。少なくない基礎自治体で湧水・用水を用いた小水力発電と熱利用が期待される。

そこで、河川水に加え、湧水・用水を活用した小水力発電利用ポテンシャルと水の熱利用ポテンシャルを的確に推計するために、都留市における水のエネルギー利用の基盤となる、GIS（地理情報システム）の河川・用水ネットワーク図を作成した（図(1)-11）。河川・用水ネットワーク図は、市内を流れる河川・用水全てのルート、流向を踏査により把握し、主な地点の流量、水温を測定して、その測定データを格納している。この測定データとGISの空間解析機能を用いて、小水力発電と熱利用可能ポテンシャルを推計した。



図(1)-11 河川・用水ネットワーク図

(b) 小水力発電の利用可能ポテンシャル

(b)-1 推計方法

都留市では大正期より東京電力鹿留・谷村・川茂の3水力発電所が稼働しており、現在合計で最大35,600 kWの商業電力を発電している。したがって一級河川桂川とその支流鹿留・菅野・芹沢・朝日・大幡の各河川には、発電事業の水利権が設定されており、新規の発電事業ができない。また各河川の沢については降雨時にのみ流水する沢河川が多く、また常時流水している小河川も流量の変動が大きく、更に設置に洪水土砂災害への対応が欠かせずコスト的に問題がある。

したがって、ここでは比較的認可・合意と事業採算性が得やすい市内の生活・農業用水に着目して、流量の多い夏狩・十日市場・平栗・家中・二ヶ堰・五ヶ堰の6用水を対象として、小水力発電利用ポテンシャルを推計した（図(1)-12）。



図(1)-12 小水力発電の利用可能ポテンシャル推計の対象とした6用水

小水力発電の利用可能ポテンシャルを把握するために、国土交通省提供のレーザープロファイラーのデータで1 m メッシュの高さ情報を、用水ルートとのデータと重ねて、各ルートの1 m 毎のポイントに高さ情報を付与する。その結果に基づく高低差に流量をかけあわせる以下の式で理論水力値を算出し、それをエネルギー賦存量とした（式(1)-16）。

$$\text{理論水力 [W]} = 9.8 \times H \times Q \quad \text{式(1)-16}$$

ここで、9.8: 重力加速度 (m/s^2)、H: 落差 (m)、Q: 流量 (m^3/sec) である。この理論水力とすでに稼働中の3台の小水力発電の実際の発電量とを比較検証し、6用水全域に当てはめて、小水力発電の立地可能地点を抽出し、その利用可能ポテンシャルを推計した。

(b)-2 推計結果と考察

一般的に、小水力発電の理論水力は用水の全ルートに存在するのではなく、発電可能な大きな理論電力値を持つ立地可能地点は限られてくる。都留市の場合も十数カ所（発電方式により数は増減）に止まり、現在の3台の小水力発電機の設置場所はその中でも特に大きなポテンシャルを有する地点であることが明確になった。言い換えれば、残っている高いポテンシャルを有する地点数

は多くはなく、それぞれの地点特性に合致した発電方式を選択し、最大限の発電効率を得ていく必要がある。それでも総発電ポテンシャルを合算しても655 kWに止まり、発電可能地点に限ると305 kWである（表(1)-14）。

今回は用水に限定したが、水利権の発生しない、山間地小河川の検討が今後必要と思われる。ただし前述したように、経済性の観点から事業化には困難が予想されることには留意する必要がある。また、都留市での現実的な小水力発電開発可能ポイントは十数地点に絞り込まれることがわかったので、今後は、それらの地点特性を調査しそれに合致した発電方式とその事業可能性を精査していく必要がある。なお、1kW前後のピコ水力発電も近年の技術革新で可能になりつつあり、その場合ポテンシャル量は変わってくる。

表(1)-14 小水力発電ポテンシャル一覧（単位: kW）

	総理論水力	総発電ポテンシャル ※1	10m間落差5kW以上理論水力発電可能地点	発電可能地点10m間落差最大理論水力総量	有効稼働発電量
家中川用水源生放流口まで	1,592	223	42	850	119
夏狩用水	912	127	12	270	38
十日市場用水	912	127	10	110	15
平栗用水	912	128	12	588	82
五箇堰用水	360	50	2	51	51
二箇堰用水 ※2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
合計	4,688	655	78	1,869	305

※1 総理論水力の14%、※2 河川工事のために測定不可

(c) 湧水・用水の熱利用可能ポテンシャル

(c)-1 推計方法

湧水・用水の熱利用可能ポテンシャルに関しては、都留市全域を詳細に把握することが困難であるため、一部の地域を対象に詳細な把握を行い、その結果に基づき都留市全域のポテンシャルを推計することとした。

具体的には、湧水・用水が比較的豊富な夏狩十日市場地域および市役所を対象に詳細に把握した。夏狩十日市場に関しては流量が30 L/s、用水から10 m以内に位置していることを要件として熱利用が可能な建物を抽出し、空気熱源と水熱源の冷暖房システムを導入した場合のエネルギー消費量を算定し、その差を省エネルギーポテンシャル（＝熱利用可能ポテンシャル）として推計した。都留市役所に関しても同様に、冷暖房を空気熱源と水熱源のシステムで行った場合のエネルギー消費量を算定し、その差を省エネルギーポテンシャルとした。

求められた夏狩十日市場における湧水・用水利用による省エネルギー率と、都留市全域の熱需要量（温熱需要：457,174GJ/年、冷熱需要：70,591GJ）¹⁹⁾に基づき、都留市全域の省エネポテンシャル（＝熱利用可能ポテンシャル）を算出した。

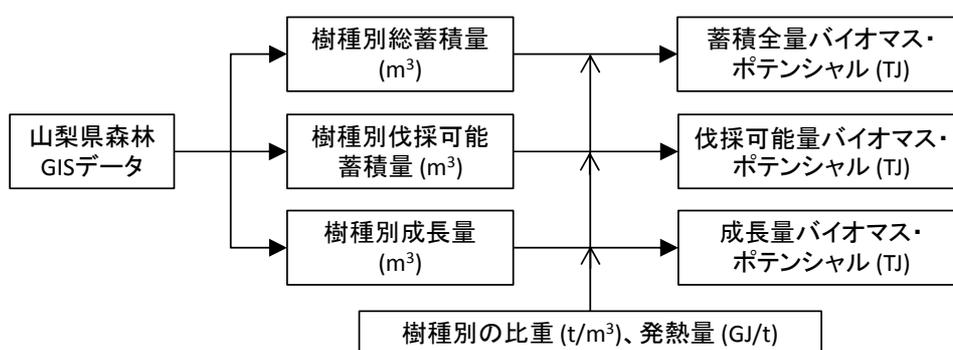
(c)-2 推計結果と考察

夏狩十日市場では1725軒の建物のうち、647軒（37.5%）が利用対象となった。湧水・用水の温度が年間を通じて安定しているため、空気との温度差が大きい夏季や冬季に省エネルギー率は高くなる。都留市では冬季の暖房消費量が大きいため、夏季に比べて冬季の省エネルギー量が大きくなる。対象となった建物では年間28%、夏狩十日市場全体では年間8.3%の冷暖房消費電力量が削減できることがわかった。都留市役所に関しては、年間で19%の冷暖房消費電力量が削減できる結果となった。

また都留市全域の省エネルギーポテンシャル（＝熱利用可能ポテンシャル）は、56,735GJであると推計された。ただし、都留市の中では、夏狩十日市場は湧水が多く用水密度も高いので、都留市全域の省エネエネルギーポテンシャルは過大評価になっている可能性があることに留意する必要がある。

(d) 木質バイオマス・エネルギーのポテンシャル

図(1)-13に都留市における木質バイオマス・エネルギーの導入ポテンシャルの推計手順を示す。山梨県GISデータに基づき約30の樹種別に推計された蓄積量/成長量に、樹種別の比重（表(1)-15）と発熱量（表(1)-16）を掛け合わせることで、ポテンシャルを求める。伐採可能蓄積量とは、傾斜角35度未満の傾斜地林のみが伐採して利用できるとした場合の蓄積量である。傾斜角35度以上の急傾斜林は一般に伐採が困難であり、保全林として指定されている場合が多く、伐採可能蓄積量に基づくポテンシャルの方が現実的であると考えられる。また成長量とは、全ての木の一年間の成長量（年間蓄積増加量）を意味する。なお、今回のポテンシャル算出では、すべて熱利用を前提とした。



図(1)-13 都留市における木質バイオマス・エネルギーの導入ポテンシャルの推計手順

表(1)-15 樹種別の比重（含水率0%の丸太）（単位: t/m³）

スギ	ヒノキ	アカマツ	カラマツ	その他針葉樹	広葉樹
0.35	0.41	0.49	0.47	0.45	0.58

出所: 木質バイオマスボイラー導入指針¹⁹⁾

表(1)-16 樹種別の絶乾時低位発熱量（単位: GJ/t）

針葉樹	広葉樹
19.4	18.4

出所: 木質バイオマスボイラー導入指針¹⁹⁾**(e) 都留市の森林の蓄積量と成長量**

表(1)-17に、都留市における森林の蓄積量と成長量の推計結果を示す。約30の樹種別に蓄積量と成長量を推計しているが、表(1)-5では針葉樹と広葉樹にまとめた結果を示している。

蓄積量の3,126千m³のうち、アカマツが36.0%を占めており、スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの4種（いずれも針葉樹）で72.6%を占めている。成長量もこれら4種で全体（52,733m³）の76%を占めているが、成長量では蓄積量と異なりヒノキが全体の31%と最も大きい。ヒノキは面積に対する蓄積量が小さく比較的若齢林が多いと考えられる。400haを超える桑畑跡地の現地調査でも植林されているのがほとんどヒノキであることが確認されており、日当たりのよい放棄農地はヒノキ植栽に適し、材価も高く積極的に植栽されたものと考えられる。

表(1)-17 都留市における森林の蓄積量と成長量

	蓄積量		成長量	
	m ³	構成比%	m ³	構成比%
針葉樹	2,314,832	74.1	40,446	76.7
広葉樹	810,854	25.9	12,287	23.3
合計	3,125,686	100.0	52,733	100.0

(f) 都留市の森林の樹種構成と面積・蓄積量・成長量

表(1)-18に、都留市における木質バイオマス・ポテンシャルの推計結果を示す。

都留市に蓄積されている森林資源の全てを木質バイオマスとして熱利用すると30,204TJの熱エネルギーを得ることができる。この熱エネルギーを都留市の住宅で暖房・給湯利用すると仮定した場合、740,056世帯に供給が可能である。ここで、都留市住宅1戸あたり（100m²）の暖房・給湯需要は、東京都平均の住宅1戸（100 m²）あたりの1.5倍として、40,814MJとしている。また、蓄積量の1/50を毎年利用（伐期50年サイクルで利用）すると仮定すると、都留市の世帯数（13,536）にほぼ等しい14,801世帯分の暖房・給湯需要をまかなうことが可能となる。

しかし現実には急傾斜林は伐採が困難であり、保全林として指定されている場合が多い。そこで、傾斜角35度以下の傾斜地林のみが伐採可能とした場合、総熱量は20,955TJとなり、伐期50年サイクルで利用すると供給可能世帯数は10,269世帯となる。

なお、1年間に成長する森林資源量（急傾斜地林を含む）、つまり増加した蓄積量のみを利用するとした場合、供給可能な総熱量は492TJとなり、12,052世帯の1年間の暖房・給湯需要がまかなえ

る。急傾斜地林の成長量を除いたとしても8000～9000世帯の需要を満たすことができると推測される。

表(1)-18 都留市における木質バイオマス・ポテンシャル

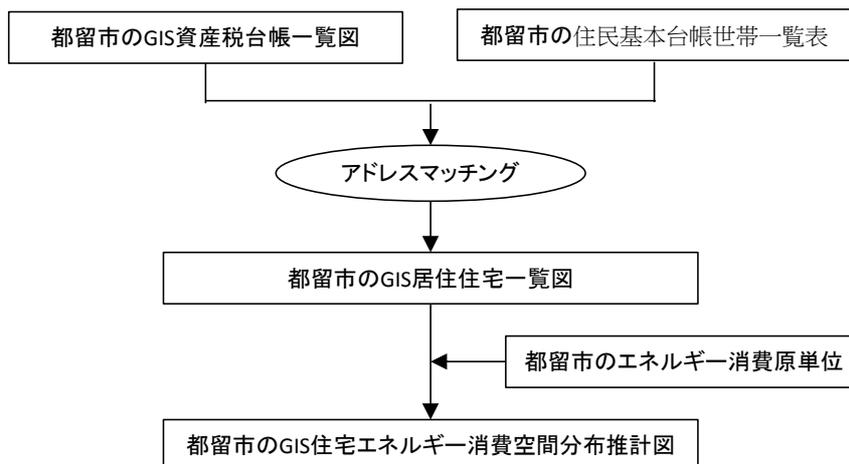
	総熱量 (TJ)	全量供給世帯数 (世帯)	1/50供給世帯数 (世帯)
蓄積全量バイオマスの暖房・給湯利用	30,204	740,056	14,801
伐採可能量バイオマスの暖房・給湯利用	20,955	513,426	10,269
成長量のみバイオマスの暖房・給湯利用	492	12,052	

3) エネルギー需要空間分布の推計

地域エネルギーデータベースの一部として、地域におけるエネルギー需要の空間分布を推計した。どこでどのくらいのエネルギー需要が存在するかについて、GISを用いて推計する方法を確立し、実際にその方法を適用して、山梨県都留市における住宅のエネルギー需要の空間分布を明らかにした。

(a) 推計フロー

図(1)-14に都留市の住宅におけるエネルギー需要分布図の推計フローを示す。まず、都留市GIS資産税台帳と住民基本台帳一覧表とをアドレスマッチング(GISで住所の文字情報を解析して自動的にポインティング)することで、空き家を除外して、人々が居住している住宅(以下、居住住宅)を特定し、都留市GIS居住住宅一覧図を作成する。なお、GIS居住住宅一覧図では、特老施設・工場・店舗など居住者はいるが例外的な建物群を除外し、居住住宅として戸建・集合住宅のみを対象としている。特定した各居住住宅の床面積(=GIS住宅評価床面積)に、デグリーアワーから算出した都留市の住宅の年間エネルギー需要原単位を乗算することで、各戸の年間エネルギー消費量を推計する。ただし、今回の推計では、集合住宅の各戸のGIS住宅評価床面積が不明だったので、平均床面積を用いている。このようにして推計される各戸の年間エネルギー消費量を属性値としてGISに取り込み、都留市におけるGIS住宅エネルギー消費空間分布推計図を作成する。



