

地熱発電の普及促進に向けた 制度設計に関する若干の問題提起

—国内の大規模地熱発電と小規模地熱発電の比較分析より—

専修大学商学部 阪本将英

Posing Questions on System Design Aimed at Promoting the Popularization of Geothermal Power Generation:
Through comparative analysis of large-scale and small-scale geothermal power generation in Japan
Senshu University, School of Commerce Masahide Sakamoto

本稿では、主に、国内の大規模地熱発電と小規模地熱発電の比較分析をもとに、地熱発電の普及促進に向けた制度的枠組みについて検討した。その結果、以下のことが明らかになった。第一に、大規模発電所を開発し運営していくためには、法的制限の緩和、初期投資のリスク軽減のための支援制度の拡充、地域との共生などが重要となる。第二に、小規模発電所を地域電力の供給源として残していくためには、固定価格買取制度 (FIT) を、地熱発電を導入するための限定的な役割をもつものとして捉えるのではなく、地熱発電を続けていくための制度として位置づけることで、地熱発電所の開発、運転、リプレースを可能にする一体型の制度に組み込んでいかなければならないということである。

キーワード：地熱、バイナリー発電、固定価格買取制度 (FIT)、再生可能エネルギー、持続可能な社会

In this paper, the systematic framework for promoting the popularization of geothermal power generation is examined, primarily based on the comparative analysis of the difference in scale between power generation facilities and geothermal power usage between large-scale and small-scale geothermal power generation in Japan. Consequently, the following points emerged. First, for the development and operation of large-scale power plants, the relaxation of legal restrictions, expansion of a support system for initial investment risk reduction, and coexistence with the local community are important. Second, to keep small-scale power plants as regional power sources, Feed-in Tariff (FIT) must be positioned as a system for continuing geothermal power generation and integrated into a unified system that enables development, operation, and replacement of geothermal power plants, rather than being understood as a system whose role is limited to geothermal power implementation.

Keywords : Geothermal power generation, Binary power generation, Feed-in Tariff (FIT), Renewable energy, Sustainable society

はじめに

本稿の主な目的は、日本の地熱発電の実態調査を中心とした大規模地熱発電と小規模地熱発電 (バイナリー発電) の比較分析にもとづき、地熱の利用促進のためには、どのような仕組みが重要となるのかを検討することにある。

筆者は、阪本 (2020) において、地熱を含めた再生可能エネルギーを社会経済システムのなかに位置づけていくことの意義について以下のように述べた。それは、第一に、地球温暖化対策や大気汚染対策になること、第二に、再生可能エネ

ギーは、技術があれば程度の差はあれ、どの国でも利用できることから、エネルギーの平和利用につながることに、第三に、災害リスク (災害発生後の事後的被害) の削減に寄与すること、第四に、新型コロナウイルス (COVID-19) のような疫病による感染拡大によって国境封鎖や輸出制限が行われる場合のリスク削減につながることに、第五に、地域自立のための社会経済システムの構築につながることなどである。

このように、再生可能エネルギーの利用による波及効果は広範囲にわたるうえに、地熱は再生可能エネルギーのなかでも、CO₂ 排出量が少なく安

定的に発電を行うことが可能なベースロード電源という利点を有している。したがって、地熱の利用は、安定供給が見込まれるという点で災害リスクを減らし、社会保障につながることから、持続可能な社会を構築するうえでも重要なものとなる。

これらを踏まえ、本稿では、第一に、日本の地熱発電の現状について述べる。第二に、地熱開発を進めていくうえでの構造的課題を示す。第三に、大規模発電と小規模発電の比較分析をもとに、発電設備の規模や地熱の利用目的の違いなどを踏まえたうえで、地熱発電の普及促進に向けた制度に関して若干の問題提起を行う。

1. 日本の地熱発電の動向

再生可能エネルギーの重要性は、化石燃料のように国や地域に偏在しているという土地制約からもある程度解放されること、また、環境負荷も小さく、技術的な問題を解決すれば半永久的に利用できることなどにある。日本はパリ協定の締結国であることから、再生可能エネルギーの普及・促進が必要不可欠となり、再生可能エネルギーの

発電比率が伸びていくなかで、日本の再生可能エネルギーの総電力に占める割合は、2010年度が9%であったのに対して、2019年度は全体の18%になっている¹⁾。日本は、2030年までに総発電量に対する地熱発電のシェアを1%程度にすることを目指していることから、以下では、日本の地熱発電のポテンシャルをみるために、日本を含めた世界の地熱発電の動向を表1に示す²⁾。

表1の地熱資源量は現在の技術で発電が困難なものを除いた理論上可能な発電量(地熱の賦存量)を、また、地熱発電設備容量(地熱の導入可能量)はエネルギーの採取や利用において法的規制や事業の採算性を考慮したエネルギー資源量となる。したがって、前者においては地熱の利用が可能な地域が国立公園や国定公園、保護地域などに分布し法的制約によって開発ができない、後者においては、地熱の開発コストが高く、事業の採算性がとれないといったことが考えられる。地熱資源量は潜在的な地熱資源量に対して、どれぐらいの地熱が電力として活用されているのかという地熱資源活用率を捉えるために、同表では、その上位10カ国において地熱資源量の多い順に上から並べている。表1より、日本は、世界3位

表1 世界の地熱発電の動向(地熱資源量:上位10カ国)

