

地熱発電の仕組みと動向

Mechanism and Current Status of Geothermal Power Generation



お やま ひろし
小 山 弘*

キーワード：地熱発電，再生可能エネルギー

1. はじめに

世界で初めて地熱エネルギーから電気を発生させたのは、1904年7月15日であると伝えられている。この日、イタリアのラルデレロにおいて地熱エネルギーにより5個の電球が灯ったことが記録されている¹⁾。これ以降、世界各地の地熱資源を有する国々では、その大地の恵みを活用して地熱発電を実施してきた。

日本では、1925年に大分県別府で1kWの地熱発電実験に成功したと記録されている²⁾。その後の開発は進まなかったが、1966年に岩手県松川で、1967年に大分県大岳で地熱発電所が完成して以来、1999年まで設備容量を伸ばしてきた。2000年に入って停滞期を迎えていたが、東日本大震災以降、純国産エネルギーとして再注目されている。

本稿では、地熱発電の特徴と仕組みについて解説した後、国内の地熱の動向について紹介する。

2. 地熱発電の特徴とその仕組み³⁾

地熱発電は、地中に存在する熱エネルギーを蒸気や熱水として取り出し発電に利用するものである。地熱エネルギーは再生可能エネルギーであり、そのエネルギーを利用して発電する地熱発電は水力、太陽光、風力と同様に、化石燃料を利用する発電方式に比べてCO₂の排出量が格段に少ない。

再生可能エネルギーの中でも地熱発電は、季節、天候、昼夜を問わず安定して電気を供給することが可能である。

このため、設備利用率は、風力20%、太陽光12%に対して、地熱は70%³⁾と突出している。また、風力、太陽光に比べてエネルギー密度が高く、前述のとおり設備利用率も高いことから、1kWh発電するために必要な設備・運用・保守等で間接的に発生するCO₂も少なく、ライフサイクルCO₂排出が非常に少ない再生可能エネルギーである。また、再生可能エネルギーの中でも高い利用率をもつことが可能で、ベースロード電源と成り得る発電システムである(図-1)。

高温のマグマ溜まりからの熱伝導により、熱せられた地下水が滞留しているエリアを地熱貯留層と呼ぶ。そこから井戸を通して取り出した地熱流体(熱水、蒸気)を使用して発電する方法を地熱発電という。その方式には2種類があり、地下から蒸気と熱水の混合流体(二相流)を

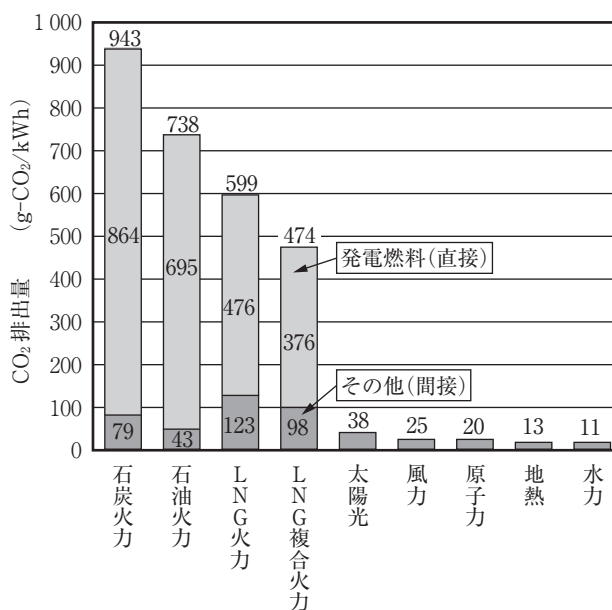


図-1 各種電源のライフサイクルCO₂排出量⁴⁾

*富士電機(株)火力・地熱プラント総合技術部

1977年11月生まれ、福岡県出身。2003年に富士電機(株)に入社。以来、火力・地熱発電に従事。

気水分離し、蒸気のみをタービンへ導いて発電するフラッシュ方式と、蒸気や熱水と水よりも沸点の低い媒体(低沸点媒体)を熱交換させて、この媒体の蒸気でタービンを駆動し、発電するバイナリー方式がある。