- ・ 都留市のGIS資産税台帳一覧図： 都留市の全建物がGISデータ化され、特に資産税対象の建物ポリゴン（面）には評価床面積、構造、階高、築年などの関連データが紐づけされている。ただし、各建物の所有者や住所は個人情報であるため公表されていない。
- ・ 都留市の住民基本台帳世帯一覧表： 都留市の基本台帳に掲載されている、各世帯の住所と世帯人数の一覧表である。
- ・ 都留市のエネルギー消費原単位²⁰⁾

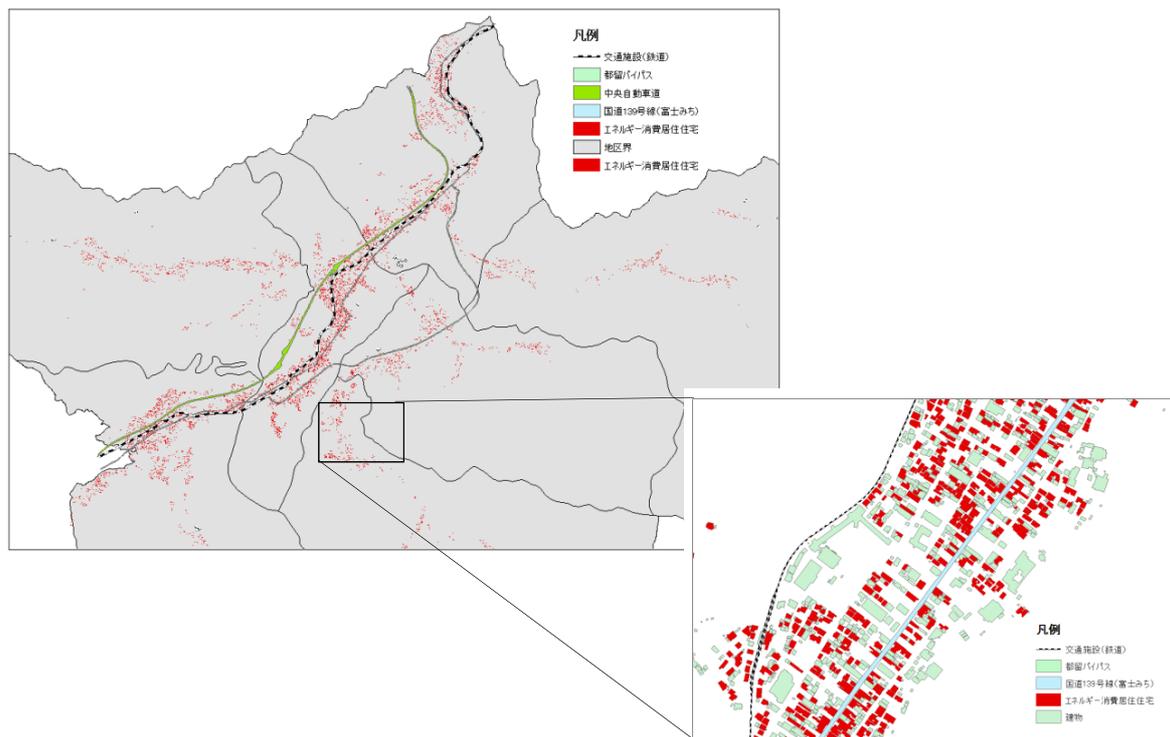
種別	暖房	給湯	温熱	冷熱	電力
原単位	123 MJ/m ² 年	236 MJ/m ² 年	272 MJ/m ² 年	42 MJ/m ² 年	46 kWh/m ² 年

図(1)-14 住宅エネルギー消費分布図推計フロー

(b) 推計結果

図(1)-15に、作成した都留市のGIS住宅エネルギー消費空間分布推計図を示す。アドレスマッチングにより、物理的に存在する24,452棟の建物から、8,526棟の居住住宅（居住者がいる戸建・集合住宅）を抽出し、GIS居住住宅一覧図を作成した（図(1)-15の右図において赤い建物が居住住宅）。その上で、GIS居住住宅一覧図に、各戸のエネルギー消費量を属性値として取り込み、都留市におけるGIS住宅エネルギー消費空間分布推計図（図(1)-15）を作成した。

今回の推計では住宅のみを対象としたが、同様の手法を用いて、それ以外の建物（医療・業務・商業・宿泊等）の推計を行うことが可能である。地域におけるエネルギー需要の空間分布は、再生可能エネルギーを用いた熱供給について検討する際に、重要な地域基礎データとなる。



図(1)-15 都留市のGIS住宅エネルギー消費空間分布推計図（左）とGIS居住住宅一覧図（右）

（４）再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響評価

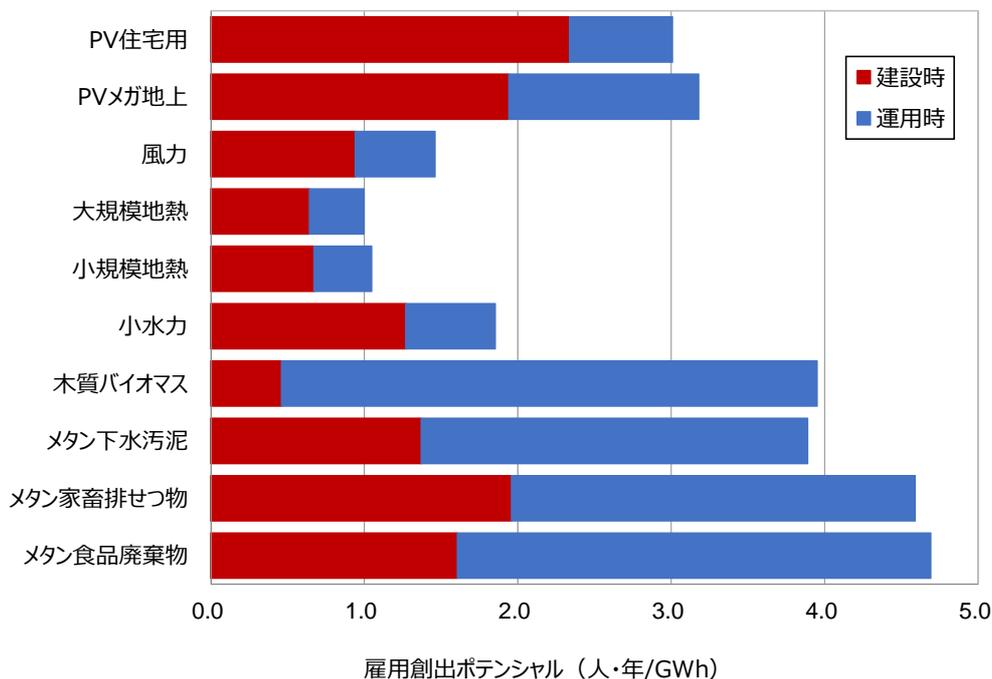
作成した再エネI/O表を用いて、再エネ技術のライフサイクル環境・社会経済影響を評価する方法を開発し、いくつかのケーススタディを実施した。以下では、3種のケーススタディの結果について述べる。

第一に、再エネ発電技術を取り上げ、ライフサイクル雇用創出ポテンシャルを推計し、技術によって雇用効果が異なることを明らかにした。第二に、北海道におけるメタン発酵ガス化発電技術を事例に、その導入に伴いライフサイクル全体で創出される雇用を地域別に推計し、全体の約8割の雇用が道内で生まれることを明らかにした。第三に、太陽光発電システムとヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システムと太陽熱給湯システムを事例として、導入地域の特性に依存してCO₂削減効果が異なることを示した。

1) 再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャル

幅広い再エネ技術の環境・社会影響を同一フレームワークで評価できるという再エネI/O表の特長を生かして、再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャルを評価した。

図(1)-16に、第3章の式(式(1)-3)に従って推計された、10種の再エネ発電技術の1GWhあたりのライフサイクル雇用創出ポテンシャルを示す。なお、この推計においては、すべての再エネ発電技術の評価期間を20年としている。また、本推計では、設備製造、施設建設、施設運用（発電）に伴い創出される雇用量を対象としており、設備廃棄に関しては含まれていない。



図(1)-16 再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出量²¹⁾

技術間の比較では、木質バイオマス発電、および、メタン発酵ガス化発電3技術の雇用創出ポテンシャルが大きいことが明らかになった。特に、運用時の大きさが際立っている。木質バイオマス発電では、燃料である木質チップの製造、さらにその上流の林業で多くの雇用機会が創出される。これは、誘発生産額が大きい木質チップ製造業および林業が、労働集約的な産業であることを示している。これに対してメタン発酵ガス化発電3技術では、保守点検や機械修理、部品交換といった活動で雇用機会が多く生まれている。これは、メタン発酵ガス化発電のメンテナンス費用が、他の技術に比べて相対的に高額であることの影響であると推察される。

バイオマス発電に次いで雇用創出ポテンシャルが大きい技術は、太陽光発電である。太陽光発電では、住宅用の場合、建設時の雇用機会創出量が全体の8割近くを占めるのに対して、大規模産業用（地上設置）の場合は、建設時と運用時の差が小さくなり、建設時の雇用機会創出量が全体に占める比率は6割程度である。住宅用の太陽光発電は、建設時には人手が多くかかるものの、あまりメンテナンスが必要ないため、運用時の雇用機会創出効果は小さい。これに対して大規模産業用（地上設置）の太陽光発電は、日常の保守・点検や修繕、部品の交換などが多く必要になるため、運用時の雇用機会創出量が大きくなると考えられる。

バイオマス発電の雇用機会創出量が3.89～4.69人・年/GWh、太陽光発電の雇用機会創出量が3.01～3.18人・年/GWhであるのに対し、風力発電、地熱発電、小水力発電では1.00～1.85人・年/GWhと相対的に小さい結果となった。これらの発電技術では、大規模な土木工事が行われるため、建設時の雇用機会創出量が多い。また、風力発電や大規模地熱発電では、多数の設備機器が必要となるため、それらを生産する産業でも雇用機会が創出されている。

以上のように、作成した再エネI/O表を用いることで、発電技術別、ライフサイクル別に、どの産業にどの程度の雇用機会が創出されるかを示すことができる。ただし、この結果はあくまで雇用創出の「ポテンシャル」を示すものであることに留意する必要がある。たとえ再エネの導入によって雇用機会が生まれたとしても、その職種で求められるスキルを有した人材が再エネ導入地域内にいなければ、地域における雇用は実現しにくい。同様に、再エネ導入により新たな産業で雇用機会が発生した時に、他の産業から円滑に労働移動が行われなければ、その雇用機会を現実の雇用に結びつけるのは難しい。

また、再エネの導入にともない雇用機会が創出される一方で、別の雇用が失われる可能性もある。ここで推計された雇用創出ポテンシャルはグロスでの数値であり、マイナス面も含めた雇用機会の変化を考慮したネットの数値ではないことにも留意する必要がある。次節「2）地域影響に着目したライフサイクル環境・社会経済影響」では、そうした変化を評価するための分析について述べる。

2）地域影響に着目したライフサイクル環境・社会経済影響

再エネ技術の導入に伴う環境・社会経済影響の「変化」を「地域別」に評価する手法を開発し、ケーススタディを実施した。以下では、北海道鹿追町における家畜排せつ物を用いたメタン発酵ガス化発電技術のケーススタディの結果を示す。最後に、開発した評価手法の妥当性について検討した結果を述べる。

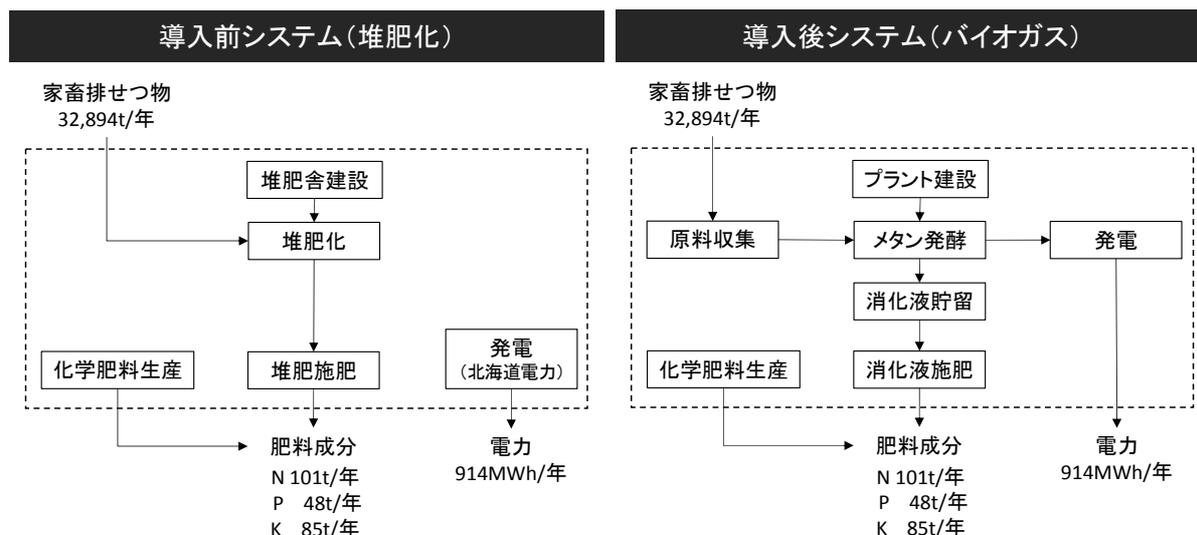
(a) ケーススタディの想定

上述の手法を用いて、再エネ導入に伴う地域別の雇用創出ポテンシャルの評価を行った。以下では、北海道鹿追町の家畜排せつ物を用いたメタン発酵ガス化発電技術（以下、バイオガス技術）の導入を対象とした雇用量の評価結果を述べる。

図(1)-17にバイオガス技術の導入前後のシステムを示す。両システムとも同一便益（排せつ物処理サービス、肥料、電力）を提供している。導入前システムでは、農場毎（12カ所）に家畜排せつ物を堆肥化し、有機肥料（堆肥）生産を行っている。また導入前システムにおける電力生産は北海道電力が行っている。他方、導入後システムでは、各農場で発生した家畜排せつ物を共同処理施設に収集し、バイオガス発電で電力および有機肥料（消化液）生産を行っている。

(b) ケーススタディの結果

表(1)-19は、バイオガス技術の導入前後の両システムの雇用創出量と、その変化量を示している。なお、プラント建設と設備機器製造に伴う雇用量は耐用年数（20年）で按分し、1年あたりの雇用量および変化量 [人・日/年] を示している。雇用変化量はバイオガス技術の導入に伴い4区域でいずれもプラスとなっている。ライフサイクル全体で増加する雇用量（3,714 [人・日/年]）の内訳を見ると、事業スポットが33%、北海道内が46%と、事業が行われる近隣地域での雇用誘発効果が高い。また、国内（北海道を除く）と海外で増加する雇用量もそれぞれ15%と6%となっており、これらの場所における雇用量の変化も無視できないことがわかる。

