

## 地熱エネルギー

エネルギー源としての地熱は、蒸気を利用した発電や熱を直接利用した温浴や暖房といった用途で活用されている。地熱発電は商用運転が開始されており、技術としては確立されているといえるが、利用可能範囲の拡大を目指し、さらなる技術開発が進められている。

日本の地熱資源量は世界第三位であるが、導入量は日本の資源量全体の2%程度に留まっている。この背景として、「長いリードタイム」、「開発リスクへの対応」「自然保護との両立」、「温泉関係者をはじめとする地元関係者の理解」といった要因が挙げられる。

### I 技術・エネルギーの説明

#### 1 全般

地熱エネルギーは、熱せられた水や蒸気を使用する地熱発電と温浴や暖房といった熱そのものの利用の2通りの方法で利用されている。

地熱発電は、地下から取り出した熱水や水蒸気を利用してタービンを回す発電方法である。地熱地帯の深さ数kmには、地中に浸透した雨がマグマ溜りによって熱せられ、高温の熱水として貯えられた「地熱貯留層」がある。地熱発電で利用する熱水や水蒸気は、この「地熱貯留層」から生産井と呼ばれるパイプを通して取り出す。地熱発電には、利用する熱水や水蒸気の温度帯等により主に4つの発電方式がある。一方、熱そのものを利用する場合は、いわゆる温泉や果実栽培や花卉栽培の暖房や地域暖房システム等の熱源として使われている。

#### 2 地熱発電

地熱発電の発電方式には、ドライスチーム方式、フラッシュ方式、バイナリー方式が実用化されている。このほか、将来的な実用化を目指し、高温岩体発電の開発が進んでいる（表1）。

表1 地熱発電の方式

	ドライスチーム方式	フラッシュ方式	バイナリー方式	高温岩体発電
温度帯	200～350℃	200～350℃	80～200℃	特になし
熱源	乾燥蒸気	熱水＋水蒸気	熱水＋水蒸気	熱水＋水蒸気
発電媒体	水蒸気	水蒸気	低沸点媒体	水蒸気
利用状況	世界	地熱発電の4分の1を占める	世界で最も実用化されている	米国、オーストリア、フランス、ドイツ、ポルトガル、ルーマニア、トルコ等で運用
	日本	松川地熱発電所（岩手県）が該当	国内の地熱発電所の多くが採用	八丁原バイナリー（大分県）、霧島地熱バイナリー（鹿児島）が該当

（注）温度帯については文献により幅がある。ここでは一例を示した。

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構「第7章 地熱発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.3-5. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>>; 中島英史「地熱発電の現状と今後」『石油・天然ガスレビュー』47巻1号, 2013.1, p.24; IEA, *Technology Roadmaps Geothermal Heat and Power*, Paris: IEA, 2011, p.15. <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal\\_Roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_Roadmap.pdf)>; L・D・ダニー・ハーヴェー（立木勝ほか訳）『カーボンフリーエネルギー事典』ガイアブックス, 2013, p.467.（原書名：L. D. Danny Harvey, *Carbon Free Energy Supply*）; 浦島邦子・和田潤「地域イノベーションと震災復興に寄与する地熱エネルギーの利用」『科学技術動向』2011年11・12月号, 2011.12, pp.17-18. <<http://www.nistep.go.jp/achievements/jpn/stfc/stt126j/report1.pdf>>ほかを基に筆者作成。

\*本稿の執筆時点は平成26年1月17日である。インターネット情報の最終アクセス日も平成26年1月17日である。

## (1) ドライスチーム方式

温度200～350℃程度かつ圧力8～9atmの乾燥蒸気を利用する。熱水をほとんど含まない蒸気を利用するため、熱水から水蒸気のみを分離する気水分離器（セパレーター）が必要ないほか、他の発電方式で必要となる熱水を地下に戻す「還元井」も必要がない。そのため、比較的容易な発電方式といえる。世界の地熱発電量の4分の1を作り出している。日本では松川地熱発電所（岩手県八幡平市）で運用されている。

## (2) フラッシュ方式

温度200～350℃程度の熱水と水蒸気を利用する。地熱貯留層から取り出した熱水と水蒸気を気水分離器で分離した後、得られた水蒸気を用いてタービンを回す（図1）。フラッシュ方式には、主にシングルフラッシュ方式とダブルフラッシュ方式がある。ダブルフラッシュ方式は、分離した熱水を低圧気水分離器に導いて再度熱水と水蒸気に分離して、利用する方式である。