国名	地熱資源量(万kW) (賦存量)	地熱発電設備容量(万kW) (導入可能量)	地熱資源活用率(%) ^{注1)}
アメリカ合衆国	3900	371.4	9.5
インドネシア	2700	213.3	7.9
日本	2300	60.3	2.6
ケニア	700 ^{注2)}	86.1	12.3
フィリピン	600	191.8	32.0
メキシコ	600	96.3	16.1
アイスランド	580	75.5	13.0
トルコ	450 ^{注3)}	168.8	37.5
ニュージーランド	370	100.5	27.2
イタリア	150	94.4	62.9

(出所) Think Geo Energy News (2021); 新エネルギー産業会議 (2021); NEDO 技術戦略研究センターレポート (2016) より, 筆者作成

注1) 地熱資源活用率(%) = $\left(\frac{\text{地熱発電設備容量}}{\text{地熱資源量}}\right) \times 100$

注2) ケニアの地熱資源量については、資源エネルギー庁 (2017) を参照している。

注3) トルコの地熱資源量については、NEDO 技術戦略研究センターレポート (2016) を参照している。

注4) 注2)、注3)より、上記2カ国の地熱資源量については、データの集計年度がその他の国と異なる。

の地熱資源量（2300万kW）があるにもかかわらず、実際の発電量は60.3万kWしかない。その結果、日本は上位10カ国のなかで地熱の導入可能量、および、それに依存する地熱資源活用率は2.6%と最下位であるうえ、これらの国のなかでも極端に低くなっている。しかも、この10年で、日本の地熱導入可能量や資源活用率に大きな変化はない。

ところで、日本のメーカーは、早くから地熱発電機器の製造技術を確立し、世界中に輸出している。地熱発電用タービンは、東芝、富士電機、三菱パワーなど、日本メーカーの3社で全世界の67%のシェアを占めている³⁾。このことは、日本企業の地熱発電技術が優れていることを示している。実際に、東芝エネルギーシステムズは建設中の地熱発電所を含めて米国やケニアなど11カ国にタービンを納入し、また、三菱重工はアイスランドの地熱発電所で用いられているタービンの55%が三菱重工製であること、さらに、豊田通商は現代エンジニアリングと共同で世界最大規模のケニア・オルカリア地熱発電所（最大出力28万kW）を受注している⁴⁾。伊藤忠商事と九州電力はインドネシア・サルラ地区の地熱プロジェクトに開発段階から参加し、設備の設計や調達、建設まで一括で請け負うEPC（設計・調達・建設）契約を結ぶことで、地熱発電所の開発・稼働といったノウハウを提供している。このように、日本企業の地熱開発技術はハードとソフトの両面で高いことから、日本の技術力に問題があって地熱の開発が進まないということではない。

次章では、地熱資源活用率を高めていくための方法を探るために、地熱発電の開発を進めていくうえでの構造的課題についてふれる。

2. 地熱発電の開発に向けた構造的課題

本章では、日本の地熱発電の開発を進めていくうえでの課題を述べる。その第一は、自然公園法や温泉法、森林法などの法的制約によって地熱開発に制限がかかっていることがあげられる。これらの法律は、地熱開発を念頭に置いたものではな

く、国立公園や温泉、森林といった個別の対象を保護するためにつくられている。自然公園法を例にあげると、地熱利用が可能な場所の多くが同法によって定められている国立公園や国定公園、特別保護区などにあるため、地熱開発の許可が下りなかったり、地熱開発ができる場所が限られたりしている。現在、法改正によって、開発地域も同意できる案件であれば許可されるようになったが、地熱開発のための規制は依然として厳しい。

第二に、初期開発（掘削失敗）のリスクを、いかに低減していくのかという問題がある。これに対して地熱協会からは、開発初期のリスクを低減するための公的な調査を行うこと、例えば、①国立公園（第1～3種特別地域）も調査対象とすること、②掘削した坑井は埋坑せず、その後の事業開発で活用できるようにするなど、開発を見据えた掘削を行うこと、③国立公園内で変更範囲を最小化するために、大口径・傾斜掘りができるようにするなどの提言が出されている⁵⁾。

第三に、電気系統についての課題がある。地熱発電は、見えない地下資源を扱うため開発リスクが高く、開発期間も長いことから、系統接続の申請が遅れ、他の電源が先行して接続することで系統接続ができなくなるといったリスクを有している⁶⁾。地熱発電は、調査・開発後期にならないと設備容量を特定できないことから、地熱の開発当初に系統連鎖を申請することが可能になるのは、掘削と噴気が成功し、貯留層のシミュレーションにより設備容量を確定できた後になる。したがって、地熱は他電源と系統枠を争う仕組みのもとでは系統を押しえられず、系統確保の見通しが立たない状況では潜在的資源があっても事業化できないという構造的な問題に直面する。

第四に、地熱開発に対する地元の温泉協会からの反発や懸念があげられる。地熱発電による温泉の枯渇問題への懸念から、地熱開発を希望しても温泉関係者から反対され、地熱開発ができないという実態があった。これに対して、日本地熱学会（2010）からは、地熱開発地域との間で地熱発電の知見を共有することで、地熱開発により温泉が枯渇するという誤解が解消できた事例が示されてい

る。現在、国による地熱開発に対する理解促進支援事業として、地域住民への地熱や地熱発電の開発への理解促進に向けた講習会や勉強会、既存の地熱発電所の見学や地熱を利用した地域振興事業の視察などに要する経費を補助する仕組みがつけられている。

