

### 3.4.4 地熱発電

火山地帯の地下数 km～十数 km には岩石が溶融したマグマがあり、1,000℃以上の熱を放出して周辺に高温の地熱地帯を形成しています。地熱発電の熱源のほとんどは、地表から地熱地帯に侵入した雨水や海水が高温の熱水になり、地中深くに蓄えられている貯留槽です。地熱地帯の岩盤に強制的に注水し、人為的に貯留槽を作って地熱発電に利用する方法も開発されています。

地熱発電は地中の貯留槽から熱水を採取し、蒸気と熱水に分け、蒸気でタービンを回転させて発電する方法です。蒸気だけでなく熱水も発電に利用するバイナリー発電や、地下の高温岩体に強制的に水を注入し、発生する蒸気と熱水を採取して発電する高温岩体発電も開発されています。地熱発電のうち最も実績が多いのは、熱水とともに噴出する蒸気を熱源とするフラッシュ発電です。次

に多いのは、蒸気だけでなく残る熱水に含まれている熱も利用するバイナリー発電です。他の方式としては、潜在的な熱量が大きいことから技術開発が進められている高温岩体発電があります。しかし、まだ試験中の設備が多く商業規模の発電設備は稼働していません。

#### 1. フラッシュ発電

フラッシュ発電は、図1に示すように地下の貯留層から約 200～350℃の蒸気と熱水を採取し、気水分離器で蒸気と熱水を分離、その蒸気でタービンを回転させて発電する方法です。分離された温水は還元井と呼ばれる井戸を通して再び地下に戻されます。発電に使われた蒸気は復水器で低温の温水になり、さらに冷却塔で温度を下げて還元井に送られます。日本の地熱発電所のほとんどはフラッシュ発電ですが、分離した温水

