

2024 年度 卒業論文

『地熱発電が日本で普及するには』

法政大学

経営学部 市場経営学科

(学籍番号 20F1812)

樋口 廉

法政大学 経営学部

木原ゼミ



## 目次

- 序章：地熱発電とは p4
- 第1章：世界の地熱発電の現状 p5
- 第2章：日本の地熱発電の現状と課題 p6～
- 第3章：日本の地熱発電の課題解決策 p8～
- 第4章：地熱発電導入における利点 p10～
- 第5章：地熱発電普及に向けた提言 p12～
- 第6章：さいごに p14
- 参考文献 p15

## 序章：地熱発電とは

地熱発電は、地中の高温熱源を利用して発電する再生可能エネルギーの一種である。地下の熱を利用したエネルギーで、気候や天候、昼夜の影響を受けず安定的に発電が可能だ。その設備利用率（実際に発電した電力量が、フル稼働した場合に発電可能な電力量に対する割合を示す指標）は約 70%と高く、風力発電の 20%、太陽光発電の 12%を大きく上回っている。

さらに、エネルギー密度が高く、ライフサイクルを通じて二酸化炭素の排出が少ないことから、地熱発電は環境に優しいエネルギー源と位置付けられている。

地熱発電の主な方式にはフラッシュ方式とバイナリー方式が挙げられる。

フラッシュ方式は、取り出された地熱エネルギーが直接タービンを回して発電するため、使用後の蒸気に含まれる有毒ガスが微量ながら大気に排出される。

一方、バイナリー方式は地熱流体を沸点の低い媒体と熱交換させ、その蒸気でタービンを駆動する。バイナリー方式はほぼすべての地熱流体を地下に還元する特徴があり、フラッシュ方式と比べ環境への影響がさらに低減されている。

このように地熱発電は脱炭素社会を目指す日本にとって重要なエネルギー資源だということがわかる。しかし、日本は世界でも有数の地熱資源を保有しているが、地熱発電の利用率はまだ限られている。地熱発電の安定性と環境負荷の低さから見ても、今後は日本が地熱発電の導入を推進する必要がある。

本論は第 1 章で世界の地熱発電の現状、第 2 章と第 3 章で日本の地熱発電の現状と課題、またその解決策、第 4 章では地熱導入におけるメリット、そして第 5 章では地熱発電が普及するための提言を行う。

## 第1章: 世界の地熱発電の現状

この章では世界の地熱発電の現状について説明する。

はじめに、世界的に地熱発電を見ると、インドネシア、ケニア、ニュージーランド、トルコといった国々で急速に成長している。これらの国々は、政府の主導によって地熱発電の普及に積極的に取り組んでおり、設備容量の増加も顕著だ。

例えばインドネシアは約1900MWという大規模な設備容量（発電所の発電能力）を誇っている。その背景には地熱開発を国家戦略として位置付け2011年に「地熱発電試掘ファンド」の設立や関連施策を打ち出した。その結果、2011年以前の設備容量約1200MWから大きく成長した。また、エネルギー自給率向上にだけでなく、気候変動対策にも地熱発電を活用しており、大きな役割を果たしている。

さらに、ケニアでは総発電量のうち約90%が再生可能エネルギーであり、その中でも地熱発電が約40%と地熱大国となっている。ケニアでは国営企業中心となって開発を進めているため、ODAを利用するなどして地熱開発を進めることができている。

また、世界全体で2020年までに導入された地熱発電の発電方式の内訳はフラッシュ方式が40%、バイナリー方式が約20%をとっている。バイナリー方式は低温の地熱資源を活用できるため、地熱資源に限られる地域でも利用可能な技術として注目されている。ドイツを始めとしたヨーロッパの非火山国を中心にバイナリー方式の導入が増え、2011年～2020年の導入量は新規ユニットの50%がバイナリー方式を採用している。バイナリー発電が導入され始めた背景には近年厳しくなっている環境規制や低音地熱資源の活用などが要因の一つだと考えられる。

