

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360403

研究課題名(和文) 持続可能な発展を支援する地域エネルギー需給統合システムの構築

研究課題名(英文) Development of integrated local energy demand and supply system supporting the sustainable growth

研究代表者

内山 洋司 (Uchiyama, Yohji)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：50323275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地方自治体の持続可能な発展に向けてエネルギー環境政策を支援する地域エネルギー需給統合システムの開発を目的とする。開発手法は、産業連関分析法を含めて福島県、岩手県、茨城県など地方自治体の経済、環境、雇用効果の分析に適用された。研究では、太陽光発電、風力発電、バイオマスなど再生可能エネルギーと、燃料電池、コージェネレーション、自家発電など分散型エネルギー技術の適切な導入容量を求めるだけでなく、それらが広く普及した時の地方自治体に与える経済・環境効果を分析した。結論として、これらの技術が、地方自治体のエネルギー・環境改善だけでなく経済と雇用成長をもたらすことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The study aims to develop the integrated local energy demand and supply system to support the local government on energy and environmental policy for the sustainable development. The method was applied to investigate the economic, environmental and employment effects of local government such as Fukushima, Iwate and Ibaraki prefectures as well as the whole country with using Input-Output Analysis methods. In the study we analyzed the appropriate installation capacity of renewable energy technologies such as solar power, wind power, biomass energy, etc. as well as dispersed energy technologies of polymer electrolyte fuel cell, cogeneration, electricity self-generation and also the economic and employment effect on the local government induced by the wide spread of those technologies. It is concluded that those technologies are able to bring the local government in economic and employment growth as well as energy and environmental improvement of local areas.

研究分野：エネルギー学

キーワード：持続可能な発展 産業連関分析 再生可能エネルギー 固定価格買取制度 電源構成 原子力発電

## 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災と原子力発電所の事故によって、エネルギー政策の見直しが議論されていくと考えられる。政策の中心は、省エネルギー・省電力に向けた需要側の対策と脱原発など原子力への依存を低下させ、代わって再生可能エネルギーや分散型技術の導入を加速する供給側の対策になる。両者の両立には、解決すべき難しい課題がある。エネルギー・電力需要の抑制は人々の雇用や生活を守る産業活動を維持しながら実施されなければならない、またエネルギー市場規模が縮小する中で、企業や国民への経済負担を強いることなく、コストの高い再生可能エネルギーや分散型技術をいかに導入していくかが課題となる。

## 2. 研究の目的

東日本大震災と原子力発電所事故によって、わが国のエネルギー基盤の脆弱性が露呈するとともに、今後、エネルギー政策の見直しが議論される中、エネルギー・環境問題はこれまで以上に重要性が増していくと考えられる。本研究提案は、主に被災した東日本4県の地方自治体を対象に、省エネルギー・低炭素型社会の構築と自立分散型エネルギー技術の普及が被災地域の経済復興と雇用創出に果たす役割を定量的に分析できる「地域エネルギー需給統合システム」を開発し、各地方自治体における再生可能エネルギーや分散型技術の導入量とその経済・雇用効果を技術・経済・社会的要素を考慮して総合的に明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

平成24年度は、被災した東日本4県の地方自治体における省エネルギーの推進、自立分散型エネルギー技術の普及とその経済・雇用効果を明らかにするために必要となる下記に示すモデル開発を重点的に進める。

### (1) GIS 地域エネルギー需給システム

本システムは、地方自治体のエネルギー需給

分析に必要な個々のマイクロデータを集積し、自治体における技術ポテンシャルを推計するものである。分析方法は、地理情報システムを使い、地域を細かいメッシュに分割し、各メッシュに①需要側では省エネルギーの推計に必要な人口・世帯構成・年齢分布、産業・民生・運輸部門の経済指標とエネルギー消費量、それに家庭や業務部門などに導入可能な高効率エネルギー機器などのデータを、②供給側では土地利用と再生可能エネルギー賦存量などのデータを整備する。

### (2) エネルギーチェーン多層評価モデル

バイオマスエネルギーや製油所副生水素の利用拡大には、電力・水素利用を供給源、製造、輸送、利用のプロセスにわたり地域エネルギーシステムとしてネットワーク化することが必要となる。「エネルギー多層評価モデル」を用いて、効率性、環境性、経済性から電力・水素利用システムを分析し、地域におけるバイオマスや水素の利用可能量から地域の省エネルギーと二酸化炭素排出の改善効果などを明らかにする。

### (3) 社会的受容モデル

個々の需要家がどのような意識をもっているのか、エネルギー資源や技術を対象に、その外部性に対する経済価値となる支払意思額を、仮想評価法やコンジョイント法を使って社会調査から明らかにする。