最後に、地熱開発を促進するための固定価格買取制度 (Feed-in Tariff : FIT) の制度的枠組みについて述べる。FIT は、再生可能エネルギーの普及を目的に、一般家庭や事業者が再生可能エネルギーで発電した電気に対して、通常の市場価格より高い固定価格で、電力会社が買い取る取り決めをしたものである。FIT は、2011 年の東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故を契機に、2012 年 7 月に施行された。新規の地熱発電における FIT の買取価格は、2021~2023 年の間は設備容量 15 MW 以上が 26 円/kWh、15 MW 未満は 40 円/kWh、調達期間は 15 年に設定され、当初からこれまで維持されているため、同制度のもとで事業の見通しは比較的に立てやすいといえる。その一方で、地熱開発のための助成金の種類によっては、FIT が受けられないといった課題がある。

さて、上記の第一から第四の課題については主に大規模発電に該当すること、また、FIT は小規模発電所を維持していくうえで重要な仕組みとなることから、3 章では、本章の内容を踏まえ、大規模発電と小規模発電の事例を中心に、地熱発電の

普及促進に向けて、どのような仕組みが求められるのか検討する。

3. 地熱の包括的利用に関する大規模発電と小規模発電の比較分析

3.1 大規模地熱発電所の取り組み —九州電力の事例—

3.1.1 地熱をめぐる現状と課題

本節では、九州電力の事例分析にもとづき、主に、大規模地熱発電所の利用を進めていくうえでの課題を明らかにし、その利用促進に向けた仕組みについて若干の問題提起を行う。

大規模発電所の事例として、九州電力を分析対象とする理由は、第一に、九州電力グループが地熱発電所として国内最大の 11000 kW (2 基の合計) の認可出力をもつ八丁原発電所 (写真 1) をはじめ大霧発電所や山川地熱発電所、大岳発電所など、世界有数の地熱発電所を所有していること、第二に、九州電力グループの全体の発電量に占める割合は約 1~2% と低いとはいえ、地熱の電力量 (発電量) は年間で約 12 億 kWh と地熱発電所を有するその他の電力会社のなかでも突出していること、第三に、自治体と企業が協働して、国内初の地熱発電事業を実施していることなどにある。以下では、九州電力グループへのインタビュー調査とその後のヒアリングを中心に、大規

写真 1 八丁原発電所



(出所) 九電みらいエナジー (<https://www.q-mirai.co.jp/renewables/service.html>)

模地熱発電所の取り組み、および、その有効性と課題について述べる。

インタビュー調査は、2020年11月8日に、九州電力大分支店で行った。主なヒアリング事項は、①地熱発電所を建設し、それを運用するにあたっての問題（例えば、技術的な問題、法的規制、地熱発電の開発費用や維持費用などの費用負担、地域住民の反発など）、②地熱発電の将来性、③地熱発電を通じた地域との共生の具体的な内容、および、その達成に向けた今後の計画、についての三つである。

これらの質問事項に対して、当日のインタビュー調査およびインタビュー後のヒアリングも含め、九州電力の担当者より以下の回答があった。上記①から順に、九州電力（2020a；2020b）の資料も踏まえ、その要点を述べていく。

上記①については、次の四点があげられる。

(1) 温泉事業者への理解醸成にある。開発地域周辺の温泉事業者は、地熱開発によって温泉に影響が出るのではないかと不安をもっていることから、地域住民への説明会の実施、モニタリングの実施と継続、発電できない余剰熱の提供や出資による収益の還元といった地域共生策を講じている（なお、地域に対して収益を還元する仕組みについては菅原バイナリー発電所の事例において説明する）。(2) 環境との調和にある。地熱開発の有望な地点は、火山や温泉の近くに位置するなど自然景観に恵まれた場所が多いため、ガイドラインにしたがい、自然景観への影響が少ない発電設備になるように建屋を設けない、また、冷却塔から排気をしないなど、環境省との間に迅速な調整を行ったりしている。(3) 地熱開発はハイリスク・ローリターンである。坑井掘削費等の初期投資（数億円/本）が大きく、開発までのリードタイムが10～20年と長いため、九電グループは、コスト削減に向けた技術開発や国の助成金制度の活用を行っている。(4) 調査・開発・運用のための専門性が求められる。開発リスク低減のための資源量調査、長期に亘る安定運転のための貯留層管理など、調査・開発・運用の各段階に応じた高度かつ専門的な技術・知識が必要となるため、ノウハウ

の継承・人材育成を行っている。

上記②の地熱発電の将来性について九州電力は、(i) 国の調査が行われた地域に加えて、同社が独自に調査している地域まで含めると、九州内だけで50万kWを超えるポテンシャルが見込まれること、(ii) 地熱発電は、地球温暖化対策として優れた純国産エネルギーであり、再生可能エネルギーのなかでも安定した電源であることから、九電グループが保有する技術・ノウハウは競争優位性が高く、将来の収益基盤の拡大や企業価値の向上に有益である、との見通しを立てている。

上記③については、発電に利用できない余剰熱（還元熱水の熱）を利用して温泉を造成し、それを自治体に無償提供するなどの取り組みがあげられる。例えば、(a) 発電に利用できない余剰熱（蒸気）を発電所周辺の農家（組合）に無償提供している〔八丁原発所〕、(b) 周辺地域に供給され浴用や暖房に活用している〔八丁原発所〕、(c) 園芸用ハウスの空調熱源に活用〔山川発電所／鹿児島県指宿市〕などがあげられる。さらに、地域との協働事業で菅原バイナリー発電所を運営している。

その他、八丁原発所付近においても、地熱の貯留層が大きく、潜在資源量の多い場所が法的制約によって使えないことから、地熱の開発希望者が開発区域を設定して申請すれば、政府が個別に審査できるような法的枠組みも必要となる。