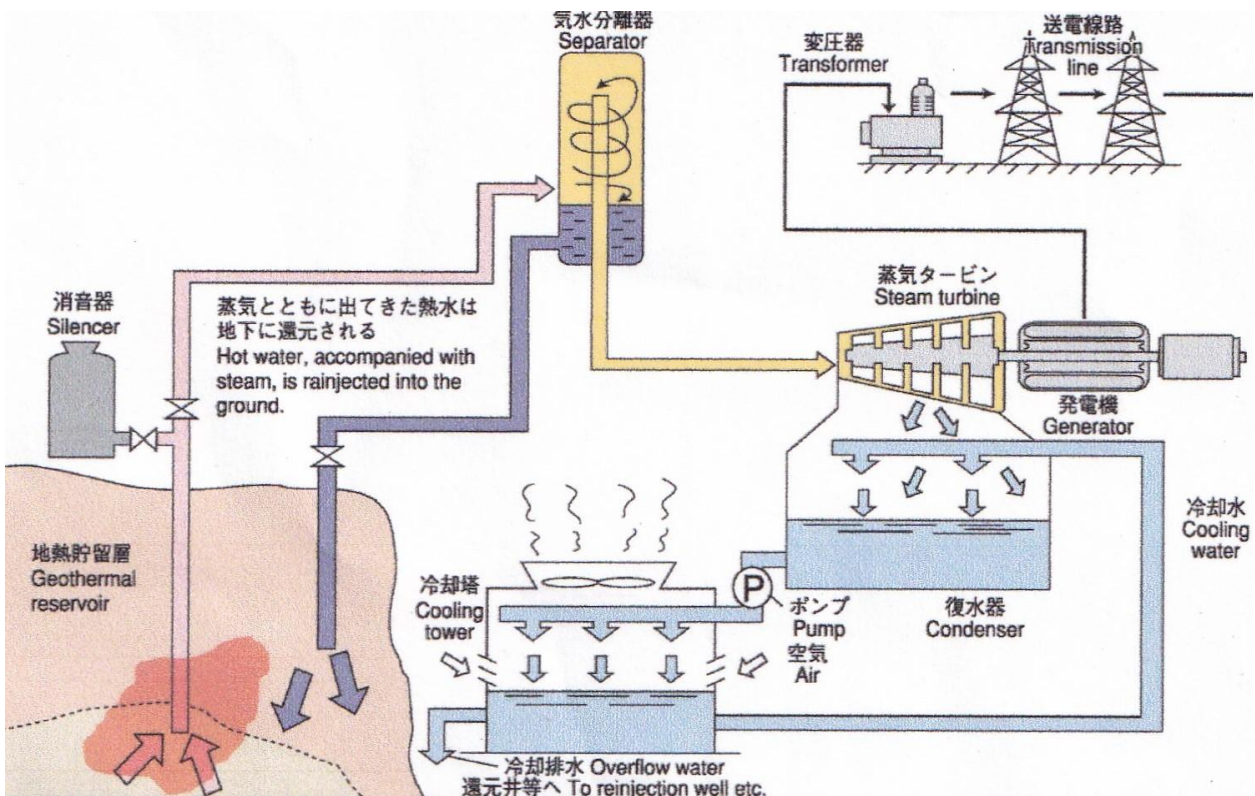


図1. フラッシュ方式の地熱発電 (出典: NEDO 再生可能エネルギー技術白書)

をもっと低圧の気水分離器に導いて蒸気とより低温の温水に分離し、タービンに送る蒸気を増やす方法も採用されています。前者をシングルフラッシュ方式、後者をダブルフラッシュ方式と呼んでいます。ダブルフラッシュ方式は、噴出する熱水と蒸気が高温高压の場合に採用され、出力をシングルフラッシュより増加させることができます。増加割合は熱水の温度と圧力によりますが、実績では約 2 割の増加が報告されています。なお多くはありませんが、坑口から蒸気のみを噴出する井戸もあります。その場合は気水分離器を設置せず、そのまま蒸気をタービンに送るのでドライスチーム方式と呼ばれています。

## 2. バイナリー発電方式

バイナリー発電方式は、水よりも低い温度で蒸発する熱媒体を利用し、フラッシュ発電では利用できなかった熱水や、フラッシュ発電の凝縮水か

らも電力を得る方法です。熱媒体にはアンモニアや、低沸点の炭化水素（プロパン、ブタン、ペンタン）が使用されます。図 2 がバイナリー発電の仕組みで、熱媒体は熱水を熱源とする蒸発器で加熱されて蒸気になり、タービンを回転させて発電します。タービンの下流には凝縮器を設置して熱媒体を液化させ、再び蒸発器に送って蒸気を発生させます。このようにバイナリー発電には、フラッシュ発電と熱媒体による発電の 2 種類の発電が含まれるので、バイナリー発電と呼ばれます。

バイナリー発電は地熱発電ではなく、熱水の深度が浅く、したがって温度が低い 120℃～140℃の温泉熱源にも利用されています。しかし温泉発電の出力は地熱発電より大幅に少ないにもかかわらず、外部に販売するには送電設備が必要です。また、出力の安定性が必須です。このため、温泉発電のほとんどが自家用で、外部から購入する商用電力の補助電源として使われています。

