

(2) バイナリー方式

バイナリー方式は、一般的に80～150℃の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回して発電する方式である。媒体には、ペンタン（沸点36.07℃）などの炭化水素や代替フロン、アンモニア（沸点-33.34℃）など、沸点が100℃以下の液体が用いられ、タービンを回した後、凝縮器で液化されて反復使用される。このように、熱水と低沸点媒体がそれぞれ独立した2つの熱循環サイクルを用いて発電することから、この方式をバイナリー方式と呼んでいる（図2-14）。本方式によって、フラッシュ方式では利用できない低温の熱水や蒸気を活用することが可能となった。

【参考文献】

NEDO (2014):再生可能エネルギー技術白書、第2版、第7章 地熱発電
<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>

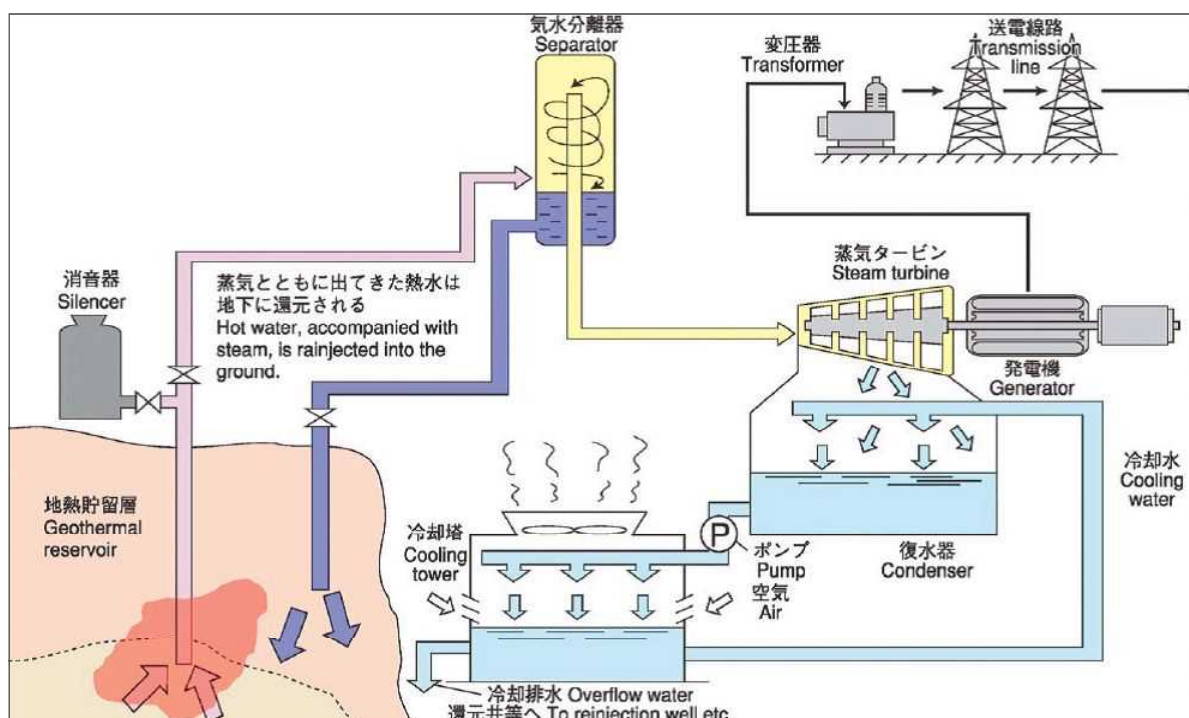


図2-13 地熱発電（シングルフラッシュ方式）の概念図

出典：NEDO (2014):再生可能エネルギー技術白書、第2版、第7章 地熱発電
<https://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>