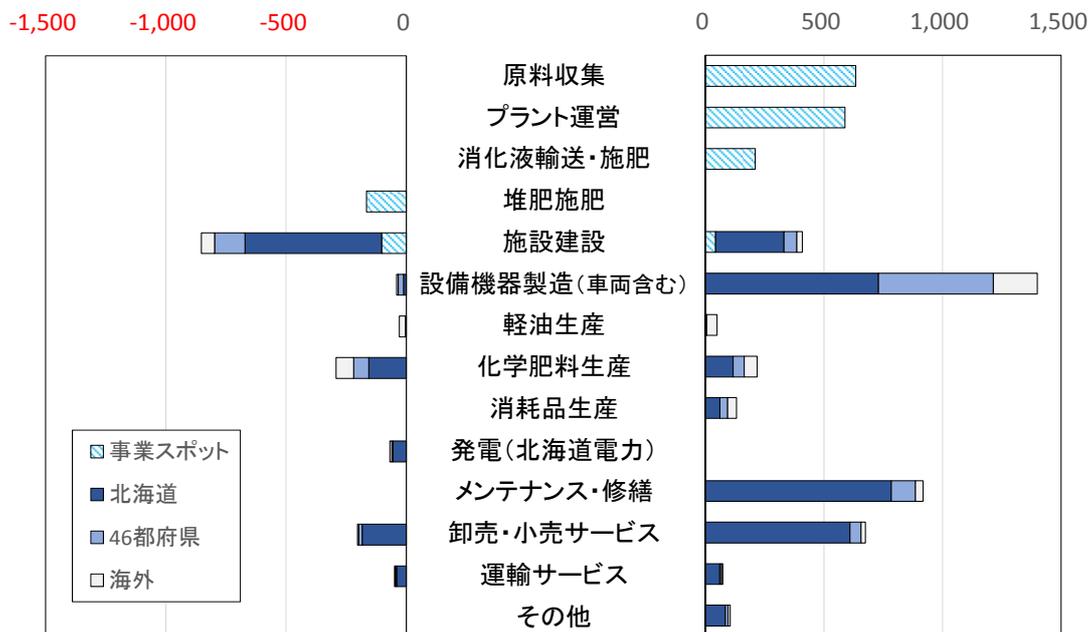
図(1)-17 導入前後システムの設定²²⁾表(1)-19 バイオガス発電事業の導入に伴う雇用量[人・日/年]の推計結果²²⁾

	導入前システム (堆肥化)		導入後システム (バイオガス)		変化量	
事業スポット	268	(16%)	1,476	(27%)	1,208	(33%)
近隣地域(北海道)	1,018	(60%)	2,741	(51%)	1,723	(46%)
国内(46都府県)	236	(14%)	788	(15%)	552	(15%)
海外	175	(10%)	406	(7%)	231	(6%)
合計	1,697	(100%)	5,412	(100%)	3,714	(100%)

図(1)-18にプロセス別の雇用量の変化を示す。プロセス別にみると原料収集、プラント運営といった事業導入によって新たに生まれる雇用だけでなく、設備機器製造やメンテナンス・修繕の雇用が増加に大きく寄与していることがわかる。一方で、堆肥施肥や施設建設、化学肥料生産などにおいて雇用量の減少が確認できる。これは、バイオマス技術の導入により、既存設備の更新がなくなることや、消化液の利用により化学肥料の消費量が減少することに起因している。

事業スポットや近隣地域の雇用効果に着目した場合、北海道外で行われている設備機器製造やメンテナンス・修繕を道内の既存の企業が担うことができれば、道内の雇用量増加につながる可能性が示唆される。あるいは、バイオガス事業実施と同時にメンテナンス・修繕に関する事業を併せて立ち上げる等、事業スポットや近隣地域の便益を高めるシステム設計を視野に入れることが重要となる。一方で、施設建設に伴う雇用量が比較的大きく減少していることからわかるように、道内でのバイオガス事業実施が道外のみならず、道内における雇用機会も減少させる可能性があることを定量的に示している。

以上のように、ある地域における再エネ導入が、その地域内外に及ぼす影響を4区域別に定量的に把握することが、本手法により可能となる。本手法により得られた評価結果を活用することで、より地域や社会に適した事業の設計・発展に寄与することが期待される。



図(1)-18 プロセス別の雇用増減 [人・日/年]²²⁾

(c) 開発した評価手法の妥当性の検証

上述した地域別の雇用創出ポテンシャルの評価手法は、汎用的な利用を念頭に、容易に推計できることを重視しており、いわゆる「はね返り需要」を無視して間接的な雇用誘発を推計している。「はね返り需要」とは、例えば、ある地域内（②近隣地域）の最終需要の増加が、移入を介して地域外（③国内（46都道府県））の生産を誘発し、さらにその生産が地域間の連関構造によってふたたび地域内の生産を誘発することである。例えば、地域内で発電機への需要が生じると、地域外の製造業の生産活動を誘発する。この地域外で製造される発電機に投入される素材や部品の生産が再び地域内で誘発される可能性がある。このような「はね返り需要」を考慮するためには、地域間表が必要となる。しかし、すべての地域に対応可能な地域間表を作ることは多大なコストが発生する。

本研究では「はね返り需要」を無視した「差分I/Oモデル」の利用を提案しており、その利用が妥当か否かを定量的に確認した。山梨県を事例とし、まず、実際に二地域間産業連関表（図(1)-19）を作成して「はね返り需要」を考慮した「二地域間I/Oモデル」を作成した。その上で、これを「はね返り需要」を考慮しない「差分I/Oモデル」と比較することで、「はね返り需要」の影響の大きさを明らかにし、「差分I/Oモデル」を利用することの妥当性を検証した。具体的には、式(1)-17に従い、二地域間表の逆行列の列和と山梨県表の逆行列の列和を比較することで、山梨県で生じるはね返り需要の影響を明らかにした。なお、二地域間表の逆行列の列和とは、二地域間I/Oモデルにおける山梨県から山梨県へ投入される逆行列の列和を意味している。

山梨県のはね返り需要の影響

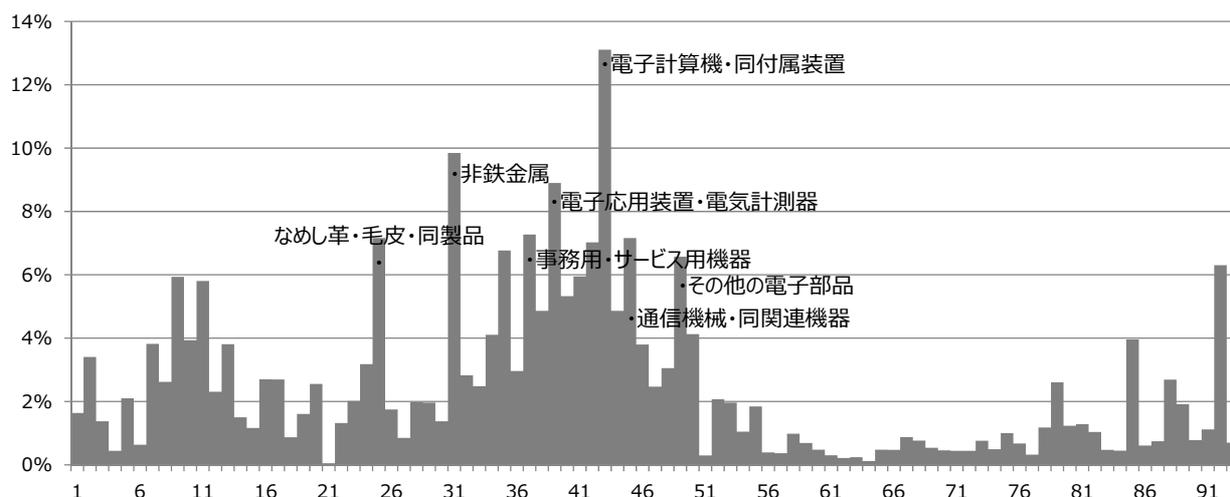
$$= \frac{\text{地域間表逆行列の列和} - \text{山梨県表逆行列の列和}}{\text{山梨県表逆行列の列和}}$$

式(1)-17

		国内 (他地域)			地域			国内 (他地域)	地域	輸出	輸入	生産額
		1	1	最終需要	最終需要			
国内 (他地域)	1	$(I - N^{r \rightarrow 46})A^{46}X^{46}$			$N^{46 \rightarrow r}A^rX^r$			$(I - N^{r \rightarrow 46})F^{46}$	$N^{46 \rightarrow r}F^r$	E^{46}	M^{46}	X^{46}
	⋮											
	⋮											
地域	1	$N^{r \rightarrow 46}A^{46}X^{46}$			$(I - N^{46 \rightarrow r})A^rX^r$			$N^{r \rightarrow 46}F^{46}$	$(I - N^{46 \rightarrow r})F^r$	E^r	M^r	X^r
	⋮											
	⋮											
粗付加価値		V^{46}			V^r							
生産額		X^{46}			X^r							
雇用量		L^{46}			L^r							

図(1)-19 二地域間産業連関表の概要²³⁾

図(1)-20は、山梨県の93産業部門における「はね返り需要」の影響の大きさを示している。縦軸は、式(1)-17に従って求められた値であり、「はね返り需要」を考慮しない場合に対して、それを考慮した場合に、各部門で誘発される生産額がどの程度増加するかを示している。山梨県の全93産業部門において、「はね返り需要」の影響により生産額が増加することがわかる。つまり、「差分I/Oモデル」を用いた場合、山梨県内の産業部門で誘発される生産額が過小評価されることを意味している。製造業で「はね返り需要」の影響は大きく、特に電子計算機・同付属装置と非鉄金属部門では、その効果を考慮すると、それぞれ13%と10% 生産額が増加する。このように影響が大きい主因は、これらの製品は他の製品やサービスに比して、山梨県での生産額が大きく、かつ山梨県から他の都道府県へ移出する比率が高いこと、そして付加価値に対する中間投入の比率が高いことなどにある。その一方で、土木建設部門や商業等のサービス部門の「はね返り需要」の影響は4%以下に留まり、その影響は小さいことがわかる。



図(1)-20 山梨県の93産業部門におけるはね返り需要の影響²³⁾

以上から、本研究で提案する「差分I/Oモデル」を利用することで、近隣地域内（図(1)-3の②）における雇用創出量は過小評価され、逆に国内（図(1)-3の③）のそれは過大評価される可能性が定量的に示された。しかし、はね返り需要による影響は、1産業部門を除いた92産業部門において10%以下である。製造業の一部の産業部門で5%～10%となるが、過半の産業部門においてその影響は2%未満にとどまる。したがって、「差分I/Oモデル」を利用して、雇用創出量などの環境・社会経済影響を簡易に推計することは妥当であると考えられる。ただし、その地域に特徴的な産業（山梨県で言えば電子計算機・同付属装置など）がある場合、その産業部門においては推計誤差が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。

3) 導入地域の違いを考慮したライフサイクル環境・社会経済影響

再エネ技術を導入する地域特性を考慮して、その導入がもたらすライフサイクル環境・社会経済影響を評価する手法を開発し、ケーススタディを実施した。以下では、発電技術と熱技術を同一フレームワークで取り扱えるという再エネI/O表の特長を生かし、太陽光発電システムとヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システムと太陽熱給湯システムを事例として、導入地域の違いによるCO₂削減効果がどのように変化するかについて比較分析した結果を示す。

(a) ケーススタディの想定

表(1)-20に本研究で対象とした3種の住宅用給湯システムを示す。従来システムは、国内で最も普及しているガス給湯器による給湯を想定した。太陽光発電利用システム（以下、PV利用システム）は、太陽光発電とHP給湯機を組み合わせた給湯システムで、ここでは昼間にHP給湯機を稼働させることにより、太陽電池が日中に発電する電力をそのまま消費する形の給湯システムを想定した。ただし、電力供給量が不足する場合は系統電力を使用する。また、太陽電池の電力供給とHP給湯器の電力消費のバランスをとるために蓄電池を設置する。太陽熱利用システム（以下、SWH利用システム）は、太陽熱利用機器による給湯システムで、ここでは集熱器と貯湯槽が一体型と

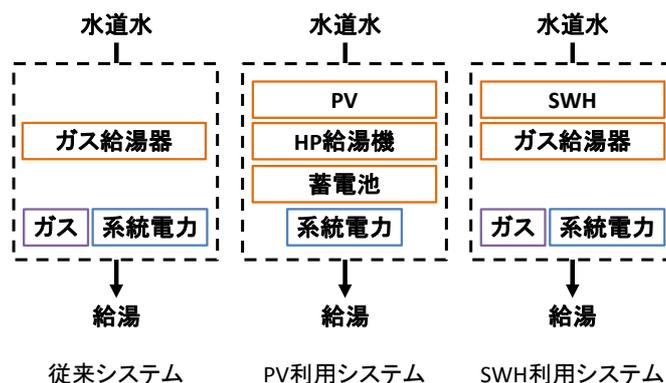
なっている太陽熱温水器を想定し、補助熱源としてガス給湯器を利用するとした。なお、太陽光発電モジュールも太陽熱温水機器も設置姿勢は南向きで傾斜角30度とした。

これらの給湯システムを導入する地域として、東京、札幌（寒冷な気候）、那覇（温暖な気候）の3地域を選定した。これら3地域における、日射量や気温などの気象データならびに給水温度は、それぞれ拡張アメダス気象データ¹⁴⁾とソーラーシステム振興協会の資料²⁴⁾を用いた。

表(1)-20 対象とした3種の住宅用給湯システム

給湯システム	構成機器
従来システム	ガス給湯器
PV利用システム	太陽光発電、ヒートポンプ給湯器、蓄電池
SWH利用システム	太陽熱温水器、ガス給湯器

評価範囲は、図(1)-21に示されるような各給湯システムのライフサイクルとした。給湯システムを構成する機器の製造、設置、運用を考慮し、各機器で使用される系統電力および都市ガスに関しては燃料の燃焼のみではなく燃料の製造段階も考慮した。