フラッシュ式発電の一般的な仕組みを図-2に示す。フラッシュ式発電では、地下の地熱貯留層から取り出した地熱流体を蒸気の形で利用して発電する方式である。蒸気は、地下にある地熱貯留層内で圧縮されて高温高压の水の状態で存在していると考えられている。この地熱貯留層にボーリング坑を掘削して、その高温高压の水を地上に取り出す。高温高压の水は地上に近づくにつれて圧力が下がり、蒸気と熱水の交じり合った混合流体となる。一般的に、この混合流体を2相流と呼ぶ。多くの場合、地熱流体は地上に2相流の状態ですく出する。このようにして地熱貯留層から地熱流体を取り出す井戸を生産井と呼び、その場所を生産基地と呼んでいる。生産基地で取り出された2相流体は、セパレータにより蒸気と熱水に分離される。この分離された蒸気のみをタービンへ導入し、発電する方式をフラッシュ方式と呼ぶ。タービンで蒸気の熱エネルギーを回転エネルギーへと変換することにより、タービンに接続された発電機を回転させて発電する。タービンで仕事を終えた蒸気(タービン排気)をそのまま大気へ放出する方式を「背圧式」と呼ぶ。一方で、タービン排気を復水器へ導き、凝縮水として回収し冷却水として使用する方式を「復水式」と呼ぶ。

一般的に背圧式タービンの排気は、排気配管を通してサイレンサへ接続され大気へ放出される。

復水式タービンの排気は、復水器へと導かれ、復水器で冷却水と熱交換されて凝縮する。凝縮水は温水ポンプにより冷却塔へ送られ、冷却塔で空気と熱交換することで冷やされる。冷やされた凝縮水は冷却水として復水器へ送られ、復水器でタービン排気を凝縮する

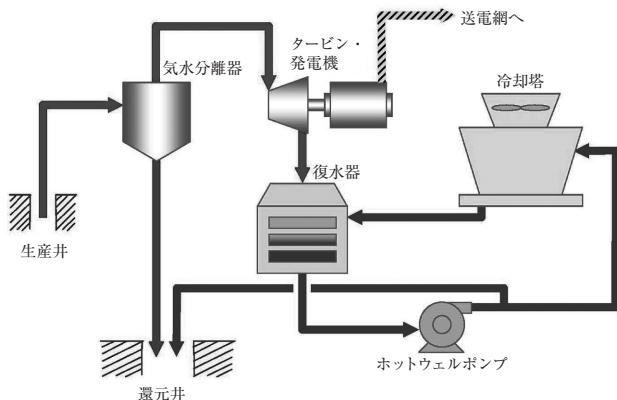


図-2 フラッシュ式発電の仕組み(復水式)

のに使用される。

地熱発電では、地熱流体から取り出した蒸気を使用するため、蒸気の中に不凝縮ガスが含まれる。蒸気の不凝縮ガス含有量は地熱資源によって異なり、コンマ数%から数十%に達する場合もある。復水器へ流入した不凝縮ガスは、冷却水と熱交換しても文字どおり凝縮せず、ガスの状態で復水器内に留まるため、復水器真空度を低下させ、発電量を低下させる。これを避けるため、ガス抽出設備を設置して復水器から不凝縮ガスを抽出する。抽出された不凝縮ガスは配管により冷却塔ファンスタックへと送られ、冷却塔ファンから排出される空気とともに上空へと放出される。これは、不凝縮ガスに硫化水素等の人体に対して有害な成分が含まれているため、空気とともに上空へ吹き上げることで、不凝縮ガスを大気中に拡散させるためである。

背圧式では、タービン排気を大気へ放出するため、タービン排気圧力は大気圧力よりも排気配管の圧力損失の分だけ高くなる。一方、復水式では、タービン排気を凝縮させることにより、大気圧と比べて非常に低い圧力(真空域)まで蒸気を膨張させるため、タービン内部での熱落差が大きく得られ、大気圧までしか膨張しない背圧式に比べ、より大きな出力が得られ、蒸気消費量も少なくなる。一方で、復水式は、上述のとおり、復水器や冷却塔、温水ポンプなどの付帯設備が必要となるため、背圧式に比べ広い敷地が必要となる。価格は復水器式のほうが高くなる。

バイナリー式とは、地熱流体から水より沸点の低い作動媒体に熱交換することによって得られる気体を用いてタービン等を駆動する方式である。地熱流体によるサイクルと沸点の低い作動媒体によるサイクルの二つから成るのでバイナリー式と呼ばれている。