3.1.2 地域と企業の協働事業

—菅原バイナリー発電所の事例—

菅原バイナリー発電所は、地元自治体の九重町と九州電力の関連企業である「九電みらいエナジー」との協働により運営されている。同発電所は、認可出力が5000kWと国内最大級の地熱バイナリー発電所である（写真2）。本事業の特徴は、大規模電力会社である九州電力が地元の反対運動を克服するなかで、地域・自治体・企業が相互に利益を享受できる仕組みを築いていることにある。

菅原バイナリー発電所の特徴は、地元自治体との協働作業を進めるなかで、既存の地熱井を活用

写真2 菅原バイナリー発電所

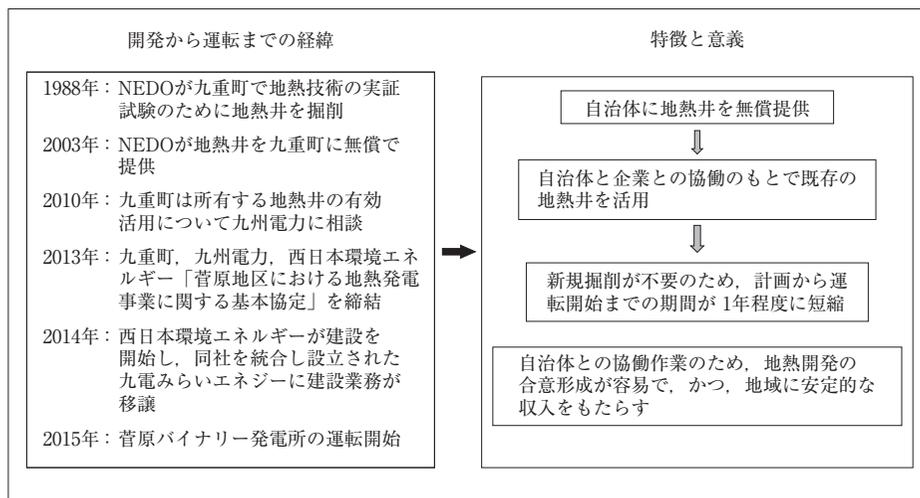


(出所) 九電みらいエナジー (https://www.q-mirai.co.jp/news/archives/27)

していることにある⁷⁾。このことを理解するために、図1より、本事業の特徴と意義を述べておくと、第一に、自治体に地熱井を無償提供したこと、第二に、自治体と企業との協働のもとで既存の地熱井を活用したこと、その結果、第三に、新規掘削が不要のため、計画から運転開始までの期間が1年程度と短期間で事業化できたこと、第四に、自治体との協働作業のため、地熱開発の合意形成が容易で、かつ、地域に安定的な収入をもたらしていることにある。上記の第四については、図2にもとづき補足説明する。

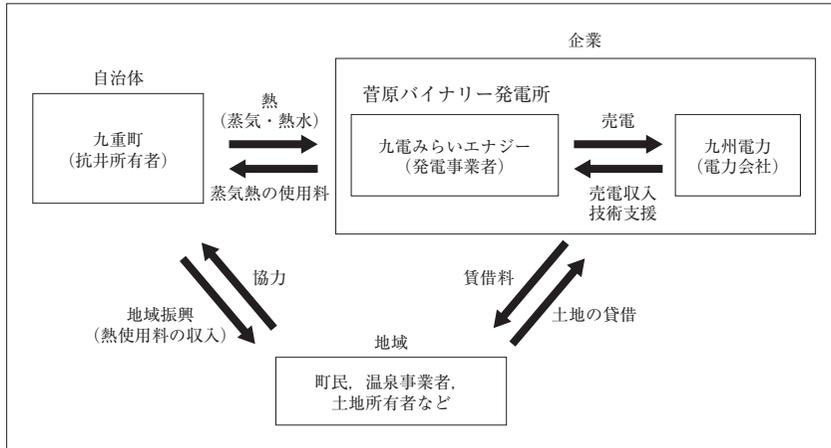
図2は、菅原バイナリー発電所に関連するステークホルダーと事業の内容を概略化したものである。九重町は同発電所を運営する九電みらいエナジーに蒸気や熱水を供給し、同社はその見返りとして蒸気熱の使用料を九重町に支払う。九電みらいエナジーは九重町より供給された蒸気熱を利用して発電し、その発電した電気の全てを九州電力に売電する。このとき、九電みらいエナジーは九州電力から売電収入を得る。さらに、九重町は九電みらいエナジーからの収入をもとに基金を設置し、町有施設の整備に使うなど、町民の福祉に

図1 菅原バイナリー発電所の開発経緯、および、その特徴と意義



(出所) 九電みらいエナジー (2017) より、筆者作成

図2 菅原バイナリー発電所の事業スキーム



(出所) 九州電力 (2020a), および、九電みらいエナジー (2017) より、筆者作成

役立てるための仕組みを築いている⁸⁾。

その結果、自治体（九重町）と企業（九電みらいエナジー）、地域（町民）の三者が安定的な収入や便益を得ながら、地産地消の純国産エネルギーを生み出し、それを活用するなかで、環境負荷の低減や地域の共生に取り組んでいる。今後は、こうした仕組みを各地にある小規模発電施設と同様、どのように町づくりに活用していくのかという点にも着目していかなければならない。