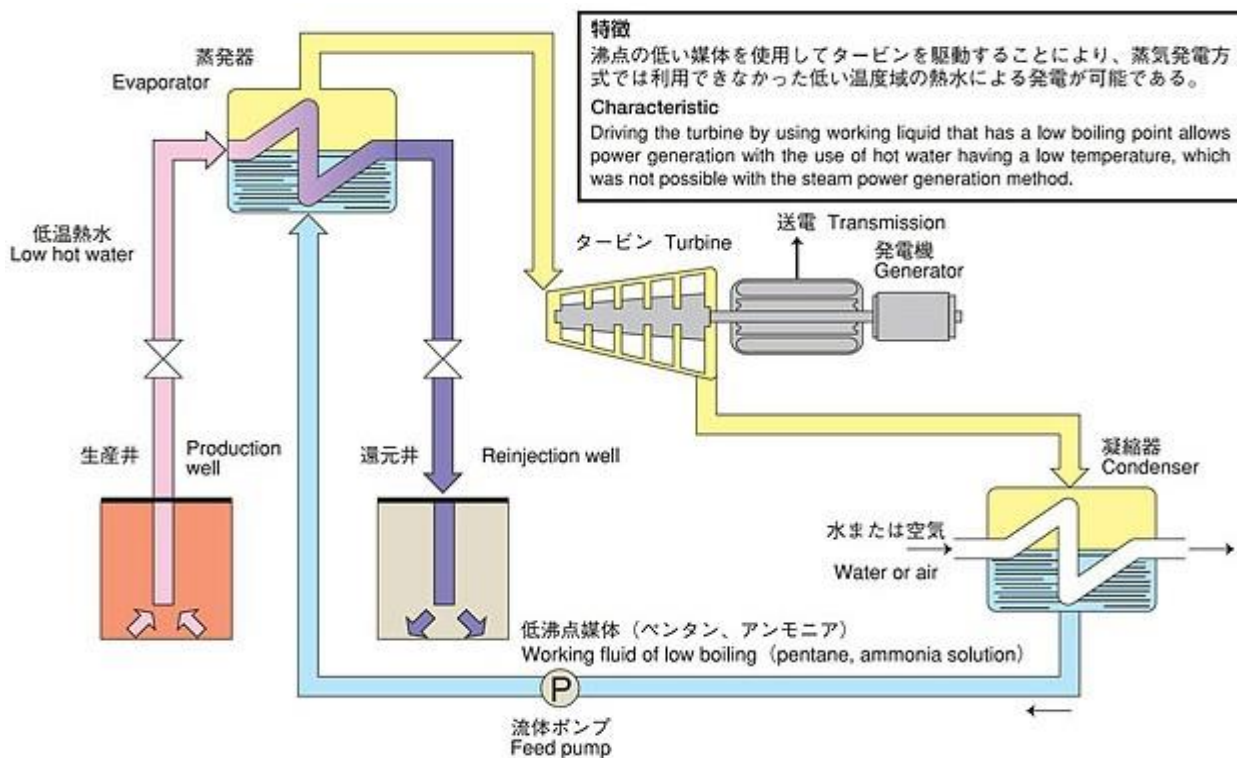


図 2. バイナリー方式の地熱発電 (出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書)

### 3. 高温岩体発電方式

高温岩体発電は、図3に示すようにマグマで加熱された高温の地下岩体に、2か所から抗井を掘ります。注入井からは水を注入して人工的に貯留槽を作り、生産井から熱水と蒸気を採取します。発電の方法はフラッシュ発電やバイナリー発電と同じで、発電に使われた蒸気は冷却されて温水になり注入井に送られます。通常は高温岩体が大きいので、注入井や生産井を増やせば得られる熱水も多くなりますが、井戸の掘削コストが高くなります。なお、注入水の一部は回収できず損失になります。高温岩体発電は抗井の掘削のために花崗岩を水圧破碎するので、掘削後に小地震が頻発する事例が報告されています。高圧で注水した後の岩体の割れ目の分布や、水の分布を調査するなど環境への影響を配慮する必要があります。高温岩体発電には日本だけでなく、アメリカ、オースト

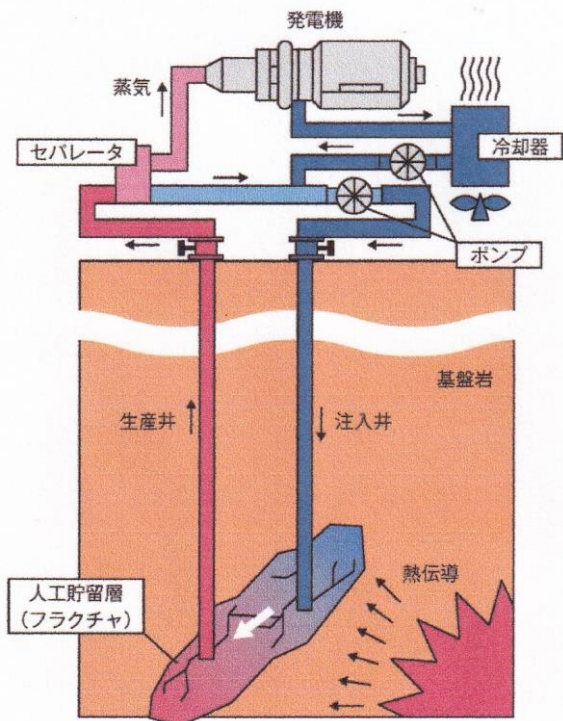


図3. 高温岩体地熱発電 (出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書)