### (4) 最適エネルギー需給モデル

社会的受容モデルで求めた需要家の支払意思額を含めて地用自治体における2030年までのエネルギー需給展望を、費用最小化を目的関数とする最適エネルギー需給モデルによって明らかにする。

### (5) 産業連関分析モデル

地域産業連関分析モデルを2030年までの期間にわたり動的に分析できるようにマトリックス法により改良し、地域における分散型エネルギー技術の経済・社会影響を分析する。具体的には、各地方自治体の人口構成、産業

構造、所得、雇用、技術力、エネルギー需給などを考慮して、エネルギー面から地域経済と雇用の創出効果を明らかにし、地域社会の持続可能な発展を予測するものである。

平成25年度は、開発した「地域エネルギー需給統合システム」を被災地域である東日本の地方自治体である茨城県や岩手県に対して適用し、地域社会における省エネルギー、環境改善、そして地域の経済振興や雇用創出を定量的に明らかにする。

#### ① 対象県のエネルギー技術に関するデータ収集と分析

研究の対象となる地方自治体について、GIS地域エネルギー需給システムとエネルギーチェーン多層評価手法の分析に必要な技術データを収集し分析作業を実施する。

#### ② 最適エネルギー需給モデルによる分析

最適エネルギー需給モデルにより社会調査で得られた支払意思額を含めた分析作業を行い、省エネルギーの効果と再生可能エネルギーや水素の導入可能量を定量的に明らかにする

#### ③ 産業連関分析モデルによる分析

地域の産業連関表とエネルギーバランス表を使って、分析に必要な人口・産業構造など社会経済指標データを収集するとともに、省エネ・省電力と再生可能エネルギーと水素に関する分析結果が地域の経済と社会に及ぼす効果を明らかにする。

平成26年度は、その適用範囲を宮城県や福島県に拡大し、平成25年度に実施した下記に示す研究内容を具体的に実施する。また、被災地域である地方自治体の分析結果を統合し、地域全体で見た省エネルギー、環境改善、そして地域の経済振興や雇用創出を定量的に明らかにし、報告書として取りまとめる。

### 4. 研究成果

被災した東日本の地方自治体を対象に、省エネルギー・低炭素型社会の構築と自立分散型エネルギー技術の普及が被災地域の経済

復興と雇用創出に果たす役割を定量的に分析できる「地域エネルギー需給統合システム」を開発し、各地方自治体における再生可能エネルギーや分散型技術の導入量と、その経済・雇用効果を、技術・経済・社会的要素を考慮して明らかにした。

研究成果としては、学術誌への掲載9件、国際会議への査読付き論文発表8件、国内での学会発表12件、図書1冊を得ることができた。また研究成果の一部は、平成26年度5月に策定された茨城県の「いばらきエネルギー戦略」において参考資料として使われた。

#### (1) 平成24年度研究実績

平成24年度は、被災した東日本4県の地方自治体における省エネルギーの推進、自立分散型エネルギー技術の普及とその経済・雇用効果を明らかにするために必要となる次に示すモデル開発を重点的に進めた。①GIS地域エネルギー需給システム、②エネルギーチェーン多層評価モデル、③社会的受容モデル、④最適エネルギー需給モデル、⑤産業連関分析モデル

また、開発された上記モデル群を用いて、茨城県については「産業連関表を用いた太陽光発電システムのライフサイクル分析」の研究を実施し、また福島県に対しては「原子力発電所の停止と再生可能エネルギー導入の地域産業連関分析」の研究を実施し、それぞれの地方自治体における自律分散型エネルギー技術の普及効果を明らかにした。また、エネルギーチェーン多層評価モデル研究として「バイオマスボイラを組み合わせた純酸素燃焼型IGCC」と「有機ハイドライド供給システムを用いた燃料電池自動車のライフサイクルエネルギー消費・CO2排出分析」の研究を実施した。

#### (2) 平成25年度研究実績

平成25年度は、被災した東日本4県の地方自治体における省エネルギーの推進、自立分散型エネルギー技術の普及とその経済・雇用効果を明らかにするために、昨年度までに

開発したモデルの改善を図ると共に、それらのモデルを下記に示す研究に適用した。

- ① 福島県における原子力発電所停止と再生可能エネルギー導入の地域産業連関分析
- ② 産業連関分析法による固定価格買取制度の経済評価
- ③ 業務部門における分散型・集中型電源のリスク・ベネフィット分析
- ④ 分散型電源である固体高分子型燃料電池の燃料特性評価