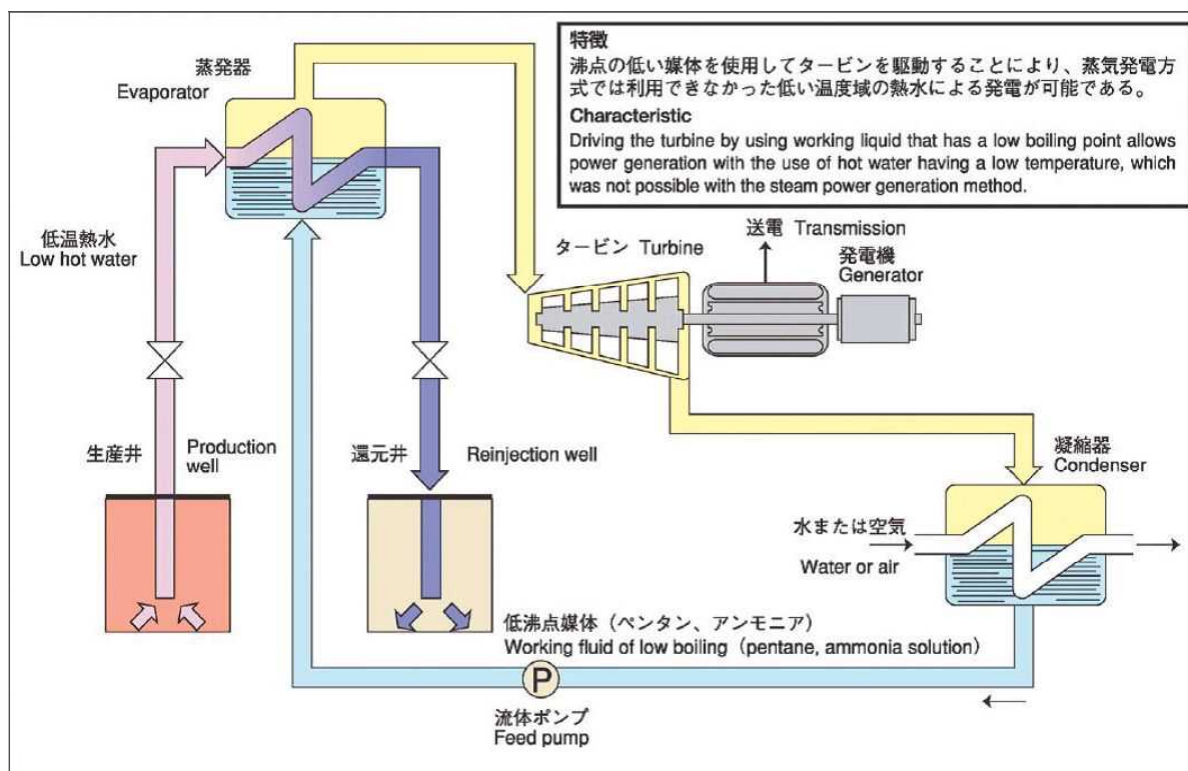


図2-14 地熱発電（バイナリー方式）の概念図

出典：NEDO（2014）：再生可能エネルギー技術白書、第2版、第7章 地熱発電
<https://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>

2.3.4 地熱発電の歴史

日本の地熱発電の歴史は、1919年に海軍中将・山内万寿治氏が、大分県別府市で噴気孔掘削に初めて成功したことに始まる。その後、事業を引き継いだ東京電燈（株）研究所長・太刀川平治氏が、1925年に日本最初の地熱発電（出力1.12kW）に成功した。それから、第二次世界大戦が終わるまで大きな発展は見られなかった。

終戦後、電力の安定供給という大きな課題を抱えた日本は、水力や大型火力の建設を進めるとともに、地熱の実用化に向けた調査・研究開発にも力を注いだ。その努力が1966年、ついに実を結ぶ。日本で最初の本格的な地熱発電所として、蒸気卓越型の松川地熱発電所（岩手県）が運転を開始した。さらに翌年、熱水卓越型の大岳発電所（大分県）も操業。この2つの発電所の成功によって地熱開発は大きく進展していくことになる。

1970年代の2度にわたる石油ショックを契機とした石油代替エネルギー政策（サンシャイン計画）に後押しされる形で国内の地熱開発は大いに進展した。東北・九州地域を中心に発電所建設が相次ぎ、1996年には地熱発電設備50万kWを達成した。この間に、日本の地熱発電技術は世界有数となった。