次の章では日本の地熱発電の現状と課題について論じる。

## 第2章：日本の地熱発電の現状と課題

前章では世界の地熱発電の現状について説明したが、この章では日本の地熱発電の現状と課題について論じる。

2019年の情報では日本は世界第3位の地熱資源ポテンシャルを有している。しかし、地熱発電所の総設備容量は526MWで、全世界の地熱発電設備容量12635MWの約4%を占めるに留まっている。また、2015年度末の国内認可出力合計約231GWに対して、地熱発電の比率は0.2%に過ぎない。

その原因として以下の理由が挙げられる。

まずは自然公園法の問題だ。

国立公園内の特別保護地区の地熱資源量は700万kW、第1種特別地域では260万kW、第2種特別地域は250万kW、第3種特別地域は520万kWとなっており、自然公園内で国内の約80%を占めている。

自然公園法は国立公園、国定公園、都道府県立自然公園の優れた風景地の保護や生物多様性の確保を目的として制定された。特に地熱資源は国立公園の位置している場所にあることが多い。初期の規制では国立公園内の地熱発電は、自然環境保全の観点から厳格に制限されていた。特に国立公園の特別保護地区、第1種特別地域では原則として地熱開発は原則禁止されていた。しかし、2012年には“原則開発禁止”ではあるが第2種特別地域、第3種特別地域の条件付きでの垂直掘削が容認された。さらに2015年では特別保護地区、第1種特別保護地域の地表部での開発は禁止であるが、傾斜掘削であれば第1種特別保護地域への開発は条件付きで容認された。それに付け加え、第2・3種特別保護地域については“原則開発禁止”との文言が外されることとなった。

その結果、2012年までの国立公園内での操業している地熱発電は0件であったが、2023年には15件にまで増えた。

次に温泉事業と地熱開発は競合関係にあると場合が多いことだ。

地熱発電では地下の高温流体を利用するが、温泉でも同じ資源を利用するため、大規模な地熱発電所が稼働すると、温泉の湧出量が減少、温度が低下する可能性がある。また、調査段階を含め掘削を行うことで、地下資源が枯渇し圧力低下の要因になることが懸念されている。さらに、地熱発電所の建設や稼働で環境や景観に影響を及ぼすことがある。その上、温泉観光が経済基盤となっている地域では、これらが観光客減少させる可能性があることから温泉事業と地熱開発は競合関係になることが多い。

さらに、温泉地は温泉法という法律で守られていて、地下の熱水利用が温泉資源に悪影響を

与えないように規制されている。また、温泉事業者からの「温泉の枯渇や品質劣化を引き起こす」との懸念が拭えなければ、開発の合意を得ることが難しくなる。

実際に 2002 年に熊本県小国町の地熱発電開発計画は「温泉枯渇の懸念が拭えない」とし、地元住民の合意を得られずに頓挫していることがあった。

最後に経済的な課題だ。

地熱発電は初期投資が他の再生可能エネルギーと比べ高額であることが課題である。太陽光発電は約 23.9 万円/kW、陸上風力発電は 34.7 万円/kW、それに比べて地熱発電は 170 万円/kW と高額なことがわかる。しかし、地熱発電は 24 時間運転可能で、天候の影響がないため安定したエネルギー供給が可能な重要な資源の一つと考えられている。

しかし、上記以外にも費用はかかり、地下資源の調査では地下 1000~2000 メートルを掘り下げ、蒸気の噴出量を確認する必要がある、この工程だけで 10 億円以上の調査費用が必要となり、開発初期段階での成功率は約 3 割と言われている。また、掘削費用の 3 分の 2 を補助する制度があるが、失敗した場合は残りの費用が企業負担となり投資リスクが高いのが現状だ。

以上の課題に対し、現在どのような解決策が考えられているのか、次章ではその具体的な方策について論じる。

### 第3章：日本の地熱発電の課題解決策

日本の地熱発電が抱える課題を解決するためには、規制の緩和・温泉事業との調和・技術革新の3つが大きな鍵になると考える。これらの解決策をこの章では論じる。

自然公園法や温泉法の規制が地熱発電の普及を妨げているが、規制緩和により一部の国立公園で地熱開発が可能となるなど、改善に向けた取り組みが進んでいる。しかし、特別保護地区や第1種特別地域では依然として開発が困難な状況である。

