

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26285080

研究課題名(和文) エネルギー供給に関する萌芽技術のコスト構造分析

研究課題名(英文) Cost structure analysis of emerging technology in energy supply chain

研究代表者

梶川 裕矢 (Kajikawa, Yuya)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：70401148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、エネルギーに関する萌芽技術の抽出や、コスト構造の調査を行った。計量書誌分析を用いて、研究開発動向の可視化および萌芽的研究領域の抽出した。研究動向を比較評価することで、国内の研究は工学分野に偏っており、自然科学・人文社会科学における国際的な研究成果が少ないことが分かった。また、原子力安全技術、CCS、水素・蓄電池等の導入により、軽水炉、火力発電、再生可能エネルギーのコストが概ね2-3倍程度になることが分かった。加えて、島嶼地域における事例研究を通じ、社会導入における課題を検討した。今後は、エネルギーシステムの設計に基づいたコスト・価値評価、研究開発戦略の立案が必要である。

研究成果の概要(英文)：This research investigated emerging energy technologies and their cost structures. We visualized research trend and extracted emerging domains by bibliometrics. Our comparative analysis revealed most of research in Japan on energy technologies are in engineering domain but less active in natural sciences, social sciences, and humanities. And we found that introduction of safety nuclear power technologies, carbon capture storage, hydrogen and rechargeable batteries will increase energy supply cost 2-3 times. In addition, we investigated necessary factors in social implementation of energy technology by a case study in an island. In future research, cost and value assessment and strategic research and development planning based on energy system design are necessary.

研究分野：技術経営、科学技術政策

キーワード：エネルギー技術 萌芽技術 コスト分析 ロードマップ

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電やバイオマスのような再生可能エネルギー、燃料電池やヒートポンプのような省エネルギー技術に関する市場は、今後数十年の間に大きく成長することが見込まれている。また、再生可能エネルギーや省エネルギー技術に加えて、化石燃料由来の火力発電においても、気候変動を緩和するために、二酸化炭素回収貯留(CCS)技術などの新しい技術が登場し、政策的な導入が図られている。一方、自然変動電源の大量導入に伴う課題が顕在化し、その課題の整理と対策が必要となっている。

エネルギー技術を含むグリーンイノベーションは、医療・創薬等のライフイノベーションと並ぶ重要な領域として、第四次科学技術基本計画において位置づけられており、様々な研究開発プログラムやプロジェクトが実施されている。そのような重点的な研究開発投資に加え、固定化価格制度の導入などにより、社会への普及を促進するための積極的な施策が実施されている。そのような研究開発や制度設計を有効に機能させるためにも萌芽技術や社会課題を含めたシステムの視点からの学理が必要となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の産業応用が期待できるエネルギー供給技術の候補を膨大な文献情報の中から抽出すること、それらのコスト構造を明らかにすることで萌芽技術の産業応用可能性を評価すること、また、上記を可能とする研究開発マネジメント手法を確立することである。本研究を通じ、企業の研究開発マネージャーや政策立案者が、有望な萌芽技術をいち早く認識することが可能となるのみならず、研究開発の初期段階から将来の産業応用を見据えたコスト低減の方策を講じることが出来る。さらに、上記の分析を行うためのデータベースならびにツールを整備することで、効率的・効果的な研究開発プログラム・プロジェクトの立案、実施、評価を支援する方法論を開拓し、実用に供することを研究目的とする。

3. 研究の方法

情報工学手法を用いて、大量の論文・特許情報を分析することで、エネルギー供給に関する萌芽技術を抽出した。具体的には、太陽電池、燃料電池、二次電池、二酸化炭素貯留技術を対象として分析を実施した。論文情報を用いた引用ネットワーク分析により、分析対象とする個々の研究領域における研究開発動向の可視化および萌芽的研究領域の抽出を行った。従来行われてきた萌芽的研究領域の抽出手法である引用ネットワークのクラスタリングにより抽出した論文クラスタの平均出版年に着目する方法