フラッシュ方式は、世界で最も利用されている発電方式である。日本でも、現在国内の発電所の多くがシングルフラッシュ方式で発電をしている。

図1 フラッシュ方式のイメージ図

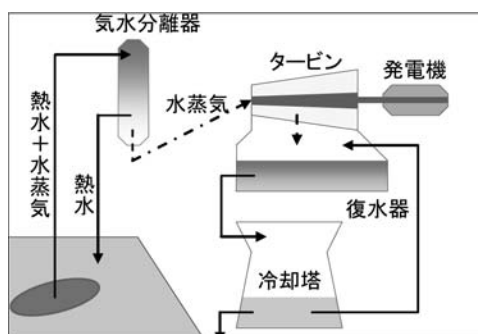
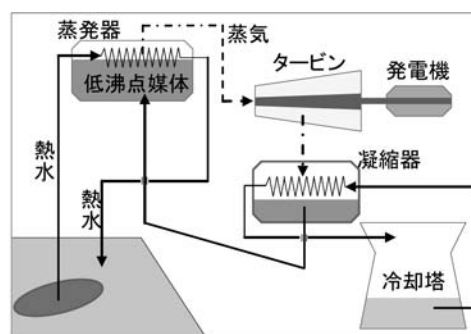


図2 バイナリー方式のイメージ図



（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構「第7章 地熱発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.3-4.  
<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>を基に筆者作成。

## (3) バイナリー方式

温度80～200℃程度の熱水や水蒸気を利用する場合に用いられる。水蒸気でタービンを直接回すことができないため、地下から取り出した熱水や水蒸気を使ってアンモニア等の低沸点媒体を加熱して、その蒸気でタービンを回す（図2）。なお、熱水や水蒸気の「熱源」と実際に発電に利用する「媒体」の2つの熱サイクルを利用して発電することから「バイナリー」と呼ばれている。

## (4) 高温岩体発電（Enhanced Geothermal System: EGS）

地下深くに高温の岩体が存在するものの、熱水や水蒸気がない場合に利用する方式として近年実用化に向けた実験が盛んに行われている。この方式では、地下深くの高温の岩体に人工的に空間を作り出し、パイプで水を送り込んで人工的に地熱貯留層を形成する。そのため、場所などの条件を問わずに地熱発電が行えることが利点である。なお、アメリカ・ドイツ・フランス・オーストラリアなどで実用化に向けた動きがみられる。

### 3 熱利用

熱として直接利用する場合は、一般には地熱発電で利用されるより低温の地熱資源が利用される。最も身近な例としては、温泉が挙げられる。このほか、温水プールの熱源としての利用や、室内暖房、温室加温、水産養殖池加温、工業利用、融雪といった用途に利用される。なお、地熱発電所で利用した蒸気を使って温水を作り、地域暖房や温室加温に利用する取り組みもある。

## II 技術動向・利用動向・将来動向

### 1 技術動向

地熱発電は、フラッシュ方式やバイナリー方式などが商用運転されていることから技術的には確立されているといえるが<sup>(1)</sup>、さらなる普及のために地熱探査技術の向上や貯留層管理技術等が重要である<sup>(2)</sup>。また、現在商用化されている技術に加え、さらに国内外では地熱の利用可能範囲を拡大するために技術開発が進められている<sup>(3)</sup>。

地熱発電には、主に表2に整理した4つの技術的課題がある。

表2 技術の課題

技術的課題	内容
地熱探査技術の向上	・開発リスクを低減させるためにも、地質調査や地化学調査、物理探査などの技術の精度向上は重要な課題である。
スケール対策技術の向上	・地熱流体から生じる析出物のことをスケールといい、発電設備へのスケールの付着は熱交換効率の低下や配管閉塞を引き起こす。多額の経費をスケール対策に割かなければならないため、低コストスケール対策が求められている。
貯留層管理	・貯留層の減衰を早めないためにも、地熱貯留層のポテンシャルに合わせたプラントの規模決定や運転が重要となっている。
耐食性の向上	・地熱流体は、設備等の物理的・電気化学的消耗を生じさせるため、地熱流体の特徴に応じた耐久性の強い材料の使用が望まれるが、コスト上昇に繋がることから、地熱流体の特性に応じた対策が求められている。

