

研究指導 石光 真 教授

日本の地熱利用拡大に向けて

長嶺真衣 長谷川響花

1. はじめに — 研究動機・目的 —

2011年3月11日の東日本大震災における福島原子力発電事故以降、日本ではエネルギー資源の安定した確保が喫緊の課題となっている。また、現在の日本のエネルギー資源輸入依存度は約96%であり、今後もエネルギー資源を海外からの輸入に頼っている、輸入資源の価格高騰や、中東不安により安定供給が望めなくなるなどといった問題に対応できなくなってしまう。これを防ぐためには、国内で安定的なエネルギー資源を確保しなければならない。そこで我々は、日本に資源が豊富に存在するにもかかわらず、あまり有効活用されていない地熱発電に着目した。そこで我々は、日本に資源が豊富に存在するにもかかわらず、あまり有効活用されていない地熱発電に着目した。

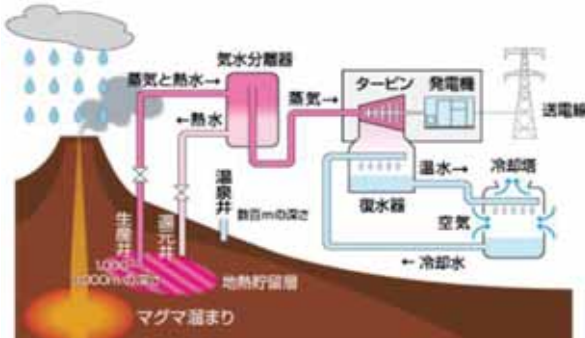
本研究では、地熱発電の現状と普及を妨げる問題点、そしてその解決案を調査・研究することを目的とする。

2. 地熱発電とは¹

地球内部に存在する熱を利用した発電方式。地下のマグマから地表に供給される熱などが地熱として利用される。

地下700～3,000m程の深い井戸(坑井)²を掘り、マグマの熱で熱くなった地下水をくみ上げて蒸気を取り出し、その蒸気でタービンを回して発電する。

図1 地熱発電の仕組み



出典 JOGMEC/地熱資源情報より引用

地熱の豊富な場所として最も一般的であるのが、プレートが衝突している場所や、プレートが一方の下に潜り込んだりしている場所である。このような場所でのプレート同士の押し合いや摩擦が、大きな熱エネルギーを生じさせる。

そのため、4つのプレートが複雑に重なり合っている日本は、地震大国であると同時に世界屈指の地熱エネルギー大国なのである。

¹ 細川 (2012) p.121～125

² 地下から蒸気や熱水を汲み上げる井戸を生産井、発電に利用した熱水を地下へ戻す井戸を還元井という。

3. 地熱発電の長所・短所

3.1 長所³

地熱発電の特長は以下の5つが挙げられる。

① 膨大な資源量

日本の純国産エネルギーである地熱資源量は電力量に換算して、2,300万kWである。アメリカの3,900万kW、インドネシアの2,700万kWに次ぐ世界第3位のポテンシャルを有している。

② 半永久的に利用が可能

マグマの熱は半永久的、かつ取り出した蒸気は冷却し水に還元した上で地下に戻すため、理論上は安定して利用できる。

③ 二酸化炭素の排出が極めて少ない

石油、石炭、天然ガスを利用する火力発電と異なり、燃焼による二酸化炭素はほとんど発生しない。

図2 各発電方式の二酸化炭素排出量



出典 地球温暖化を阻止せよ！より長谷川作成

④ 出力が安定している

季節・昼夜の区別なく地熱資源の採取が可能で、その他の再生可能エネルギーに比べ、設備利用率⁴が高い。常に一定の発電量を安定的に確保できることから、ベース電源⁵を担える。

図3 各発電方式の設備利用率



出典 資源エネルギー庁「再生可能エネルギーの導入を巡る事実関係」より長嶺作成

³ 細川 (2012) p.132～133

⁴ 発電所が、ある一定期間に実際に発電した電力量と、その期間休まず最大出力で発電し続けたと想定して算出される発電電力量に対する比率。稼働率を示す。

⁵ 常に一定の供給量を保つことのできる発電。

3.2 短所

① 開発リスク・コスト

● 開発リスク⁶

地熱発電における開発リスクとは、開発の結果、計画通りに蒸気量が確保できないなどのリスクを指す。また、坑井掘削位置の効率的な選定や運転後における地熱貯留層⁷の管理等に関して不確定な部分が残る。地熱発電は、その新たな開発に伴い、地下深部の調査を行い、発電計画の策定に必要なデータ等を収集する必要がある。しかし、地下にある地熱資源の構造等(地熱系モデル)を正確に構築することは容易ではなく、これを用いた地熱貯留層評価の予測値と実測値を一致させることは難しい。

こうしたリスクの存在は、開発事業者の意欲を減退させるとともに、新規参入者への大きな障壁の一つとなっている。

● 開発コスト

➢ 3万kWの発電所を建設する場合の開発コスト

開発にかかるコストは、合計で約258億5000万円の経費を要する。以上に加え、規模の経済の実現による建設コストの抑制も踏まえると、1万kWあたり131億円という試算になる。この額は他の発電方式に比べて非常に高い。

