

令和元年6月21日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00667

研究課題名(和文) 予期せぬ技術利用停止(撤退)に対応できるレジリエントな環境エネルギーシステム戦略

研究課題名(英文) Strategies for making environmental and energy systems more resilient against unexpected suspension or loss of critical technologies

研究代表者

小杉 隆信 (Kosugi, Takanobu)

立命館大学・政策科学部・教授

研究者番号：30273725

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：これまでに利用開始後に予期せず問題が生じて停止や撤退に至った環境・エネルギー関連技術に関する基礎調査を行った上で、原子力発電、気候工学(具体的には危険な地球温暖化の防止を意図した成層圏への微粒子散布)、都市エネルギーシステムを対象として、これらの運用の不安定性に対するレジリエントな利用戦略を分析した。数理計画モデルおよびアンケート調査に基づく定量的分析手法を提案し、その実施を通して、予期しない停止が懸念される個別技術の望ましい利用規模を導出し、技術システム全体としてレジリエンスを高めるために優先的に取り組むべき政策を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、環境・エネルギーに関する技術システムが内包する、一部技術の将来の予期せざる環境上・安全上の懸念浮上による停止(撤退)、という状況変化リスクを対象として技術システムのレジリエンスを考える点に特色を有する。環境エネルギー技術の開発・利用戦略に関する評価において、このような停止(撤退)に着目して深く掘り下げた例は少ない。さらに、近年「責任あるイノベーション」の考え方が重要視されているが、この分野の研究は概して定性的であるのに対して本研究は、技術の停止(撤退)可能性という限られた観点ながら、これを支援する定量的な研究としても位置付けられる。

研究成果の概要(英文)：This study reviewed environment- and energy-related technologies that experienced unexpected suspension or exit due to difficulties arising during their use and determined resilient utilization strategies for nuclear power generation, climate engineering (specifically stratospheric aerosol injection to avoid dangerous global warming), and urban energy systems against potential instability in these operations. This study proposes quantitative analytical methods based on mathematical programming models and questionnaire surveys. Through the application of these methods, the study suggests a recommended scale of use for individual technologies with potential concerns of unexpected suspension and certain high-priority policy measures to enhance the overall resilience of technological systems.

研究分野：環境学

キーワード：エネルギー・環境システム 技術政策分析 レジリエンス 持続可能性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年に発生した福島第一原子力発電所事故は、大きな直接的被害をもたらしただけでなく、原子力発電所の再稼働停止につながることで日本の電力供給構造を大幅に変え、数年間にわたり電力供給費用と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出の増大を引き起こした。過去にも、フロン冷媒など、環境・エネルギー技術の導入・普及後に環境上・安全上の懸念が急浮上して、利用停止に追い込まれた例がある。

(2) 環境サステナビリティの観点からCO<sub>2</sub>排出削減などの環境・エネルギー技術の普及評価を行った研究は数多いが、技術が将来、導入時には予期できなかった環境上・安全上の懸念が生じて利用停止に追い込まれる可能性がある、という観点での評価例は少ない。フロン冷媒や原子力発電について、ある時点で利用が停止されるとエネルギーシステムやその他の経済的影響がどうなるかを評価した先行研究はあるが、予期せず利用停止に追い込まれるリスクを踏まえて技術をどのように利用していくのがよいのか、という技術システムのダイナミックな戦略にまで踏み込んだ研究は不足している。

### 2. 研究の目的

(1) エネルギー・環境に関する技術には、導入時には予期・想定しなかった環境上・安全上の懸念が浮上して利用停止に追い込まれ、停止後にさまざまな影響・混乱をもたらすリスクがある。そこで本研究では、一部の技術が予期せず停止(撤退)することになったとしても健全性をできるだけ確保できるという意味でレジリエントな、エネルギー・環境技術全体としてのシステム戦略を検討することを目的とする。

