

現地調査に基づく地熱発電利用の現状と課題へのアプローチ

宮城県古川黎明高等学校

川原田希 大場友輔 矢島晶輝 菊地湊人

1. はじめに

宮城県大崎地域の鳴子地区は、古くから豊富な湯量・泉質の温泉地として全国的に有名である。その一方で、昭和 50 年に全国で 4 番目となる地熱発電所が稼働するなど、地熱エネルギーの活用にも積極的な取り組みが見られる。私たちは、地域の特色である「地熱資源の有効活用」について調査・学習している。その中で、地熱発電には発電コストの低さや環境への負荷の低さなど大きな利点がある一方、日本では資源量の割に普及率が低いという事実を知った。

持続可能な社会を構築するためには、地熱エネルギーの活用は必須ともいえる。私たちは、地域特有のエネルギー資源である地熱発電について、実習や調査を通して、その現状や課題に、科学的にアプローチすることから始めようと本研究に至った。

2. 目的

- 1) 現地見学や参考文献をもとに地熱エネルギーとその活用について現状と課題を明確にする。
- 2) 地熱エネルギーのさらなる活用へ向けた科学的なアプローチを見出す。
- 3) 地熱エネルギーに関する社会的関心を高めるため、エネルギー教育を行う。

3. 日本の地熱発電施設（現地視察）

松川地熱発電所（岩手県八幡平市）2020年8月23日

日本初の商用地熱発電施設という歴史的視点と比較的近場にあるという点から見学を行った。発電施設の奥に冷却塔、手前に広報館が見える。広報館内には実際に使用されていたタービンが展示されていた（図①②）。

- ・日本で唯一「ドライスチーム方式」を採用している。
- ・日本初の地熱発電所として、1966年（昭和41年）に運転を開始した。
- ・日本では珍しく、松川地域が蒸気卓越型貯留層（地下の地熱貯留層に存在するのが気体）を形成している。
- ・営業開始から現在まで、生産井を新設することで、蒸気を確保している。一度掘ったら終わりでは無く、生産される蒸気の量は時間の経過と共に徐々に減ってくる。
- ・還元井及び関連施設が不要で、敷地内にコンパクトにまとまっている印象を受けた。



図① 冷却塔および広報館



図② 発電に使用されていたタービン

松尾八幡平地熱発電所（岩手県八幡平市）2020年8月23日

日本で最も新しい地熱発電所であり、現代型の地熱発電所であったため見学した。

- ・「シングルフラッシュ方式」を採用している。
- ・生産基地・発電基地ともに、コンパクトに収容されていて景観を損なう印象はなかった。
- ・生産基地・発電基地をつなぐ蒸気と熱水を運ぶ2本のパイプラインが車道に沿って設置されていた。

・日本で初めての軸流排気型タービン。(以下、メリット。)

- ①排気損失を低減でき、効率的である。
- ②復水器を含め平面配置にできるため、建設費用が大幅に削減することができる。
- ③基礎コンクリート及び建屋容積の削減により、現地工事費用などの削減が可能になっている。



図③ 発電基地



図④ 生産基地

旅館「すがわら」バイナリー発電 (宮城県大崎市) 2021年8月2日

宮城県の事業として行われている民間バイナリー発電事業であったため見学を行った。

- ・メンテナンス等にコストがかかり利益を出すのに時間がかかる。
- ・設備などを海外から輸入しなければならず修理に長時間有する。
- ・温室設備や不凍池、融雪など温泉熱が周囲で利用されていた。



図⑤ バイナリー施設全体図



図⑥ 温泉熱を用いた乾燥室

4. 地熱発電の種類

現在商用の地熱発電として機能しているの発電方法は4つある(表1)。

表1 発電方法の比較

発電方法	採用条件	メリット	デメリット
ドライスチーム方式	蒸気卓越型地熱系	シンプルに発電可能である。	設置条件の整った土地が少ないこと。
シングルフラッシュ方式	地熱流体が気液二相流	蒸気と地熱流体がともに噴出する場所においても発電が可能となる。	ダブルフラッシュ方式よりも約20%発電出力が下がる。
ダブルフラッシュ方式	地熱流体が高温高圧	より高温の地熱流体が使用可能である。	還元する熱水の温度が低下し、還元井へのスケール付着が発生しやすくなり、保守修理費が増大すること。
バイナリー方式	地下の温度や圧力が比較的弱く熱水しか得られない、または地熱流体が150°C程度以下	熱湯の温度が低くても発電可能である。	地熱流体の配管内に不純物がたまることがあるためこまめなメンテナンスが必要となる。設備コストがかかる。