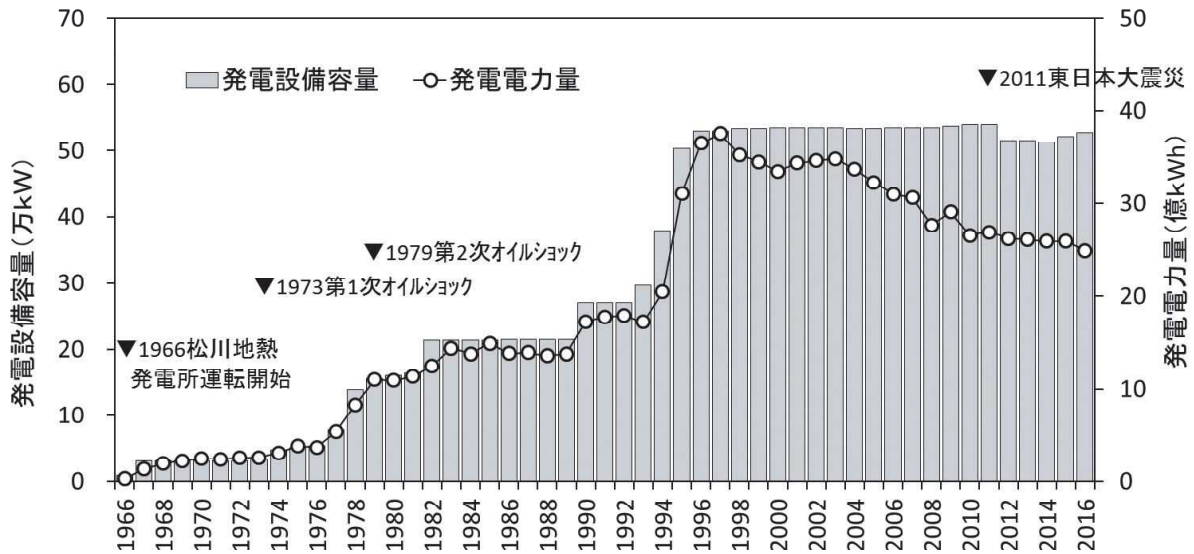
1990年代に入り、石油価格の安定化と、日本のエネルギー政策の転換等により、地熱発電の進展は再び横ばいの時代を迎える。地熱発電の普及には発電コスト、自然公園法の規制、温泉事業者との共生など、いくつかの課題があり、2002年には国の技術開発予算が一旦の終了をみた。これ以降、現在までに建設された発電所は2006年の八丁原バイナリー発電所のみであった。しかし、東日本大震災による深刻なエネルギー危機をきっかけとして、固定価格買取制度（FIT）が開始され、再生可能エネルギー

の中でも安定的に発電できる地熱発電への期待が高まっている。

【参考文献】

出典: JOGMEC (2018): HOME > 地熱一般情報 > 地熱発電のあゆみ > これまでの歴史
<http://geothermal.jogmec.go.jp/information/history/history.html>

地熱発電の発電設備容量と発電電力量の経年変化を図2-15に示す。1996年から発電設備容量は横ばいであるが、施設の老朽化やスケール付着により発電効率が低下している発電所もあることから、発電電力量は減少傾向にある。



火力原子力発電技術協会 (2018) を基に作成

図2-15 発電設備容量と発電電力量の経年変化

出典: 火力原子力発電技術協会 (2018): 地熱発電の現状と動向 2017年

2.3.5 地域別の地熱賦存量および導入ポテンシャル

エリア別の地熱賦存量分布状況を図2-16に、個別地域の自然条件や社会条件（自然公園法に基づく地域区分など）を考慮したエリア別の地熱導入ポテンシャル分布状況を図2-17に示す。

エリア別の賦存量を見ると、150℃以上の賦存量は北海道エリアに集中しており、全体の71%となっている。次いで東北エリア11%、北陸エリア9%、九州エリア6%が続いている。120～150℃についても150℃以上と類似の分布状況を示している。

一方、53～120℃の賦存量は比較的広範囲にわたり分布しており、その割合は北海道エリア32%、東北エリア25%、東京エリア15%、中部エリア13%となっている。

エリア別のポテンシャルを見ると、150℃以上のポテンシャルは、北海道エリア、東北エリア、北陸エリア、九州エリアの順になっている。53～120℃は、北海道エリア、東北エリア、東京エリア、中部エリアの順になっている。熱水資源開発の導入ポテンシャルの分布図（53～120℃）は図2-18のようになる。

【参考文献】

(株)エックス都市研究所・アジア航測(株)・パシフィックコンサルタンツ(株)・伊藤忠テクノソリューションズ(株) (2011):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、平成 22 年度環境省委託事業、pp.213-225
<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt6.pdf>

