

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24380129

研究課題名(和文) エネルギーを自給する農山村とエネルギー・リローカル化の計画・設計手法の開発

研究課題名(英文) Development of planning and design approaches to formation of energy self-support system and energy re-localization in rural area

研究代表者

小林 久 (Kobayashi, Hisashi)

茨城大学・農学部・教授

研究者番号：80292481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：第一に、農村地域の家庭の電力と熱の需要モデルを作成し、次に再エネ生産と建物別エネルギー需要推計に基づく需給バランス分布図作成を通して、農山村にエネルギー自給可能な領域が少なくなことを示した。農業生産に関してはバイオガス発電併設のエネルギー自給型畜舎の可能性を検討し、機器構成・運用方策を示した。また、アンケート調査によるDR受容率の推計、削減可能量の推計手法開発により、DRのピークカットの可能性と有効性を明らかにした。これらの成果により、農山村における「自給型のエネルギー需給」の可能性、再エネ利用型地域づくりおよびエネルギー・リローカル化の枠組み・方向を示した。

研究成果の概要(英文)：Energy Demand Model of household in rural area was formulated. Then, areas where demands can be self-sufficient with renewable energy resources in the area were identified referring the Model and renewable energy development planning. In addition, we examined the possibility of energy self-sufficient type livestock barn with biogas power generation facilities and clarified a feasibility of barn construction and operations. Furthermore, a possibility and availability of Demand Response (DR) were studied based on questionnaire survey, through development of estimation model of DR acceptance rate and an approach to grasp a possibility of reducible quantity. Applying the model and the approach, we clarified DR was an effective option for decentralized power system planning and design. Referring these study results, the framework of Independent Energy System, possible direction of effective renewable energy resources use and energy re-localization in rural areas was indicated.

研究分野：農村計画学

キーワード：再生可能エネルギー 分散型エネルギーシステム エネルギー自立 デマンドレスポンス(電力需給協調) 地域コミュニティ

## 1. 研究開始当初の背景

温暖化、資源枯渇、大規模電力システムの脆弱性などの問題から、再生可能エネルギーを活用する未来像が広く議論されるようになり、再エネ利用システムに関わる技術的社会的問題は社会が解決を求める重要な課題になった。

一方、今日の農山村の衰退は資源を生産・供給するという本来の機能消失と資源消費地になったことに根本的な原因があると考えられる。研究メンバーは、これまでの研究等で農山村地域では①小水力による電力自給が見込めること、②数10戸の家庭の電力需要は約15kW程度のベース供給と最大50kW程度の変動需要（ピーク供給）の組合せで自立型電力システムが構想可能であること、③小規模分散型エネルギーシステムは自立的な地域主体形成に有効であることなどを明らかにしてきた。再生可能エネルギーの拡大、農山村の活性化のためには、エネルギー需要が比較的小さく、再生可能エネルギー資源に恵まれる農山村を対象に、再エネを最大限利用するエネルギーシステムの具体像提示が求められているといえる。

## 2. 研究の目的

農山村の自立的発展、再生可能エネルギーの有効利用と分散型エネルギー社会形成に貢献できる自立型エネルギー需給システムの実現可能性と具体像を明らかにするために、農山村を対象に「自給型のエネルギー需給モデル」を作成し、その計画・設計アプローチを開発することを目的とする。そのために本研究では、①季別時間別の熱と電気の需要モデルの作成、②再エネ資源開発計画の作成、③エネルギー需給可能領域の抽出、④農業生産におけるエネルギー自給の可能性検討および⑤需要側協調の需給システムの可能性分析を行い、さらに具体的な地区における⑥計画・導入プロセス（再エネ開発計画、エネルギー需給システムデザイン）試行を通して、再エネ利用型農山村開発、エネルギー・リローカル化の手法を提案する。

## 3. 研究の方法

研究はケーススタディ地区を対象とした実態調査に基づいて実施した。対象資源は、農山村に賦存する再生可能エネルギー資源（太陽光・熱、バイオマス、小水力）とし、海外事例調査を行って地域各層の認識・役割、実施体制、評価視点などを把握した上で、現行制度では認められていない独立型電力需

給をエネルギーシステム検討に含めることとした。

①熱・電気の需要モデルは、選定した地区のエネルギー消費実態の調査により作成した。②再エネ資源開発計画は、対象地のエネルギー資源の賦存調査および再生可能エネルギー生産・供給の関連技術の基礎事項（適用条件・エネルギー・フローなど）を調査整理した適用可能技術データに基づいて検討した。