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第7章 地熱発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.42-44. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>>を基に筆者作成。

- (1) 例えば、中島英史「地熱発電の現状と今後」『石油・天然ガスレビュー』47巻1号, 2013.1, pp.24-25では、「大岳地熱発電所以降の国内の17か所の地熱発電所がいずれも熱水卓越型の発電所であることを考えると、気水分離器をはじめとする熱水卓越型の地熱発電技術の確立が地熱発電の普及に大きく貢献したと言え」とある（ここで、熱水卓越型の地熱発電技術とは、フラッシュ方式、ダブルフラッシュ方式、バイナリー方式を指す）。また、産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門地熱資源研究グループ『地熱 Q&A』<<http://unit.aist.go.jp/georesenv/geotherm/QandAJ.html>>では、バイナリー方式について「技術的にはほぼ確立されて」いるとしている。
- (2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第7章 地熱発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.42. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>>
- (3) 同上, p.42.

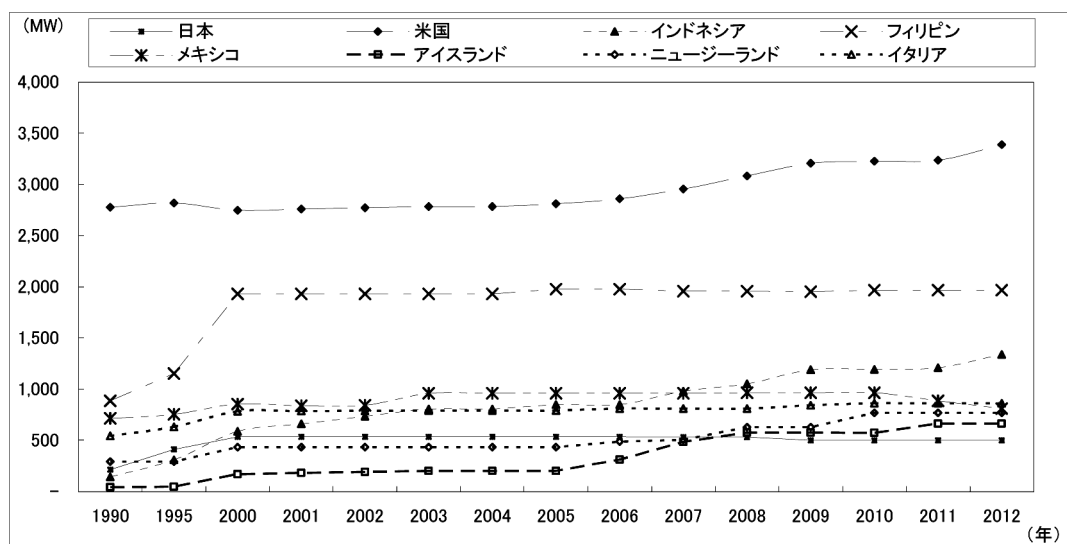
## 2 利用動向

### (1) 地熱発電

地熱発電設備容量の国際比較をみると、2012年度現在、米国、フィリピン、インドネシアの順で設備容量が大きい（図3）。2000年以降の動きをみると、米国、インドネシア、アイスランドの増加が顕著である。また、設備容量の増加と同時に、各国で年間総発電量も増えている。

世界一の地熱発電設備容量を誇る米国は、バイナリー方式の地熱発電の開発も積極的で、多くの商用プラントが稼動中である。2008年8月26日には、アイスランドのケブラヴィークにおいて、アイスランド、オーストラリア、アメリカの3か国間で地熱技術国際パートナーシップ（International Partnership for Geothermal Technology: IPGT）が締結された<sup>(4)</sup>。さらに2010年にはスイスが加盟、2011年にニュージーランドが参加するなど、2014年1月現在までに5か国に拡大し、国際協力を通じて地熱発電の技術開発が加速している<sup>(5)</sup>。

図3 地熱発電の設備容量の経年変化



（出典）BP, *Statistical Review of World Energy*, June, 2013. <<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-downloads.html>>を基に筆者作成。

日本でこれまでに開発されている地熱発電所は17か所、出力合計は515MW程度である（表3）。バイナリー方式の地熱発電所は、九州電力の八丁原バイナリー発電設備（2MW）のみである。なお、1999年の八丈島地熱発電所の運転開始以降、事業用の地熱発電所は新規立地がない<sup>(6)</sup>。