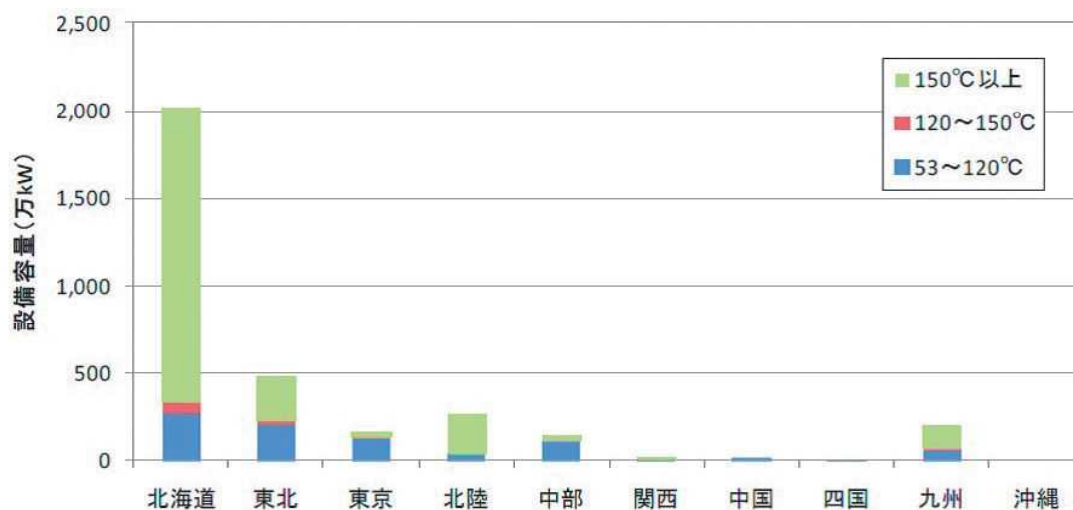
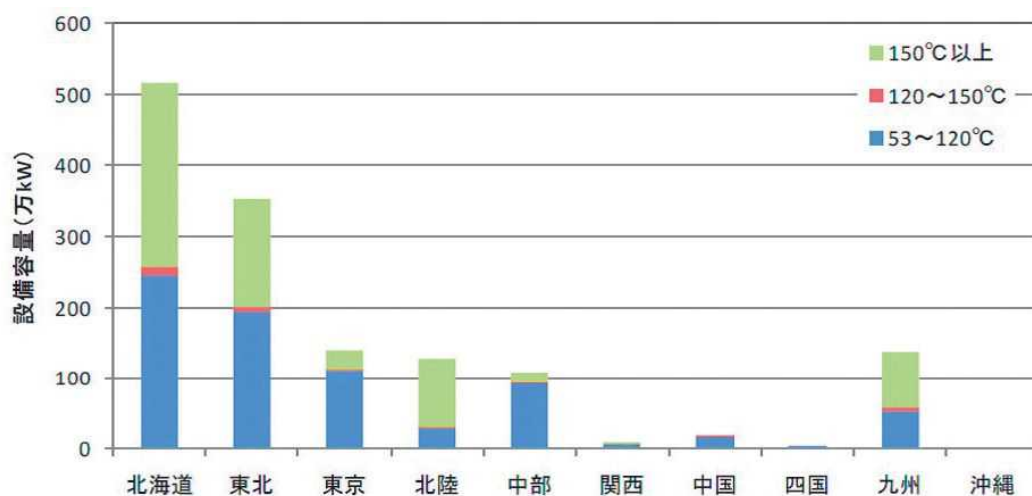


図2-16 エリア別の地熱賦存量分布

出典:(株)エックス都市研究所・アジア航測(株)・パシフィックコンサルタンツ(株)・伊藤忠テクノソリューションズ(株) (2011):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、平成 22 年度環境省委託事業、pp.213-225
<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt6.pdf>



温度区分	全国	北海道	東北	東京	北陸	中部	関西	中国	四国	九州	沖縄
150°C以上	636	261	150	28	99	16	0	0	0	82	0
120~150°C	33	12	9	2	3	1	0	0	0	5	0
53~120°C	751	245	194	113	28	93	8	15	4	52	0
合計	1,419	518	353	142	129	110	8	15	4	140	0

図2-17 自然条件や社会条件を考慮したエリア別の地熱導入ポテンシャル分布

出典:㈱エックス都市研究所・アジア航測㈱・パシフィックコンサルタンツ㈱・伊藤忠テクノソリューションズ㈱ (2011):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、平成 22 年度環境省委託事業、pp.213-225
<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt6.pdf>

