

エネルギー安定供給性を考慮した場合における温泉発電の費用対効果検討

2021 年 3 月 修了 環境システム学専攻 47-196655 川崎 敬

指導教員 愛知正温 講師

キーワード: 温泉発電, エネルギー安定供給, 費用対効果

1. はじめに

近年、国際的な脱炭素化の流れを受け、国内でも 2050 年に発電量の 50~60%を再生可能エネルギーで賄うという産業政策が示される^[1]等、今後はより一層再生可能エネルギーの導入促進の重要性は増していくと考えられる。

一方で、日本国内の再生可能エネルギー導入における課題の一つとして、再生可能エネルギーがもたらす社会的な便益(Benefit)が広く市民に周知されていないこと^[2]が指摘されており、地域への再生可能エネルギー導入にあたっては、導入がもたらす地域への貢献を客観的な指標で示していくことが、地域受容の上でも重要な役割を果たすという指摘もなされている^[3]。

そのような再生可能エネルギーの中でも、既存の温泉井戸から得られる比較的低温(概ね 70~150℃程度)の未利用熱水・蒸気を利用した小規模な地熱発電である、『温泉発電』が近年注目を集めている(図 1)。温泉発電には、①安定して発電できる、②従来未利用であったエネルギーの利用が可能になる、③従来型の地熱発電と比較して事業のハードルが低いといったメリットがある一方で、導入の課題として発電の事業採算性に対する懸念が存在することが指摘されている^[4]。

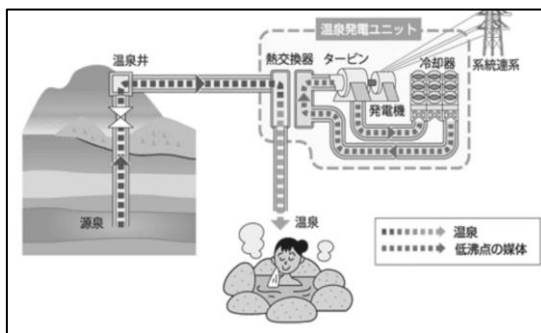


図 1 温泉発電のイメージ図

また、近年は 2018 年の北海道や 2019 年に千葉県で発生した大規模停電の影響もあり、災害時にも安定して地域へのエネルギー供給が可能なエネルギーシステムの構築が、日本各地で取り組ま

れている。そのようなシステムのエネルギー源として、一般家庭でも活用されている PV(太陽光発電)のほか、風力やバイオマスについては、その活用が検討されている^{[6][7]}。

しかし、上述の温泉発電は、安定供給性が特徴として挙げられている地熱発電の一種であるにも関わらず、既往研究では発電設備導入・運用時の課題についての定性的な議論が中心であり、災害による停電時のエネルギー供給源としての活用についての研究は未だ十分に行われていない。

以上を踏まえ、本研究では、従来費用対効果が懸念されていた温泉発電について、エネルギーの安定供給という特徴に注目し、停電回避の便益を加えて費用対効果を考慮することで、温泉発電の価値を再評価することを目的とした。温泉発電の評価の高まりは、今度の再生可能エネルギーの導入拡大にも貢献することと考えられる。

具体的には、以下の項目について検討を行った。

- ①停電回避による便益を考慮した場合の、温泉発電を用いたエネルギーシステム構成とその費用対効果
- ②温泉発電を用いたエネルギーシステムの費用対効果に影響する要因

2. 手法・データ

○システムの検討フロー

本研究では図 2 のフローに従って、エネルギーシステムの検討を実施した。

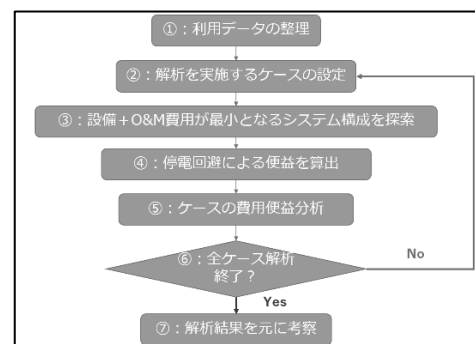


図 2 エネルギーシステム検討フロー

○ビジネススキーム

温泉発電を用いたエネルギーシステムの運用主体には、近年エネルギー供給安定化に向けた取り組みが複数行われていることから、地域電力事業者を想定した。費用便益分析は、この事業者による温泉発電を用いたエネルギーシステム事業について実施した。地域電力事業者を取り巻くビジネススキームは、図3のように想定した。