(4) “About IPGT,” 2013. 4. 10 International Partnership for Geothermal Technology Website <<http://www.internationalgeothermal.org/IPGT.html>>

(5) *ibid.*

(6) 全国旅館ホテル生活衛生同業組合連合会「地熱発電と温泉地との共生に関する調査報告書—地熱発電の現状と考察—【抜粋版】」2013. <<http://www.yadonet.ne.jp/member/manual/chinetsu.pdf>>

表3 日本の地熱発電所（2011年3月末時点）

用途	発電所名 (都道府県名)	発電部門	蒸気供給部門	認可出力 (kW)	発電 方式*	運転開始 年月
事業用	森 (北海道)	北海道電力 (株)	北海道電力 (株)	50,000	DF	1982.11
	<small>すみかわ</small> 澄川 (秋田)	東北電力 (株)	三菱マテリアル (株)	50,000	SF	1995.03
	松川 (岩手)	東北水力地熱 (株)	東北水力地熱 (株)	23,500	DS	1966.10
	<small>かつこんだ</small> 葛根田 (岩手)	東北電力 (株)	東北水力地熱 (株)	50,000 (1号) 30,000 (2号)	SF SF	1978.05 1996.03
	<small>うえ たい</small> 上の岱 (秋田)	東北電力 (株)	東北水力地熱 (株)	28,800	SF	1994.03
	<small>おにこうべ</small> 鬼首 (宮城)	電源開発 (株)	電源開発 (株)	15,000	SF	1975.03
	<small>やないづにしやま</small> 柳津西山 (福島)	東北電力 (株)	奥会津地熱 (株)	65,000	SF	1995.05
	八丈島 (東京)	東京電力 (株)	東京電力 (株)	3,300	SF	1999.03
	<small>おおたけ</small> 大岳 (大分)	九州電力 (株)	九州電力 (株)	12,500	SF	1967.08
	<small>はつちようぼる</small> 八丁原 (大分)	九州電力 (株)	九州電力 (株)	55,000 (1号) 55,000 (2号) 2,000 (バイナリー)	DF DF B	1977.06 1990.06 2006.04
	<small>たきがみ</small> 滝上 (大分)	九州電力 (株)	出光大分地熱 (株)	27,500	SF	1996.11
	大霧 (鹿児島)	九州電力 (株)	日鉄鹿児島地熱 (株)	30,000	SF	1996.03
	山川 (鹿児島)	九州電力 (株)	九州電力 (株)	30,000	SF	1995.03
	自家用	大沼 (秋田)	三菱マテリアル(株)	三菱マテリアル(株)	9,500	SF
杉乃井 (大分)		(株)杉乃井ホテル	(株)杉乃井ホテル	1,900	SF	2006.04
<small>くじゅう</small> 九重 (大分)		(合)九重観光ホテル	(合)九重観光ホテル	990	SF	1998.04
霧島国際ホテル (鹿児島)		大和紡観光(株)	大和紡観光 (株)	100	SF	2010.11
合計				540,090		

(\* ) DF:ダブルフラッシュ SF:シングルフラッシュ DS:ドライスチーム B:バイナリー

(出典) 一般社団法人 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向2012年」2013, p.4を基に筆者作成。

## (2) 熱利用

世界の地熱の直接利用による熱供給の状況用途別にみると、浴用・温水プール、室内暖房、温室加温の順で供給エネルギーが高い(表4)。なお、地中の温度と気温の差を利用した地中熱ヒートポンプは総論で言及しているため、ここでは詳細には扱わない。



表4 世界の地熱直接利用による熱供給の状況 (2010年時点)

用途	熱容量 (MWt)	供給エネルギー (TJ/年)	設備利用率
浴用・温水プール	6,689	109,032	0.52
室内暖房	5,391	62,984	0.37
温室加温	1,544	23,264	0.48
水産養殖池加温	653	11,521	0.56
工業利用	533	11,746	0.7
冷却/融雪	368	2,126	0.18
農業分野における乾燥	127	1,662	0.42
その他	41	956	0.73
合計	15,346	223,291	