今後は、環境保護と地熱開発を両立するための制度設計が必要になる。例えば、開発が許可される地域をさらに拡大しつつ、最新の環境保全技術を活用することが考えられる。

その一例として開発途中ではあるが「クローズド方式」による地熱開発がある。

クローズド方式は、地下に存在する高温岩体から熱資源のみを活用する技術であり、熱水や蒸気の兆候がない地域でも発電事業として成立する可能性がある。この方式では、地下から採取した熱水や蒸気を地表に放出せず、循環システムの中で閉じ込めることで環境への影響を最小限に抑えることが可能だ。

地熱発電の技術が進歩した現在、開発に伴う環境負荷を低減する方法も増えており、それに応じた柔軟な規制緩和が求められる。また、規制緩和対象地機を選定する際には、地域住民との協議を通じて合意を得る必要がある。このような取り組みが進むことで、国内の膨大な地熱資源を活かすことができるだろう。

次に温泉事業者との調和について述べる。

地熱発電と温泉事業者は地下の熱水資源を巡って対立することがあり、特に温泉地では、地熱発電による湧出量の減少や温度低下が観光業や地域経済に悪影響を及ぼす懸念がある。

さらに、温泉の枯渇や品質劣化への不安が住民の反対運動を招くこともある。

これらの課題を解決するためには、温泉事業者と地熱開発業者が協力し、資源の持続可能な管理に向けた取り組みを強化する必要がある。例えば、秋田県の田沢湖温泉では、地熱発電所の設置前に温泉資源への影響を調査し、温泉事業と地熱開発事業者が密接に連携し、発電所が利用する熱水の量を制限し、温泉資源への影響を最大限に抑える仕組みを導入している。さらに、温泉市の品質や湧出量を監視する体制を整え、地元住民の不安の解消するための情報の共有も行われている。このような取り組みによって、温泉事業者と地熱開発者は、温泉資源を守りながら地熱発電の導入が進められ、地域経済への貢献が実現している。

さらに、地域住民や温泉事業者が地熱開発の利益を享受できるよう、地域活性化などに還元する取り組みが効果的である。

北海道の森地熱発電所では、還元熱水の一部が熱交換され、トマト・キュウリ等を栽培する

温室ハウスで活用されたり、鹿児島県の霧島国際ホテル地熱発電所では発電された電気はホテル内で浴室だけでなく暖房等にも利用し自家消費を行っていたりしている。

これにより、観光業が活性化し、地元の経済が潤うとともに、地熱発電の利益が地元住民に還元されている。地熱開発の利益が地域住民らに還元されることで、地熱開発の利益が具体的に感じられるようになり、温泉地での地熱開発がより受け入れられやすくなるだろう。

地熱発電は他の再生可能エネルギーに比べて稼働までに時間とコストがかかり、普及の妨げとなっている。特に、地下資源の調査や掘削には高額な費用が必要で、調査段階の成功率が約3割と低いため、事業リスクが大きい。しかし、技術の進歩により、これらの課題を克服する可能性が大きくなっている。

例えば、AI やビッグデータを利用した地下資源の解析技術が進歩しており、地熱資源の分布や特性をより正確に予測できるようになっている。この技術は、調査段階でのリスクを大幅に低減し、成功率の向上に寄与するだろう。また、効率的な掘削技術の開発により、従来よりも低コストで地下資源を活用することが可能となっている。さらに、発電効率を向上させるための新技術の導入も進んでおり、これにより地熱発電所の運用コストが削減されると期待されている。

地熱発電の普及をさらに進めるためには、こうした技術革新を活用しつつ、地熱発電がもたらすエネルギー供給の安定性や持続可能性を強調する必要がある。また、地熱発電が地域社会にもたらす経済的利益を明確にすることで、地域住民や自治体からの支持を得やすくすることが重要である。

以上のように、規制の緩和、温泉事業との調和、技術革新の3つをバランスよく進めることで、地熱発電の普及は大きく加速するだろう。これらの課題に対処しつつ、日本が持つ豊富な地熱資源を最大限に活用することは、持続可能なエネルギー社会の実現に向けた重要な一歩となる。

第2・3章では地熱発電の開発の課題と解決策について論じたが、次の章では地熱発電を導入することでもたらす良い影響について論じる。

## 第4章：地熱発電導入における利点

地熱発電は、単なるエネルギー供給源にとどまらず、地域社会に多方面でポジティブな影響をもたらす。これまでは、地熱発電の普及に向けた課題と解決策について述べたが、ここでは地熱発電が地域経済、環境、そして住民生活に与える良い影響について論じる。