バイナリー式は、低沸点媒体を用いることにより通常フラッシュ式に適用されない温度の低い地熱流体でも発電することができる。代表的なバイナリー式の仕組みを図-3に示す。

使用する低沸点媒体には、ノルマルペンタンに代表される炭化水素や、R134a等の代替フロン、水とアンモニアの混合流体などが使われる。この中でも水とアンモニアの混合流体を使用したものを特にカーリーナサイクル発電と呼んでいる。

生産井から取り出した熱水や蒸気と低沸点媒体を予熱器、蒸発器と呼ばれる熱交換器を用いて熱交換させて、低沸点媒体蒸気を作り、その低沸点媒体蒸気を用いて

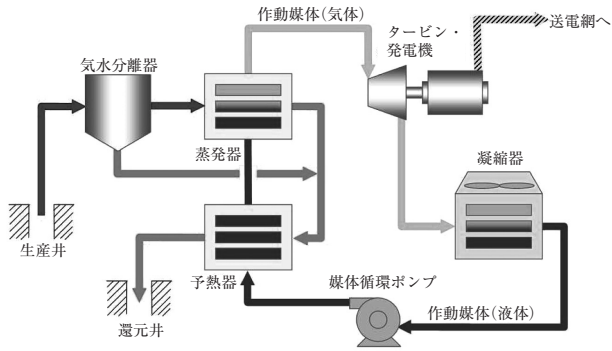


図-3 バイナリー式の仕組み

タービンを回し発電する。タービンで仕事をした低沸点媒体蒸気は凝縮器にて液化された後、ポンプにて再び予熱器、蒸発器へと送られる。一方で、予熱器、蒸発器で熱交換した地熱流体は、還元井に送られて地下へ戻される。

フラッシュ式は、発電に使用した地熱流体の一部を冷却塔などから大気へ放出するのに比べ、バイナリー式は地下から取り出した地熱流体のほぼ全量を地下へ還元することができる。

3. 地熱発電の国内動向

世界各国の地熱発電設備容量の10年間の変遷を表-1に示す。

この5年での設備容量の増加が大きいのは、インドネシア、ニュージーランド、ケニア、トルコである。特にケニアは3倍以上増加している。背景には国が地熱発電を伸ばすことを明言しており、積極的に取り組んでいることが挙げられる。国によって差異はあるが、世界全体の総設備容量は順調に伸びている。これは、石油価格の高騰や、CO₂排出削減、再生可能エネルギー活用に対する各国の施策が、推進力になっていると考えられる。

一方、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が(図-4)、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231GW⁶⁾に対して、地熱発電の比率は0.2%に過ぎない。

日本では、29地点で32台⁸⁾の地熱発電設備が稼働中であり、東北地方と九州地区に多く建設されている。

現存する地熱発電所の多くは、1966～1999年の間に建設され、2000年以降、大型の地熱発電所は建設されていなかったが、近年では、2015年4月から菅原バイナリー発電所⁸⁾(5000kW)が運転された他、山葵沢地熱

表-1 世界の地熱発電設備容量⁵⁾ (単位: MW)

	2005年	2010年	2015年
米国	2564	3093	3450
フィリピン	1930	1904	1870
インドネシア	797	1197	1340
メキシコ	953	958	1017
イタリア	791	843	916
ニュージーランド	435	628	1005
アイスランド	202	575	665
日本	535	536	526
エルサルバドル	151	204	204
ケニア	129	167	594
コスタリカ	163	166	207
ニカラグア	77	88	159
ロシア	79	82	82
トルコ	20	82	397
パプアニューギニア	6	56	50
グアテマラ	33	52	52
その他	68	86	101
	8933	10716	12635

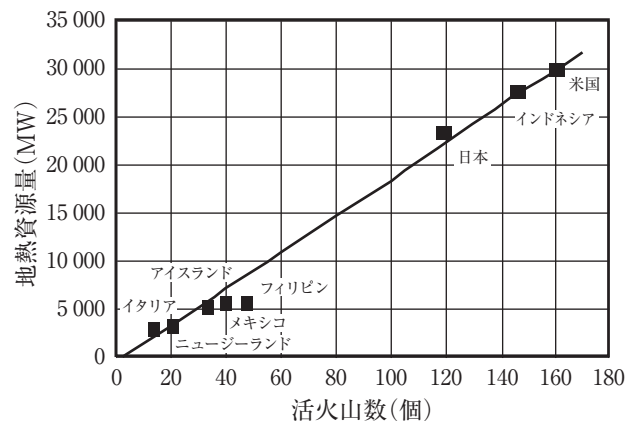


図-4 世界の地熱資源ポテンシャル⁷⁾

発電所⁹⁾(42MW)の建設が進められている。

2000年以降の地熱発電建設停滞の背景には、経済性の課題、資源の多くが国立公園内にあり自然公園法による規制があること、既存の温泉事業者との共存の実現が課題として挙げられてきた。