平成25年度は研究成果を国内外の学会誌に積極的に投稿した。また次年度に向けて、被災地への導入が期待されている再生可能エネルギーの導入効果を経済・エネルギー・環境の面から産業連関分析法で研究すると共に、風力発電を対象にしてライフサイクルから見た導入効果をハイブリッド産業連関分析法で明らかにした。

### (3) 平成26年度研究実績

平成26年度は、主に被災した東日本の地方自治体を対象に、省エネルギー・低炭素型社会の構築と自立分散型エネルギー技術の普及が被災地域の経済復興と雇用創出に果たす役割を定量的に分析できる「地域エネルギー需給統合システム」を開発し、各地方自治体における再生可能エネルギーや分散型技術の導入量とその経済・雇用効果を技術・経済・社会的要素を考慮して総合的に明らかにすることを目的とする。

また、平成25年度までに開発した「地域エネルギー需給モデル」を被災地域である東日本の地方自治体である岩手県などに適用し、地域社会における省エネルギー、環境改善、そして地域の経済復興や雇用創出を定量的に明らかにした。また、「エネルギー多層評価モデル」を地域の製油所で生産される水素供給システムに適用し燃料電池バスと乗用車に対してライフサイクルから見たエネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出量を分析した。

「最適エネルギー需給モデル」の研究とし

ては、ポートフォリオ理論を用いて燃料価格の変動を考慮した将来の最適な電源選択を分析した。「社会需要モデル」については、電力自由化がもたらす自家発電部門のエネルギー需要変化について鉄鋼業をケーススタディとして研究した。「産業連関分析」については、分散型電源を対象に国レベルでは風力発電とコージェネレーションシステムを、地域レベルでは福島県における再生可能エネルギーと茨城県における太陽光発電を、それぞれ普及がもたらす経済性と環境改善の効果を明らかにした。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, Yohji Uchiyama, “Evaluation of Current Distribution in a PEMFC Using a Magnetic Sensor Probe” Energy Procedia, in printing, 2015, 査読有
- ② Shin Nagashima, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima, “Environment, Energy and Economic Analysis of Wind Power Generation System Installation With Input-Output Table”, Energy Procedia, in printing, 2015, 査読有
- ③ Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, Yohji Uchiyama, “Simulation of FCV Fuel Consumption Using Stationary PEMFC”, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.8, No.5, pp.841-851, 2014, 査読有
- ④ 小田秀充・岡島敬一・内山洋司「エネルギー分析における変動因子係数を用いたインベントリ分析の提案および検証」環境科学学会誌、27(2)、pp.93-106、2014、査読有
- ⑤ Yuki Mizumoto, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima, “Life Cycle Input-Output Analysis Extended to Use, Disposal, and Recycling Stages Applied to Embodied CO<sub>2</sub> Emissions of a Refrigerator”, Journal of Energy and