図4 3万kW発電所開発コスト内訳



出典 『トコトンやさしい地熱発電の本』⁸より長嶺作成

➢ 3万kWの発電所を建設する場合の建設期間

- 企業による調査…4年
- 噴出試験…1年
- 環境影響評価…4年
- 坑井の掘削…3年

以上のように、調査を行ってから発電所建設までに平均では約15年の歳月を要する。他の発電方式と異なり、この間の人件費や金利等が大きな負担となるのである。

アメリカでは地熱発電所建設まで約4~5年で済み、またニュージーランドでは、発電所建設のための掘削開始から稼働までは5年程度で済む。ニュージーランドで2008年に稼働した約10万kWのカウエラウ地熱発電所も、

試掘から5年で運用に至っている。この日本と外国の相違の原因となっているのが、許認可のスピードである。

諸外国と比較しても、日本の地熱開発の環境影響評価の基準は厳しく、時間がかかっている。1997年に成立した環境影響評価法での評価が必要かどうかの基準も、他の発電方式と比較して、より小規模なものまで対象として制定されており、その評価にかかる時間も長い。これらのことも事業者の負担となり、地熱開発への意欲を減退させる大きな要因となっている。

② 自然公園法などの規制

自然公園法とは、日本の「優れた自然の風景地を保護するとともに、その利用の増進を図ることにより、国民の保健、休養及び教化に資するとともに、生物の多様性の確保に寄与することを目的とする」⁹法律である。国立公園・国定公園・都道府県立自然公園の3種類の自然公園を定めている。

日本の地熱資源の7割から8割が自然公園内にあるが、国立公園や国定公園など国が指定する自然公園の中では、一部を除き発電所の建設が認められていない。したがって、現在までなかなか資源開発を進めることができなかったのである。

③ 温泉へ与える影響

地熱開発は、地下から熱水や水蒸気を汲み上げて発電に利用しているため、周辺温泉の湧出量の減少や温泉源の枯渇などといった影響が懸念されている。

開発の際、地元の温泉業者の理解が得られないことから地熱発電所の建設計画が中止となった例もあり、熊本・大分県境の小国地熱発電所、大分県別府の伽藍岳地熱発電所、岐阜県下呂の御岳地熱発電所などがそれにあたる。

表1 地熱発電が温泉へ影響を示した例

温泉地帯・地熱発電所	被害状況
イタリア・ラルデレロ地区	幅15km、長さ23kmの温泉源のほとんどが全滅
アメリカ・ネバダ州	間欠泉が停止
ニュージーランド・ワイラケイ地熱発電所周辺	自噴地域の完全なる破壊
岩手県松川地熱発電所	周辺温泉で泉温、水位ともに低下
秋田県大沼地熱発電所	トロコ温泉で自噴が完全停止 大沼温泉は発電開始時点で枯渇
岩手県葛根田地熱発電所	大きな地滑り
宮城県鬼頭地熱発電所	間欠泉が停止
大分県大岳地熱発電所、八丁原地熱発電所	温泉の泉温、湧出量の低下

出典 近藤浩正「我が国地熱政策の転換と開発の展望」¹⁰より長谷川作成

⁶ 地熱発電に関する研究会 中間報告

⁷ 地下深部のマグマにより熱せられた地下水が蓄えられている地層や岩層。

⁸ 内田・當舎 (2012) p.98

⁹ 自然公園法 (昭和三十二年六月一日法律第百六十一号) 第一章 総則 第一条

¹⁰ 近藤 (2012) p.6

④ シリカスケール¹¹

地中熱により温められた地下水が溜まっている地下貯留層から、熱水や蒸気を汲み上げたり、使用後の熱水を再び貯留層へ戻したりする際に使われるのが生産井と還元井である。シリカスケールの付着は、これらのパイプの減衰等の原因にもなるため、数年ごとに新しいパイプの補充が必要となる。これは、開発コスト増加の要因の一つともなっている。

4. 地熱発電の変遷

4.1 地熱発電の歴史

日本の地熱開発は大正時代から始まり、今日に至るまで地熱発電にとって不利な条件の下にあったのである。

表2 地熱政策の変遷

1904年	イタリアのラルデレロで世界初の地熱発電が行われた。
1921年	東京電灯株式会社 ¹² が国内初の地熱発電に成功。
1965年頃	発電燃料として石油が大量に輸入されるようになり、新規発電所の建設が中止される。
1973・1979年	オイルショック後、地熱発電は再び拡大。
1980年代	「サンシャイン計画 ¹³ 」で地熱を推進し、掘削補助金制度、開発費補助金制度が開始。→国内の地熱発電の設備容量は倍増
1980年代後半	石油に代わる発電燃料として原子力が推進される。
1993年	「サンシャイン計画」を引き継いだ「ニューサンシャイン計画 ¹⁴ 」の中で、地熱発電への研究開発費は徐々に減っていった。
1997年	「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネルギー法) ¹⁵ 」制定。地熱エネルギーが国の推進する「新エネルギー」の中に含まれず、開発の対象として外された。
2003年	「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法) ¹⁶ 」が施行。地熱発電は小規模で一定の方式に適用が限定され、大規模発電所は対象外とされていた。