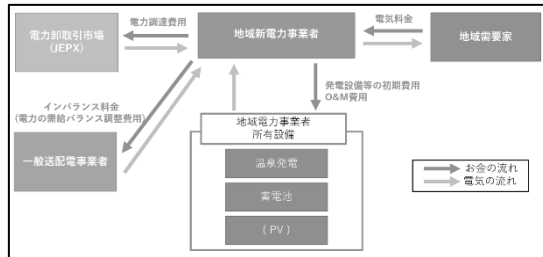


図3 想定したビジネススキーム

○エネルギーシステムの構成

また、災害時にも電力供給を行う事が出来るように、エネルギーシステムにおいては自営線を用いた地域需要家への電力供給を想定した。システムは、電源として①再生エネである温泉発電・PVによる発電、②電力市場からの調達、③蓄電池からの放電、という三つの手段を保持している。

○解析ケースの設定

エネルギーシステムを構成する機器の費用や稼働状況については、いくつかのケースが想定される。そのことから、本研究では異なるケースを異なるパラメータ値の組み合わせとして扱い、各ケースごとに分析を行う事で、異なるケース間での費用対効果の比較を行った。設定したパラメータとパラメータ毎に取りうる値の数(パラメータ数)を表1に示す。

表1 各ケースを構成するパラメータ

パラメータ名	パラメータ数
温泉発電の出力[kW]設備費用[万円] O&M費用[万円/年]	3
需要家構成	2
蓄電池費用[万円/kWh]	3
蓄電池容量の下限値[kWh]最小SOC[%]	3
プロジェクト期間	2

温泉発電については、現状のコスト水準に加え、NEDOによる2030の技術目標^[8]が達成された場合のコスト水準もパラメータ値として設定した。

また、蓄電池の容量とSOC(充電率)に関しては、広域の停電時においても温泉発電機起動に必要な

な電力量[kWh]を確保するため、必要な電力量が確保可能となるような容量下限値と最小SOCの組み合わせを3パターン設定した。

○エネルギーシステム構成の探索

各ケースにおける運用中の総コストを算出するために、本研究ではエネルギーシステムのシミュレータであるHOMER Pro^[9]を用いて、各ケースにおいて設備費用と運転・メンテナンス費用の総額が最小となるシステム構成を探索した。HOMER Proでは、システム運用期間や構成機器コストなどの条件を設定して解析を実施することで、条件下において運用期間中に発生するコストが最も小さくなる機器の構成を決定し、運用期間中の総コストを確認することが出来る。本研究ではHOMER Proを用いて、PV・蓄電池・コンバーターのサイズ[kW,kWh,kW]を決定した。

○停電回避による便益の算出

地域新電力事業者は地方自治体や地域の事業者等が設立・運営に関与している例が複数存在することから、地域新電力は地域需要家の生活向上に関心が高い主体であると想定し、エネルギーシステムの導入により地域需要家が享受する停電回避の便益は、地域新電力に帰属させることが可能であるとする。

停電回避による便益は、先行研究を参考に以下の三パターンを想定した。算出される便益の大きさは、パターン③>②>①の順となる。

パターン①

- 停電回避便益を考慮しない。

パターン②

- 需要家別停電被害額調査結果^[10]を利用。

パターン③

- 事業者:パターン②同様
- 一般家庭:停電回避への年間支払い意思額^[11]を利用。

○費用対効果の指標

本研究では、安定供給性に注目して温泉発電を利用したエネルギーシステムの費用対効果を確認するために、停電回避の便益を加味した費用便益分析を行った。同様にエネルギー導入による多用な便益を加味して費用便益分析を実施する手法は、先行研究^{[12][13]}においても行われている。費用便益分析の評価指標には、費用便益比(以下B/C)と純現在価値(以下NPV)を用いた。それぞれ

B/C>1, NPV>0 の場合においては事業実施により一定の費用対効果が得られると考え、B/C=1 もしくは NPV=0 をエネルギーシステム事業が実施されるか否かの分水嶺であると考えた。研究では主に社会的割引率 0%での B/C を用いてエネルギーシステムを検討し、解析の結果 B/C>1 となったシステムについては考察にて検討を行った。また考察にて社会的割引率 3%の設定で NPV についても検討を行った。