- Power Engineering, Vol.7, pp.695-704,2013, 査読有
- ⑥ 森 竜一・内山洋司・岡島敬一「バイオマス燃料を活用したハイブリッド型石炭IGCCシステムの性能とコスト分析」エネルギー・資源、34(4)、pp.1-10、2013、査読有
- ⑦ 水本佑樹・内山洋司・岡島敬一「ハイブリッド産業連関法を用いた太陽光発電システム導入の経済・環境分析」エネルギー・資源、34(5)、pp.1-10、2013、査読有
- ⑧ 平山健斗・岡島敬一・内山洋司「余剰重質油ガス化によるエネルギー利用の検討」エネルギー・資源、34(5)、pp.11-20、2013、査読有
- ⑨ 森竜一・内山洋司・岡島敬一「バイオマスボイラを組み合わせた純酸素燃焼型 IGCC」日本エネルギー学会石炭科学会議発表論文集、33 (6)、pp.114-115、2012、査読無 [学会発表] (計 20 件)
- ① 大西弘毅・内山洋司・岡島敬一「岩手県における再生可能エネルギー導入による地域経済・環境分析」第 34 回エネルギー・資源学会研究発表会、砂防会館 (東京都)、2015 年 6 月 10 日
- ② 大石勲人・岡島敬一・内山洋司「GIS を用いた風力発電のポテンシャル評価—岩手県への適用—」第 34 回エネルギー・資源学会研究発表会、砂防会館 (東京都)、2015 年 6 月 10 日
- ③ Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, Yohji Uchiyama,” Evaluation of Current Distribution in a PEMFC Using a Magnetic Sensor Probe” Energy Procedia, The 7<sup>th</sup> International Conference on Applied Energy – ICAE2015, Abu Dhabi, UAE , Mar. 29,2015
- ④ Shin Nagashima, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima, ”Environment, energy and economic analysis of wind power generation system installation with input-output table”, The 7<sup>th</sup> International Conference on Applied Energy – ICAE2015, Abu Dhabi, UAE , Mar. 30,2015
- ⑤ 中川悠太・内山洋司・岡島敬一「電力自由化による産業部門の自家発電におけるエネルギー消費構造の変化：鉄鋼業におけるケーススタディ」第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、砂防会館 (東京都)、2015 年 1 月 28 日
- ⑥ 飯田佳晃・内山洋司・岡島敬一「産業連関分析によるコージェネレーションシステム導入の経済・環境分析」第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、砂防会館 (東京都)、2015 年 1 月 27 日
- ⑦ Yutaro Akimoto, Takuma Nogami, Keiichi Okajima,”Study of In-situ Approach on PEMFC Stack Using Tri-axis Magnetic Sensor Probe”, International Conference on Electrical Engineering 2014(ICEE 2014), Jeju, Korea, Jun. 18, 2014
- ⑧ Takuma Nogami, Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima,”Output Characteristic of PEMFC Stack on Various Operating Conditions”, International Conference on Electrical Engineering 2014(ICEE 2014), Jeju, Korea, Jun. 18, 2014
- ⑨ 長島慎・内山洋司・岡島敬一「産業連関表を用いた風力発電システム導入の環境・エネルギー・経済分析」第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際交流センター (大阪府)、2014 年 6 月 11 日
- ⑩ 松崎和也・内山洋司・岡島敬一「ポートフォリオ分析による日本の電源選択」第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際交流センター (大阪府)、2014 年 6 月 11 日

- ⑪ 提達朗・岡島敬一・内山洋司「業務部門における分散型・集中型電源のリスク・ベネフィット分析」第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、砂防会館（東京都）、2014年1月24日
- ⑫ Yuta Nakagawa, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima, "Economic assessment of feed-in tariff policies by means of input-output analysis", International Conference on Applied Energy 2013 (ICAE2013), University of Pretoria (Johannesburg, South Africa), July 2, 2013
- ⑬ Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, "FCV fuel consumption simulation based on stationary PEMFC" International Conference on Applied Energy 2013 (ICAE2013), University of Pretoria (Johannesburg, South Africa), July 2, 2013
- ⑭ 飯田佳晃・内山洋司・岡島敬一「福島県における原子力発電所停止と再生可能エネルギー導入の地域産業連関分析」第32回エネルギー・資源学会研究発表会、砂防会館（東京都）、2013年6月7日
- ⑮ Yuki Mizumoto, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima, "Life cycle input-output analysis extended to use, disposal, and recycling: case study of a refrigerator", International Conference on Applied Energy 2012 (ICAE2012), Dushulake hotel (Suzhou, China) July 7, 2012
- ⑯ Ryuichi Mori, Yohji Uchiyama, Kanji Oshima, "Plant performance and economic assessment of oxy-fuel combustion IGCC combined with a biomass combustion boiler", International Conference on Applied Energy 2012 (ICAE2012), Dushulake hotel (Suzhou, China) July 7, 2012
- ⑰ 水本佑樹・内山洋司・岡島敬一「産業連関表を用いた太陽光発電システムのライフサイクル分析」第31回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際会議場（大阪府）、2012年6月6日
- ⑱ 提達朗・内山洋司・岡島敬一「有機ハイドライド供給システムを用いた燃料電池自動車のライフサイクルエネルギー消費・CO2排出分析」第31回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際会議場（大阪府）、2012年6月6日
- ⑲ 秋元祐太郎・那須巧・内山洋司・岡島敬一「水素コミュニティ評価のための定置用燃料電池によるFCVシミュレーションの検討」第31回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際会議場（大阪府）、2012年6月6日
- ⑳ 平山健斗・内山洋司・岡島敬一「プロセスシミュレーションを用いた重質油ガス化利用システムの検討」第31回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際会議場（大阪府）、2012年6月6日
- [図書] (計 1件)
- ① 内山洋司、編著、「エネルギー学」への招待、コロナ社、163頁、2014
- [その他]
- ホームページ等
- <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~uchiyama/>  
(平成26年度まで)
- <http://www.risk.tsukuba.ac.jp/okajimala/b/> (平成27年度以降)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 内山 洋司 (UCHIYAMA, YOHJI)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号：50323275
- (2) 研究分担者
- 岡島 敬一 (OKAJIMA, KEIICHI)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号：60303533