に加え、そのクラスタの中心であるハブ論文の出版年と当該クラスタの平均出版年の差分に注目することで、萌芽的研究領域と、クラスタ全体が萌芽的である革新的研究領域と、クラスタ全体は成熟領域であるものの、そこから近年新たなブレークスルー技術が生まれつつある脱成熟領域とを区分する手法を用いて分析を行った。

また、文献調査等によりコストデータを収集した。加えて、産業応用可能性の評価や産学連携により推進すべきテーマの抽出を行うために、技術成熟度評価等の既存の技術評価指標、技術選択モデルの調査を行った。これにより、引用ネットワーク分析により得られた定量的な分析結果を、定性的な情報を加味して解釈し、活用していくための情報の整理を行った。特に、電解による水素製造や水素エネルギー社会の将来展望と技術的対応策、エクセルギー解析による物質・エネルギーの合理的利用の方向性や材料研究のあり方と計算科学の役割、再生可能エネルギー大量導入時代におけるエネルギーマネジメントについて検討を行った。

抽出した萌芽技術等の研究を推進し社会導入を促進するための課題について検討し、エネルギー技術および次世代エネルギー社会の将来展望を描いた上で、エネルギー技術ロードマップとして整理した。また、次世代エネルギーシステムに移行する過程で必要となる要素を知識の構造化と行動の構造化という観点から俯瞰的に整理した。

4. 研究成果

(1) 現在のエネルギー需給の構造等を調査するとともに、既存技術の動向を分析した。供給側での技術オプションを抽出し、その技術的なフィージビリティを検討することで、低炭素社会を実現するための3つの選択肢として、火力+CCS、原子力、再生可能エネルギー+蓄エネルギー(蓄電池および水素)を提示した。

上記の3つのオプションに関するグローバルな研究動向を定量的に分析するとともに、国内における研究との比較評価を行った。またコスト構造の調査を行った。その結果、CCSに関しては工学系の研究領域と、自然科学・社会科学の研究領域に大別されることが分かった。前者に関しては、アミン系材料や金属有機錯体、分離膜等の材料研究、および、火力発電所のプロセス設計に関する研究がなされており、国内の研究も一定程度の貢献があることを確認した。しかし、後者の地層等の滞留シミュレーションやモニタリング、リスク評価や社会的受容性、規制や制度設計、実証プロジェクトの評価といった自然科学・社会科学の観点からの研究が希薄であることが分かった。また、CCS技術を導入することにより、付加的設備による減価償却費の増加および発

電効率低下によるランニングコスト上昇により、kwh あたりのコストが2倍程度に上昇することが分かった。

我が国のエネルギー技術に関する研究が専ら材料科学等の工学的視点からの研究に偏っていることは、他分野の分析からも確認できた。原子力発電の安全に関わる研究では、炉の設計や流体シミュレーション、研究炉を用いた材料評価に加え、人・組織の問題やシビアアクシデント対策など多様であるが、人や組織の問題、リスクに関する日本の論文数シェアは他の研究に比べ低い。電池に関する研究で見ると、電極や電解質の一部における研究である程度の研究願されているものの、それらの研究の中心は論文数で評価する限り、中国に移っている。一方、米国ではライフサイクルアセスメントやコスト分析等のシステム研究や、充放電のモニタリングや残容量予測、Vehicle to Grid(V2G)等のシステム技術に移っている。また、燃料電池に関する研究は2012-13年頃をピークに、論文量が減少しており、触媒や三層界面等における反応機構等のメカニズムに関する基礎的研究や、再生可能エネルギー・蓄電池・水素や熱利用を組み合わせたシステム研究が延伸している。従って、これまでの蓄積を活用しながら、材料科学の分野で世界に伍して研究していくための新たな戦略、またはシステム研究・技術に関する研究を促進する仕組みが必要であると思われる。また、コスト調査により、原子力に関しては安全性対策、プロジェクト遅延、リスクプレミアムによる資本コスト増加により、コストエスカレーションが生じており設備費用の3倍程度のコストが生じていることが分かった。水素に関しては、水素供給コストの低減を図る必要があるが、電解・燃料電池一体型セルによる機器コストの低減のみならず、稼働率に直結する電力取引システムの設計や、蓄電池含めた熱・電力利用の統合的なシステム設計に立脚したコスト評価が必要であることが分かった。