図(1)-21 3種類の住宅用給湯システム

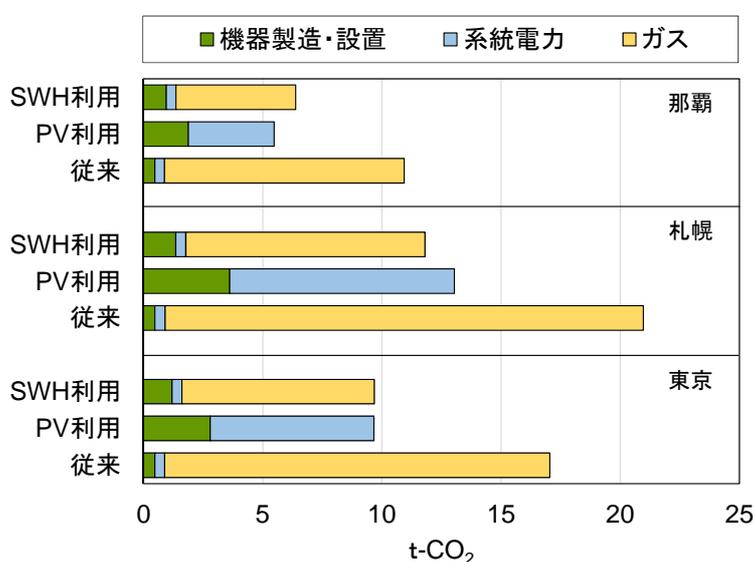
評価期間は15年間とし、機能単位は分析対象とする各地域の15年分の給湯熱需要（249GJ）とした。給湯熱需要は、標準的な4人世帯の年間を通した給湯パターン（修正M1モード²⁵⁾）を想定し、一般的な給湯量(445[L/日・40℃])および各地域の月平均水温²⁴⁾から推計した（。また、ヒアリング調査の結果から、PV利用システムとSWH利用システムでは、給湯熱需要の50%を太陽エネルギーにより、残りの50%を系統電力もしくは都市ガスにより熱供給するとした。

(b) ケーススタディの結果

図(1)-22に、各地域における3種の給湯システムのライフサイクルCO₂排出量の推計結果を示す。この推計結果では、3地域とも同じ電源構成の電力を利用すると仮定しており、各地域の自然特性の違いのみが反映されている。

東京では、PV利用システムもSWH利用システムも従来システムよりCO₂排出量は少なく、その削減効果も7t-CO₂とほぼ同等である。札幌では、SWH利用システムのCO₂排出量は、PV利用システムのそれと比べて大きい。従来システムからの削減効果は、SWH利用システム（約9t-CO₂）の方が、PV利用システム（約5t-CO₂）に比べて大きい。逆に、那覇においては約1t-CO₂ほどPV利用システムの方が削減効果が高い。ただし温暖な那覇はそもそも給湯需要が札幌や東京と比べて小さく、再エネ技術の導入効果自体があまり大きくない。

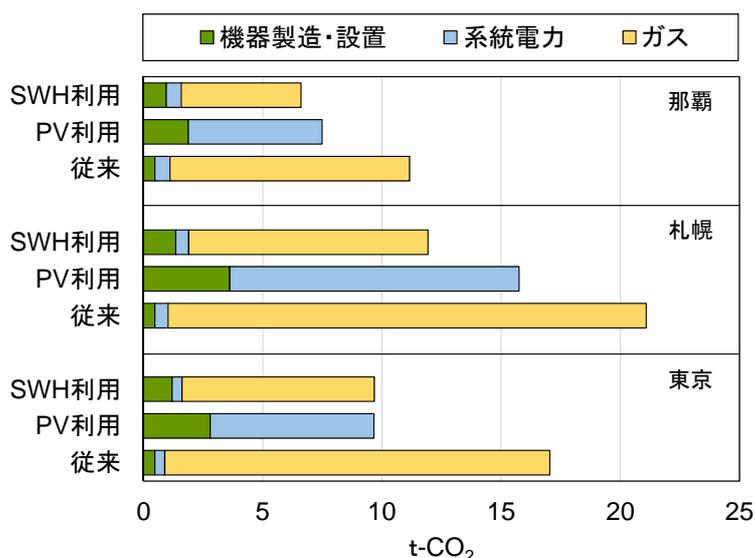
地域によって、SWH利用システムとPV利用システムの効果が異なるのは、主にPV利用システムで用いているヒートポンプ給湯器の効率が気温に大きく依存するためである。札幌において、SWH利用システムに比べてPV利用システムの削減効果が小さいのは、寒冷であるためヒートポンプ給湯器の効率が低く、系統電力の消費量が多くなるためである。



図(1)-22 各地域における給湯システムのライフサイクルCO₂排出量（同一排出係数）²⁶⁾

図(1)-23も各地域における3種の給湯システムのライフサイクルCO₂排出量の推計結果を示しているが、図(1)-22と異なるのは、図(1)-23の推計結果では各地域の電源構成および使用ガスの違いが反映されている。つまり、図(1)-23では、ライフサイクルCO₂排出量の推計において、地域別の電力・ガスのCO₂排出係数を適用している。

地域の自然特性に加えて社会特性の違いを考慮すると、那覇でもSWH利用システムの方が削減効果が高くなり、札幌ではSWH利用システムの優位性がさらに大きくなる。この推計結果は、主に札幌や那覇におけるCO₂排出係数が大きいことに起因している。



図(1)-23 各地域における給湯システムのライフサイクル CO₂ 排出量（排出係数の差異を反映）²⁶⁾

以上から、第一に、同一の再エネ技術であっても地域特性によってその効果が大きく異なるということである。給湯システムの場合、そもそも給湯需要が少ない温暖地域では、寒冷地域に比べると、その導入効果は小さい。第二に、地域に適する再エネ技術は、地域特性によって異なるということである。給湯システムの場合、東京では太陽光発電とヒートポンプの組み合わせたシステムと太陽熱温水器システムの効果はそれほど変わらないが、札幌では太陽熱温水器システムの効果が大きい。したがって、本研究で示した、技術特性と地域特性の両方を考慮した評価結果に基づき、より効果的な再エネ導入政策を立案し実施していくことが肝要である。

なお、上記の結果では標準的な4人世帯を仮定しており、世帯属性（世帯構成やライフスタイルなどによっても、導入効果が異なる可能性があることは留意する必要がある。また、そのような世帯属性を考慮した評価方法の確立が次なる課題と言える。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

第一に、再生可能エネルギーを用いた発電技術と熱供給技術を対象とした再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を作成し、再生可能エネルギー技術・政策の環境・社会経済影響を包括的に評価できるフレームワークを提供した。発電技術のみならず熱供給技術も対象としている点、また400部門以上の詳細な産業連関表に幅広い再生可能エネルギー技術の関連部門を組み込んでいる点は、世界的に見ても初の試みである。

第二に、その作成した再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いて、各種再生可能エネルギー技術の導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響を明らかにした。特に、幅広い再エネ発電技術のライフサイクル雇用創出ポテンシャルを、同一のフレームワークのもと横並びで推計した研究は世界的にも希有であり意義の高い成果である。

第三に、再生可能エネルギー技術の導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響を地域レベルで評価する手法を開発した。この手法を用いることで、技術特性と地域特性の両者を反映して影響を推計することができる。また、この手法は、推計の容易さと精緻さのバランスを考慮し、汎用的な利用を可能にしていることに特長を持つ。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

第一に、環境省の「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会（平成25～26年度、地球環境局・総務課・低炭素社会推進室）」における再生可能エネルギーの導入に伴う効果・影響分析において、当該検討会の委員として、本研究で得られた最新の知見をインプットすることで貢献した。

第二に、政策立案に関与するステークホルダーへのインプットという観点からは、自由民主党政務調査会の資源・エネルギー戦略調査会において、本研究の成果の一部について講演したことが挙げられる。

<行政が活用することが見込まれる成果>

第一に、本研究で開発された、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を核に据えた情報基盤は、国の再エネ導入に関する効果的な戦略・政策・制度の立案に寄与することが期待される。固定価格買取制度により再エネ全体としての普及量（つまりkW）は高まりつつあるが、今後は、貢献量（例えばCO₂削減効果や雇用効果など）の増大に向けた有効な支援が必要になると考えられる。本研究により開発された、地域レベルで技術別に導入効果を容易に推計できる手法は、地域特性や技術特性の違いを考慮した貢献量の高い再エネ戦略・政策を策定することや、費用対効果の高い再エネ事業を選択して支援することなどを通して、力を発揮すると考えられる。構築した情報基盤を用いた事例分析の結果から、再エネ利用技術でも技術の違いによって雇用誘発効果に大きな差異があることが示された。また同一技術でも導入地域の違いによってそのCO₂削減効果が異なることも明らかにされた。加えて、この開発手法をユーザーフレンドリーなツール（例えばエクセルで簡単に効果評価が出来るツール）とすることで、環境行政の現場での、より有効な活用につながると見込まれる。

第二に、国だけではなく地方自治体の環境行政においても、本研究で開発した情報基盤は効力を持つと期待される。例えば、自らの地域特性を生かした効果的な再エネ事業を見出すことや、自地域における再エネ事業がもたらす環境価値や社会経済価値を把握することが可能となり、独自性を持った再エネ政策の立案の支援に貢献すると考えられる。また、そのような貢献をより確固たるものにするために、国の環境行政と同様、ユーザーフレンドリーなツール化が期待される。

第三に、三年間にわたる情報基盤の構築を通して、再エネ技術に関する統計の不備を具体的に指摘し、今後の公的な統計整備の方向性を示した。また、総務省から発行されている産業連関表に再エネ部門の創設が検討されつつあり、今後、その検討の場に本研究で得られた知見を提供できることが見込まれる。加えて、環境省で検討を進めている環境分析用産業連関表と組み合わせることで環境政策により有効な知見を提供できる分析が可能となる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 鶴谷昌洋、兵法彩、工藤祐揮、本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 92(10), 985-996 (2013).
「廃棄物系バイオマスの利活用に伴う環境影響—三浦バイオマスセンターを事例として—」
- 2) 兵法彩、本藤祐樹、工藤祐揮：日本LCA学会誌, 10(1), 13-24 (2014).
「バイオマスプラント建設のGHG排出量推計に向けた産業連関表の活用」
- 3) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：日本エネルギー学会誌, 94(2), 159-169 (2015).
「地域別の雇用変化に着目したバイオマス事業のソーシャルライフサイクル評価」
- 4) Shunichi Hienuki, Yuki Kudoh and Hiroki Hondo: The Case of Japan, Journal of Cleaner Production, 93, 203–212 (2015).
“Life Cycle Employment Effect of Geothermal Power Generation Using an Extended Input-Output Model”
- 5) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：日本エネルギー学会誌, 94(12), 1397-1413 (2015).
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用」
- 6) 門倉宏子、本藤祐樹：日本LCA学会誌, 12(2), 97-105 (2016).
「家庭用太陽熱給湯器のエネルギー収支とライフサイクルCO2排出量」
- 7) Yue Moriizumi and Hiroki Hondo: Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2015.0569, 1-8 (2015)
“Employment effects of renewable energy technologies: a life-cycle approach”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 本藤祐樹：地熱技術, 39(3&4): 41-46 (2015)
「再生可能エネルギーの利用がもたらす効果を計測する—質の良い普及を目指して—」
- 2) 兵法彩、本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 94(5), 515-521, (2015)
「地域バイオマス事業の意思決定におけるLCAの有効な活用」
- 3) 本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 94(7), 625-626, (2015)
「再生可能エネルギーの「質の良い」普及に向けて」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 本藤祐樹、森泉由恵、中野諭：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)
「再生可能エネルギー産業連関モデルの開発」

- 2) 森泉由恵、本藤祐樹、稗貫峻一：第9回日本LCA学会研究発表会（2014）
「地域における効果的な太陽光発電の導入に向けた技術評価ツールの開発」
- 3) 稗貫峻一、本藤祐樹、工藤祐揮：第9回日本LCA学会研究発表会（2014）
「地域産業連関モデルに基づいた再生可能エネルギー技術導入が中山間地域にもたらす影響分析」
- 4) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第9回日本LCA学会研究発表会（2014）
「家畜排せつ物の利活用を事例とした地域バイオマス事業の環境・社会経済影響評価」
- 5) 本藤祐樹、森泉由恵、中野諭、稗貫峻一、兵法彩：第23回日本エネルギー学会年次大会（2014）
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成－発電技術を対象に－」
- 6) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：第23回日本エネルギー学会年次大会（2014）
「地域の状況に適した太陽光発電システム選択のための産業連関表の開発」
- 7) 稗貫峻一、本藤祐樹、中野諭：第23回日本エネルギー学会年次大会（2014）
「再生可能エネルギー技術評価のための国/県産業連関表の効果的な利用」
- 8) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第23回日本エネルギー学会年次大会（2014）
「家畜排せつ物由来のバイオガスシステム導入が地域内外に及ぼす影響」
- 9) 山本亮、佐藤裕一、吉田聡、佐土原聡：2014年度日本建築学会大会学術講演会（2014）
「環境工学協働による地球環境対応型都市づくりに関する体系的研究 その30：都留市における湧水・用水活用ヒートポンプの導入効果に関する研究」
- 10) Shunichi Hienuki, Yuki Kudoh, Hiroki Hondo: The 11th International Conference on EcoBalance (2014)
“Scenario analysis on the future generation mix in Japan using input-output tables”
- 11) Aya Heiho, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi: The 11th International Conference on EcoBalance (2014)
“Benefits of biogas projects from local and global perspectives”
- 12) 中野諭、本藤祐樹、森泉由恵、稗貫峻一、兵法彩：環太平洋産業連関分析学会第25回大会（2014）
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成と応用：下水汚泥バイオマス発電」
- 13) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵、中野諭、伊藤亮太：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2014）
「複数のバイオマス発電技術に着目した再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成」
- 14) 門倉宏子、本藤祐樹：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2014）
- 15) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭、兵法彩、乗松義弥、山下達也、伊藤亮太：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「環境・社会・経済的価値評価のための再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発」
- 16) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵、中野諭：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「産業連関表を用いたバイオガス発電技術のライフサイクルGHG分析」
- 17) 門倉宏子、本藤祐樹：第10回日本LCA学会研究発表会（2015）
「家庭給湯用の太陽熱利用システムのライフサイクルエクセルギー分析」
- 18) 森泉由恵、本藤祐樹、中野諭：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）