費用対効果の分析に際し、費用と便益にはそれぞれ図 4 に示したような要素を考慮した。

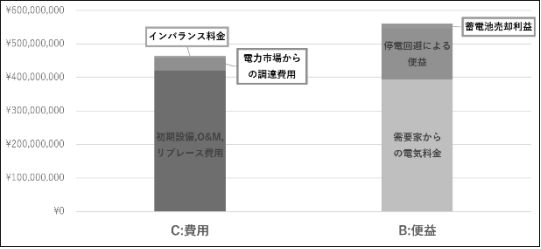


図 4 便益と費用の内訳

3.結果・考察

OB/B/C>1 となる条件

解析の結果、全 108 ケースにおける、プロジェクト期間と需要家構成別の各パターンの B/C は表 2 の値となった。また、パターン②③において、全便益に占める停電回避便益の割合はそれぞれ 12~15%, 23~27%となった。

表 2 プロジェクト期間、需要家構成別の B/C

期間、 需要家構成	パターン別の B/C		
	①	②	③
15 年、需要家小	0.47~0.63	0.55~0.74	0.62~0.84
15 年、需要家大	0.63~0.84	0.73~0.97	0.87~1.16
25 年、需要家小	0.59~0.79	0.69~0.93	0.78~1.05
25 年、需要家大	0.78~1.04	0.88~1.20	1.04~1.43

結果の分析より、以下のことが確認できた。

- 将来の温泉発電の設備・メンテナンス費用もしくは蓄電池価格が比較的安価になった場合 B/C>1 となる。
- 需要家が多い、もしくは少ない場合でもプロジェクト期間が長い場合は、B/C>1 となる

○費用対効果への影響が考えられる要因

また、今回パラメータとして想定した値のほか、費用対効果への影響が考えられる要因が変動した際に、どのような影響を与えるかも考察を行った。

考察では全ケースへの検討を行う事はせず、現状のシステム費用をパラメータにもつケース(現状ケース)と、将来想定されるシステム費用をパラメータにもつケース(将来ケース)を代表的なケースとして扱い、2つのケースにたいして要因の変動が与える影響を考察した。

●社会的割引率を考慮した場合

社会的割引率を 3%と設定した場合の NPV について確認を行った。結果を表 3、4 に示す。

表 3 社会的割引率考慮時の NPV(現状ケース)

パターン①	パターン②	パターン③
-9900 万円	-5700 万円	600 万円

表 4 社会的割引率考慮時の NPV(将来ケース)

パターン①	パターン②	パターン③
-3800 万円	400 万円	6700 万円

現状ケースでは、NPV>0 となるのは停電回避便益を最も多く見積もるパターン③の場合のみであった。また将来ケースは今回解析した全 108 ケース中、どの停電回避便益の算出パターンでも B/C が最大となるケースであるが、その場合においても停電回避便益を考慮しない場合は NPV<0 となり、費用対効果が高いとは言えないことが判明した。

●蓄電池寿命の変動が費用対効果へ与える影響

蓄電池の寿命は動作条件・環境によっても左右されることが知られている。IRENA の蓄電池に関するレポート^[14]においても、リチウムイオン蓄電池の寿命として、暦日寿命で 5~20 年、サイクル寿命で 500~20,000 サイクルという幅のある値が報告されている。このことから、蓄電池寿命がより短い場合にエネルギーシステムの費用対効果がどのように変化するのかを検討した。本項目で検討した蓄電池寿命を表 5 に示す。

表 5 検討した蓄電池寿命

従来条件	20 年, 10000 サイクル
検討条件	10 年, 5000 サイクル

結果は表 5、6 のようになった。

表 6 蓄電池寿命変更時の B/C(現状ケース)

	パターン別の B/C		
	①	②	③
従来条件	0.87	1.00	1.19
検討条件	0.82	0.94	1.12

表 7 蓄電池寿命変更時の B/C(将来ケース)

	パターン別の B/C		
	①	②	③
従来条件	1.04	1.20	1.43
検討条件	0.99	1.14	1.37

結果より、将来ケースでは停電回避の便益を考慮しないパターン①について B/C<1 となること、現状ケースでは停電回避の便益を比較的大きく推定するパターン③以外の B/C は 1 を超えないことが判明した。以上より、蓄電池寿命が比較的短い場合、停電回避の便益を加味することが費用対効果の向上に一層重要であることが確認出来た。

●電力市場取引価格の変動が費用対効果に与える影響

電力市場における取引価格は、将来的な再生可能エネルギー発電の増加に伴い低下する可能性が言及されている^[15]一方で、2020 年 12 月～2021 年 1 月にかけて市場価格が高騰し、取引価格の過去最高値を更新する^[16]など、今後も価格変動の可能性が考えられる。このことから、本研究で調達を想定したスポット価格が±15%変化した場合の費用対効果への影響を検討した。

表 8 価格 15%増減時の B/C(現状ケース)