(2) 新たなエネルギーシステム・社会に移行するためには、技術的な側面や研究開発上の課題のみならず、社会的・経済的・文化的・公共的価値の観点からの検討が重要となる。そのため、エネルギーシステムの有する多面的な社会的価値やエネルギーシステムの観点から、目指すべきエネルギー社会像を描画し、実現するための方策に関する検討を行った。

種子島における事例研究に基づき、地域に新たなエネルギーシステムを導入する際のポテンシャルや可能性の定量的分析手法を情報システム化するための設計を行った。エネルギー技術に関しては、これまで、個々の要素技術のロードマップ化がなされてきた。また、それら要素技術の集積としてエ

ネルギーミックス等のエネルギーシステム像が提示されてきた。本研究では、そのような要素技術の積み上げによる実現可能性の検討、サプライチェーンを含むエネルギーシステムの設計に加え、目指すべきエネルギー社会像に対する検討や合意形成の両面のアプローチにより、新たなエネルギー社会システムへの移行を志向すべきであるということをも提案するとともに、事例研究に基づきその有用性を評価した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Y. Kikuchi, M. Nakai, K. Oosawa, Y. Kanematsu, K. Ouchida, T. Okubo, A computer-aided socio-technical analysis on national and regional energy systems considering local availability of renewable resources, *Computer-Aided Chemical Engineering*, 査読有, Vol.40, 2017, pp.2485-2490. DOI: 10.1016/B978-0-444-63965-3.50416-5

Y. Kanematsu, K. Osawa, T. Okubo, Y. Kikuchi, Designing the scale of a woody biomass CHP considering local forestry reformation: a case study of Tanegashima, Japan, *Applied Energy*, 査読有, Vol.198, 2017, pp.160-172.

[学会発表](計31件)

梶川 裕矢, イノベーションマネジメントの方法論～革新的エネルギー技術の開発と普及に向けて～、土木学会環境中間技術検討小委員、2014.

古山 通久, 次世代エネルギー社会に向けた根拠に基づく議論と技術実装への挑戦、日本学術会議公開シンポジウム 科学技術者と考えるこれからのエネルギー、2014.

中垣 隆雄, エネルギー基本計画2014と省エネルギー技術の方向性、グリーン・イノベーションEXPO2014 産学間マッチングフォーラム、2014.

菊池 康紀, 地域資源・エネルギーと社会システムイノベーション、第10回エネルギー持続性フォーラム 公開シンポジウム、2015.

M. Koyama, Present Status of Japan's Energy, *Advances in Electrical Energy Conversion and Storage*, 80th Annual Meeting of The Society of Chemical Engineers, Japan, 2015.

Y. Kikuchi, Y. Kanematsu, T. Okubo, A

computer-aided scenario planning of future regional and national energy systems based on feasible technology options, The 7th China-Japan Symposium on Chemical Engineering, 2015.

梶川 裕矢、水素社会の実現に向けて、HyGrid シンポジウム～再生可能エネルギーと水素～、2015.

加藤 之貴、炭素循環技術による低炭素社会への貢献、第 28 回環境工学連合講演会、2015.

古山 通久、水素・燃料電池分野におけるシミュレーションの活用～材料・システム研究のよりよいインタープレイに向けて～、第 99 回 SOFC 研究会、2015.

古山 通久、未来社会のエネルギーと技術発展の方向性、フルヤ金属講演会、2015.

古山 通久、スマート社会におけるエネルギーシステムの将来像、三菱電機技術部会講演会、2015.