(2) 上記の目的のために、過去のさまざまな環境・エネルギー技術の利用と停止(撤退)影響に関する基礎調査、将来の利用停止リスクのある大規模技術の利用戦略に関する数理モデルを用いた分析、および、環境・エネルギーシステムのレジリエンス向上にあたって重視すべき政策に関する専門家への意見聴取に基づく分析を行い、それらの調査分析を通して、停止(撤退)の可能性を考慮した場合のエネルギー・環境技術全体としてのレジリエントなシステム戦略を構築するための基礎的知見を与える。

### 3. 研究の方法

(1) 経済産業省による「工業統計調査」を遡り、環境・エネルギー関連製品の過去の出荷量減少(フェーズアウト)の状況に関する体系的統計調査と整理を行う。

(2) 世界の原子力発電と、将来導入される可能性があるがその後の意図せぬ利用停止が懸念される気候工学(具体的には危険な地球温暖化の防止を意図した成層圏への微粒子散布)を採り上げ、電源構成モデルや気候変動・経済統合評価モデルを用いた数理分析によって、利用停止の可能性を踏まえた技術利用戦略を定量的に導出する。また、他の類似研究での計算結果の比較を通じた考察を行う。

(3) 環境・エネルギーシステムとして都市の電力供給システムに着目し、その持続可能性に加えてレジリエンスについても向上を図るための政策分野について文献調査により整理し、関係者へのアンケート調査に基づき優先度の高い政策分野を抽出する。

### 4. 研究成果

(1) エネルギー・環境関連製品の「工業統計調査」に基づく過去の出荷量減少の状況に関する調査により、禁止措置に伴う出荷減少がみられたものとして、禁止措置の15~25年前から徐々に出荷が減少した波形石綿スレートと石綿糸・布、禁止措置の約10年前から減少した鉛管・板、禁止措置の3~7年前から急速に減少した石綿セメント板、石綿ブレーキライニング、および禁止期限決定後に期限に向けて緩やかに減少したフルオロカーボンが抽出された。この中で、特に石綿セメント板について、出荷減少の速度と経済規模の大きさから、禁止による多大な影響を窺い知ることができた。

(2) 将来の大事故再発等による全停止リスクを考慮した場合における原子力発電の利用戦略について、技術利用の状態遷移を確率的に表現する定式化(図1参照)を組み込んだ独自の電源構成モデルを用いて導き出すための方法論を検討し、その適用を試みた。原子力発電の利用が停止すると燃料費やCO<sub>2</sub>排出量の増大が懸念されるが、数値シミュレーションにより、原子力発電の外部費用や代替となる再生可能エネルギー発電等の設置費用といった種々のパラメータ別に費用・環境面で望ましい利用と停止のパターンの提示を行うとともに、利用停止による悪影響を抑えるための節電の意義等を確認した。

(3) 気候工学の一種として期待されている太陽放射管理(微粒子の成層圏散布等によって地球温暖化を緩和する方策)は、仮に導入が開始されたとしても、その後何らかの事情で停止に追い込まれると急激な地球温暖化が生じるという「終端問題」が懸念されている。この技術を、

2018年ノーベル経済学賞受賞者のW. D. ノードハウス氏が開発した気候変動・経済統合評価モデルDICEで扱えるようにした上で、終端問題緩和のための予防的導入アプローチを提示し、それに従う場合／従わない場合の効果をモデルを用いて定量的に評価した。また、従来の主に気候学者によるモデル分析によって終端問題は深刻に捉えられがちであったが、そのリスクは当該技術の実施規模に依存し、規模が小さければリスクが便益と比べて小さく済む可能性が高くなることを踏まえて、実施を開始する場合の規模の選択についてはさまざまな利用シナリオを相上に載せて議論すべきとの示唆を得た。