リア、スイスなども関心を深めており、多くの開発プロジェクトが推進されています。

### 4. 世界の地熱発電状況

2015年の時点で、日本を含む26カ国が地熱発電を実施されており、海外では5万kW～10万kWの大規模な発電所が多く稼働しています。アメリカは世界最大の地熱発電国で、3450MWの設備容量を保有しています。次はフィリピンで1870MW、三番目は火山の多いインドネシアの1340MWです。図4に世界の地熱発電容量の比率を示しますが、日本は519MWで世界全体では第10位の設備容量です。

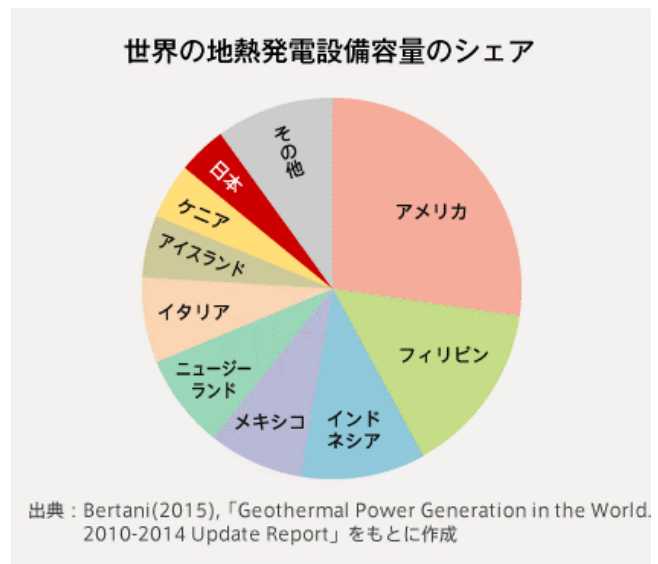


図4. 世界の地熱発電設備容量比率 (出典：日本地熱協会資料)

### 5. 日本の地熱発電状況

日本の地熱発電所を表1に示します。出力の規模は、数十kW～数万kWまで広く分布しています。表中の発電方式はSFがシングルフラッシュ、DFがダブルフラッシュ、Bがバイナリー発電、DSはドライスチームです。最右欄のFIT制度活