中垣 隆雄、風力・太陽光発電の大量導入における水力発電の新たな役割、第 10 回再生可能エネルギー世界展示、2015.

中垣 隆雄、日本の社会・エネルギーの現状、日本機械学会年次大会 2015

梶川 裕矢、エネルギーシステムと社会実装、日本学術会議公開シンポジウム「市民と科学者で考えるこれからのエネルギー」、2016.

梶川 裕矢、水素社会の実現に向けた知識と行動の構造化、東京工業大学 グローバル水素エネルギーコンソーシアム第 2 回公開シンポジウム、2016.

加藤 之貴、水素エネルギーの将来展望と技術対応、東京工業大学グローバル水素エネルギーコンソーシアム 2016 年度第 1 回ワークショップ、2016.

菊池 康紀、供給制約・需要制約下における地域エネルギーシステム:種子島の事例、応用物理学会第 63 会春季講演、2016.

窪田 光宏、ETR 報告 5 民生家庭分野のエネルギー技術ロードマップ、化学工学会エネルギーロードマップ第 3 版出版記念シンポジウム、2016.

古山 通久、各種技術が支えるこれからのエネルギーの供給と利用の姿、サイエンス福岡クラブ エネルギーセミナー、2016.

古山 通久、再生可能エネルギー 大量導入時代における エネルギーマネジメントの視点、応用物理学会エネルギーシステム研究会、2016.

②古山 通久、未来創成に向けた材料研究のあり方と計算科学の役割、環境共生スマート材料研究拠点講演会、2016.

②中垣 隆雄、ETR 報告 3 大規模電力システムのエネルギー技術ロードマップ、化学工学会エネルギーロードマップ第 3 版出版記念シンポジウム、2016.

③中垣 隆雄、エクセルギーによる物質・エネルギーの合理的利用の方向性、低炭素化材料評価システム技術コンソーシアム 第 13 回セミナー、2016.

④梶川 裕矢、原子力システムと将来ビジョン、原子力学会「将来原子力システムのための再処理技術」研究専門委員会、2017.

⑤窪田 光宏、吸着・化学反応を用いた熱ハンドリング技術の動向、化学工学会産学官連携センターグローバルテクノロジー委員会、2017.

⑥古山 通久、80%GHG 削減とその先への道筋～技術的実装可能性から考える選択肢、日本学術会議公開シンポジウム、2017.

⑦古山 通久、超高効率シングルサイクル固体酸化物形燃料電池の考え方、シンクロン・鶴岡高専合同会議兼講演会、2017.

⑧梶川 裕矢、「エネルギーベストミックス」に向けたトランジション・マネジメント、第 13 回エネルギー持続性フォーラム公開シンポジウム、2018

⑨窪田 光宏、熱ハンドリング技術の現状と今後、化学工学会第 83 年会、2018.

⑩中垣 隆雄、民生部門からはじめる再生可能エネルギー100%による温室効果ガス正味排出量ゼロへの挑戦 ～次世代エネルギー社会検討委員会 Phase II の取組み～、化学工学会第 83 年会、2018

⑪中垣 隆雄、自然変動電源の大量導入に伴う課題の整理と対策の方向性、日本学術会議公開シンポジウム、2018.

〔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〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶川 裕矢 (KAJIKAWA, Yuya)
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授
研究者番号：70401148

(2) 研究分担者

加藤 之貴 (KATO, Yukitaka)
東京工業大学・科学技術創成研究院・教授
研究者番号：20233827

中垣 隆雄 (NAKAGAKI, Takao)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：30454127

窪田 光宏 (KUBOTA, Mitsuhiro)
名古屋大学・工学研究科・助教
研究者番号：60345931

古山 通久 (KOYAMA, Michihisa)
九州大学・稲盛フロンティア研究センター・教授
研究者番号：60372306

菊池 康紀 (KIKUCHI, Yasunori)
東京大学・総括プロジェクト機構・特任
准教授
研究者番号：70545649

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者
なし