③エネルギー需給可能領域は、作成した需要モデル、開発可能量推計および適用可能技術データを用いて、需要・開発可能量を推計し、GISを活用した需給バランス分布の作成手法開発を通して抽出した。④エネルギー自給型農業に関しては、畜産を対象にエネルギー生産施設の導入・運用可能性を事例の調査分析に基づき検討した。

⑤需要側協調の可能性分析はアンケート調査により行い、需要制御オプションを検討してシナリオ設計を試みた。また、⑥エネルギー・リローカル化手法は、中山間地集落の再エネ開発に関わる計画調査、住民合意プロセスを通して検討した。

## 4. 研究成果

第一に、先進事例としてスウェーデンの地域エネルギー供給（バイオマス熱電生産、集中熱供給、バイオマス燃料、小水力発電）を調査し、施設構成、コジェネや発電・燃料並産などの複合利用の重要性、エネルギー効率などに関する客観的指標およびエネルギー事業における公共性と収益性の視点の必要性等を把握して、地域エネルギー計画における需給の適正把握が重要であることを認識した。

### （1）エネルギー需要モデル

ケーススタディ地区の電力需要計測および熱需要（暖房、給湯、厨房）に関する実態調査から群および生活様式としての時間需要変動を検討して、床面積（10m<sup>2</sup>）当たりの冬期、中間期、夏季の電力と暖房、給湯、厨房別の熱需要の時間需要モデルを作成した（図1）。

### （2）再エネ資源開発計画

通年調査に基づく資源量推計、ワークショップ等により確認した技術の地域への親和性・適用性などを考慮して、太陽光発電、太陽熱利用、木質バイオマスの熱利用、少水力発電を再エネ資源として選定し、資源別の開発可能量を推計した。

また、小水力についてはGISを活用して、

50mDEM データから水路線形沿いの 100m 間隔毎の集水面積を求め、上流からの累積集水面積に比流出量を乗じて算出する流量と各 100m 間隔の標高差から開発可能量を推計する手法開発して、図 2 のような開発ポテンシャル分布が求められる手順を整理した。

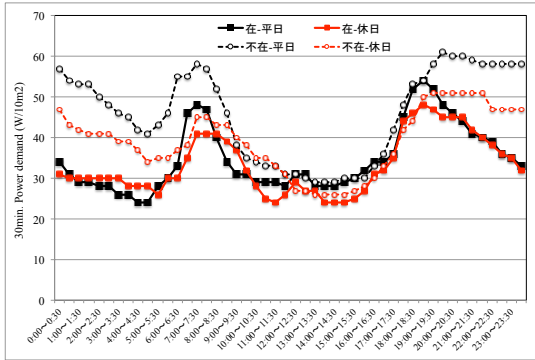


図 1 冬期の電力需要モデル (W/床面積 10m<sup>2</sup>)

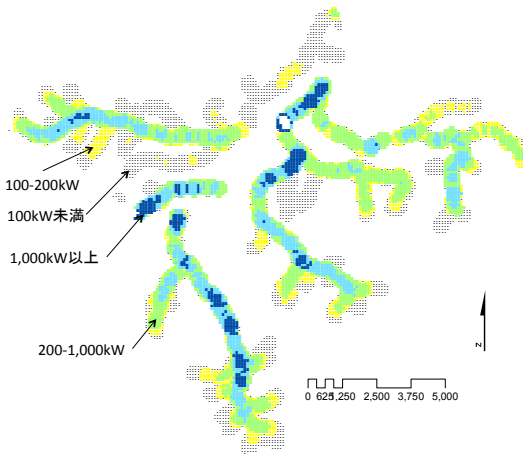


図 2 小水力の開発ポテンシャル分布

### (3) エネルギー自給領域抽出

需要モデル、GIS を用いて期別建物別の日需要を求め、100m メッシュの交点を中心とする半径 300m の円内の需要と供給可能量(資源量)から需要充足量を求め、その分布を各メッシュ交点の需要充足量として表現する手法を検討整備し、対象地域に適用して再エネによる電力と熱の需給バランス分布(図 3)を求めることで、再エネによる自給可能領域の抽出を行った。

### (4) エネルギー自給型農業

農業生産のエネルギー自給技術として、家畜飼養を対象とするバイオガス発電による電力自給・供給体系を検討・分析し、機器使用の時間配分がエネルギー自給(電力消費低減)に大きく貢献すること、バイオガス発電