出典 近藤浩正「我が国地熱政策の転換と開発の展望」¹⁷より長谷川作成

11 シリカ=二酸化珪素。パイプの内側につく湯あか。
 12 東京電力株式会社の前身とも言える、日本発の電力会社。
 13 新エネルギー技術開発計画。石油に替わるクリーンなエネルギーの安定供給を実現するため、太陽、地熱、石炭、水素等の技術開発推進を目的としてスタートしたプロジェクト。
 14 サンシャイン計画と前後してスタートしたムーンライト計画(省エネ技術開発計画、地球環境技術開発計画)を統合・発展させた計画。
 15 新エネルギー利用等を総合的に推進するための基本的な方針を策定・公表した法律。
 16 電力会社に一定割合で再生可能エネルギーの導入を義務づける制度。
 17 近藤 (2012) p.3

これまでの日本は地熱発電技術で世界をリードしており、2010年の世界のメーカー別設備容量は日本のメーカー(三菱重工業・東芝・富士電機)が世界のシェアの約7割を占めていた。しかし、再生可能エネルギー推進の対象から外されてしまった結果、日本の地熱研究・開発は停滞し、シェアに占める割合も他国に遅れをとってしまい、世界一の座から滑り落ちてしまっている現状である。¹⁸

4.2 現状

日本の地熱資源量は2,300万kWと世界3位の多さであるにもかかわらず、設備容量¹⁹は50万kW(世界第8位)と小さい。国内の総発電量に占める割合も、0.3%と小さい値に止まっている。

図5 世界各国の主な地熱資源量と設備容量



出典 JOGMEG/地熱資源情報より長嶺作成

また純国産資源であるため、石油や天然ガスなどの枯渇性エネルギー²⁰のように価格高騰することもなく、二酸化炭素の排出量も少ない。東日本大震災と原子力発電所事故後の再生可能エネルギー利用の見直しにあたり、地熱発電への関心が再び高まってきている。

5. 問題点の解決

5.1 問題点への対策

① 開発リスク・コストへの対策²¹

● 開発リスクへの対策

地熱発電の開発リスクを低減させるには、精度・信頼性の高いデータの整備等が必要である。しかし、現在の最新の探査技術を用いても、未だデータの精度に欠けているという現状である。

この問題については、今後の探査技術の進歩に頼る部分が多い。

● 開発コストへの対策

地熱発電の開発コスト増加要因には、以下の点が挙げられる。

18 内田・當舎 (2012) p.22~23
 19 発電所が、ある一定期間に実際に発電した電力量と、その期間休まず最大出力で発電し続けたと想定して算出される発電電力量に対する比率。
 20 石油など、長い時間をかけて生成され、一度使うと無くなってしまいうエネルギー。⇨再生可能エネルギー
 21 資源エネルギー庁 (2009)、安達正敏 (2009)

- 地中の熱水や蒸気量の調査・掘削費用。
- 開発のリードタイムが長く、その間の金利や人件費がかかる。

これらは地熱の開発においてのみ見られる特徴でもあり、初期投資は他の発電方法と比較して大きくなる。しかし、地熱発電は他の発電方法よりも設備利用率が高いため、減価償却が済めば発電コストは安くなる。九州電力の八丁原地熱発電所などは既に減価償却を終えており、発電コストは約7円/kWhとなっている。太陽光など他の自然エネルギーと比べて安く、化石燃料と大差のないコストを実現させることが可能である。

表3 各発電方式の1kWh当たり発電単価(2010年)

発電方式	発電コスト(円/kWh)
太陽光発電(住宅用)	33.4~38.3円/kWh
木質バイオマス発電(木質専焼)	17.4~32.2円/kWh
水力発電	10.6円/kWh
風力発電(陸上風力)	9.9~17.3円/kWh
石炭火力	9.5~9.7円/kWh
地熱	9.2円/kWh
原子力	8.9円/kWh

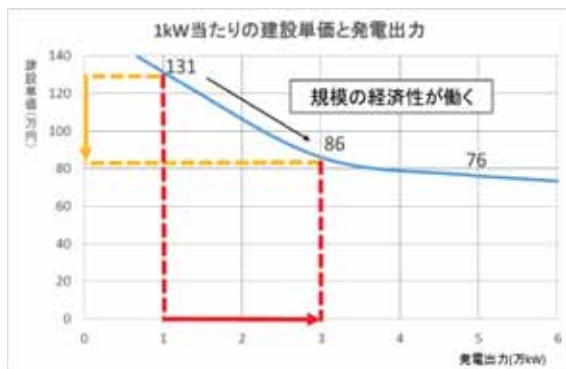
出典 アジアバイオマスエネルギー協力推進オフィス(新エネルギー財団)より長谷川作成

また、規模の経済の実現によるコスト低減が可能であり、その結果は以下の通りである。

表4 初期投資費用の変化

1万kW	約131億円
3万kW	約258億5000万円
5万kW	約379億円

図6 規模の経済性



出典 日経ビジネス(2012/5/17)より長谷川作成

さらに、技術開発によるコストの削減も必要であり、その方法として以下の3つが挙げられる。²²

- (1) 正確な坑井を掘削するためのMWD技術²³、地熱貯留層の位置や規模・能力を評価する探査技術の改善による掘削成功率の向上
- (2) 貯留層管理技術の進展による利用率の向上