3.2 小規模地熱発電所の取り組み

一温泉バイナリー発電を事例に一

本節では、先駆的な取り組みを行っている小規模地熱発電所（温泉バイナリー発電施設）の事例分析を行う。小規模発電所の建設においては、事業の構想・計画から運転までの期間が2～3年と大規模発電所に比べてかなり短く、発電設備を私有地や公共施設などにつくるので、周辺住民や地域との衝突が起りにくく、大規模発電所を建設する場合に比べて参入障壁が低いといったメリットがある。

3.2.1 鳴子温泉「旅館すがわら」の取り組み

一温泉熱の全利用を目指して一

ここでは、宮城県大崎市にある温泉クリエイト「旅館すがわら」の温泉熱（地熱）の活用事例につ

いてとりあげる。その理由は、旅館すがわらの代表取締役である狩野祐二郎氏が、「発電した地熱を余すことなく利用しつくす」という方針のもとで、旅館で必要になる電力をすべて供給したうえに、地元の特産品の生産に用いたり、売電収入によりメンテナンス費用を賄ったりするなど、地熱を包括的に利用していることにある。なお、現地調査は、2021年3月11日に、狩野氏に行った。以下では、現地でのインタビュー調査をもとに、温泉バイナリー発電の導入の経緯や電力の利用方法、さらには売電収入の活用方法などをみていくことにする。

さて、宮城県大崎市の鳴子温泉は、歴史のある奥州三名湯のひとつに数えられ、豊富な湯量と多様な泉質の源泉をもつ鳴子温泉郷の中心にある。しかしながら、2011年の東日本大震災による被害の影響などもあり、温泉利用者が減少していきななかで、廃業あるいは営業再開の見通しが立たない旅館・ホテルが増えていることが地域の課題となった⁹⁾。

こうした課題に対して、東日本大震災を契機に電力の重要性に気づいた狩野氏は、利用されていないエネルギーを地域おこしや町づくりに有効活用したいと考えるようになった。

狩野氏は、実験用として6kWのバイナリー発電機を設置し、その後、宮城県の「平成29年度新

エネルギー設備導入支援事業」の助成金で、Electra Therm 社のバイナリー発電機 (65 kW) を購入した (写真3, 写真4)。総事業費は7000万円で、そのうちの2000万円は支援事業から補填されている (残りの5000万円が借入れとなっている)。

旅館すがわらは、①FITを活用しながら、発電した全量を売電することで、月平均で100万円ほどの収入があること、②発電に利用した水は、館内の冷暖房や給湯などに利用した後、最終的には温泉として利用していること、③温泉熱を利用して、乾燥しいたけ (写真5) や黒にんにく (写真6) などの特産品をつくり、これらを道の駅で販売するなかで地域づくりに結びつけようとしていることなどから、地熱を包括的に利用していることが分かる。これらのうち、上記①に関して補足説

明しておく、旅館すがわらの事例は、(1) 本事業を進めていくうえで借入れした5000万円に対して売電収入から月々50万円を返済していること、(2) 月平均で5~10万円かかる発電設備のメンテナンス費用についても売電収入から補填していること、(3) 200万円する発電用タービンの交換費用も売電収入から支出していることなど、自立的なバイナリー発電所の管理、運営を行っているという点でFITの重要性を示すものとなる。さらに、狩野氏によると、FITの適用期間中に借入金の返済も終わるため、バイナリー発電所を稼働させていくことに関して、FITの適用期間後も十分に採算がとれるとのことである。

旅館すがわらの事例は、狩野氏が地熱を有効活用するための豊富なアイデアを実践しつつ、補助金制度としてのFITがうまく活用されているこ

写真3 バイナリー発電施設 (1)



写真4 バイナリー発電施設 (2)



写真5 乾燥しいたけ



写真6 黒にんにくの熟成



(出所) 筆者撮影

とを示すものといえる¹⁰⁾。

3.2.2 新温泉町の取り組み

3.2.2.1 湯村温泉のバイナリー発電の概観

ここでは、兵庫県の北部に位置する美方郡新温泉町の地熱（温泉熱）の活用事例について取り上げる。その理由は、本事業が防災拠点である福祉避難所に最低限必要な電力を供給するために、温泉バイナリー発電を整備した全国初の取り組みだからである。なお、現地調査は、2019年2月14日に、本事業の担当者である新温泉町役場・地域振興課係長の谷口薫氏（当時）に行った。以下では、谷口氏へのインタビュー調査およびその後のヒアリング調査（2021年11月9日）をもとに、小規模地熱発電（バイナリー発電）、ひいては、地熱発電を進めていくうえでの構造的課題とその改善策について検討する。

新温泉町にある湯村温泉は、848年に慈覚大師が発見したと伝えられている。中心部にある源泉の荒湯からは、98℃と日本一高温の温泉が湧きだしている。湯村温泉には、公の浴場として薬師湯があり、荒湯では野菜や卵を茹でたり、荒湯の目の前を流れる春木川では洗濯をしたりするなど、人々の生活と共に歩んできた歴史がある。

さて、2013年に新温泉町は、環境省の「再生可能エネルギー等導入推進基金事業」（以下、グリーン・ニューディール基金）の適用を受けることで、温泉を利用した温泉バイナリー発電設備整

備事業を竣工し、翌年には温泉バイナリー発電を始めた。グリーン・ニューディール基金は、地域の避難所や防災拠点において、災害時に必要な機能を維持するために再生可能エネルギーなどの導入を支援するもので、本事業の総事業費8274万円のうち、8000万円が同基金から補填されている¹¹⁾。