地熱発電の導入は、地域のエネルギー自給に大きな影響を与える。特に、遠隔地やエネルギー供給が不安定な地域において、開発が成功した際には地熱発電は安定した電力供給源となり得る。地熱発電所は、天候や季節に左右されることなく、24時間安定して電力を供給できるという特性がある。この安定性は、地域の電力供給を確保する上で重要な要素となり、地域住民の生活の質の向上にも寄与する。地元で生産されるエネルギーを地元で消費することにより、エネルギー輸送コストや依存度が減少し、地域経済の自立性が高まる。

次に、地熱エネルギーの利用は環境への配慮という点で重要である。地熱発電は、二酸化炭素排出量が非常に少ないため、温暖化対策としても有効である。地域住民は、自らのエネルギー供給が環境に優しいものであることを実感することができ、地域全体の環境意識が高まることになる。このような環境意識の向上は、持続可能な社会づくりを目指す地域社会にとって重要な要素となり、地元の人々が地熱発電を積極的に支援する原動力となる。

さらに、地熱発電が観光業に与える影響についてである。地熱発電所が設置される地域には温泉地が多く存在している。前章で述べたように温泉水を使った発電や、発電所から出る熱水を利用した農業の振興などが行われている地域もある。これにより、観光業と農業が連携し、地域全体の経済がさらに活性化することができる。地熱発電が観光業の発展に寄与する一方で、環境保護や資源の持続可能な利用にも貢献しており、観光客にもその価値が伝わる事が期待される。

また、地熱発電所の建設や運営には多くの労働力が必要となる。これにより地域住民に新たな雇用機会が生まれ、地域経済の活性化が期待される。発電所の建設においては、土木工事や設備の設置、発電所が稼働を始めると、維持や管理などといった専門的な職種から、地熱発電所に付随するような観光施設の職員などの地元の労働力が活用されることになるだろう。このように地熱発電は雇用を創出し、経済的な利益を地域内に還元することができる。

地熱発電は、地域社会に対してさまざまな利益をもたらす。地域経済の活性化や雇用創出、観光業の振興、エネルギーの地産地消、環境保護といった多方面でのポジティブな影響が期待される。地熱発電が地域社会に与える影響を最大限に引き出すためには、地域住民と自治

体の協力が不可欠である。地熱発電が広がることで、持続可能な地域社会の実現が一步近づくといえる。

## 第5章：地熱発電普及に向けた提言

地熱発電が日本で広く普及するためには、現状の課題を克服し、柔軟なアプローチをする必要がある。特に、自然公園内での地熱開発は、前述した通り豊富な熱資源があり、それを活用する上で避けて通れない重要なテーマである。しかし、自然環境の保全と開発の両立が求められるこの分野においては慎重な取り組みが必要である。本章では、地熱開発普及に向けた独自の提案を示す。

まず、国立公園内での地熱発電開発に関する規制の緩和が必要である。日本の地熱資源の多くは国立公園や温泉地に集中しており、自然公園法などによる厳しい規制が地熱発電所の建設を制限している。これに対して、国立公園内でも影響が少ない地域を「地熱発電特区」として指定し、開発を許可する仕組みを導入することが重要である。さらに、開発地域における生態系や景観への影響をAIなどの技術を用いて監視する体制を整え、問題が発生した場合には即座に対策を講じることを義務付ける必要がある。

次に、温泉事業者と地熱発電事業者の連携を促進するための法整備が求められる。温泉地では、地熱発電による温泉資源の減少が懸念され、地熱発電に対する反発が強い傾向にある。温泉と地熱発電が共存できるように、資源の利用ルールを明確化する必要がある。具体的には、熱源の分配基準を法的に定め、双方の事業者が合理的に資源を共有できるようにすることが重要である。また、前述してあるが、地熱発電が原因で温泉事業に影響が出た場合に備えて、補償制度を設けることも検討すべきである。