「再生可能エネルギー技術の雇用創出ポテンシャル」

- 19) 稗貫峻一、本藤祐樹、中野諭：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「再生可能エネルギーの導入が地域内外にもたらす社会経済影響」
- 20) 乗松義弥、本藤祐樹、森泉由恵、稗貫峻一：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「地熱発電のライフサイクルGHG排出分析」
- 21) 伊藤亮太、本藤祐樹、森泉由恵、兵法彩：第24回日本エネルギー学会年次大会（2015）
「木質バイオマス発電の地域別CO2削減ポテンシャル」
- 22) 佐藤裕一、佐土原聡：2015年度日本建築学会大会学術講演会（2015）
「地球環境未来都市研究 その13 都留市木質バイオマスエネルギーポテンシャルの把握」
- 23) 兵法彩、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「効果的なバイオガス事業の選択に向けた環境特性評価ツールの作成」
- 24) 乗松義弥、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いた地熱発電のライフサイクルCO2排出分析」
- 25) 清水恭亮、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析—CO2削減の観点から—」
- 26) 末永亮太、本藤祐樹、森泉由恵：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
「日本における地中熱ヒートポンプのCO2削減ポテンシャル評価」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 第4回地球環境未来都市シンポジウム「都留を科学する～地球環境未来都市・都留に向けて～」
（主催：地球環境未来都市研究会, 2014年3月15日、山梨県立男女共同参画推進センター、聴講者約120名）にて「地域で考える再生可能エネルギーの利用」と題して、本藤祐樹が本研究プロジェクトに関する成果を紹介
- 2) 第5回地球環境未来都市シンポジウム「水源環境未来都市・都留の未来を考える」（主催：地球環境未来都市研究会、2015年3月7日、都留市うぐいすホール、聴講者約80名）にて、「再生可能エネルギー活用と意思決定」と題して、本藤祐樹が本研究プロジェクトに関する成果を紹介
- 3) 市民・地域共同発電所全国フォーラム2015・小田原大会（主催：市民・地域共同発電所全国フォーラム・小田原2015実行委員会／創発的地域づくり連携推進センター酒匂川流域小田原支部、2015年11月13日、小田原市民会館、参加者約400名、聴講者約100名）にて、「再生可能エネルギーの「質の良い」普及に向けて」と題して、本藤祐樹が本研究プロジェクトに関する成果を紹介
- 4) 第5回「よこはま水素エネルギー協議会」セミナー（主催：よこはま水素エネルギー協議会、2016年4月22日、横浜国立大学教育文化ホール、聴講者約150名）にて、「再生可能エネルギー技

術の価値を考える」と題して、本藤祐樹が本研究プロジェクトで得られた成果を中心に講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

- 1) 平成25年度に本研究の成果として発表した下記の論文が、第6回日本LCA学会論文賞を平成27年3月11日に受賞した。

兵法彩、本藤祐樹、工藤祐揮：日本LCA学会誌、10(1)、13-24、(2014)

「バイオマスプラント建設のGHG排出量推計に向けた産業連関表の活用」

- 2) 本研究の成果に関する下記報告が、平成27年10月に開かれた10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (Dubrovnik, Croatia) において、Energy Policy SessionのSession Keynoteとして選ばれた。

Yue Moriizumi, Hiroki Hondo

“Employment effects of renewable energy technologies: a life-cycle approach”

- 3) 本研究の研究成果および関連情報を提供するためのホームページを公開し、情報発信を行っている。研究成果として発表した論文などを紹介するとともに、本研究で開発した「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表（REFIO Ver. 1.0）」も公開している。ホームページのトップ画面（<http://www.hondo.ynu.ac.jp/renewables/>）を以下に示す。

環境省地球環境研究総合推進費
再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築

HOME 研究概要 メンバー 研究成果 関連情報 リンク

再生可能エネルギー技術の
価値評価と導入戦略のための基盤構築

環境省地球環境研究総合推進費

再生可能エネルギー技術の「質の良い」普及に向けて

平成25年度より開始した研究プロジェクト「再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築」では、国や地域における再生可能エネルギーの効果的な導入戦略の策定を支援することを目指しています。

本ホームページでは、上記研究プロジェクトに関する情報のみならず、それ以前に公表した研究成果なども含めて幅広く情報を提供しています。

研究概要
メンバー紹介

研究概要について
メンバー紹介

8. 引用文献

- 1) Pilati, D.A, Energy analysis of electricity supply and energy conservation options *Energy*, 2 (1), 1-7 (1977)
- 2) 吉岡完治, 内山洋司, 菅幹雄, 本藤祐樹, 環境分析用産業連関表の応用(5):一火力・原子力発電のCO2排出量の計算—産業連関: イノベーション& I-Oテクニーク, 5 (1), 31-56 (1994)
- 3) Proops, J.L.R.; Gay, P.W.; Speck, S.; Schröder, T., The lifetime pollution implications of various types of electricity generation. An input-output analysis. *Energy Policy*, 24 (3), 229-237 (1996)
- 4) Hondo, H., Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case *Energy*, 30 (11-12), 2042-2056 (2005)
- 5) Nomura, N.; Inaba, A.; Tonooka, Y.; Akai, M., Life-cycle emission of oxidic gases from power-generation systems *Applied Energy*, 68, 215-227 (2001)
- 6) Caldes, N.; Varela, M.; Santamaría, M.; Saez, R., Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain. *Energy Policy*, 37 (5), 1628-1636 (2009)
- 7) Tourkolias, C.; Mirasgedis, S., Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15 (6), 2876-2886 (2011)
- 8) Ciorba, U.; Pauli, F.; Menna, P., Technical and economical analysis of an induced demand in the photovoltaic sector. *Energy Policy*, 32 (8), 949-960 (2004)
- 9) Lehr, U.; Nitsch, J.; Kratzat, M.; Lutz, C.; Edler, D., Renewable energy and employment in Germany. *Energy Policy*, 36 (1), 108-117 (2008)
- 10) 松本直也, 本藤祐樹, 拡張産業連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析, 日本エネルギー学会誌, 90 (3), 258-267 (2011)
- 11) 稗貫峻一, 本藤祐樹, 拡張産業連関モデルを用いた地熱発電のライフサイクル雇用分析, 日本エネルギー学会誌, 92 (1), 164-173 (2013)
- 12) 総務省, 平成23年(2011年)産業連関表, 経済産業調査会 (2015)
- 13) 国立研究開発法人 建築研究所, 平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報 (住宅), <http://www.kenken.go.jp/becc/house.html>
- 14) 株式会社気象データシステム, 拡張アメダス気象データ, <http://www.metds.co.jp/product/expanded-amedas>
- 15) 森泉由恵, 本藤祐樹, 中野論 (2015) 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用, 日本エネルギー学会誌, 94(12):1397-1413
- 16) 環境省, 環境分野分析用産業連関表の作成に向けて, (2013) <http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/pdfdata/201312.pdf>
- 17) 環境省: 平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書 (2013) <https://www.env.go.jp/earth/report/h25-03/>
- 18) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計, <http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/index.html>
- 19) 山本亮, 佐藤裕一, 吉田聡, 佐土原聡: 環境工学協働による地球環境対応型都市づくりに関する体系的研究 その30 都留市における湧水・用水活用ヒートポンプの導入効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1173-1174 (2014)

- 20) 株式会社 森のエネルギー研究所, 木質バイオマスボイラー導入指針 (2012)
http://www.mori-energy.jp/pdf/lca_boilershishin.pdf
- 21) Hondo, H., Moriizumi, Y. Employment creation potential of renewable energy technologies: a life cycle approach (submitted)
- 22) 兵法彩, 本藤祐樹, 森泉由恵, 地域別の雇用変化に着目したバイオマス事業のソーシャルライフサイクル評価日本エネルギー学会誌, 94(2), 159-169 (2015)
- 23) 稗貫峻一, 本藤祐樹, 中野諭, 再生可能エネルギーの導入が地域内外にもたらす社会経済影響, 第24回日本エネルギー学会年次大会講演要旨集, 260-261 (2015)
- 24) 一般社団法人 ソーラーシステム振興協会, ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度 (SSS-1001-1984), (1984), pp.89,90
- 25) 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 205-288 (2009)
- 26) 清水恭亮, 本藤祐樹, 太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析—CO₂ 削減の観点から—, 第11回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 144-145 (2016)

（２）再生可能エネルギーの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援システムの提案

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター 農業経営研究領域

林 清忠

〈研究協力者〉

スイス連邦工科大学チューリッヒ校

Stauffer, Michael

平成25～27年度累計予算額：9,728千円（うち平成27年度：3,569千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

再生可能エネルギーは、分散型の発電・送電システムとして構築することが可能であるが、その導入にあたっては、問題の見方や立場の違いに起因する潜在的なコンフリクトに直面する場合も多いと考えられる。このような状況は、科学的な知見に基づいた意思決定支援により改善することが可能であると考えられる。現状では、官庁やその他の行政機関が行う手続きや業務体系としての組織的意思決定において、業務として意思決定支援手法は用いられていないが、支援手法の活用により、地方自治体における地域エネルギー戦略立案等を改善することができると期待された。

第一に、サブテーマ（１）で構築された情報基盤から得られる客観的な情報に基づき、地域の人々の選好を反映した再生可能エネルギーの導入戦略の立案を支援することを目指して、再エネの導入戦略策定を意図したグループ意思決定支援のプロトタイプを作成した。このプロトタイプは大きく、「準備するプロセス」と「選択するプロセス」からなる。

第二に、「選択するプロセス」の検証を行うため、複数の再生可能エネルギー技術に対する人々の選好を地方自治体でのワークショップにおいて調査し、各種再生可能エネルギーの技術特性に関する情報（サブテーマ（１）の成果である持続可能性情報）の提示、ならびに意思決定支援手法の利用により、選好が変化することを示した。

第三に、「準備するプロセス」の検証を行うため、地方自治体における再生可能エネルギー導入戦略（ビジョン）の立案を事例としたワークショップを開催し、比較検討される代替案（プロジェクト、シナリオ等に相当）ならびに評価基準を体系的に作成する方法（問題構造化手法）の効果を確認した。

[キーワード]

再生可能エネルギー、エネルギー選択、持続可能性情報、意思決定支援、問題構造化

1. はじめに

(1) 再生可能エネルギーと意思決定

再生可能エネルギーは、分散型の発電・送電システムとして構築することが可能である¹⁾。その導入は、地球温暖化のような地球規模の問題、地域振興のような地域の問題、さらには住民の私益の問題と関わるため、再生可能エネルギーを実際に導入しようとする際には、問題の見方や立場の違いに起因する潜在的なコンフリクトに直面する場合も多いと考えられる。

このような状況は、科学的な知見に基づいた意思決定支援により改善することが可能であると考えられる²⁾。地方自治体が行う地域エネルギー戦略の立案、導入すべき再生可能エネルギーの種類や発電施設の立地の決定を科学的に行う上で、意思決定の支援には高い可能性があると考えられる。

(2) 本研究における「意思決定」の限定

しかしながら、現状では、官庁やその他の行政機関が行う手続きや業務体系としての組織的意思決定³⁾において、業務として意思決定支援手法は用いられていない。すなわち、現在の政策立案プロセスにはグループ（集団）としての意思決定を支援するような手法やシステムは組み込まれていない^{4,5)}。

このことは、意思決定支援に関する研究を直ちに適用する場面が、上記の組織的意思決定においては限られることを意味する反面、エネルギー選択に関する意思決定を改善できるポテンシャルがあることを示している。地域分散型エネルギーの導入場面において、地方自治体が何らかの支援手法を導入することにより解消され得るコンフリクトは存在し⁶⁾、支援手法を活用することにより合理的な選択が可能になると期待される。

そのため本研究が対象とする研究領域は、意思決定分析（decision analysis）等の名称で呼ばれている方法論を研究する分野である^{7,8)}。これは、現実の問題解決のための方法論を研究する実践的な分野であり、関連するテキストも数多く刊行されている。

(3) 本研究の意図

このサブテーマでは、サブテーマ（1）で得られた結果（再生可能エネルギーの導入が環境・経済・社会に与える影響を拡張産業連関表により推計した結果）を活用しつつ、再生可能エネルギーに関する意思決定を支援するシステムの提案を試みる。上述の組織的意思決定での利用というよりは、地方自治体が再生可能エネルギーに関する新たなビジョンを作成し、その導入戦略策定を行うような場面^{9,10)}を想定している。

2. 研究開発目的

本研究の第一の目的は、拡張産業連関表から得られる持続可能性に関する情報を利用し、再生可能エネルギーの導入戦略立案のための意思決定支援のプロトタイプを作成することである。そのため、意思決定支援手法ならびに関連手法に関する文献調査を行うとともに、エネルギー選択の意思決定支援手法の適用事例に関する調査を先進事例の多いヨーロッパを中心に実施し、グループ意思決定支援のプロトタイプを作成する。

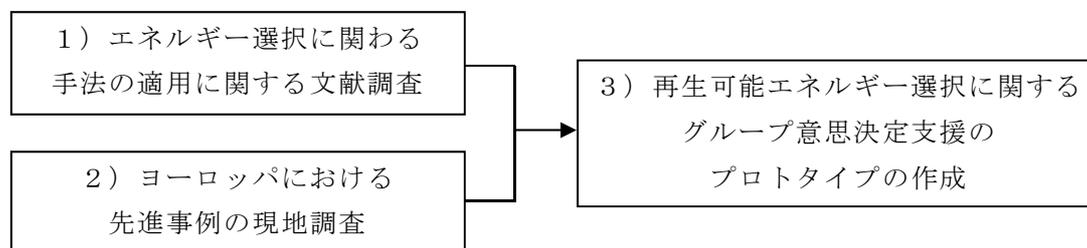
第二の目的は、複数の再生可能エネルギー技術に対する人々の選好に、各種再生可能エネルギーの技術特性に関する情報（拡張産業連関表から得られる持続可能性に関する情報）の提示、ならびに意思決定支援手法の利用が、どのような影響を与えるかを解明することである。具体的には、各種再生可能エネルギー技術に対する意思決定者の選好が、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表から得られる推計結果（サブテーマ（1）の成果）の提示により、また意思決定支援手法の適用によりどのように変化するかを、再生可能エネルギーの選択を仮想的に実施する状況（地方自治体におけるワークショップ）において検討する。

第三の目的は、地方自治体における再生可能エネルギー導入戦略（ビジョン）の立案を事例として、比較検討される代替案（プロジェクト、シナリオなど）ならびにそれら代替案の比較検討のための評価基準を体系的に作成する方法を提案し、エネルギー選択に関する意思決定がどのように改善できるかを示すことである。

3. 研究開発方法

（1）意思決定支援プロトタイプ作成

再生可能エネルギー選択に関するグループ意思決定支援のプロトタイプを作成するため、第一に、意思決定支援手法、テクノロジーアセスメント、討論型世論調査などの関連手法に関する文献調査を実施した。第二に、エネルギー選択の意思決定支援手法の適用事例に関する現地調査を、先進事例の多いヨーロッパにおいて実施した（図(2)-1）。



図(2)-1 グループ意思決定支援システムのプロトタイプの作成手順

文献調査では、まず、関連研究状況の概略を把握するために、エネルギーの選択に関わる研究において過去どのような手法が用いられてきたか、その傾向を探索した。次に、本研究内容に強く関連する文献を抽出して、最新の研究状況を詳細に検討した。用いた文献データベースは、Web of ScienceにおけるScience Citation Index Expanded、Social Sciences Citation Index、Book Citation Index - Science、Book Citation Index - Social Sciences & Humanitiesである。

現地調査は、エネルギー選択に関する意思決定の実態を把握することを主眼として実施した。調査対象には、関連文献（ジャーナル論文、単行書等）に掲載されている先進事例を選定した。ドイツ、スイス、フィンランドにおいて、スイス連邦工科大学チューリッヒ校環境意思決定研究所（研究協力者のDr. Michael Stauffacherが所属）、フラウンホーファー研究機構建築物理研究所などの協力を得て、現地調査を実施した。