²² 内田・當舎 (2012) p.110~111

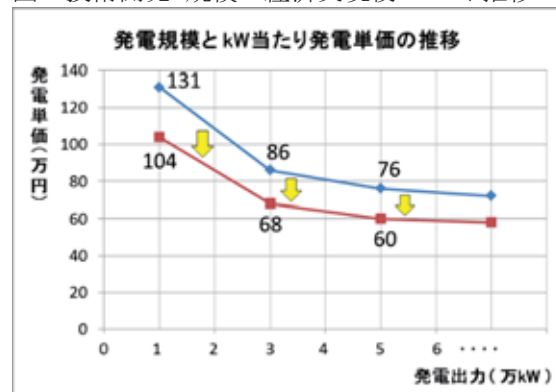
²³ 油井、ガス井の掘削において必要なデータ(坑井の方位・傾斜に関するデータ等)を取得するために、掘削しながらこれらのデータを地上に伝送するダウンホールツールシステム。

- (3) スケール抑制技術の開発、透水性の改善、坑井シミュレータの開発による蒸気出力の増大。そしてこれらの技術開発に成功したとすると、以下のコスト削減が可能になる。

- (1) 掘削成功率の向上
成功率70%→80%になると4%のコスト減
- (2) 利用率の向上
利用率80%→90%になると12%のコスト減
- (3) 坑井の蒸気出力の増大
平均的な生産井の減衰率は6%
減衰率6%→4%になると5%のコスト減

これらのコスト削減に成功したとして、表4を元に試算すると、1万kWの場合は27億510万円、3万kWの場合は54億2850万円、5万kWの場合は79億590万円、また発電単価当たり約26%のコスト削減が可能である。

図7 技術開発・規模の経済実現後のコスト推移



出典 長嶺試算・作成

さらに、地熱事業者の参入促進のためには、諸外国よりも厳しく時間のかかる環境影響評価の見直しや、政府による費用軽減のための支援も不可欠である。インドネシアでは近年、地熱発電に力を入れ始めており、開発企業の費用負担を軽減させるために、初期調査の掘削費用を政府が一時的に負担する地熱ファンドの費用を予算として計上している。²⁴

このような経済的支援は国内でも導入され始めており、大分県では温泉熱発電の事業化を支援する「おおいた自然エネルギーファンド」が創設・運営されている。²⁵このファンドは、地熱の導入拡大と県経済の活性化を図るため、参入を目指す温泉事業者に対し、資金面に加え泉源の調査から事業運営までをサポートしている。温泉事業者は発電した電力を九州電力に売電して収入を得、その売電収入の一部をファンドの出資者が分配金として受け取るという形式で運営されている。

② 自然公園法などの規制緩和

東日本大震災以降、再生可能エネルギーを大幅導入する必要性が一層高まっており、自然公園法の規制緩和が始められた。

²⁴ 独立行政法人国際協力機構 JICA 新卒採用サイト

²⁵ 大分合同新聞社 iota-press (2013/3/2)

平成24年3月に環境省から発表された「国立・国定公園内における地熱発電の取扱いについて」²⁶では、国立・国定公園内の中でも自然環境保護の重要度が高くない地域であれば、条件付きで発電所の建設が認められるようになった。その条件の1つが、後に記述しているバイナリー発電である。

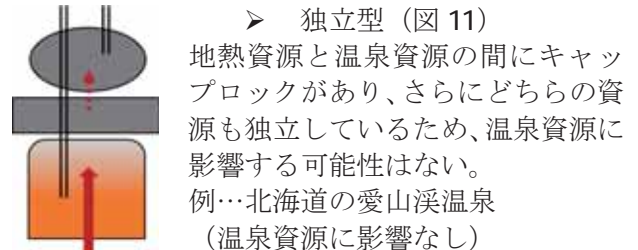
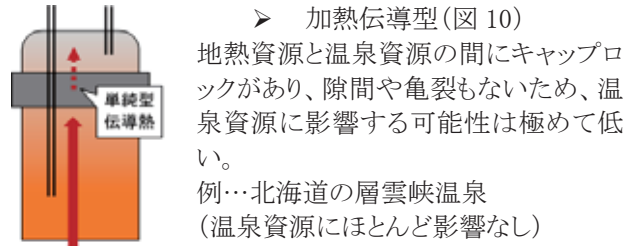
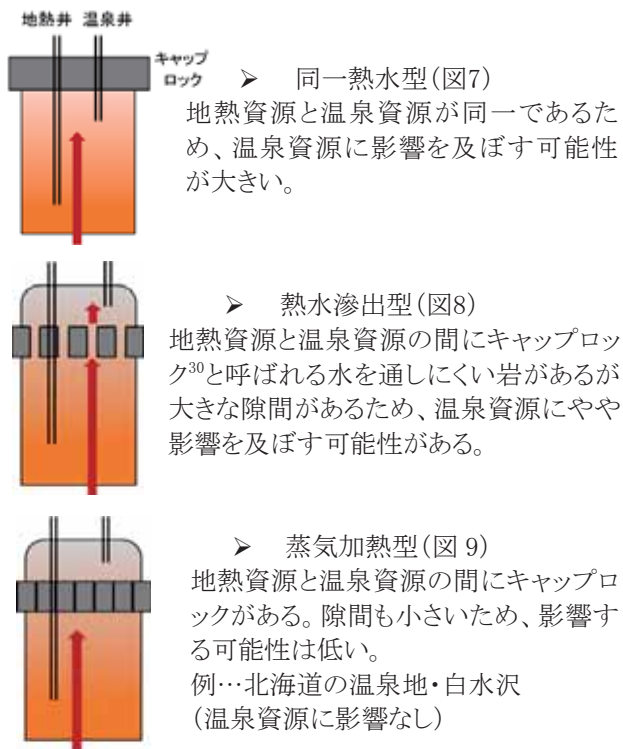
また、現在、出力3万kW以上の大規模な開発計画が全国14ヶ所で進行中である。²⁷