	パターン別の B/C		
	①	②	③
従来条件	0.86	1.00	1.19
価格 15%増	0.86	0.98	1.17
価格 15%減	0.88	1.01	1.21

表 9 価格 15%増減時の B/C(将来ケース)

	パターン別の B/C		
	①	②	③
従来条件	1.04	1.20	1.43
価格 15%増	1.03	1.18	1.41
価格 15%減	1.05	1.21	1.45

表 8、9 に示された結果より、今回検討したスポット価格の変動幅では費用対効果に大きな影響は生じないことが確認された。

●各要因の費用対効果への影響比較

社会的割引率 3%の場合についても B/C を算出することで、各要因が変動した時の費用対効果への影響の大きさを比較した。比較の結果、社会的割引率>蓄電池寿命>電力市場取引価格の順に費用対効果への影響が大きいことが確認された。

5.結論

本研究における検討の結果、現状で停電回避便益を考慮しない場合にはエネルギーシステム導入の費用対効果は低いが、停電回避の便益を加味した場合、NEDO 技術開発目標達成後の 2030 年以降 もしくは蓄電池の価格低減後には B/C>1 となり費用対効果が高くなることが確認された。停電回避による便益は費用対効果の改善に寄与し、その便益は全便益における 12～27%を占めることも確認された。また、変動要因による費用対効果への影響は、社会的割引率>蓄電池寿命>電力市場取引価格の順に大きいことも判明した。

今後の課題としては、温泉発電のメンテナンススケジュールの考慮によるモデルの精緻化や、需要家構成・電源追加の検討等によるエネルギー供給エリアの最適化についての検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 経済産業省 (2020)『2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』
- [2] 安田義 (2019)『再生可能エネルギーの便益が定まらない日本—メディア・政府文書・学術論文における「便益」の出現頻度調査—』、京都大学大学院 経済学研究科 再生可能エネルギー-経済学講座 ディスカッションペーパー。
- [3] 安田義 (2018)『再生可能エネルギーがもたらす便益とは』『岩波書店科学』 Vol.88, No.10, pp.992-996
- [4] 海藤典弘 (2015)『温泉発電：温泉資源と共生する再生可能エネルギー—』国立国会図書館 調査と情報 (845)
- [5] JFE エンジニアリング (2014)『ニュースリリース 土湯温泉で温泉/バイナリ発電施設を受注—石炭/天然ガス・全廃的資源開発による地熱発電で初の開発施設稼働—』探採 2014 年 5 月 22 日。』
- [6] 長合直人・田中春樹・木良介 (2015)『蓄電池型分散型電力システムの分散型電源への適用』『風力エネルギー』 39 巻 2 号, p. 195-198。
- [7] 下條雄生・古市敬・石井一英・山崎史 (2015)『災害時にも考慮した木質バイオマスを用いた小規模自立分散型電源併合システムの提案—』『環境システム研究論文発表会要覧』 43, 25-31。
- [8] NEDO ウェブサイト『地熱発電技術開発 基本計画』『https://www.nedo.go.jp/activities/ZZ_P_100066.htm』2021/1/16 閲覧
- [9] Felix A. Farret, M. Godoy Simoes (2006). 『Micropower System Modeling with Homer』, Integration of Alternative Sources of Energy, IEEE, pp.379-418。
- [10] 脱炭素社会実現委員会 (2007)『需要家から見た供給側調整の重要性と停電影響—国内需要家調査および首都圏停電調査をもとづく分析—』電力中央研究所研究報告書
- [11] 佐藤亮・大伊賀賢治・吉田昇成・佐本太朗 (2018)『被災の可能性のある居住者の不安軽減効果を考慮した自立分散型エネルギーシステムの費用対効果評価—』空気環境・衛生工学会大会 学術発表論文集平成 30 年度大会(名古屋)学術発表論文集 第2巻 蓄熱・熱貯蔵システム 編 セッション D-B-30, p. 89-92
- [12] 日本サステナブル建築協会 (2016)『エネルギー・コペニティオナリティタウン調査報告書』
- [13] 江戸良太・村上周三・伊賀賢治・山田 航也・川原隆広・生田雄一・小見山優子 (2015)『地熱・地熱の自立分散型エネルギーネットワークの事業スキームに関する研究』日本建築学会建築系論文集 80 巻 708 号, p. 169-176
- [14] IRENA (2017)『Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030』
- [15] 安田義 (2020)『世界の再生可能エネルギーと電力システム 電力市場編 (Next Publishing)』インプレス R&D Kindle 版
- [16] 電気新聞 (2020)『スポット価格の高騰が止まらない、東京で LNG の在庫が減少』2021 年 1 月 12 日』