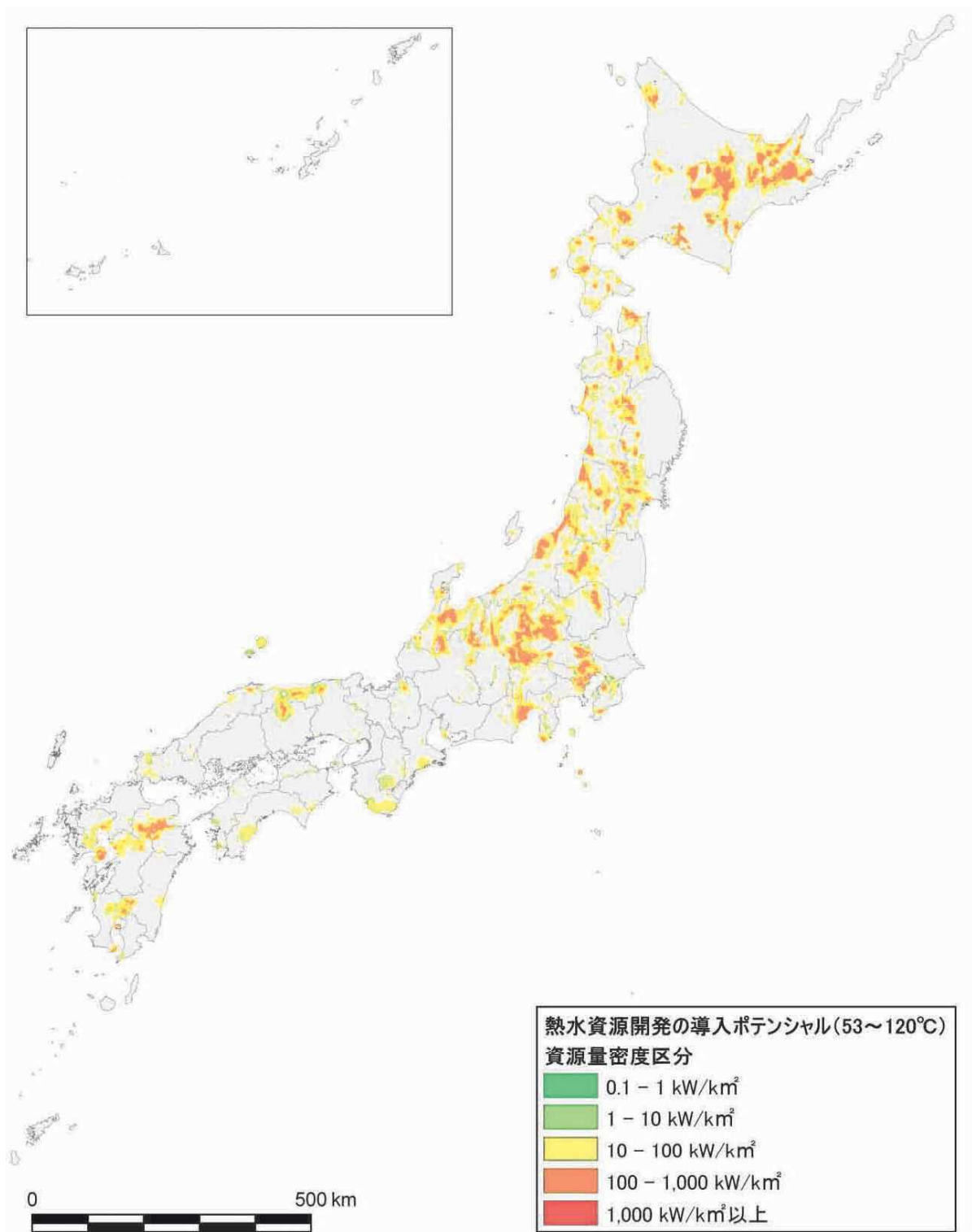


図2-18 熱水資源開発の導入ポテンシャルの分布図 (53~120°C)

出典: (株)エックス都市研究所・アジア航測(株)・パシフィックコンサルタンツ(株)・伊藤忠テクノソリューションズ(株) (2011):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、平成 22 年度環境省委託事業、pp.213-225
<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt6.pdf>

2.3.6 機関別の地熱発電量

日本の地熱発電所は、火山や地熱地域の分布から東北と九州に集中している。

全国の地熱発電所の発電設備容量を合計すると約52万kW、発電電力量は2,559GWh（2015年度）となっており、日本の電力需要の約0.3%を賅っている。

国内最大の発電所は大分県の八丁原発電所で、11万kWである。他にも日本で唯一離島にある東京都の八丈島地熱発電所や、国内で初めて商用運転を開始した50年の歴史を誇る岩手県の松川地熱発電所などがある。