③ 温泉へ与える影響への対策²⁸

地熱と温泉の共存を図り、健全な地域エネルギーの開発をするためには、どのように影響が及ぶか、または及ばないかを客観的に判断するためのモニタリング²⁹の実施が必要となる。

地熱貯留層の中で温泉資源となっているのは主に貯留層の浅部であり、発電資源は貯留層の深部より汲み上げている。地熱開発事業者の中には、地熱資源と温泉資源の距離が離れていれば両者は影響を及ぼさないという意見も出されているが、地下は連動しているため、深部の影響が浅部に及ぶ可能性がある。また、その地下資源の流体モデルにはいくつかの種類があり、それらの構造により温泉への影響の大きさが異なる。

図7～11 地熱資源の流体モデル



出典 『トコトンやさしい地熱発電の本』³¹より長嶺作成

以上のように、地熱資源には多くのタイプがあり、単純な地下の深さや距離の違いからでは、影響の有無を判断することはできない。環境保全や温泉との共存を図るためには、それぞれのモデルに合わせて発電規模や発電方式を変える等、各モデルに適した技術や対策を講じることが重要である。

④ シリカスケールへの対策³²

地熱発電の生産井などのパイプは運転中にシリカスケールの付着等で詰まることがあり、発電所の出力低下の要因となっている。この対策費用は、地熱発電のコスト面に大きな影響を与える。

スケールの対策として一般的なものは、パイプのメンテナンスや新規のパイプを作ることである。スケール抑制・溶解などの技術もあるが、この技術については熱水性状によって、(1)効果が限定的である (2)採算が合わないなどの理由により確立した技術であるとは言えない。

県内の柳津西山地熱発電所では、2～3年に1本ほど新たな井戸を補充している。詰まっても出力が落ちるだけで、どれも使ってはいるとのことである。

5.2 地熱開発促進のための新技術

5.2.1 バイナリー発電³³

● バイナリー発電とは

地熱発電の発電方式の一つで、バイナリーサイクル発電、バイナリーサイクルとも呼ばれる。地下から取り出した蒸気・熱水で、水より沸点の低い液体(ペンタンなど)を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービンを回して発電する。従来方式では利用できない低温の蒸気・熱水を利用することが可能である。

²⁶ 環境省 (2012)

²⁷ スマートジャパン (2013/6/19)

²⁸ 内田・當舎 (2012) p.88～89

²⁹ 試料採取・分析・評価解析や地熱発電所の蒸気井の挙動など

³⁰ 地熱貯留層の上部に、層を覆うように存在している水を通しにくい層。地下水に溶け込んでいる成分が結晶化し、その周囲の岩を、水を通しにくい層にすると考えられている。

³¹ 内田・當舎 (2012) p.89

³² 富士電機技報 (2013)

³³ 秋田 (2013)

2008年に独立行政法人産業技術総合研究所により推計された地熱資源量評価では、温度150℃以上の浅部高温熱水系は、約2,347万kW(現在の技術と規制緩和により開発可能な量)とされている。また、その後の2011年に環境省により推計された資源量は150℃以上で2,360万kW、120～150℃で108万kW、53～120℃で849万kWとされ、合計では3,310万kWという数値となっている。そしてこの内、あまりにも小規模な源泉を除き、開発可能と考えられる温泉について設備容量の算定を行う(カーナサイクル³⁴を前提とする)と、日本の温泉の熱を利用した温泉発電のポテンシャルは72.2万kWと推計される。

また、バイナリー発電には以下のような長所と短所が挙げられる。

長所

- ▶ 熱水などの資源が、深く掘削しなくても見つかる可能性があり、温泉程度の中低温水でも発電できる。
- ▶ すでに湧出している温泉などを利用でき、新たな環境負荷も小さく、温泉の湯量にも影響を与えないとされる。

短所

- ▶ 所内率³⁵が高い(20～15%)。
- ▶ 沸点の低い物質、アンモニア・ペンタン・フロンなどを使うには安全性と環境性に問題がある。

● バイナリー発電の採算性

温泉バイナリー発電は、その発電規模やボイラー・タービン主任技術者(使う媒体により設置が義務づけられる)の要不要により採算が異なる。

地熱技術開発株式会社が検討している固定価格買取制度(FIT)³⁶を導入した温泉バイナリー発電の事業性によると、温泉バイナリー発電事業の設備投資単価がkWあたり100万円台になれば、ボイラー・タービン主任技術者の必要とする場合の発電も一定の採算が取れると推計されている(内部利益率15年間のIRRを6.0%とする)。

温泉バイナリー発電は、太陽光や風力などと比べると発電機だけでなく周辺機器³⁷が多い。また、日本の地形は高低差が激しいうえに温泉地は山間などが多く、狭隘な場所に設置する際の設置費用等も必要となる。これら費用等を含めた全体の設備投資費用が100万円台/kWになれば、発電事業として固定価格買取制度の下で事業の採算性が確保されると言われているが、国産の温泉バイナリー発電用の小型発電機はまだ開発途中である。