近年、CO₂の排出量が少なく、ベース電源になりえる純国産エネルギーとして地熱発電は注目されていたが、東日本大震災以降はその注目度も増して、上述の課題を解決して地熱発電の普及拡大に向けた政府や各省庁による検討が加速されている。

経済性の問題については、2012年7月1日に施行した「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」により、地熱発電に対しては15MW以上の発電所には26円(税抜)、15MW未満の

発電所には40円(税抜)の買取価格が定められ、一定の解決が図られたものと考えられる。また、資源エネルギー庁の下、地熱資源開発調査事業、地熱開発理解促進関連事業支援、地熱資源探査出資等事業、環境アセスメント調査早期実施実証事業、地熱発電技術研究開発といった地熱発電の普及・開発促進のための予算が組まれている。

国立公園や国定公園などの自然公園内での地熱開発に対しても、2012年3月27日の環境省通知以降、条件はあるものの自然公園内の一部では、地熱開発が認められる方向性が示された。2015年10月3日には先述の通知を上書きする形で環境省通知が発行されており、規制緩和の方向に進んでいる。

地熱開発を進めていく上で、既存の温泉事業者、地域住民から温泉への影響や地熱発電の安全性に対する不安の声も少なからずある。環境省は従来からある温泉資源の保護に関するガイドラインを地熱発電用の掘削に適用すべく2012年3月27日に「温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)」を通知した。このガイドラインの中で、地元の関係者との十分な協議を行うことなどを提案している。

一方で、最近では日本全国の温泉地で、浴用にするには温度が高すぎる温泉や豊富な湯量を活用して、温泉発電と呼ばれる数十kWから数百kWの小型の発電設備が計画されている。

この背景には、固定価格買取制度(FIT)の導入とともに、規制緩和が進んだことが要因の一つと推測される。従来、小規模の事業であっても大型の地熱発電と同様にボイラー・タービン主任技術者の選任、工事計画届出が義務付けられていたが、2011年4月及び2014年4月に小型のバイナリー発電については、一定の条件を満足すればこれらを不要とする改訂が行われた。

それ以降、大分県の瀬戸内自然エネルギー発電所(48kW)¹⁰⁾、熊本県の小国まつや発電所¹⁰⁾(50kW)などが相次いで建設され稼働している。今後も温泉発電が計画されているようであり、温泉発電のさらなる普及が期待される。

4. おわりに

2015年7月に経済産業省から発表された長期エネルギー需給見通しの中で、地熱発電は「安定的な運用が可能な電源」に位置付けられており、2030年度までに発電量を現在の約3倍にするとの方針が示された。これは非常に野心的な見通しである。地熱発電には地下の開発リスクや自然公園法により規制、既存の温泉事業者を始めとする地元との共生など、普及のためには解決しなければならない問題があるが、これらを克服し、火山国日本の有望な国産エネルギーとして地熱発電が真に全ての人から歓迎される電源として成長していくよう望むとともに、技術者としては課題克服に向けた技術開発を継続していかねばならないと改めて決意するものである。

参 考 文 献

- 1) Stories from a Heated Earth—Our Geothermal Heritage, 1999, GRC/IGA
- 2) 地熱発電の現状と動向(2014年), 火力原子力発電技術協会
- 3) 地熱ハンドブック, オーム社, 2014年2月刊行
- 4) 電中研プレスリリース, 2010年7月22日
- 5) R.Bertani: "Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report", Proceedings World Geothermal Congress 2015
- 6) 資源エネルギー庁ホームページ電力調査統計, 平成27年12月
- 7) 村岡(産業技術総合研究所): Gate Day Japan シンポジウム, 2009年8月5日
- 8) 九電みらいエネルギー(株)ホームページ
- 9) 湯沢地熱(株)ホームページ
- 10) 日本地熱協会パンフレット