地中熱ヒートポンプ (参考)	35,236	214,782	0.19
----------------	--------	---------	------

(出典) John W. Lund et al., "Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review," *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010*, p.3. <<http://geotermia.org.mx/geotermia/pdf/WorldUpdateDirect2010-Lund.pdf>> を基に筆者作成。

室内暖房としての利用については、フランスやアイスランド等で進んでいる。例えば、パリでは、55～70℃の熱水が深さ1～2kmに存在しており、これを利用した地域暖房システムが導入されている<sup>(7)</sup>。一方、アイスランドの首都レイキャビク市では、地熱発電所で利用した蒸気を地域暖房に利用している。近郊にあるネーシャベトル地熱発電所で発電に利用した蒸気を使って近くの湖の水を温め、約32kmのパイプラインで1秒あたり560リットルの熱水をレイキャビク市内に供給するという方式を採用している。玄武岩を繊維状にしたロックウールでパイプラインを断熱することで、輸送時の熱ロスを約1℃程度に抑えている。こうした熱利用によって、アイスランド全体の9割程度が地熱由来の暖房を利用している<sup>(8)</sup>。

一方、日本では、温泉としての利用以外の取組みとしては、地熱発電所の周囲に町が温室団地を整備し、農家に提供するという八丈島での取組みが挙げられる。ここでは、12月～3月の冬季に八丈島地熱発電所の排熱利用の温水が無償提供され、温室内の暖房に利用されている<sup>(9)</sup>。

なお、ヒートポンプを含めた地中熱利用は、米国と比較すると、日本ではほとんど導入が進んでいない<sup>(10)</sup>ものの、近年では、東京スカイツリー地区（東京都墨田区押上一丁目・二丁目の一部、約10.2ha）で地中熱を活用して熱供給を行っている事例<sup>(11)</sup>のような大規模な取組みもみられている。

(7) L・D・ダニー・ハーヴィー（立木勝ほか訳）『カーボンフリーエネルギー事典』ガイアブックス、2013、p.466。（原書名：L. D. Danny Harvey, *Carbon Free Energy Supply*）

(8) 環境省地熱発電事業に係る自然環境影響検討会（第3回）「参考資料-3 アイスランド調査結果」2011.10.3, pp.1,6,14. <[http://www.env.go.jp/nature/geothermal\\_power/conf/h2303/ref03-1.pdf](http://www.env.go.jp/nature/geothermal_power/conf/h2303/ref03-1.pdf)>

(9) 環境省地熱発電事業に係る自然環境影響検討会（第5回）「資料-1地熱発電事業に関する補足情報収集」2012.2.14, p.6. <[http://www.env.go.jp/nature/geothermal\\_power/conf/h2305/mat01.pdf](http://www.env.go.jp/nature/geothermal_power/conf/h2305/mat01.pdf)>

(10) ハーヴィー 前掲注(7), p.503. なお、ハーヴィー 前掲注(7), pp.487-488では、米国では60万台以上の地中熱ヒートポンプシステムの設置実績があることと比較して、日本においては「地中から熱抽出を行うための抗井の掘削コストおよび地中熱用ヒートポンプの価格が高いことに加え、電気料金と灯油との相対的な価格の関係により、石油ヒータの方が安上がりになることもある等により、導入が進んでいるとは言い難い」と述べている。

(11) 総合資源エネルギー調査会第29回基本問題委員会『『東京スカイツリー地区』熱供給（地域冷暖房）事業について』2012.7.11. <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/29th/29-1.pdf>>

### 3 将来動向

米国、インドネシア、フィリピン等は、地熱資源量が多いこともあり、大規模な開発目標を掲げて地熱発電の開発に積極的に取り組んでいる<sup>(12)</sup>。その中でもインドネシアは、開発目標をビジョンとして定めており、2010年時点では、2025年までには12,300MWを地熱発電で供給するとしている<sup>(13)</sup>。

一方日本では、1999年以後、新規立地がない状態が続いている（八丁原、杉乃井、霧島国際ホテルの地熱発電は、既存設備のリプレース）ものの、固定価格買取制度の設立をうけて、開発の機運が高まっている<sup>(14)</sup>。大規模な地熱発電に関しては、現在10件のプロジェクトが進行中であり、小規模な発電としては、温泉発電といわれる温泉地におけるバイナリー方式を利用した発電計画が数件進行している<sup>(15)</sup>。地熱発電は、太陽光や風力と比較すると安定的に発電することが可能であるため、安定的に一定量を供給する電源であるベース電源として一定の役割を果たすと考えられている<sup>(16)</sup>。