表 1. 日本の地熱発電所（出典：日本地熱協会 HP）

名称	所在地	発電	蒸気・熱水供給	発電端(認定)出力(kW)	発電方式	運転開始日	FIT制度活用の有無	
洞爺湖温泉バイナリー発電所	北海道洞爺湖町	洞爺湖町・洞爺湖温泉協同組合		72	B	2017.03.10		
森発電所	北海道 森町	北海道電力(株)		25,000	DF	1982.11.26		
松川地熱発電所	岩手県 八幡平市	東北水力地熱(株)		23,500	DS	1966.10.08		
葛根地熱発電所	岩手県 磐石町	東北電力(株)	東北水力地熱(株)	(1号)50,000	SF	1978.05.26		
				(2号)30,000	SF	1996.03.01		
鬼首地熱発電所	宮城県 大崎市	電源開発(株)		15,000	SF	1975.03.19		
大沼地熱発電所	秋田県 鹿角市	三菱マテリアル(株)		9,500	SF	1974.06.17		
澄川地熱発電所		東北電力(株)	三菱マテリアル(株)	50,000	SF	1995.03.02		
上の岱地熱発電所	秋田県 湯沢市	東北電力(株)	東北水力地熱(株)	28,800	SF	1994.03.04		
柳津西山地熱発電所	福島県 柳津町	東北電力(株)	奥会津地熱(株)	65,000	SF	1995.05.25		
土湯温泉16号源泉バイナリー発電所	福島県 福島市	つちゆ温泉エナジー(株)	遊湯つちゆ温泉協同組合	440(400)	B	2015.11.16	F	
ホテルサンパレーバイナリー発電所	栃木県 那須町	(株)ホテルサンパレー那須		20	B	2016.03.18		
八丈島地熱発電所	東京都 八丈町	東京電力(株)		3,300	SF	1999.03.25		
七味温泉ホテル溪山亭バイナリー発電所	長野県 高山村	七味温泉ホテル(株)		20(20)	B	2014.04.03	F	
東伊豆町温泉発電所	静岡県 東伊豆町	東伊豆町		3	B	2014.03		
湯村温泉観光交流センター薬師湯温泉バイナリー発電所	兵庫県 新温泉町	新温泉町	新温泉町湯財産区	40	B	2014.04.10		
湯梨浜地熱発電所	鳥取県 湯梨浜町	協和地建コンサルタント(株) 東郷温泉管理協同組合		20(20)	B	2015.10.05	F	
小浜温泉バイナリー発電所	長崎県 雲仙市	第1小浜バイナリー発電所(合)・光陽電機(株)		135(115)	B	2015.09.11	F	
小国まつや地熱発電所	熊本県 小国町	(合)小国まつや発電所		60(50)	B	2014.07.29	F	
わいた地熱発電所		(合)わいた会		2,000(1,995)	SF	2015.06.16	F	
杉乃井地熱発電所	大分県 別府市	(株)杉乃井ホテル		1,900	SF	2006.04.01		
KAコンティニュー発電所		KAコンティニュー(株)	(株)別府スパサービス	72(48)	B	2013.01.17	F	
五湯苑地熱発電所		西日本地熱発電(株)		144(92)	B	2014.01.17	F	
タタラ第一発電所		日本地熱興業(株)		72(49)	B	2014.07.08	F	
湯山地熱発電所		西日本地熱発電(株)		144(100)	B	2014.10.30	F	
コスモテック別府バイナリー発電所		(株)コスモテック	(株)別府スパサービス	500(400)	B	2014.11.30	F	
亀の井発電所		地熱ワールド工業(株)		11(11)	T	2015.02.27	F	
南立石温泉熱発電所		(株)平和建設		60(49)	B	2015.08.05	F	
瀬戸内自然エナジーXLT発電所		(株)瀬戸内自然エナジー	(株)別府スパサービス	125(110)	B	2015.10.25	F	
安倍内科医院		安倍内科医院		20(20)	B	2015.12.21	F	
湯布院フォレストエナジーバイナリー発電所		大分県 由布市	湯布院フォレストエナジー(株)		105(50)	B	2015.07.30	F
滝上発電所		大分県 九重町	九州電力(株)	出光大分地熱(株)	27,500	SF	1996.11.01	
滝上バイナリー発電所			出光大分地熱(株)		5,050(4,330)	B	2017.03.01	F
九重地熱発電所			(株)まきのとコーポレーション		990(990)	SF	2000.12.01	F
大岳発電所			九州電力(株)		12,500	SF	1967.08.12	
八丁原発電所	九州電力(株)		(1号)55,000	DF	1977.06.24			
			(2号)55,000	DF	1990.06.22			
			2,000	B	2006.04.01			
菅原バイナリー発電所	九電みらいエナジー(株)	九重町	5,000(4,400)	B	2015.06.29	F		
大霧発電所	鹿児島県 霧島市	九州電力(株)	日鉄鉱業(株)	30,000	SF	1996.03.01		
霧島国際ホテル地熱発電所	鹿児島県 指宿市	大和紡観光(株)		100	SF	2010.11.01		
山川発電所		九州電力(株)		25,960	SF	1995.03.01		
メディポリス指宿発電所		(株)メディポリスエナジー		1,580(1,410)	B	2015.02.18	F	

用の記号 F は、再生可能エネルギーによる発電の固定価格買取制度適用対象を示し、2024 年度で新設の場合、出力 15,000kW 以上で kW 時あたり 26 円となっています。適用期間は設置から 15 年です。  
(おわり)

参考：日本地熱協会 HP

NEDO 再生可能エネルギー技術白書  
資源エネルギー庁資料