(2) 持続可能性情報と意思決定支援手法の影響

ここでは、再生可能エネルギー選択に関するグループ意思決定支援のプロトタイプのうち、「客観性の担保を目的に行う拡張産業連関表との接続」および「主観的情報（評価基準に対する重み）の処理」の2点に焦点を当て、環境・社会・経済に関する持続可能性情報の提示（前者に該当）、ならびに意思決定支援手法の利用（後者に該当）が、再生可能エネルギーに対する選好の構築にどのような影響を与えるかを解明した。そのため、山梨県都留市において、意思決定者（被験者）の選好を計測する場としてワークショップを開催し、データを収集した。

1) 代替案（再エネ発電技術）と評価基準（持続可能性情報）の設定

再生可能エネルギーに対する意思決定者の選好は、再生可能エネルギーを用いた複数の発電技術（代替案）の選好順序として計測した。対象とした再エネ発電技術は、太陽光、風力、小水力、地熱、木質バイオマス、バイオガスの6種である。

再エネ発電技術を評価する基準として、1年間に1世帯が要する電力量（MWh）当たりの二酸化炭素排出量（kg-CO₂）、雇用創出量（人・日）、発電コスト（円）の3種を用いた。順に、持続可能性における環境、社会、経済の各側面に対応する。

2) 用いた意思決定支援手法

複数の意思決定基準を考慮しつつ代替案を選択する手法として、多属性価値関数に基づく多基準意思決定手法を用いた⁸⁾。ただし、手順の簡略化のため、それぞれの価値関数は線形であると想定するとともに、それぞれのレンジ（それぞれの評価基準の値がとる最大値と最小値の幅）も事前に設定した。したがって、参加者が実際に行う作業は、評価基準に対する重み付けとなる。重み付けの方法としては、評価基準のレンジを考慮しないで重み付けを行った場合に生じる問題¹¹⁾を回避するための方法を採用した。

3) ワークショップ開催による選好の計測

ワークショップは、都留市役所職員の研修の一環として、2014年11月6、13、14日にミュージアム都留の会議室において実施された。参加者は、就職後1、2年目の職員延べ18人である。ただし、全ステップを通して有効な回答を行った人数は13人であった。選好順序の計測は、5ステップに分けて行った（表(2)-1）。

表(2)-1 各ステップにおける提示情報と被験者の作業

ステップ	実施日	提示情報	被験者（意思決定者）の作業
0	11/6	代替案（発電技術）の名称のみ	代替案（カード）の順序付け
1	11/6	代替案の3基準の値の提示	代替案（カード）の順序付け
2	11/13	数値の持つ意味（公益性）の追加	代替案（カード）の順序付け
3	11/13	意思決定支援手法の説明	3基準に対する重みの決定
4	11/14	グループでの決定手順の説明	3基準に対する重みの決定

ステップ0では、代替案の名前とイラストを描いたカード（図(2)-2）を順番に並べることによって、代替案の順序づけを実施した。ステップ1では、再生可能エネルギーを用いた発電技術に関する

る講義の後に、それぞれの代替案の持続可能性に関する3基準の情報を記入したカード（図(2)-2）を並べることによって行った。ステップ2では、持続可能性情報をもつ意味の理解を深めるため、それぞれの評価基準が持つ含意（公益と私益の観点からの差異）について、追加的な説明を加えた。ステップ3では、多基準意思決定支援手法に関する講義ならびに手順を説明した後、用意した記入用紙および付箋紙を用いて3基準に対する重みを決定してもらった。その重みに基づき、新たに作成したソフトウェアを利用して、代替案の選好順序を自動計算した。

ステップ0～3までは個々人に自分の選好順序を決めてもらったが、ステップ4では、グループでの決定手順の概要を説明した後、ファシリテータに従ってグループとしての選好順序を決定することを試みた。選好順序の決定においては、ステップ3と同様に3基準に対する重みを決定してもらい、その重みを使って選好順序を自動計算した。



図(2)-2 ステップ1で用いたカード（左）とステップ2で用いたカード（右）
 - 太陽光発電技術の場合 -

4) データ解析

各参加者の選好（代替案に対する選好順序）が、それぞれのステップにおいて変化した程度を示す指標として、スピアマンの順位相関係数を用いた。このとき、ステップ*i*とステップ*i+1*の間の順位相関係数が1に近いほど、その間の選好の変化が小さいこと、逆に-1に近いほど、その間の選好の変化が大きいことを示す。

また、参加者全体（グループ）としての選好の整合性を表現する指標として、スピアマンの順位相関係数行列（13×13）の最大固有値を用いた。

（3）問題構造化手法の効果

ここでは、再生可能エネルギー導入戦略（ビジョン）の立案策定を事例として、比較検討される代替案ならびにその際に用いられる評価基準を体系的に作成するシステム（問題構造化手法）を提案し、エネルギー選択に関する意思決定がどのように改善できるかを検討した。そのため、山梨県都留市において、地域エネルギー戦略策定を想定したワークショップを開催し、データを収集した。

1) 2つの手法の対比による効果の測定

グループ意思決定における2つの手法を対比させることにより、問題構造化手法を用いることの効果を明らかにした。第1は、単純なグルーピングである。すなわち、参加者から提案された複数の代替案（戦略、シナリオ、プロジェクトなど）を、直接グルーピングすることにより、選択の候補となる代替案を探索しようとする方法である。第2は、視覚化に基づく問題構造化手法である。まず、意思決定に関わる複数の要因間の因果関係等を視覚化することにより、目的（言い換えるならば、評価基準、価値）を明確化し、次いで、それを実現するための代替案を作成するという方法である。

2) 用いた問題構造化手法

本研究では、次の2つの視覚化手法を融合させた問題構造化手法を用いた。第1は、意思決定者の様々な要素間の関係の全体像を図示する認知地図である¹²⁾。第2は、決定ノード（四角形）、確率ノード（楕円）、価値（目的）ノード（六角形等）間の影響を数量的に分析するための影響図（インフルエンス・ダイアグラム）である¹³⁾。本研究で用いた問題構造化手法は、認知地図に決定ノードと価値ノードを加えた図示法に基づいており、質的な影響図の利用ともいえる。

3) 問題構造化手法の評価手法（メタ評価）

問題構造化手法の有効性を評価するため、Midgleyらのフレームワーク¹⁴⁾を用いた。具体的には、彼らの開発した以下の項目を含むアンケート票（評価シート）を作成した。第1は、手法の有用性に関する問い（5段階リッカート尺度）およびその判断の理由の記述である。第2は、目標達成度に関する12項目の問い（5段階リッカート尺度）である。なお、倫理的な問いに関しては、国の文化などの違いから対象外とした。

4) ワークショップの概要

参加者は、山梨県都留市職員（課長補佐クラスのシニア職員）10名である。ワークショップは、職員研修の一環として3日間をかけて実施した。

第1日（2015年11月6日）には、エネルギーをめぐる最近の動向、再生可能エネルギーの概略、および都留市の新エネルギービジョンに関する説明を行った。その後、各自に新エネルギービジョンの新しいバージョンを次回までに作成するよう依頼した。

第2日（11月12日）には、前半で、まず各自が作成した新エネルギービジョンのリストアップを行い、グルーピングを用いて集団としての新たな案を作成する方法を適用した。後半では、問題構造化手法を適用し、提案された新エネルギービジョンからの評価基準の作成、次いで、そこから代替案の作成を実践した。その後、参加者にアンケート票（評価シート）へ記入してもらった。

第3日（11月13日）には、問題構造化手法に関する理論的側面の補足など、フォローアップを実施した。

5) 解析手法

まずは、上記(c)において述べた計13項目の問いの回答を単純集計することで、問題構造化手法

に対する参加者の主観的評価を明らかにした。次いで、「有用性」とその他の12項目（変数）との相関を明らかにした。各リッカート尺度で表された変数は、順序カテゴリカル変数であるため、「有用性」とその他の変数の相関を示す指標として、ポリコリック相関係数を適用した。計算には、Rパッケージ polycor を用いた。

4. 結果及び考察

(1) 意思決定支援プロトタイプの作成

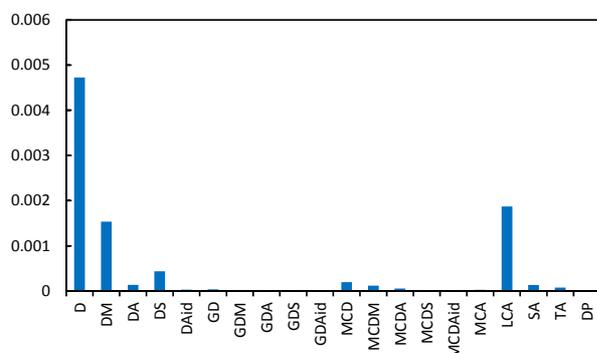
関連研究の文献調査とヨーロッパでの現地調査に基づき、再生可能エネルギー選択に向けたグループ意思決定システムに求められる要件を明らかにし、それを満たす意思決定支援のプロトタイプを作成した。

1) エネルギー選択に関わる手法の適用に関する文献調査

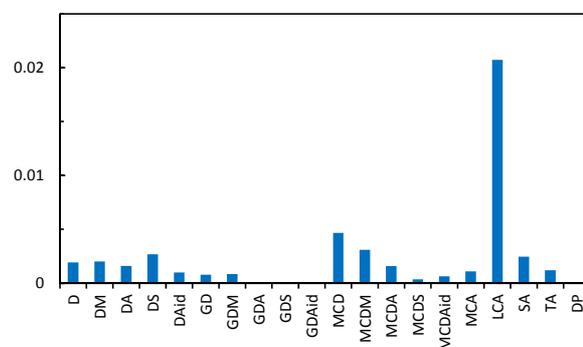
第一に、本研究に関連する研究の状況を概略把握するために、エネルギー選択の研究に関連すると考えられる言葉（表(2)-2）を取りあげ、過去の研究における、これらの検索語と“energy”もしくは“renewable energy”の間の関連度を調べた。図(2)-3,4 は、Jaccard 係数（論理積/論理和）による関連度を示している。

表(2)-2 エネルギー選択の研究に関連すると考えられる言葉（検索語）

decision [D] decision making [DM] decision analysis [DA] decision support [DS] decision aid [DAid]	multiple criteria (multi-criteria) decision [MCD] multiple criteria (multi-criteria) decision making [MCDM] multiple criteria (multi-criteria) decision analysis [MCDA] multiple criteria (multi-criteria) decision support [MCDS] multiple criteria (multi-criteria) decision aid [MCDAid] multiple criteria (multi-criteria) assessment [MCA]
group decision [GD] group decision making [GDM] group decision analysis [GDA] group decision support [GDS] group decision aid [GDAid]	life cycle assessment [LCA] sustainability assessment [SA] technology assessment [TA] deliberative polling [DP]



図(2)-3 “energy”と各検索語の関連度



図(2)-4 “renewable energy”と各検索語の関連度

“energy”と“decision”の関連度の高さは語感に関わるものと推察されたが、“renewable energy”と“LCA”ならびに多基準意思決定関係の検索語との関連度の高さは、再生可能エネルギー研究においてこれらの方法論が親和的であることを示していると考えられた。

第二に、本研究内容に強く関連する文献、例えばエネルギー選択における多基準意思決定に関する研究論文などを抽出して、最新の研究状況を詳細に検討した。

以上の文献調査の結果から、以下に示す考察を加えた。

①「グループ意思決定分析」に関する論文は、数論的意思決定理論の一分野として書かれている場合が多いが、今後は、再生可能エネルギー導入の実務を念頭に置いた検討を行う必要があると考えられた。

②実務での活用のためには、実際の利用場面である組織のレベル（国、県、市町村等の違い）を考慮することが重要であると推察された。（この点は以下で説明する現地調査で検討した。）

③評価基準、代替案等をいかに作成するかを検討すること（問題の構造化を行うこと）は方法の一部であるが、この点に関するこれまでの検討は必ずしも十分でないと判断された。その理由は、数論的意思決定理論として論文等が書かれていることであると考えられた。たとえば、複数の基準を用いたエネルギー選択に関する研究内容であっても、複数の基準が所与のものとして捉えられており、何を評価基準に用いるべきか、評価基準をどのように設定すべきか等の問題に検討の余地が残されていた。また、代替案に関しても、代替案をどのように作成するのか、とりわけ現在はまだないが将来の可能性を示すような代替案をシナリオとしていかに構成するか等について検討の余地があると考えられた。

④意思決定者（ステークホルダー）の選好の取り扱いには、多くの改善すべき点が残されていると考えられた。第1は、複数の評価基準に対する重要性（重み）の理解をめぐる問題点である。たとえば、言葉の上での相対的な重要性を単純に数学的モデル（多属性効用理論）に組み入れると、一貫性のない結果をもたらすことになるが、この点に関する配慮のみられない論文も散見された。第2は、複数の意思決定者の選好に関する問題点である。すなわち、エネルギー選択や再生可能エネルギーの導入等の文脈において、性格の異なった多様なステークホルダー、住民等の選好をどのように扱うかについては、多くの課題が残されていると考えられた。

2) ヨーロッパにおける先進事例の現地調査

(a) エネルギー戦略に関する意思決定の階層性（スイス）

スイスにおけるエネルギーに関する意思決定プロセスは、国、カントン（州/準州）、地域（市町村）の3階層に区分される。エネルギー供給計画は国レベルで作成されるが、土地利用計画はカントンレベルで作成される。エネルギー国家戦略は拘束力のない文書である。なお、ドイツではEnergiewende（エネルギー転換）という用語が使用されるが、スイスではEnergierstrategie（エネルギー戦略）という用語が用いられる。（スイス連邦工科大学チューリッヒ校（ETHZ）エネルギー科学センターでの聞き取りに基づく。）

カントンレベルでのエネルギー戦略に関する主要業務はEnergiekonzept（エネルギー計画）の作成および関連するモニタリングである。本研究プロジェクトを遂行する上で参考となる第1の特徴は、ETHドメインの研究所等との協力により設定された2100年までの「2000ワット社会」の実現というビジョン（エネルギー消費を半減させる上位目標）の設定、およびそれに向けた5つ

の数値目標の設定である。第 2 は、エネルギー戦略策定に関する意思決定の視点から注目される特徴であり、各種ステークホルダーが参集した 3 回のワークショップの開催、ならびにドラフトの段階での市民への開示である。市民からの質問（そのほとんどは団体からのもの）に対しては、回答が作成される。（Appenzell Ausserrhoden 準州での Energiekonzept 2008-2015 に関する聞取りに基づく。）

地域レベルにおいても、ほぼ同様の構造で戦略策定がなされており、ビジョンの設定、各種ステークホルダーの参画に関しても同様である。調査を行った Urnäsch 市においては、上記 ETH のチームとの協力の下、環境負荷の小さいエネルギー供給システムの構築が試みられており、近年では Energiestadt という都市に対する環境ラベルの導入が特徴的である。