● バイナリー発電の温泉地での利用

温泉地などにおいて、直接入浴に利用するには高温すぎる温泉の熱を50℃程度の温度に下げるとき、一般的な方法となるのが水を混ぜて温度を下げる方法である。バイナリー発電では、この余剰の熱エネルギーを利用して発電することも可能になる。

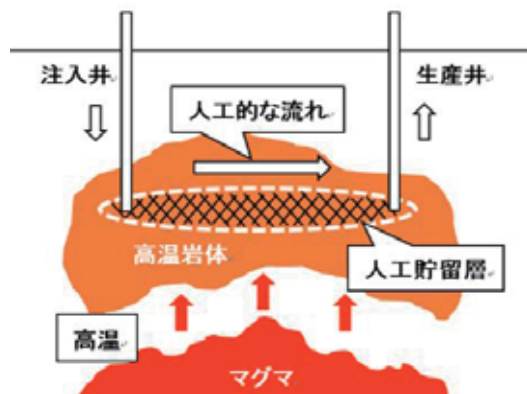
バイナリー発電は、発電能力は小さいものの、発電に有する面積は比較的小規模で済む。また熱水の熱交換利用をするだけなので、既存温泉の源泉の湯温調節設備として設置すれば、源泉の枯渇問題とは無関係に発電が行える。

設備容量300kWの発電機を全国の温泉施設に併設すると、約659万kWの電力を発電することができる。これは2万kWの地熱発電所329基分にあたり、日本国内の設備容量の12倍となる。

5.2.2 高温岩体発電³⁸

還元された熱水が生産井の方へ回らず、地下貯留層の中で循環がうまくいかないという問題も生じている。そこで政府が始めた研究が、EGSという人工的に地下貯留層を作り出す新技術を用いた高温岩体発電方式である。

図12 高温岩体発電方式の仕組み



出典 一般財団法人経済研究所より長嶺作成

地下深部にある高温の岩に圧力をかけて粉碎し、そこにできた空間に水を流し込んで地熱貯留層を人工的に形成する技術である。この技術が確立されれば、理論的には非常に大きな地熱貯留層を人工的に形成することができ、今まで貯留層の大きさに左右されてきた発電出力の調整が可能となる。しかし、未だ開発の成否は不明であり、原発の代替電源とまで期待するには至らない。

5.3 世界各国の地熱発電

5.3.1 アイスランド³⁹

アイスランドでは、国内を南北に走る活火山帯の中に高温資源が存在し、高温地帯32ヵ所が確認されている。また低温資源は火山帯の側面に存在しており、250の

34 アンモニアを媒体とするバイナリー発電の仕組み。
 35 発電した電力量の内、その発電所内の電力を賄う電力量の比率。通常の火力発電所での所内率は10%以下。
 36 再生可能エネルギー(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス)を用いて発電された電気を、一定価格で電気事業者が買い取ることを義務付けた制度。
 37 蒸発器、再生器、凝縮器等。

38 近藤、秋田(2013) P.6
 39 NEDO 海外レポート(2007)、寺坂一洋(2012) P.15

低温地帯に600ヵ所の温泉がある。そしてその熱水や高温蒸気がエネルギーとして多様に利用されている。

図13 アイスランドの電力構成比率(2011年)



出典 みずほ情報総研より長嶺作成

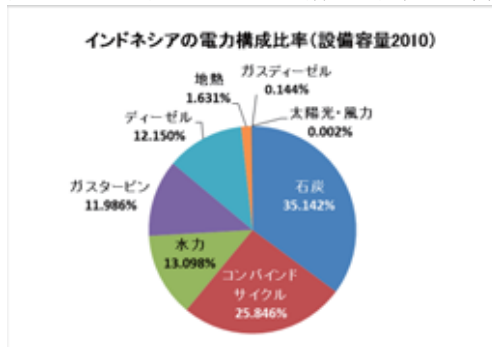
1970年代のオイルショック時にエネルギー政策意識を変え、再生可能エネルギーである水力と地熱に力を入れていくことにした。そして、主要エネルギーのほとんどを地熱と水力で賄うまでに至ったのである。アイスランドでも地熱開発と自然保護の共存には苦労しているが、国立公園近く建設された事例もある。またデザイン性にも力を入れており、観光地としても成立している。

5.3.2 インドネシア⁴⁰

インドネシアは、2020年までに2005年比で温暖化ガス排出量を26%削減するという目標を掲げ、この政府方針に一致している地熱資源に着目した。

2010年の世界地熱会議の冒頭では総額約50億ドルに及ぶ12の地熱関連事業の契約書が調印されるなど、政府目標達成に向けた動きが次々と具体化している。2005年に策定した大規模な地熱開発の行程表では、2005年の857MWから2025年時点で9500MWまで地熱発電容量を拡大する計画である。

図14 インドネシアの電力構成比率(2010年)