新温泉町は、本事業を推進するために、IHI社の「Heat Recovery HR 20W」（最大送電端発電出力20kW）を2基購入した。発電機は、「湯村温泉観光交流センター」（以下、観光センター）のスペース内に設置された（写真7）。発電方法は、温泉バイナリー発電設備を通過して温度が下がった温泉の湯（60～65℃）を利用した「ペルチェ素子」による発電方式となっている（写真8）。なお、発電施設の利用可能容量は11～20kWh（湯量等により変動）で、観光センターへの電力供給にくわえて、約25世帯分の年間電気使用量を想定している。

新温泉町は、同基金の主旨にもとづき、観光センターを福祉避難所として定めただけで、災害時には照明の使用や携帯電話の充電、入浴サービスなど町民にとって最低限必要な電力を観光センターに供給するための仕組みをつくっている。これは、町民の初動避難を支援するものとなる（写真9）。また、観光センター内で谷口氏が行っている環境学習や発電設備の視察の受け入れなどは、町のPRも兼ねた観光施設としての役割も果たし

写真7 バイナリー発電所



写真8 ペルチェ発電



（出所）筆者撮影

写真9 災害用コンセント



写真10 ペルチェ素子の発電の説明



(出所) 筆者撮影

ている。写真10は、谷口氏が湯と水の温度差のあるペットボトルを用いて、ペルチェ素子による発電の仕組みを分かりやすく説明している様子を撮影したものである。

その一方で、本事業は以下の課題に直面している¹²⁾。それは、発電設備の故障に対して、バイナリー発電の導入事例が少ないため、故障の原因を特定し、かつ、その責任が施工会社にあるのか、あるいは、使用者（消費者）にあるのか判断できず、発電設備が故障した場合に、使用者がどこまでメンテナンス費用を負担するのか、といった取り決めができていないことにある。これは、バイナリー発電を普及させていくための根本的な課題となるので以下で詳述する。

3.2.2.2 バイナリー発電の普及促進に向けた構造的課題とその改善に向けた問題提起

谷口氏への質問事項は、主に、①本事業の目的、②バイナリー発電設備の故障の有無とその原因、③バイナリー発電設備をめぐる現状と課題、④FITの利用の有無とその理由、についての四つである。以下では、上記①～④の回答をもとに、日本のバイナリー発電をめぐる構造的課題とその改善策についてみていくことにする。ただし、上記①については、3.2.2.1で述べているので、ここでは省略する。

上記②の発電設備の故障の有無について述べて

おくと、1号機は設備導入後に故障したが、2021年3月末に業者負担で修理を終えていることから、現在は2基とも正常な状態である。1号機が故障した原因については、故障箇所である凝縮器（冷媒を液体に戻す熱交換器）が冷却塔を用いて冷却水を管理する開放型回路（冷却塔を用いた回路）であったために、発電すればするほど冷却水の不純物濃度が高くなるという構造的な仕組みにあった。

これに関連して、上記③についてふれておくと、上記の故障原因にかかわる構造的な問題から、現在、観光センター内の発電設備の2基とも運転をとりやめているとのことである。その理由は、災害などの有事の際に、発電設備が故障しているような事態になれば、避難住民へのケアに支障がでるからである。これは、本事業の目的からも逸脱することになる。ただし、IHIがバイナリー発電事業からの撤退を発表していること、さらに、IHIからは設備の設置後15年が経過した時点でサポートを終了する旨の通告書面が新温泉町に届いていることから、本町の発電設備の根本的な改善の見込みは低いといえる。この背景には、バイナリー発電事業に参画した国内発電機メーカーのうち、IHIのように採算性が確保できない企業は事業から撤退せざるを得ないという状況があげられる。したがって、バイナリー発電のように、比較的新しい市場においては、それを導入する消費

者の保護だけでなく、発電機メーカーを保護したり育成したりするための仕組みも重要になる。

最後に、上記④に関する FIT の適用の有無であるが、本事業においては FIT の適用は受けていないとのことである。その理由は、第一に、本事業の計画段階において、県側から「国費を 100% 充当する本事業は国から補助を受けているので、FIT の適用は受けられない」との説明があったこと、これに関して、第二に、関西電力と電力の買取金額について協議をしたところ、10 円/kW 程度の金額を提示されたため、この提案を受け入れるよりも、発電した電力を観光センター内で消費して、購入電力を減らした方が得になると判断したからである。

上記の第一の理由について補足しておく、こうした県側からの返答は、FIT は電力事業者を通じて国民にその価格が転嫁されていることから、FIT とグリーン・ニューディール基金の併用は国民の税金などを原資とする補助金を二重に受給することとなり FIT の受給は認められない、という同基金の規定にもとづいている¹³⁾。ここで、自治体に対する二重補助（いいかえると、国民の二重負担）の問題をいったん脇に置いて、本事業が FIT の受給対象になっていたと仮定しよう。このとき、新温泉町の資料を参考に、発電施設の利用可能容量を 18 kWh、FIT の買取価格を 40 円/kWh、月当たりの運転日数を 30 日として計算すれば、年間で 622 万 800 円の売電収入となり、年間 100 万～200 万円かかる発電設備の維持費を負担したうえで売電収益まで得られることになる¹⁴⁾。

確かに、特定の事業に対する二重補助は、国民負担を考えると決して望ましいとはいえない。しかしながら、地熱は地域分散型の安定的なエネルギー供給源であること、防災の観点からは災害に強いリスク分散型電源であることに鑑みると、小規模発電設備を維持し続けていくことは、地域住民にとって、二重補助による費用負担以上の便益をもたらすであろう。さらに、地熱の利用促進を目指すための助成金や基金の違いによって、FIT の適用の有無が決まってしまうことは問題であるし、小規模発電の場合は FIT による買取額は年