5. 実験

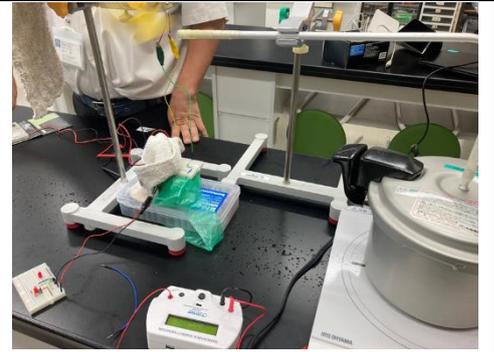
小型の地熱発電模型を用いて実験を行った。(表2)は蒸気によって発生する電圧と電流の測定結果である。蒸気吹き出し口付近と圧力鍋とビニルパイプの接合部分の部分で温度が低い。

表2 測定結果

V	1.8~1.9V
A	0.011A
W	0.0198W



図⑦ サーモグラフィーを用いた実験映像



図⑧ 実験風景

6. 日本の発電総量の現状と地熱発電との比較

国内における都道府県毎の発電種別出力。

国内の発電がどのように分布しているのか比較するため、地熱発電と地熱以外の発電出力を都道府県ごとにまとめた(図⑨~図⑭)。円の面積は年間あたりの電力量に対応する。

原子力発電、地熱発電を除いて、各発電所は各地に点在している。しかし一方では、地熱発電の分布地域は限定的であり地下に安定した熱水系が確保できる地域にしか分布していないことがわかる。原子力発電においても同様で、住民の同意やその他環境への配慮といった条件がそろわない限り今後の増加は見込まれないだろう。双方において、限定的な地域にしか建設できないことが各地に点在している主な要因である。



図⑨ 地熱発電



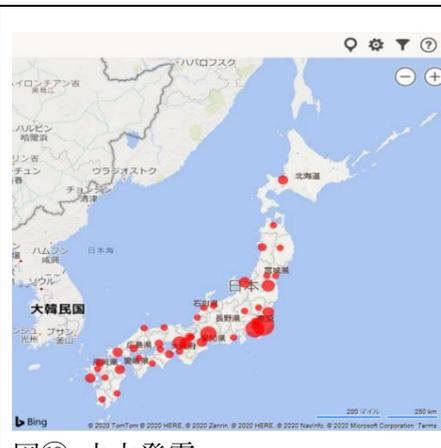
図⑩ 風力発電



図⑪ 水力発電



図⑫ 太陽光発電



図⑬ 火力発電



図⑭ 原子力発電

7. 世界における地熱エネルギーの利用

(表3)より、国毎に人口や面積が異なることを考慮し、地熱発電設備容量の人口比、面積比を算出した。アイ

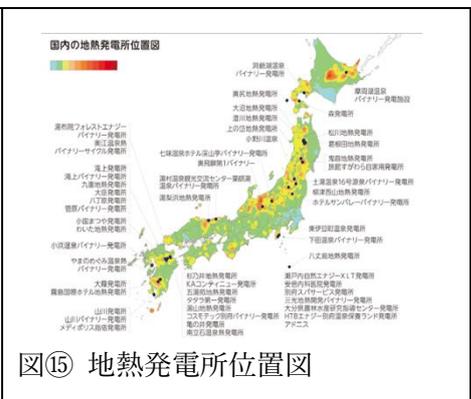
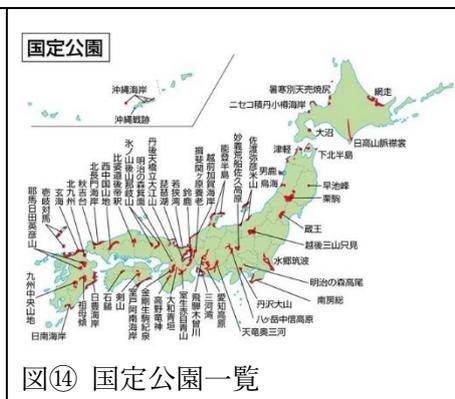
スランドの人口、面積比の設備容量が大きい。一方、日本は面積あたりの設備容量は大きいものの、人口あたりでは他国並である。この要因は、国民1人あたりの消費電力が大きいためと考える。このことから、地熱発電を持続可能なエネルギー源として活用できているかの指標には『設備容量の人口比』が適していると考えられる。地熱発電設備容量の人口比が高ければ高いほど、地熱資源を有効に活用している国と定義できるのではないだろうか。面積・人口比では、アイスランドやフィリピン、エルサルバドルの設備容量が大きい。日本は面積比で7番目である。今後の地熱発電所の整備について、島国で国土の面積も近いニュージーランドの地熱発電施設容量が1つの目安になるのではないかと考える。