(b) 実務場面における意思決定の実態（ドイツ）

ドイツにおいては、再生可能エネルギー利用の際の実務場面における意思決定を調査するため、公的ユーティリティ企業（Stadtwerke）等を調査した。再生可能エネルギーの導入は通常のプロセスの中で進められており、ワークショップ、パブリックインボルブメント等のプロセスは利用されていなかった。（Stadtwerke Backnang および Stadtwerke Tübingen での聞取りに基づく。）ただし、国レベルのテクノロジーアセスメントにおいて、それらのプロセスは重要なテーマとして検討されており、現在利用されていないことが方法として不要であることを意味しないと考えられた（The Office of Technology Assessment at the German Bundestag での聞き取りに基づく）。

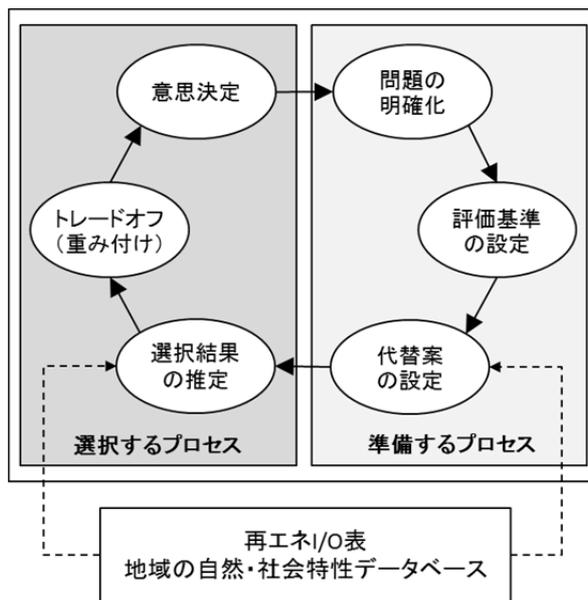
(c) エネルギー選択に関する意思決定研究の可能性（スイス、フィンランド）

研究の一つの方向性は ETH における脱領域的事例研究手法（trans-disciplinary case study method）に示されている。この手法は、複雑な現実の問題に対処するための多様な要素を含むが、多基準意思決定、シナリオ生成（代替案作成）等が重要な役割を果たす。上記の Appenzell Ausserrhoden 準州および Urnäsch 市におけるエネルギー戦略の策定等においてこの方法が用いられている。

もう一つの方向性は、フィンランドにおける環境研究の中に示されている。フィンランドにおいては多基準意思決定に関する研究が伝統的に盛んであり、国際応用システム分析研究所（IIASA）における意思決定に関するプロジェクトにおいて主導的役割を果たしていたばかりでなく、多基準意思決定国際学会においても多くの研究者が重要な位置を占めている。訪問したフィンランド環境研究所においては、再生可能エネルギーの多基準評価に関する研究、とりわけステークホルダーの選好の計測に関する研究に加え、産業連関表を用いた研究も実施されており、本プロジェクトの研究方向を検討する上で（以下のようにプロトタイプを作成する上で）有用な視点が得られた。

3) 再生可能エネルギー選択に関するグループ意思決定支援システムのプロトタイプの作成

既往の意思決定分析^{7,8,15)}ならびに上述の検討を踏まえて作成したプロトタイプは、図(2)-5 の通りであり、大きく「準備するプロセス」と「選択するプロセス」の 2 つのプロセスからなる。その特徴は、A 利用可能性、B 客観性の担保（再エネ導入に伴う影響・効果の推計技術の活用）、C 主観的情報の妥当な処理の 3 点に要約される。



ステップ	内容（検討事項）
問題の明確化	何を決定しようとしているか、ステークホルダーは誰か。
評価基準の設定	評価基準（目的）は何か、また如何なる指標でどのように測るか。
代替案の設定	代替案（選択肢）には何があるか、如何に代替案をつくるか。本研究においては、再エネ I/O 表などの情報基盤を利用して、シナリオとしての代替案が作成される。
選択結果の推定	各選択肢を選択した時の各評価基準の水準はどれだけか。本研究では、再エネ I/O 表を用いた計算結果（技術導入の影響・効果に関する情報）が活用される。
トレードオフ（重み付け）	各評価基準はどれだけ重要か、ある目的を達成する際に、他の目的は犠牲にしても良いか。
意思決定	望ましい選択肢を選択する。納得できなければ、最初に戻る。

図(2)-5 再生可能エネルギー選択に関するグループ意思決定支援のプロトタイプ

A 利用可能性 再生可能エネルギー選択に関する実際の決定過程は、様々な要因を含む複雑な過程であるため、そのような状況で利用可能であることが必要である。

A-1 実務での利用が可能でフォーマルな手法であること。文献調査の結果、これまでの研究では数学的モデルを再生可能エネルギーの問題に単純に適用した事例が多いが、このプロトタイプは、数学的モデルの機械的適用を超えた、実際の場面での利用を想定している。

A-2 問題の構造化が含まれていること。その機械的適用を超えるためのポイントであり、問題の明確化、評価基準の設定、代替案の設定と関わる内容である。たとえば、既に与えられた代替案から選択するのではなく、将来の可能性を示す潜在的代替案を考案することは、再生可能エネルギーの導入戦略を策定する際に重要な意味を持つ。

B 客観性の担保 次の特徴は、技術導入の効果を推計する手法、いわば将来予測技術を組み込まれていることである。

B-1 再生可能エネルギー導入の影響や効果を推計する手法との接続ができること。本プロジェクトにおいては、設定した代替案（再生可能エネルギーの利用シナリオ）を選択した場合の結果（導入の影響や効果）を推計する際に、サブテーマ（1）で作成した拡張産業連関表を活用することを想定している。

C 主観的情報の妥当な処理 再生可能エネルギー選択に関するグループ意思決定支援を実施する上で、ポイントとなる特徴である。

C-1 ステークホルダーの選好が正しく処理できること。これまでの適用事例の中には、トレードオフ（重み付け）の計測に再考の余地がある場合もあったが、この方法では理論（多属性効用理論）を正確に適用する。さらに、再生可能エネルギーの導入を検討する際には、ステークホルダーはこれまで経験したことのない未知の問題に対処する必要があるため、選好構築（preference construction）¹⁶⁾の過程を明示的に考慮する。

（2）持続可能性情報と意思決定支援手法の影響（選択するプロセスの分析）

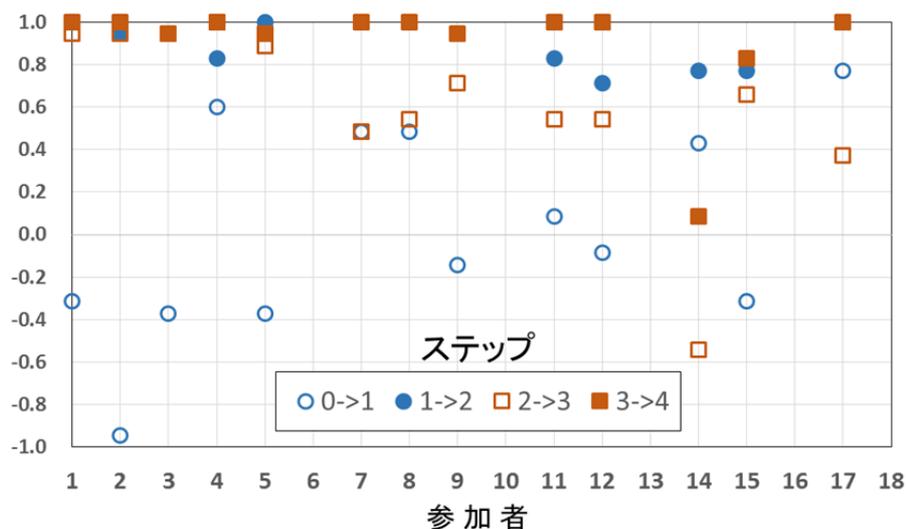
1）各参加者の選好の変化

図(2)-6に、持続可能性情報（CO₂排出量、雇用創出量、コスト）の提示と意思決定支援手法の利用によって、各参加者（No.1～18）の再エネ発電技術に対する選好順位にどのように変化したかを示す。縦軸において、1に近いほど変化が少なく、-1に近いほど変化が大きいことを意味する。ステップ0から1にかけて、ほとんどの参加者の選好が大きく変化している。すなわち、持続可能性情報の提示によって、無意識のうちに形成されていたと考えられる再エネ発電技術に対する選好順序が、持続可能性に関する客観的情報が提示されたことに伴い、変化したことを表している。

これに対して、ステップ1から2にかけては、相対的に小さな変化にとどまっている。これは、公益と私益に関する追加的な情報の提示が、大きな選好の変化をもたらさなかったことを示している。

ステップ2から3への変化、すなわち意思決定支援手法を用いることによる選好の変化は、1～5番の参加者を除き、相対的に大きいことが示された。この結果は、意思決定支援手法の利用によって、参加者の価値観（重み付け）が、再エネ発電技術の選好の順位付けにより適切に反映された可能性を示している。

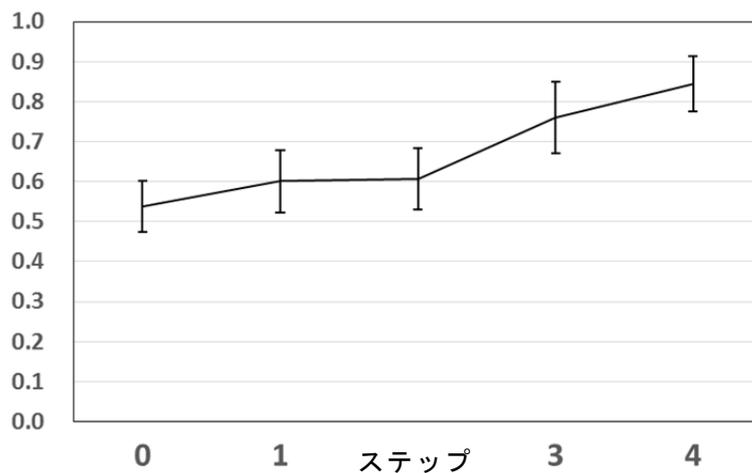
ステップ3から4にかけては、全体として大きな選好の変化はみられなかったが、一部の参加者では大きな変化を示している。ステップ4では、評価基準の重要度を集団で議論した上で、参加者は個々で改めて重み付けを行い、再エネ発電技術の選好順序を決定した。つまり、集団での議論の結果、各参加者の評価基準の重要度は、一部を除いて、それほど変化しなかった。



図(2)-6 ステップの進展に伴う選好の変化（縦軸：スピアマン順位相関係数）

2) 選好のグループ内整合性の変化

参加者全体としての整合性が、ステップの進展に伴いどのように変化したかを図(2)-7に示す。縦軸の数値が大きいほど、グループ内における選好の整合性が高いこと（潜在的なコンフリクトが小さいこと）を意味する。ステップ0から1、2から3、3から4にかけては、グループ内における選好の整合性が高まったことが明らかとなった。このうち、ステップ0から1および2から3にかけては選好が大きく変化した過程であること、またグループとしての調整（話し合い等）を行わないにも関わらず生じた変化であることが注目される。



図(2)-7 ステップの進展に伴う選好の整合性の変化（縦軸は最大固有値を13で除した相対値、エラーバーは10,000反復のノンパラメトリック・ブートストラップ法による標準誤差を示す。）

(3) 問題構造化手法の効果（準備するプロセスの分析）

1) ワークショップにより得られた結果の概要

第2日のワークショップの前半で実施した方法（各自が作成した新エネルギービジョンの個別プロジェクトのリストアップを行い、グルーピングにより集団としての新たな案を作成する方法）により得られた結果を図(2)-8に示す。廃棄物、公共施設、森林、省エネルギー、教育等に関するプロジェクトのグループが作成された。

それに対して、問題構造化手法を用いた後半では、総じて、様々な見方を踏まえた評価基準が作成できるとともに、当初予期しなかった新しい代替案（プロジェクト）を集団として作成することができた（図(2)-9）。（ここでは、概念のグループと意思決定者のグループを区別するため、後者を集団と表記する。）

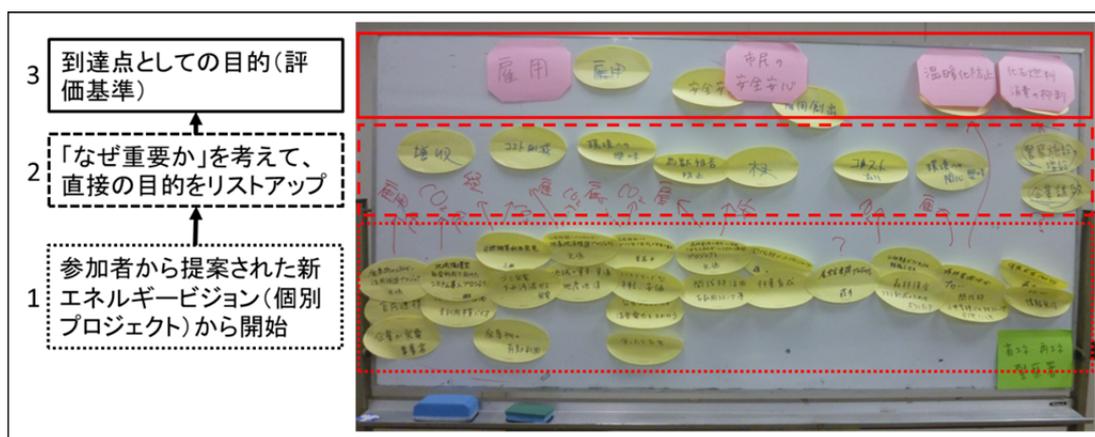
後半における問題構造化手法は大きく2段階のプロセスに分けられる。第1段階は上向の過程であり、図(2)-10に示されるように、各参加者により提案された新エネルギービジョン（個別プロジェクト）から目的（評価基準）を明らかにした。集団での議論を通して、最終的な目的（評価基準）に到達することができた。得られた評価基準は、「雇用」、「市民の安心・安全」、「地球温暖化防止」であった（「化石燃料消費の抑制」は、議論の過程で「地球温暖化防止」と一体化された）。第2段階である下向の過程（代替案の作成）は図(2)-11の通りであり、最終的に、「公園でのペレット製造」、「再生可能エネルギーを利用した高齢者施設」といった、当初予期しなかった代替案（単純なグルーピングでは発想できないプロジェクト）を作成することができた。短い時間にも関わらず、都留市という地域の特性を反映した、新しい代替案が生まれたことは注目すべきことであり、さらに時間をかければ他の代替案も作成可能と考えられた。