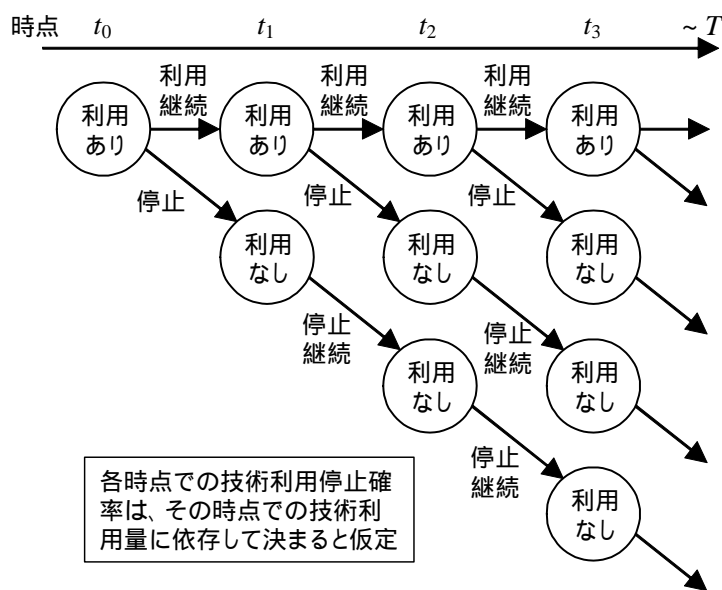


図1 停止（撤退）可能性のある技術利用の状態遷移

(4) 都市エネルギーシステムに関して、持続可能かつレジリエントな電力供給という観点から評価するための基準を、文献調査に基づく考察を通して整理した（表1参照）。各基準について京都市とインドネシア・ジャンピ市（いずれもICLEI-持続可能な都市と地域をめざす自治体協議会会員）の2つの都市の状況を調査するとともに、両都市に関わるエネルギー担当者、学識経験者など計35名からのアンケート回答を得て、故T. L. サティ氏が開発した階層分析法（AHP）を適用することによって各基準の重要度の重み付けを行った。その結果を踏まえて、両都市における電力供給システムの効果的な改善方を提示した。

<参考文献>

小幡範雄、減災思考と持続可能な都市—新防災計画に求められる視点—、社会・経済システム、16巻、1997、37 - 41

Thomas L. Saaty、Decision making with the analytic hierarchy process、International Journal of Services Sciences、1巻、2008、83 - 98

下田吉之、都市エネルギーシステム入門—住宅・建築・まちの省エネ・低炭素化、2014、学芸出版社

Masahiro Sugiyama、Atsushi Ishii、Shinichiro Asayama、Takanobu Kosugi、Solar Geoenengineering Governance、Oxford Research Encyclopedia of Climate Science、2018、1 - 52、Oxford University Press

ウィリアム D. ノードハウス(著)、藤崎香里(翻訳)、気候カジノ—経済学から見た地球温暖化問題の最適解、2015、日経BP社

表1 都市電力供給システムの評価基準

上位基準	下位評価基準
環境側面	温室効果ガス排出
	廃棄物発生
社会経済側面	電力アクセス
	電力消費
	電力生産性
制度側面	電力価格
	エネルギー政策（以下の3つに細分化）
	再生可能電力施策配慮
	住民関与
	意識啓発活動
	再生可能電力財政支出
技術側面	エネルギー情報電子開示
	域内自給
	再生可能電力シェア
	供給安定性
	送配電効率

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Ade, Takanobu Kosugi、Assessment of sustainability and resilience of urban energy system using an analytic hierarchy process、Urban and Regional Planning Review、査読有、5巻、2018、111 - 134、DOI: 10.14398/urpr.5.111

Masahiro Sugiyama、Yosuke Arino、Takanobu Kosugi、Atsushi Kurosawa、Shingo Watanabe、Next steps in geoenengineering scenario research: limited deployment scenarios and beyond、Climate Policy、査読有、18巻、2018、681 - 689、DOI:10.1080/14693062.2017.1323721

Takanobu Kosugi、Endogenizing the probability of nuclear exit in an optimal power-generation mix model、Energy、査読有、100巻、2016、102 - 114、DOI:10.1016/j.energy.2016.01.083

〔学会発表〕(計1件)

Takanobu Kosugi, Solar geoengineering strategy under its uncertain availability, 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2016年9月5日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：小幡 範雄  
ローマ字氏名：Obata Norio  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：政策科学部  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：70224300

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：下田 吉之  
ローマ字氏名：Shimoda Yoshiyuki

研究協力者氏名：杉山 昌広  
ローマ字氏名：Sugiyama Masahiro

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。