### Ⅲ 資源・エネルギーの賦存量・導入ポテンシャル

日本の地熱資源量は、23,000MWであり、米国、インドネシアに次いで世界第三位の地熱資源大国である（表5）。しかし、地熱発電導入量をみると、3,386MWの米国、1,339MWのインドネシアに対して、日本は502MWにとどまっており、資源を活かしきれていないといえる。導入が進まない要因としては、後述のように、リードタイムが長いことや、開発リスクがあること、自然保護との両立、温泉関係者をはじめとする地元関係者の理解が得られにくいことが指摘されている。

日本の導入ポテンシャルについては、環境省「平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」で推計されている。120℃以上の温度区分に関しては、コントロール掘削技術の活用を想定して、規制対象エリア内についても外縁部から1.5kmの範囲内は開発可能とした上で、推計を行った結果、熱水資源開発の導入ポテンシャルは150℃以上では6,360MW、120～150℃では330MW、53～120℃では7,510MWが見込まれるとされており<sup>(17)</sup>、その合計は14,200MWにのぼる。

(12) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 「8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2010, p.441. <<http://www.nedo.go.jp/content/100116325.pdf>>

(13) IEA, Technology Roadmaps Geothermal Heat and Power, 2011, p.38. <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal\\_Roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_Roadmap.pdf)>

(14) 経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部「平成25年度調達価格検討用基礎資料」2013.1.21, p.27. <[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/008\\_02\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/008_02_00.pdf)>

(15) 同上, p.27.

(16) ハーヴェー 前掲注(7), p.505.

(17) 環境省「平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」2011.3, p.204. <<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/index.html>>

表5 各国の地熱資源量

国名	地熱資源量 (単位：MW、2011年)	地熱発電導入量 (単位：MW、2012年)
米国	39,000	3,386
インドネシア	27,000	1,339
日本	23,000	502
フィリピン	6,000	1,968
メキシコ	6,000	812
アイスランド	5,800	665
ニュージーランド	3,700	769
イタリア	1,500	863

(出典) 村岡洋文「日本の地熱発電の現状と将来への期待」『OHM』98巻7号, 2011.7, p.33 ; BP, *Statistical Review of World Energy*, June, 2013. <<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-downloads.html>> を基に筆者作成。

#### IV 経済性

地熱発電に関するコストは、エネルギー・環境会議コスト等検証委員会の「コスト等検証委員会報告書」の試算によると、9.2～11.6円/kWh（割引率3%、設備利用率80%、稼働年数40年）であり（表6）、他に試算された石炭火力や風力等と比較しても高い水準にあるわけではない<sup>(18)</sup>。

表6 2030年における主要電源のコスト比較表

主要電源	コスト（円/kWh）
地熱	9.2～11.6
原子力（設備利用率70%）	8.9（下限値）
石炭火力（設備利用率80%）	10.3～10.6
LNG火力（設備利用率80%）	10.9～11.4
風力（陸上、設備利用率20%）	8.8～17.3
風力（洋上着床式、設備利用率30%）	8.6～23.1
小水力（設備利用率60%）	19.1～22.0
バイオマス（木質専焼、設備利用率80%）（注）	17.4～32.2
石油火力（設備利用率80%）	23.8～26.7
住宅用太陽光（稼働年数35年）	9.9～20.0

(注) バイオマス（木質専焼）については、2010年のモデルプラントに関する試算。

(出典) エネルギー・環境会議コスト等検証委員会「コスト等検証委員会報告書」2011.12.19, p.49-58. 資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/8th/8-3.pdf>>を基に筆者作成。

しかしながら、地熱のコスト試算時には、地熱資源量の調査費用や新規送電線建設費用が含まれておらず<sup>(19)</sup>、最終的なコストは11.6円より高くなることが想定される。さらに、開発のリードタイムが通常10年以上と長いことや、運転中のシリカスケール付着等のため、蒸気生産井や還元井の減衰等が生じ、追加的に補充井の掘削等が必要となるといったコスト増加要因がある（表7）。

(18) エネルギー・環境会議コスト等検証委員会「コスト等検証委員会報告書」2011.12.19, p.54. 資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/8th/8-3.pdf>>