間で数百万円と大規模発電に比べて桁違いに少ない。したがって、その利用が生命の保護や地域の持続性を保つといった、短期の費用では測れない小規模地熱発電所を維持していくためには、初期投資の費用は国や県などの助成金で、発電所の運転開始後のランニングコストや発電設備のリプレースの費用などを FIT のもとで捻出できるような一体型の制度設計が必要となる。

いずれにせよ、FIT の存続は、小規模発電主体が発電設備の減価償却後に、さらに地熱発電を続けていくかどうかの判断材料になる。FIT の受給後、15 年が経過し、固定価格での買い取りができなくなったときに、小規模発電主体の多くが発電事業から撤退するような事態に陥るかもしれない。そうすると、温泉町では使われなくなったパインリー発電所が廃棄処理されずに放置されることになる。これは、他の再生可能エネルギー分野でも起こりうる構造的な問題といえるであろう。

したがって、こうした状況を回避し、地熱を地域電力として残していくためには、FIT を、地熱の導入という一過性の役割をもつものとして位置づけるのではなく、小規模発電主体が地熱発電を続けていくための制度として位置づけることで、地熱発電所の開発、運転、リプレースを可能にするための一体型の制度設計に組み込んでいく必要がある。

おわりに

本稿では、日本の地熱発電の動向と構造的課題を概観したうえで、国内の大規模地熱発電と小規模発電の比較分析をもとに、地熱の普及促進に向けた制度的枠組みについて検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

日本では、第一に、自然公園法や温泉法などの法的制約などにより、豊富な地熱資源を活用しきれていない現状があるうえ、地熱開発を進めていくためには初期投資のリスクの低減、電気系統の事前確保、温泉業者への理解醸成などが求められる。

第二に、大規模発電所を開発・運営していくた

めには、法的制限の緩和措置、初期投資のリスク軽減のための支援制度の拡充、地域との関係構築などが重要となる。大規模電力会社がバイナリー発電所の運営にかかわっている菅原バイナリー発電所のように、電力事業による利益が地元還元される仕組みをつくることで、企業と地域との間の協働作業がうまく機能している事例もある。

第三に、小規模発電所を維持し、かつ、それを地域電力の供給源として残していくためには、FITを、地熱発電を導入するための一過性の役割をもつものとして位置づけるのではなく、地熱発電を維持するための制度として位置づけなければならない。

いずれにせよ、地熱の利用は、短期の費用で捉えるのではなく、中長期の費用の削減と社会的便益を確保するためにある、という点を考慮するならば、大規模発電が小規模発電にかかわらず、初期投資の費用は国や県などの助成金で、発電設備の運転費用や発電設備の更新・増強といったリプレースの費用についてはFIT型の制度で捻出できるような一体型の制度をつくるのが望ましい。

謝辞 本研究は、令和2年度専修大学研究助成の支援を受けた。ここに記して謝意を表す。なお、本研究を進めていくうえで、九州電力のご担当者様、旅館すがわら代表取締役の狩野祐二郎氏、新温泉町役場温泉総合支所地域振興課課長補佐兼振興係長の谷口薫氏には現地調査、ならびに、その後のヒアリングにおいて、多くの貴重なコメントをいただきました。心より感謝申し上げます。

注

- 1) 再生可能エネルギーの発電比率については、資源エネルギー庁、2019；2021aを参照している。なお、日本は、2015年に地球の平均的な気温上昇を産業革命前の水準に比べて2℃よりはるかに低く保ち、1.5℃に抑制する努力をするなどの中期目標を定めたパリ協定に合意している。
- 2) 地熱発電は、天然の地熱貯留槽を掘り当て、高温・高圧の水蒸気や熱水を取り出して行う。地熱発電は、1000m～3000mの深い場所から高い温度の熱水や蒸気を活用する仕組みで、比較的大規模な発電方式となる。これに対して、バイナリー発電は、水より沸騰温度が低いペンタンやアンモニアなどの媒体を加熱し、それによって生成された高圧の蒸気によりタービンを回して発電する仕組みであること、また、噴出している温