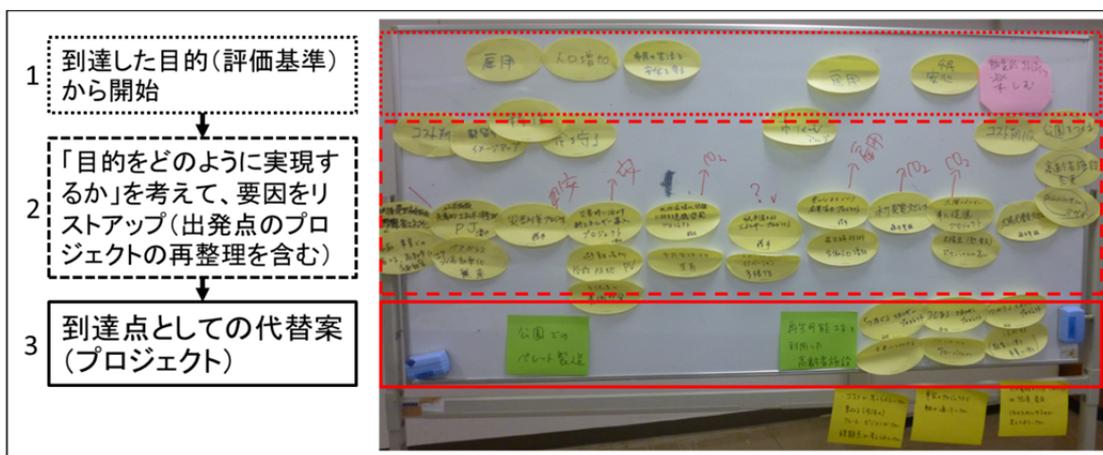
図(2)-8 グルーピング（前半）により得られた結果



図(2)-9 問題構造化手法（後半）により得られた結果



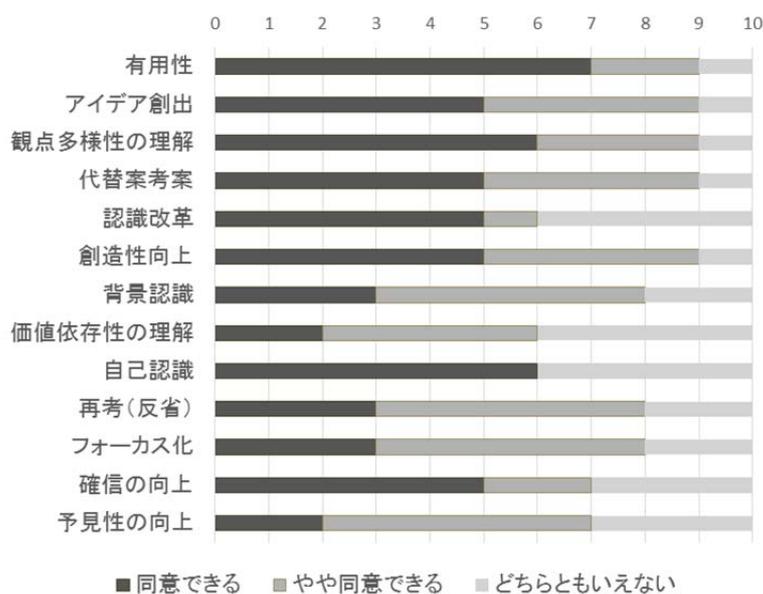
図(2)-10 問題構造化手法（後半）における上向過程の概要（図(2)-2 左上のボードに対応）



図(2)-11 問題構造化手法（後半）における下向過程の概要（図(2)-2 右下のボードに対応）

2) アンケートによる主観的評価の概要

グルーピング（前半）と問題構造化手法（後半）を実践した直後に、後半の問題構造化手法が前半の単純なグルーピングに比べ、どの程度有用か（あるいは有用でないか）を主観的に評価するためにアンケートを実施した。集計結果は、図(2)-12の通りである。質問文を短く要約した表現を変数名として用いている。「あまり同意できない」および「同意できない」を選択したケースは見られなかった。「同意できる」および「やや同意できる」を合わせた回答数が9割であったのは、「有用性」、「アイデア創出」、「観点多様性の理解」、「代替案考案」、「創造性向上」の5つであった。



図(2)-12 評価シートの集計結果

表(2)-3 「有用性」と各変数の相関係数

	相関係数 ^{†)}	標準誤差 ^{‡)}
アイデア創出	-0.093	0.658
観点多様性の理解	0.387	0.582
代替案考案	-0.093	0.656
認識改革	0.539	0.586
創造性向上	-0.093	0.660
背景認識	0.991	0.007
価値依存性の理解	0.684	0.368
自己認識	0.286	0.611
再考(反省)	0.991	0.008
フォーカス化	-0.102	0.645
確信の向上	0.624	0.570
予見性の向上	0.811	0.314

†) ポリコリック相関係数

‡) ブートストラップ標準誤差 (1000 回反復)

3) 有用性の中身

有用性の中身を検討するため、「有用性」と問題構造化手法を利用する目的の主観的達成度を示す変数との相関係数を計算した(表(2)-3)。相関係数が0.8以上であったのは、「背景認識」、「再考(反省)」、「予見性の向上」であり、0.5以上であったのは、その他に、「認識改革」、「価値依存性の理解」、「確信の向上」であった。また、「有用性」との相関係数が0.9を超える変数については、標準誤差が極めて小さいことが示された。

以上から、次の2点が示された。第一に、回答を直接検討した場合には、有用性、評価基準、代替案、創造性に関わる変数の評価値が高かった。このことは、意思決定分析の重要な要素である評価基準と代替案を作成する上で、問題構造化手法は有用であるという主観的評価を示していると考えられた。第二に、有用性という判断の中身は、「背景認識」および「再考(反省)」と大きく関わることを示された。つまり、今回の参加者は、問題構造化手法を、創造的なアイデアを生み出すというよりは、問題となっている対象を改めて考え直したり異なる視点から見直したりする点で有用であると認識していることが示唆された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、人々の再生可能エネルギー技術の選択という意思決定において、各技術の特性(GHG排出、雇用創出、コストなど)に関する定量情報の提示、ならびに意思決定支援手法の利用が、大きな影響を及ぼす可能性を示した。意思決定分析に関する研究では世界的に見ても、再生可能エネルギーを対象としたものは少なく、さらに定量情報の提示と結びつけた研究はほとんどなく、新しい科学的な知見を提供するものである。

また、グループ(集団)による再生可能エネルギー戦略(ビジョン)作成において、問題構造化手法が有効に機能する可能性を示した。問題構造化手法を再生可能エネルギーに対して適用した例は世界的に見ても希有であり、その有用性を具体的に示した点で画期的である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、エネルギー選択という社会的な意思決定において、①各技術の特性に関する客観的な情報をインプットすることに加えて、②それらの情報を上手に活用できる仕組みを持つこと(=意思決定支援手法の利用)によって、合意に向けた「不必要なコンフリクト」を「低コスト」で減少させることを示唆する結果が得られている。

また、再生可能エネルギービジョン作成のような問題が与えられた際に、③その問題を構造化して理解し考える手順(=問題構造化手法)を用いることによって、地域の「独自性」を生かした提案につながる可能性も認められた。

将来的に、分散型である再エネの導入に関しては、科学的な知見に基づく地域レベルでの新しい意思決定のあり方が必要になると考えられる。また近いところでは、COP21のパリ協定を受けて、各自治体で温室効果ガス削減にむけたビジョンが作成されると考えられる。このような場面において、上記①～③の特徴を持つ、本研究で提案するグループ意思決定支援システムは有効に活用されると期待される。

6. 国際共同研究等の状況

本研究の実施にあたり、Michael Stauffacher 博士（スイス、ETH Zürich, Institute for Environmental Decisions）の協力を得ている。具体的には欧州におけるエネルギー選択に関する研究の現状について情報提供を受けており、ヨーロッパの現地調査においても協力を得た。

関連する共同研究として、日本におけるバイオマス事業を対象とした成功要因・失敗要因に関する研究があり、その成果は以下の論文にまとめられた。

Y. B. Blumer, M. Stauffacher, D. J. Lang, K. Hayashi, S. Uchida (2013) Non-technical success factors for bioenergy projects—Learning from a multiple case study in Japan, *Energy Policy*, 60:386–395

また本研究は、近年のライフサイクル持続可能性評価手法に関する議論と符合する内容を含んでおり、同手法をコンサルティング・ビジネスに活用しているEarthShift Global（アメリカ）のLise Laurinと連携しつつ成果の公表に努めた。具体的には、The LCA XIV International Conference（2014年10月6–8日、サンフランシスコ（アメリカ））において共同で特別セッション（How to Support Decisions Using LCA: Theoretical Development and Practical Applications）を開催した。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

（2）口頭発表（学会等）

1) 林清忠：第9回日本LCA学会研究発表会（2014）

「グループ意思決定分析によるエネルギー選択支援の可能性—再生可能エネルギーへの転換を念頭においた包括的サーベイ」

2) Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi, Aya Heiho: The LCA XIV International

Conference, San Francisco, USA, (2014)

“Group decision support integrated with life cycle assessment: a study for generating regional energy strategies”

- 3) 林清忠, 本藤祐樹, 森泉由恵, 兵法彩, 伊藤亮太: 第10回日本LCA学会研究発表会 (2015)
「再生可能エネルギーに対する選好構築過程: 持続可能性情報と決定支援手法が与える影響の解明」
- 4) Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi, Aya Heiho, Ryota Itoh: The LCA XV International Conference, Vancouver, Canada, (2015)
“Preference construction processes for renewable energies: Assessing influence of sustainability information and decision support methods”
- 5) 林清忠, 本藤祐樹, 森泉由恵: 第11回日本LCA学会研究発表会 (2016)
「問題構造化手法が地方公共団体の地域エネルギー戦略策定に果たす役割」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 伊藤義康: 分散型エネルギー入門、講談社、16-26 (2012)
「第1章 分散型エネルギーとは何か」
- 2) ジョン・S・ハモンド、ラルフ・L・キーニー、ハワード・ライファ: 意思決定アプローチ、ダイヤモンド社、1-18 (1999)
「第1章 良い意思決定が成功の可能性を高める」
- 3) マーク・ラドフォード、中根允文: 意志決定行為、三報社、3-13 (1991)
「第1章 序論」
- 4) 馬場健司他: 環境システム研究論文集、Vol. 32、83-90 (2004)
「地方自治体による地域エネルギー政策と新エネルギー技術の導入プロセス」
- 5) 馬場健司、木村宰、鈴木達次郎: 社会技術研究論文集、Vol. 2、68-77 (2004)
「風力発電の立地プロセスにおけるアクターの参加の場と意思決定手続き」
- 6) 馬場健司、松浦正浩: 環境システム研究論文集、Vol. 36、149-158 (2008)

「交渉シミュレーションを用いた環境論争の解決策の検討－風力発電立地のケース－」

- 7) Parnell, G.S., et al.: Handbook of Decision Analysis, Wiley, (2013)
- 8) Goodwin, P., Wright, G.: Decision Analysis for Management Judgment, 5th edition, Wiley, (2014)
- 9) Trutnevyte, E., Stauffacher, M., Scholz, R.W.: Energy Policy, 39(12), 7884-7895 (2011)
“Supporting energy initiatives in small communities by linking visions with energy scenarios and multi-criteria assessment”
- 10) Trutnevyte, E. et al.: Environmental Science and Technology, 46(17), 9240-9248 (2012)
“Context-specific energy strategies: Coupling energy system visions with feasible implementation scenarios”
- 11) Keeney, R.L.: Operations Research, 50(6), 935-945 (2014)
“Common mistakes in making value trade-offs”
- 12) Ackermann F., Eden C., The Practice of Making Strategy: A Step-by-Step Guide, SAGE Publication, (2005)
- 13) Howard, R.A., Matheson, J.E.: Decision Analysis, 2(3), 127-143 (2005)
“Influence diagrams”
- 14) Midgley, G. et al.: European Journal of Operational Research, 229(1), 143-154 (2013)
“Towards a new framework for evaluating systemic problem structuring methods”
- 15) Gregory, R. et al.: Structured Decision Making, Wiley-Blackwell, (2012)
- 16) Lichtenstein, S. and Slovic, P. eds.: The Construction of Preference, Cambridge University Press, 1-40 (2006)
“The Construction of Preference: An Overview”

Development of Methodology of Value Assessment and Strategy Planning for Renewable Energy Technologies

Principal Investigator: Hiroki HONDO

Institution: Yokohama National University
79-7 Tokiwadai, Hodogayaku, Yokohama-City,
Kanagawa 240-8501, JAPAN
Tel: +81-45-399-4365 / Fax: +81-45-339-4365
E-mail: hondo@ynu.ac.jp

Cooperated by: National Agriculture and Food Research Organization

[Abstract]

Key Words: Energy policy, Renewable energy, Sustainability, Climate change mitigation, Region, Life cycle analysis, Input-Output table, Decision support, Multi-criteria assessment, Problem structuring

The present study aims to create an infrastructure that can assist strategy formulation and policy-making on renewable energy. The created infrastructure consists of a framework for assessing the values of renewable energy technologies and a group decision support system using quantitative and objective information.

We developed a framework for assessing environmental and socio-economic impacts of renewable energy technologies. At the core of the framework is a Renewable Energy-Focused Input-Output (REFIO) model, which is built on the latest Japanese input-output table for the year 2011 by disaggregating the original sectors and adding new sectors related renewable energy technologies. The REFIO model allows a consistent and comprehensive assessment of a wide range of renewable energy technologies, i.e. 12 power generation and five heat production technologies. We proposed analysis and assessment methods using REFIO models and demonstrated the effectiveness of these methods through case studies. The employment characteristics of renewable power generation technologies were analysed as a case study. The analysis reveals that there are distinctive differences of the total employment creation potential over the life cycle among these different technologies; furthermore, each technology has unique features regarding how many and what kinds of jobs are created across the whole life cycle. In addition, a case study was performed to assess employment creation potential by region. Employment opportunities created by renewable energy technologies are split into the four following categories: global, national, prefectural and local. Employment effects

differ depending on types of technologies and local characteristics. Our framework allows a more specific assessment to help find a more cost-effective scheme for renewable energy technology deployment.

We proposed a group decision support system for generating regional renewable energy strategies. The proposed system is based on the two-step procedure. The first step is problem structuring for a better understanding of the context for renewable energy strategies. Multiple criteria for making regional energy decisions and alternative strategies for establishing regional renewable energy systems are prepared in this step. In the second step, selection decisions are made among alternative strategies using the criteria formulated in the first step. A remarkable characteristic in our decision support system is the explicit use of sustainability information such as the greenhouse gas reduction potential and the employment creation potential derived from the REFIO model. We confirmed the validity of the both first and second steps through the experimental workshops organized for municipal officials. Our decision support system can contribute to formulate regional renewable energy strategies in the future.