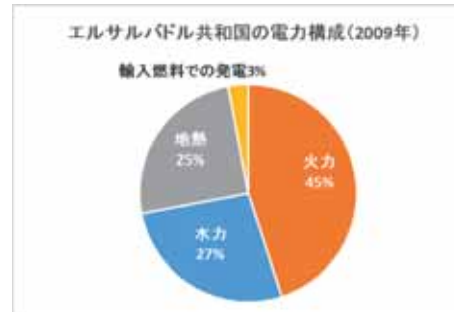
出典 原子力百科事典ATOMICAより長嶺作成

5.3.3 エルサルバドル⁴¹

エルサルバドルの地熱発電所として、ベルリン地熱発電所とアウアチャパン地熱発電所の2ヶ所の地熱発電所が稼働している。

近年、エルサルバドルの電力需要の伸びが顕著であり、同国の電力構成は火力発電の依存度が高い。温室効果ガスの排出削減が求められている中、燃料価格の高騰に伴い、化石燃料純輸入国であるエルサルバドルは再生可能エネルギーの導入を拡大する必要性に迫られている。

図15 エルサルバドルの電力構成比率(2009年)



出典 経済産業省「平成23年度民活インフラ案件形成等調」より長嶺作成

1996年の水力発電以外の発電及び供給分野の自由化以降、電力需要の伸びを火力発電で補ってきたため、電源を輸入燃料に著しく依存するという問題が生じている。今後は地熱発電や太陽熱発電のような再生可能エネルギーを利用した電源の開発が重要視されており、エネルギーマスタープラン⁴²の策定が計画されている。同政策では、再生可能エネルギーの利用拡大が盛り込まれる予定である。

5.4 日本各地の取り組み

国内では、規制緩和と固定価格買取制度の導入を受け、バイナリー発電を中心に各地で地熱発電の導入や検討が始まっている。

新潟県松之山温泉⁴³では、環境省委託事業で、定格出力:87kW(年間発電量は一般家庭100世帯分程度の使用電力量に相当)の温泉バイナリー発電装置を設置して、2011年12月から実証実験が行われており、福島県福島市土湯温泉、鹿児島県指宿市内の九州電力山川発電所内等では、バイナリー発電の実証実験への準備が進められている。

また、大分県九重町の八丁原地熱発電所⁴⁴では、構内にバイナリー発電設備(発電出力2,000kW)を設置し、平成16年2月に実証試験を開始している。平成18年4月には実用化され、事業用としては国内唯一のバイナリー発電設備である。

さらに、九州電力は2013年11月22日、大分県九重町菅原地区に地熱発電所を新設すると発表した。⁴⁵バイナリー方式で、発電出力は5000kW、2014年3月に着工し、15年3月に稼働する計画である。地熱バイナリーとして

⁴⁰ 原子力百科事典 ATOMICA (2013)、DIR アイジアンインサイト「地熱発電大国へと突き進むインドネシア」(2011/7/1)

⁴¹ 経済産業省 (2012)

⁴² エネルギーの基本的な方針として位置付けられる計画。

⁴³ 新潟県ホームページ

⁴⁴ 九州電力ホームページ

⁴⁵ 日本経済新聞 (2013/11/23)

は、九電の八丁原バイナリー発電所の2000kWを上回り、国内では最大出力となる。

5.5 福島県内での取り組み

5.5.1 磐梯・吾妻・安達太良地区地熱発電計画⁴⁶

福島県の磐梯・吾妻・安達太良地区で、出光興産などが発電容量 27 万 kW の地熱発電所を設置する計画が進んでいる。既に調査地域の自治体が開発に合意しており、経済産業省も調査費を補助して支援している。

約1年かけて磐梯山周辺地域の約 80km²、約 20 カ所で発電に用いる源泉の湯量や温度などを調べ、稼働までは試掘や環境影響評価、建設作業などで 10 年ほどかかる見通し。

5.5.2 福島市土湯温泉⁴⁷

福島市土湯温泉町は「磐梯朝日国立公園」内に位置しており、地区の高齢化や東日本大震災による風評被害や源泉・建物の損壊により消滅の危機に瀕していた。そこで再生可能エネルギーを活用できるエコタウンの形成を謳い、温泉熱を利用する「バイナリー発電」に着目した。平成 23 年度に湯量や得られる電力の調査を済ませ、平成 25 年に着工、26 年の稼働を目指し、現在はバイナリー発電施設的设计準備を進めている。

発電した電気は固定価格買取制度を利用して売電するが、200kW1 基の試算では初期投資 3 億円強の 9 割以上を借入金で賄うため、回収には約 11 年かかると試算されている(買取制度の収入のみを前提とする)。しかし、規模が拡大できればスケールメリットにより投資回収期間はかなり短縮されると見られる。

6. 終わりに 一 地熱発電の今後の展望と課題一

これまで述べたように、日本には世界に誇れる地熱資源が豊富に存在しているにもかかわらず、現状では環境・技術が整っていないために、その資源を十分に活用できていない。東日本大震災によるエネルギー利用の見直しや、近年の地熱開発における規制緩和の影響を受け、国内では安全・安定した電力の獲得や地域振興を狙った地熱開発に対する気運が高まってきている。

環境省の発表では、以下の表の前提に基づき、地熱発電の導入量を推計すると、2050 年には 743~792 万 kW の導入が見込まれている。

表 5 地熱発電の導入見込量の考え方

2020 年	現在開発に関する動向が確認されている地点を導入候補地点とし、さらに 2020 年までに運転開始が見込まれる地点の開発を見込む。
2030 年	地熱開発促進調査地点は全量開発が進むものとし、温泉発電は 2050 年の低位ケースの目標に達するよう支援を行うことを想定。