表3 国別地熱発電設備容量比較

国	地熱発電設備容量 (MW) 2016年	人口 (万人) 2015年	面積 (万km)	MW/万人	MW/万km
アメリカ	3,596	32,141	983	0.112	3.66
フィリピン	1,917	10,156	30	0.189	63.90
インドネシア	1,401	25,546	191	0.055	7.34
ニュージーランド	971	459	27	2.115	35.96
イタリア	916	6,079	30	0.151	30.53
メキシコ	887	12,100	196	0.073	4.53
日本	544	12,806	38	0.042	14.32
アイスランド	665	32	10	20.781	66.50
エルサルバドル	204	646	2	0.316	102.00

8. 今後の地熱エネルギー活用に向けた日本の動向

日本国内には他国と比べ潤沢な地熱資源が埋蔵されている。しかし、ほとんどの地域が国立公園・自然公園に属している。これらの地熱埋蔵地域は、国立公園法の影響下であるため開発には制限がなされていた。2015年、日本政府は政策転嫁を発表した。従来の国立公園法を改正して、制限の緩和を行い、地熱発電を目的とした開発を局地的に認可したのだ。背景には、ベースロード電源として地熱発電の重要性を認めたのが大きい。2030年の長期エネルギー需給見通し実現に向け最大で約155万kWの導入目標（地熱発電容量）が掲げられた。その一方でバイナリー発電の増加には至っていない。要因として挙げられるのは、バイナリー発電の仕組みを誤解している温泉事業者が多いということだ。今後、温泉を含む観光地における住民や温泉事業者への丁寧な説明等を行う必要がある。



9. 地熱発電の課題

- ・電力供給の為に熱水系の発見と確保に時間や労力が多く必要となること。
- ・シングルフラッシュに使用する生産井と還元井の適正な位置の確保。
- ・掘削技術の向上とコスト削減。
- ・バイナリー方式に適した媒質、発電系の開発。
- ・発電系におけるエネルギー変換効率の良い発電法の開発。

10. おわりに

今後の模型を用いた研究について

- ・地熱発電模型の製作。
- ・適切なプロペラ（タービン）の形状。
- ・ノズル(生産井)の長さや太さなどの模索。
- ・地熱エネルギーに関する社会的関心を高めるため、エネルギー教育を行う。

地熱発電模型は、地元の小中学生へのエネルギー教育のために用いる。その後、範囲を拡大させて温泉事業者や地域住民といった人々に地熱発電について理解、関心を深めるために活動を実施する。

参考文献

- ・日本の地熱発電資源量と地熱発電設備容量
<https://wedge.ismedia.jp/articles/-/1904?page=3>
- ・国内の地熱発電所位置
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/shared/img/pq0e-2fh906xq.png>
- ・国立公園
<https://kotobank.jp/word/%E5%9B%BD%E7%AB%8B%E5%85%AC%E5%9C%92-64354>
- ・環境省_「2100年 未来の天気予報」(新作版)の公開について
<https://www.env.go.jp/press/107008.html>
- ・エネルギー問題と原子力 原子力発電の位置づけ - 関西電力
https://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/nowenergy/need.html
- ・大久保泰邦産業技術総合研究所
<http://mottainaisociety.org/pdf/archive/column1.pdf>
- ・「帝国書院 中学校社会科地図」
- ・タイナビ発電所 Web サイト
<https://www.tainavi-pp.com/investment/other/11/>
- ・2019 土木学会エネルギー委員会環境技術小委員会
「再生可能エネルギー開発の現状と課題報告書改訂版」
<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt6.pdf>
- ・国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101186.html