による畜舎・飼養管理においてエネルギー自給が可能であることを明らかにした。

### (5) 需要側協調

海外事例および既存研究のレビューを通して、エネルギー自給の実現には分散型の独立電力グリッドの安定化が必要で、そのためには電力の需給側制御(DR:デマンドレスポンス)が有効であることを認識し、停電受入れと時間帯別家電別使用制約に関する 2 タイプの DR に関する選択型アンケート調査を実施した。調査の結果、停電の受入れ率は女性の方が男性より、省エネ意識が高い人の方が低い人より明瞭に高かった。電気代削減による受入れ率の変化を検討したところ、年電気代削減額を増加させると受入れ率は増加し、受入れないとする回答の割合は明瞭に減少した。削減額の選好が正規分布に従うと仮定して、削減額に対する受入れ率の累積選択確率を求めたところ、過半数が停電を受入れるときの削減額は 1 時間・年 2 回が 12 千円、3 回が 25 千円と推計された。

表 1 Multinomial Logit と Random Parameter Logit によるパラメータ推計

Parameters	MNL			RPL			
	Point Estimate	SE	T-stat	Point Estimate	SE	T-stat	
ASC1	$\mu_{01}$	0.394	0.056	6.97	3.322	0.232	14.30
	$\delta_{01}$				7.687	0.314	24.52
ASC2	$\mu_{02}$	0.357	0.057	6.29	3.292	0.238	13.84
	$\delta_{02}$				8.023	0.320	25.04
electricity bill reduction	$\beta_{bill}$	0.058	0.003	16.15	0.123	0.006	18.88
outage duration per event	$\mu_{dur}$	-0.126	0.018	-7.03	-2.331	0.272	-8.56
	$\delta_{dur}$				1.617	0.122	13.23
outage frequency per year	$\mu_{freq}$	0.016*	0.017	0.95	-3.753	0.575	-6.53
	$\delta_{freq}$				2.428	0.264	9.19
appliance (air conditioner)	$\mu_{ac}$	0.474	0.020	23.74	1.575	0.088	17.96
	$\delta_{ac}$				3.678	0.139	26.45
appliance (lights)	$\mu_{lights}$	0.407	0.0193	21.07	1.355	0.074	18.20
	$\delta_{lights}$				2.899	0.124	23.31
timing (noon)	$\mu_{noon}$	0.514	0.021	24.91	1.337	0.073	18.43
	$\delta_{noon}$				2.867	0.117	24.54
timing (evening)	$\mu_{eve}$	-0.461	0.022	-20.77	-1.110	0.066	-16.7
	$\delta_{eve}$				2.222	0.119	18.64
day (weekday)	$\beta_{day}$	0.054 <sup>†</sup>	0.021	2.57	0.154	0.036	4.32
Log Likelihood				-12707.774			-9329.218
Likelihood Ratio Index ( $\rho^2$ )		0.094				0.250	
Number of individuals		1080				1080	
Number of observations		12960				12960	

Notes: 1) Significance code: \*  $p \geq 0.05$  \*\*  $p < 0.05$  \*\*\*  $p < 0.01$

また、調査結果を用いて Random Parameter Logit Model による分析を行い、DR シナリオ別の平均削減額などを見積もるとともに、DR 受容率推計モデルを作成した(表 1)。さらに、推計モデルを用いて属性別受容率を求め、実測日電力需要パターンからのデータセットから受容属性別の戸別需要を繰り返しサンプリ

ングして削減可能量分布を把握するという手法を開発して、DR シナリオ別の削減可能量を推計し、平均でピーク需要を33%削減できることを明らかにし(図3)、DRによるピーク需要削減が有効であることを示した。