⁴⁶ SankeiBiz (2013/9/21)

⁴⁷ 土湯温泉町でのバイナリー発電を活用した地域再生 (福島県福島市)

2050 年	コントロール掘削を考慮した平成 22 年度環境省ポテンシャル調査における 150℃以上の温度区分のポテンシャル量を全量顕在化させることを想定。
--------	---

出典 環境省「再生可能エネルギーの導入見込量について」より長谷川作成

しかし、本研究の調査や試算の結果、今後も開発リスク・コストが地熱利用拡大の大きな妨げになると考えられる。これらの軽減のための開発技術の向上と政府による支援などがなされなければ、環境省の発表のような導入量の実現は難しいだろう。

参考文献及び URL

内田洋平・當舎利行『トコトンやさしい地熱発電の本』(日刊工業新聞社、2012)
 細川博昭『知っておきたい自然エネルギーの基礎知識』(サイエンス・アイ新書、2012)
 DIR アイジアンインサイト「地熱発電大国へと突き進むインドネシア」(2011/7/1)
http://www.dir.co.jp/consulting/asian_insight/110701.html
 安達正敏(2009)「地熱発電の経済性と開発リスク」
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90130b03j.pdf>
 板寺一洋(2012)「地熱発電と温泉資源との共存について」
http://kyushu.env.go.jp/earth/mat/m_2_1_4/0927ae.pdf
 一般財団法人日本経済研究所研究員レポート シリーズ「再生可能エネルギー：地熱利用の展望」
 第 1 回 近藤浩正(2012)「我が国地熱政策の転換と開発の展望」
http://www.jeri.or.jp/membership/pdf/research/research_12_10.pdf
 第 4 回 秋田涼子(2013)「温泉バイナリー発電の試み」
http://www.jeri.or.jp/membership/pdf/research/research_13_01_01.pdf
 第 6 回 近藤、秋田「地熱にどこまで期待できるか」
https://www.jeri.or.jp/membership/pdf/research/research_13_03_01.pdf
 大分合同新聞社 oita-press「大分 VC、温泉発電支援するファンド創設」(2013/3/2)
http://www.oita-press.co.jp/localNews/2013_136218446164.html
 環境省(2012)「国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて」
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19556&hou_id=15019
 環境省「再生可能エネルギーの導入見込み量について」
<http://www.env.go.jp/earth/report/h24-03/ref13.pdf>
 九州電力ホームページ
http://www.kyuden.co.jp/effort_geothermal_t_hattyoubaru.html
 経済産業省(2012)「平成 23 年度民活インフラ案件形成等調」
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E001987-1.pdf
 原子力百科事典 ATOMICA(2013)「インドネシアの国情およびエネルギー事情」
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=14-02-06-02
 資源エネルギー庁「再生可能エネルギーの導入を巡る事実

関係」

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/23th/23-3.pdf>

資源エネルギー庁(2009)「地熱発電に関する研究会
—中間報告—」

<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004561/g90609a01j.pdf>

資源エネルギー庁アジアバイオマスエネルギー協力推進オフィス(新エネルギー財団)

http://www.asiabiomass.jp/topics/1202_01.html

JOGMEC/地熱資源情報

<http://geothermal.jogmec.go.jp/geothermal/mechanism2.html>

スマートジャパン「動き始めた地熱発電、全国 14 か所で大規模な開発計画」(2013/6/19)

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1306/19/news015.html>

地球温暖化を阻止せよ!

http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0220a/contents/f02_06.html

土湯温泉町でのバイナリー発電を活用した地域再生(福島県福島市)

http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat4/sub-cat4-1/20130725_casebook_3-2.pdf

独立行政法人国際協力機構 JICA 新卒採用サイト

<http://www.jica.go.jp/recruit/shokuin/story/story01.html>

新潟県ホームページ(2012)「松之山温泉で行われているバイナリー地熱発電の実証実験について」

<http://www.pref.niigata.lg.jp/sangyoshinko/1328648444662.html>

日経ビジネス(2012/5/17)「地味な印象だが実力はピカイチの地熱発電」

<http://business.nikkeibp.co.jp/article/report/20120514/231981/?P=4>

日本経済新聞「九電、大分県で地熱発電所新設」(2013/11/23)

<http://www.nikkei.com/article/DGXNZO63012250S3A121C1LX0000/>

富士電機技報(2013)「地熱熱水利用バイナリー発電システムにおけるシリカスケール対策技術」

P.105http://www.fujielectric.co.jp/about/company/gihou_2013/pdf/86-02/FEJ-86-02-0102-2013.pdf

NEDO 海外レポート(2007)「アイスランドの再生可能エネルギー事情—水力と地熱」

<http://www.nedo.go.jp/content/100105208.pdf>

みずほ情報総研「世界新エネルギー地図 第27回:アイスランド共和国」

<http://www.mizuho-ir.co.jp/publication/contribution/2013/nikkeiecolgy01.html>

SankeiBiz「出光など 月内に本格調査開始 磐梯山で国内最大地熱発電」(2013/9/21)

<http://www.sankeibiz.jp/business/news/130921/bsd1309210800009-n1.htm>