さらに、小規模地熱発電の規制緩和も進めるべきである。現在、大規模地熱発電所の開発には時間と高額な投資が必要となり、小規模な発電所の導入が進んでいない。これに対して、小規模発電所に関しては許認可手続きを簡略化し、より短期間で設置可能にすることが重要である。例えば、第2種事業の環境アセスメントの基準を従来よりも低く設定し、発電所数を増やすために一定期間の特例措置を導入することが考えられる。

一方、自然公園区域外においても、地熱発電の普及には地域密着型の支援モデルが重要である。「地熱発電推進委員会」のようなものを設置し、地域住民、行政、企業が協力して情報共有や雇用促進を図ることで、地域全体で地熱発電を支える仕組みを構築する必要がある。また、家庭に設置できるような簡易設置が可能なモジュール型地熱発電システムの開発や、補助金・低利融資制度の充実を通じて中小企業や個人の参入を促すことも有効である。また、補助金制度については、再生可能エネルギーへの転換を段階的かつ持続可能に進めることを前提とし、地熱発電を含む再生可能エネルギーへの投資を促進する仕組みが必要で

ある。具体的には、火力発電や原子力発電といった既存のエネルギー産業からの収益や運転資金の一部を再生可能エネルギー事業に振り向ける財源とし、それを基に補助金を提供することが考えられる。このような資金循環モデルを構築することで、長期的に持続可能なエネルギー転換を実現できる。

以上の提案は、自然環境との共存を重視しつつ、地域社会やデジタル技術を活用して地熱発電の普及を促進するものである。これらの取り組みを実現することで、日本が持続可能なエネルギー社会へと進むための新たな道筋を示すことができると確信している。

## 第6章：さいごに

本論文では、地熱発電の現状と課題からその解決方法について論じてきた。地熱発電は本論で述べたとおり、気候変動への対応、エネルギー自給率の向上、地域経済の活性化に寄与する可能性を持つ重要なエネルギー源である。しかし、日本は豊富な資源量に対し十分に活用されていない現状である。

この課題を解決するためには日本政府、地元住民、企業等が別個で動くのではなく、関係者全員が一体となり、持続可能な利用の仕組みを構築することが重要である。日本が地熱発電の普及に成功すれば、脱炭素社会のモデルの一例として世界に示すことができるであろう。地熱発電が軸可能なエネルギー社会の柱となることを願い、本論を締めくくる。

JETRO

2024年までの低炭素化目標を設定、再エネ導入などが進む（インドネシア）

<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2021/0401/0c7b9b158f232a1a.html>

日本地熱協会

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/088\\_06\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/088_06_00.pdf)

JETRO

総発電量の9割が再エネ由来（ケニア）

<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2022/1003/900894803245409f.html>

安川香澄

世界の地熱発電設備の動向

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj/45/4/45\\_215/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj/45/4/45_215/_pdf/-char/ja)

小山弘

地熱発電の仕組みと動向

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieiej/36/6/36\\_384/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieiej/36/6/36_384/_pdf/-char/ja)

経済産業省

地熱発電の開発促進に向けて

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/pdf/066\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/066_01_00.pdf)

上地成就・村山武彦・錦澤滋雄

地熱発電開発に対する地域における社会的受容性の要因分析－柳津西山地熱発電所と小国地熱発電所計画を事例として

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ceispapers/ceis27/0/ceis27\\_283/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ceispapers/ceis27/0/ceis27_283/_pdf/-char/ja)

馬場健司・高津宏明・鬼頭未沙子・河合裕子・則武透子・増原直樹・木村道徳・田中充

地熱資源をめぐる発電と温泉利用の共生に向けたステークホルダー分析－大分県別府市の事例－

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sesj/28/4/28\\_316/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sesj/28/4/28_316/_pdf/-char/ja)

エネルギー庁

地熱資源開発の現状について

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/pdf/022\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/022_04_00.pdf)

日本地熱協会

地熱発電の現状と課題

[https://www.ena.or.jp/?fname=gec\\_2021\\_1\\_14.pdf](https://www.ena.or.jp/?fname=gec_2021_1_14.pdf)

一般財団法人新エネルギー財団

超臨海地熱発電への期待

[https://www.nef.or.jp/keyword/ta/articles\\_chi\\_08.html](https://www.nef.or.jp/keyword/ta/articles_chi_08.html)