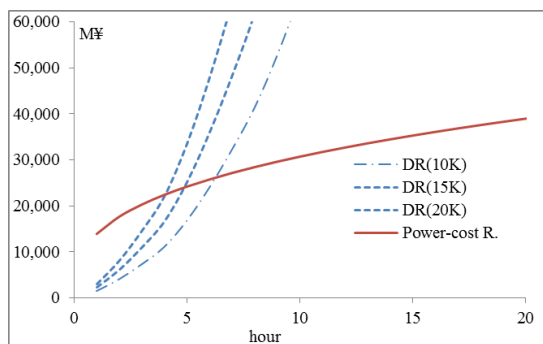


図3 ピーク需要時のDRと発電の費用比較

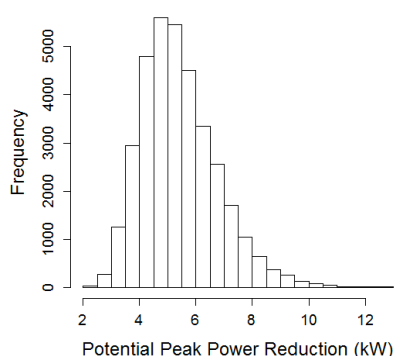


図4 DRによるピーク需要削減ポテンシャルのヒストグラム

#### (6) エネルギー・リローカル化

中山間地集落(F地区)の小規模農業用水路を活用する再エネ開発計画を、住民と連携して調査・検討し、求められる合意プロセスを明らかにすることとした。地区内には自治会と土地等管理の振興会があり、それぞれ承認機関、財産管理機関であることを明らかにした上で、再エネ開発のような新たな取り組みにおいては地区内の合意形成に加えて、多くの農山村地域に存在しない事業実施(実働)組織が必要であることの必要性が示された。

このように本研究により、期別時間別のエネルギー需要モデル、農山村地域における再エネによるエネルギー自給可能な領域の明確化、エネルギー自給型農業生産の具体例、需要協調による過剰設備回避の小規模電力需給システムの実現性、農山村における再エネ自給体制の課題を提示することができた。

また、これらの成果およびケーススタディを通じた再エネ開発計画・導入プロセスの実践により、目的としていた手法提案までには至らなかったが、再エネ利用型の農山村開発およびエネルギー・リローカル化の枠組み・方向は示すことができたといえる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 13件)

- ① Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Komiya, M., Hara, R., Takano, J., “Electricity supply characteristics of a biogas power generation system adjacent to a livestock barn”, J. EAEP 9(1), 56-63, 2016, 査読有 (DOI:10.1016/j.eaef.2015.04.008)
- ② Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Takano, J., “Peak power demand leveling to stabilize and reduce the power demand of dairy barn”, J. EAEP 9(1), 56-63, 2016, 査読有 (DOI:10.1016/j.eaef.2015.10.005)
- ③ 廣瀬裕一, 小林久, 牧山正男, 後藤真宏, 上田辰巳, 『灌漑揚水水車の最近30年間存廃要因に関する検討』, 農業農村工学会論文集 83 卷(3), 45-53, 2105, 査読有 (DOI: 10.11408/jsidre.83.II\_43)
- ④ 小林久, 『地域による地域のためのエネルギー戦略-小水力, 森林バイオマスの利用と農山村の生存』, 環境技術, 44 卷(6), 298-303, 2014, 査読無
- ⑤ 後藤真宏, 『農業水利施設を利用した小水力発電』, 環境技術, 44 卷(6), 26-31, 2014, 査読無
- ⑥ R. Abdur & H. Kobayashi, “Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by demand response scenario in rural areas of Japan”, Energy Procedia Vol.61, 887-889, 2014, 査読有 (10.1016/j.egypro.2014.11.988)
- ⑦ 小林久, 『再生可能エネルギーに関連する法制度の規制緩和の動き-農山漁村の豊かな地域社会形成に貢献する地域資源利用の視点から-』, 農業と経済, 80 卷(3), 139-146, 2014, 査読無
- ⑧ 小林久, 『小水力発電の可能性と普及に向けた課題』, 生活協同組合研究 445, 21-30, 2013, 査読無
- ⑨ 後藤真宏, 駒宮博男, 上坂博亨, 小林久, 平野彰秀, 上田達己, 浪平篤, 廣瀬裕一, 『小水力発電の導入による農業水利施設の活かし方』, 水土の知 81 卷(2), 93-96, 2013, 査読有
- ⑩ 後藤真宏, 上田達己, 浪平篤, 廣瀬裕一, 『小水力利用と農村の今後の展開』, 畑地農業 652, 2013, 査読無
- ⑪ 白波瀬京子, 小林久, 『電気の供給停止(停電)に対する需要と属性・省エネ行

- 動との関係』, 農村計画学会誌 32, 293-298, 2103, 査読有
- ⑫ 小林久, 『小水力に期待できるか?』, 科学, 83 卷(9), 1008-1011, 2013, 査読無
- ⑬ 小林久, 『農山村のエネルギー的自立に向けて』, 農作業研究, 47 卷(2), 3-13, 2012, 査読無