(19) 同上



表7 地熱発電のコスト増加要因

コスト増加要因
<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発のリードタイムが通常10年以上と長い</li> <li>・調査・開発段階で多数の坑井を掘削する必要がある</li> <li>・基幹送電線から離れた場所での発電が多く、新規送電線の建設が必要となる</li> <li>・運転中のシリカスケール付着等のため、蒸気生産井や還元井の減衰等が生じ、追加的に補充井の掘削等が必要となる</li> </ul>

(出所) 地熱発電に関する研究会「中間報告」2009.6.9, p.7. 経済産業省ウェブサイト <<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004561/g90609a01j.pdf>> を基に筆者作成。

## V 技術的課題

「地熱探査技術の向上」、「スケール対策」、「貯留層管理」、「耐食性の向上」といった技術的課題があり、解決に向けた取り組みが進められている（「II 技術動向・利用動向・将来動向」参照）。

## VI 技術を取り巻く社会経済状況

地熱利用を巡って、我が国においては主に次の4つの社会的課題がある。

### 1 長いリードタイムへの対応

地熱開発では、計画から稼働まで平均10年以上かかる。例えば、調査段階では、1本当たり4億円の費用がかかるとされる調査井を10本以上掘削する必要がある<sup>(20)</sup>など、多大な投資が必要なものの、投資から回収までのリードタイムが極めて長い。さらに、この間の金利もかかるほか、計画後の需要変動等の事情変更のリスクもあり、リードタイムの長さが民間企業の投資を阻害する主要な要因の一つとなっている<sup>(21)</sup>。

掘削コスト低減といった観点では、2010年度まで新エネルギー・産業技術総合開発機構の「地熱開発促進調査」によって、民間が調査していない有望地点の調査が行われ、調査報告書として公開されていた<sup>(22)</sup>。現在では、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の「地熱資源開発調査事業費助成金交付事業」によって、調査費用の助成が行われている<sup>(23)</sup>。

リードタイムについては、米国では通常4～5年<sup>(24)</sup>、ドイツでも4年程度<sup>(25)</sup>と、諸外国では日本の半分以下となっている。このことが地熱発電での積極的な投資に結びついているともいわれる<sup>(26)</sup>。なお、リードタイムが短い要因としては、例えばドイツでは、「再生可能エネルギー

(20)ハーヴィー 前掲注(7), p.489.

(21)同上

(22)一般社団法人 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向2012年」2013, p.32.

(23)独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構「平成25年度『地熱資源開発調査事業費助成金交付事業』の採択結果について」2013.12.13. <<http://www.jogmec.go.jp/news/release/content/300121464.pdf>>

(24)ハーヴィー 前掲注(7), p.490.

(25)村岡洋文・清水政彦「小型バイナリー・タービン発電機に対する電気事業法等の規制緩和について」内閣府規制改革会議エネルギータスクフォース有識者提出資料 2009.8.18, p.31. <[http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/minutes/wg/2009/0818/item\\_090818\\_09.pdf](http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/minutes/wg/2009/0818/item_090818_09.pdf)>

(26)ハーヴィー 前掲注(7), pp.489-490.

法」という再生可能エネルギーを広範にカバーする法律があり、日本のように多数の縦割り法の適用を受けないことが挙げられる<sup>(27)</sup>。我が国においてもリードタイムの短縮について検討の余地があるといえる<sup>(28)</sup>。

## 2 開発リスクへの対応

地熱発電の坑井掘削位置の特定のためには、地質調査や地化学調査、物理探査などによって正確に地熱ポテンシャルを把握することが必要であるが、現状では不確かな部分が残っていると言わざるを得ない。稼働開始後も地熱貯留層の減衰等により十分な蒸気量が確保できずに発電量が低下する可能性があり、これらの要因が開発リスクとなっている<sup>(29)</sup>。

これらの開発リスクに対して、日本では、「1 長いリードタイムへの対応」で示したように、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の「地熱資源開発調査事業費助成金交付事業」等によって費用助成が行われているが、欧州では、民間企業が地熱探査リスクを補償する保険商品が登場している<sup>(30)</sup>。