- 泉の熱源などを活用し、低温でも発電できるという長所がある。詳細については、NEDO、2016を参照されたい。なお、表1の地熱発電設備容量は、バイナリー発電の認可出力も含めた地熱発電の認可出力の総計となっている。
- 3) 日本地熱協会「世界の地熱発電を支える日本メーカー」(<https://www.chinetsukyokai.com/information/sekai.html>)を参照している。
 - 4) 日本経済新聞、2021年6月11日(朝刊)を参照している。
 - 5) 地熱協会からは、企業の参入が難しい新規有望地点の開発リスクを低減するためには、調査地域の選定基準や個々の地域特性に応じた調査手法の運用と噴気試験を含めた資源量調査の実施、また、調査終了後の坑井については有効活用に向けた柔軟な運用が必要であるとの要望がだされている。詳しくは、地熱協会、2020を参照されたい。なお、こうした初期開発のリスク低減の重要性については、次章で取り上げる九州電力のインタビューからも述べられている。
 - 6) この問題を解決するために、設備容量が確定しない初期段階でも系統申請(仮押さえ)を認めるような仕組みが必要となる。詳細については、地熱協会、2020を参照されたい。
 - 7) 九州みらいエナジー、2017を参照している。
 - 8) 本事業は、町内の温泉に何らかの悪影響が出た場合は熱使用料収入から対応することを条件に、町民や温泉関係者の理解を得ることで実現できたという経緯がある。詳細については、秋田・平島・森谷、2016、pp.3-4を参照されたい。
 - 9) JOGMEC「地熱モデル地区以外の地熱活用事例」(<https://geothermal-model.jogmec.go.jp/case.html>)を参照している。
 - 10) 資源エネルギー庁の調達価格委員会は、発電設備の資本費や運転維持費が1000kWを超えると低下傾向にあることから、新規にFIT制度を認める対象については、2022年度、あるいは2023年に関しては1000kW未満の規模の施設であったり、地域活用要件を満たしたりするものに限定すべきではないか、との意見が出されている。なお、FIP(Feed in Premium)制度は、発電事業者が再生可能エネルギーで発電した電力を卸電力取引市場で自由に売電させて、そこで得られる売電収入に「あらかじめ定める売電収入の基準となる価格(FIP価格)と市場価格に基づく差額を上乘せして交付する仕組み」で、再生可能エネルギーが他電源と共通の環境下で競争する自立化までの途中経過として位置づけられている。これらの詳細については、資源エネルギー庁、2020a、および、再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会、2020を参照されたい。
 - 11) 環境省、2014、5頁を参照している。
 - 12) その他にも、谷口氏は、防災の観点から発電設備を安定的に稼働させるためのガイドラインをいかに作成していくのか、また、山陰海岸ジオパークと連携した住民や観光客などへの環境学習効果を高めるための温泉ツーリズムをいかに推進していくのかといった課題をあげている。詳細は、谷口、2016、33-34頁を参照されたい。
 - 13) 環境省、2014、19頁を参照している。

14) 1時間当たりの発電量については、新温泉町「温泉エネルギー活用の取り組み」に記載のデータを用いている。

<参考文献>

秋田涼子・平島佳奈・森谷優季 (2016) 「様々な地熱発電の試み」『日経研月報』454号, pp.2-12 (https://www.jeri.or.jp/membership/pdf/research/research_1604_01.pdf)

環境省総合環境政策局環境計画課 (2014) 「平成26年度再生可能エネルギー等導入推進基金事業の取扱いについて」(https://www.env.go.jp/policy/local_re/funds4/mat04_1.pdf)

九州電力 (2020a) 「九州電力の地熱開発の取り組み」

九州電力 (2020b) 「九州電力の地熱発電所」

九電みらいエネジー (2017) 「菅原バイナリー発電所」(<https://www.qmirai.co.jp/library/img/sugawara.pdf>)

経済産業省 北海道経済産業局資源エネルギー環境部 エネルギー対策課 (2021) 「FIT制度に関する最近の検討状況」について」(<https://smcs.eng.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2021/02/8fd4bb191ca79bbe6cd62e9a330e6bc8.pdf>)

再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 (2020) 「中間取りまとめ」(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/saiene_shuryoku/pdf/report_002.pdf)。

阪本将英 (2020) 「持続可能な社会経済システムの構築に向けた若干の問題提起—アイスランドと日本の地熱発電を事例に—」『専修大学ビジネス・レビュー』16巻1号, pp 41-53

資源エネルギー庁・総合資源エネルギー調査会・長期エネルギー需給見通し小委員会資料 (2017) 「再生可能エネルギー各電源の導入の考え方について」(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/pdf/010_03_00.pdf)

資源エネルギー庁 (2017) 「地熱資源開発の現状について」(www.meti.go.jp/shingikai/enecho/.../022_04_00.pdf)

資源エネルギー庁 (2019) 「資料3 再生可能エネルギーの主力電源化に向けた制度改革の必要性と課題」(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/saiene_shuryoku/001/pdf/001_007.pdf)

資源エネルギー庁 (2020a) 「資料2 地熱発電について」(https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/065_02_00.pdf)

pdf)

資源エネルギー庁 (2020b) 「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」(https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/061_01_00.pdf)

資源エネルギー庁 (2021a) 「日本のエネルギー 2020年度版『エネルギーの今を知る10の質問』」(https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy_2020/007/)

資源エネルギー庁 (2021b) 「再生可能エネルギー：固定価格買取制度」(https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html)

新エネルギー財団・新エネルギー産業会議 (2021) 「地熱エネルギーの開発・利用推進に関する提言」(<https://www.nedo.go.jp/content/100788676.pdf>)

資源エネルギー庁・総合資源エネルギー調査会・長期エネルギー需給見通し小委員会資料 (2017) 「再生可能エネルギー各電源の導入の考え方について」(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/004/pdf/004_06.pdf)

谷口薫 (2016) 「湯村温泉バイナリー発電施設の現状と課題」『生活と環境』61巻8号, pp 30-36

中尾吉伸 (2019) 「地熱発電システムにおける運転等の管理高度化に係る技術開発—IoT-AI適用による小規模地熱スマート発電&熱供給の研究開発—」(https://www.ena.or.jp/?fname=gec_2019_4_2.pdf)

日本地熱学会・地熱発電と温泉との共生を検討する委員会 (2010) 「地熱発電と温泉利用との共生を目指して」

日本地熱協会・第62回調達価格等算定委員会資料 (2020) 「主力電源としての地熱発電導入の展望」(https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/062_03_00.pdf)

再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 (2020) 「中間取りまとめ」(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/saiene_shuryoku/pdf/report_002.pdf)。

NEDO (2016) 「地熱発電分野の技術戦略策定に向けて」『技術戦略研究センターレポート』12号, 1-27頁 (<https://www.nedo.go.jp/content/100788676.pdf>)

Think Geo Energy News (2021) 「Top 10 Geothermal Countries 2020」(<https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2020-installed-power-generation-capacity-mwe/>)