[学会発表] (計 12 件)

- ① M. Tamura, “Impact of climate change and mitigateon/adaptation of renewable energy in Japan”, 2015 Int’l Conference on Climate Adaptation for Energy and Industrial sectors, 2015.10.19 (台湾・台北)
- ② A. Akisawa, H. Kobayashi, “Optimal behavior of local supply system with sharing excess renewable power among communities”, Int’l Workshop on Environment & Engineering, 2014.11.20, 国際会議場 (茨城県・つくば市)
- ③ M. Tamura, R. Abdur and H. Kobayashi, “Outage acceptance and feasibility of reduction reserve power capacity in Japan”, 14<sup>th</sup> IAEE European Energy Conference, 2014.10.30, (Rome, Italy)
- ④ 後藤眞宏, 小林久, 白羽瀬京子, 『地域用水路を利用する小水力開発の計画と合意のプロセス-F 地区の事例』, 環境経済・政策学会研究会, 2014.9.14, 法政大学 (東京都・多摩市)
- ⑤ 小林久, 伊東明彦, 白羽瀬京子, 『再生可能エネルギーによる需要充足度の分布図作成』, 農業農村工学会年度総会, 2014.8.27, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)
- ⑥ 白波瀬京子, 小林久, 『電気の供給停止 (停電) に対する需要と属性・省エネ行動との関係』, 農村計画学会秋期大会学術研究発表会, 2013.11.30, 鹿児島大学 (鹿児島県・鹿児島市)
- ⑦ 小林久, 『小水力発電から見た持続共生社会創生の可能性-再生可能エネルギーを管理する農山村-』, 農業農村工学会年度総会, 2013.9.5, 東京農大 (東京都・世田谷区)
- ⑧ R. Abdur & H. Kobayashi, “A study on the characteristics of Electricity consumption pattern of residents in rural area”, 農村計画学会春期大会学術研究発表会, 2013.4.6, 東大弥生ホール (東京都・文京区)
- ⑨ 白波瀬京子, 小林久, 『自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準』, 農村計画学会春期大会学術研究発表会, 2013.4.6, 東大弥生ホール (東京都・文京区)
- ⑩ 田村誠, 『スウェーデンにおける地域エネルギー供給』, 2013.3.23, シンポジウ

- ム「地域から考えるエネルギーの未来」, 福祉センター絆 (茨城県・東海村)
- ⑪ 小林久, 『小水力の長所と課題』, 「水の週間」シンポジウム (招待講演), 2012.7.27, 科学技術館 (東京都・千代田区)
- ⑫ 小林久, 『住民主体の小水力発電により期待される未来』, 小水力エネルギーシンポジウム in 糸島 (招待講演), 2012.6.30, 九大糸島キャンパス (福岡県・福岡市)

[図書] (計 6 件)

- ① 小林久, 地域の電気事業と地域の持続性 (「再生可能エネルギーと地域再生」), 日本評論社, 日本評論社, 『再生可能エネルギーと地域再生』(諸富編), 2015, pp55-78
- ② 小林久・金田剛一編, オーム社, 『事例から学ぶ小水力発電』, 2015, 194 頁
- ③ 小林久, 朝倉出版, エネルギー生産利用計画, 『農村計画学』, 2012, pp98-108
- ④ 小林久, コミュニティエネルギーに挑む農山村, 農文協, 『コミュニティ・エネルギー-小水力発電、森林バイオマスを中心に』, 2013, pp125-176
- ⑤ 小林久, 自然エネルギーの可能性, 国際文献社, 『ポスト震災社会のサステナビリティ学』, 2013, pp89-105
- ⑥ 全国小水力利用推進協議会編(編集委員長, 小林久), 『小水力発電が分かる本-しくみから導入まで』, オーム社, 2012, 158 頁

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 久 (KOBAYASHI HISASHI)  
茨城大学・農学部・教授  
研究者番号: 80292481

### (2) 研究分担者

田村 誠 (TAMURA MAKOTO)  
茨城大学・地球変動適応科学研究機構・准教授  
研究者番号: 10376585

岩渕 和則 (IWABUCHI KAZUNORI)  
北海道大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号: 00193764

後藤 眞宏 (GOTO MASAHIRO)  
独立行政法人 農業・食品産業技術総合研  
究機構・農村工学研究所・エネルギーシス  
テム統括上席研究員  
研究者番号：20370596

(3) 連携研究者  
なし

(4) 研究協力者  
なし