## 3 自然保護との両立

日本では、地熱資源の賦存地域の8割弱が自然公園内にあり、このうち開発行為に許可が必要になる特別地域内には74%が賦存している<sup>(31)</sup>。特別地域内での地熱開発は禁止されてきたが、2012年3月27日付の環境省自然環境局長通達「国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて」により、第2種・第3種特別地域については、原則禁止であることに変わりはないものの、自然環境の保全と地熱開発の調和が十分に図られる優良事例については検証を行い、優良事例としてふさわしいものであると判断される場合は、掘削や工作物の設置可能性についても個別に検討した上で、その実施について認めることができるものとする事となった<sup>(32)</sup>。第2種・第3種特別地域については、開発の可能性が示唆されたといえる。また、特別保護地域・第1種特別地域においても、地表部に影響がなく原状回復が可能な広域調査については、必要性・妥当性等が認められれば、個別に判断し認めることができるとされている<sup>(33)</sup>。今後、地熱発電所が地球環境にどのような影響を及ぼしているのか、また、どのような影響を及ぼし

(27) 村岡洋文「再評価されつつある地熱開発ニーズに就いて」『Green Report 2008』産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門、2008.11.20, p.15. <<http://unit.aist.go.jp/georesenv/result/green-report-report80/p13.pdf>>

(28) リードタイムの短縮化については、例えば、内閣府 規制・制度改革に関する分科会「第2ワーキンググループ（エネルギー）（第1回）資料7-2地熱発電の概要と課題」2011.12.8, p.1. <<http://www.cao.go.jp/sasshin/kiseiseido/meeting/2011/energy/111208/item7-2.pdf>> では、「森林法・国有林野法の開発許可の見直し、環境アセスメントの認定見直し、各種手続きの並行化」が効果的としている。

(29) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.42-44.

(30) ミュンヘン再保険会社 「地熱探査リスク補償で、Exorka、マーシュ、ミュンヘン再保険が協働」2011.7.4. <[http://www.munichre.co.jp/public/PDF/Press\\_j\\_2011\\_geothermal\\_Exorka.pdf](http://www.munichre.co.jp/public/PDF/Press_j_2011_geothermal_Exorka.pdf)>; 開発業者である Exorka、保険ブローカーのマーシュ、ミュンヘン再保険会社の3者は、「タイフキルヒェンでの地熱エネルギー開発プロジェクト」において、発電に十分な地熱を発見できない場合に掘削・開発費用への投資が回収できないといったリスクを補償するための保険を開発した。なお、ミュンヘン再保険会社は、2003年に世界で初めて探査リスク補償保険を開発し、それ以降地熱専門チームを設置している。

(31) 中島 前掲注(1), p.34.

(32) 環境省『国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて』2012.3.27, p.3. <[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=19556&hou\\_id=15019](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19556&hou_id=15019)>

(33) 同上, p.2.

得るのか、検証を重ねつつ、自然公園特別地域における地熱発電所建設について、科学的見知に基づいた合理的な議論を行っていく必要がある。

#### 4 温泉関係者をはじめとする地元関係者の理解

一般的に、地熱資源が賦存する地域には温泉があり、地熱発電が行われることにより、温泉の質に悪影響が出るといわれることがある。ただし、温泉帯水層と熱水貯留層の関係性はほとんどないという意見もあり、未だに統一的な見解は得られていない。ある程度地熱開発が進んでいる地域においては、地元の理解が進んでいるものの、温泉関係者からは「現時点において地熱発電と温泉地の共生は極めて難しい」といった否定的な意見も聞かれる<sup>(34)</sup>。そのため、今後地熱発電の安全性や有用性について丁寧な説明をしていくことで、地元住民や関係者の理解を得ていくことが重要であると考えられている<sup>(35)</sup>。

みずほ総合研究所株式会社 社会・公共アドバイザー一部  
政策・経営研究グループ 研究員 小林 賢司

---

(34) 全国旅館ホテル生活衛生同業組合連合会 前掲注(6)では、因果関係は不確定としながらも、独自の視察やヒアリング等から「地熱発電所周辺の温泉地に置いては」、「泉温低下・湧出量減少・成分変化・噴気衰退・土砂崩れ・群発地震など種々の減少が地熱開発実施後に現れているケースが多いこと」を把握していることに加え、「多方面からの科学的知見を集積して検討」した見解として、「現状の地熱発電には大きな疑問を感じざるを得ない」として、「現時点において地熱発電と温泉地の共生は極めて難しい」と結論付けた。

(35) 中島 前掲注(1), p.34.