主な日本の地熱発電所位置図を図2-19に、発電事業者・認可出力、発電方式・運転開始時期等を表2-5に示す。

50年の歴史を誇る岩手県の松川地熱発電所などがあります。

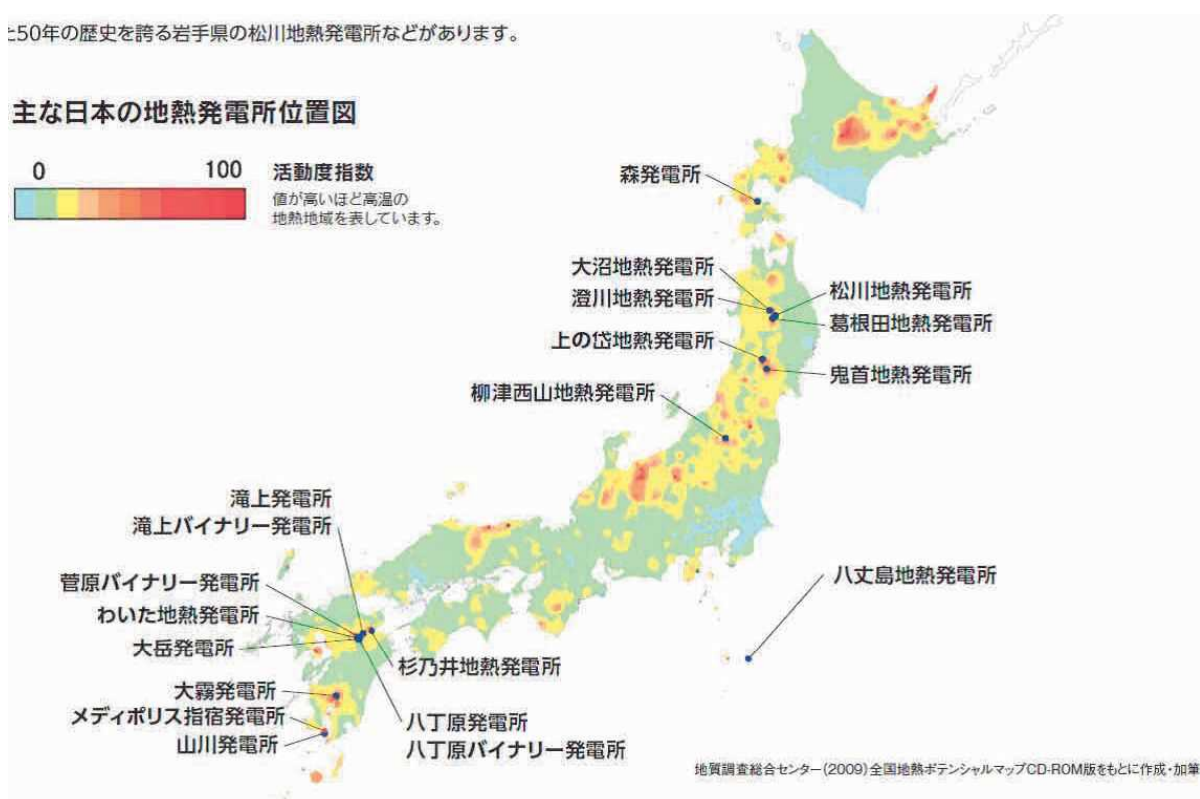


図2-19 日本の地熱発電所位置図

出典：JOGMEC (2018)：地熱 Geothermal 地域・自然との共生するエネルギー、一般パンフレット
http://geothermal.jogmec.go.jp/report/file/jogmec_geothermal.pdf

名称	所在地	発電	蒸気・熱水供給	認可/認定出力(kW)	発電方式	運転開始日	FIT活用の有無
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	東北自然エネルギー(株)		23,500	DS	1966.10.08	
葛根田地熱発電所	岩手県雫石町	東北電力(株)	東北自然エネルギー(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)	東北自然エネルギー(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	
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	
わいた地熱発電所	熊本県小国町	合同会社わいた会		1,995	SF	2014.12	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	
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	B	2017.03.01	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	
八丁原バイナリー発電所		九州電力(株)		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	B	2015.06.29
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	
山川発電所	鹿児島県指宿市	九州電力(株)		25,960	SF	1995.03.01	
メディアポリス指宿発電所		(株)メディアポリスエナジー		1,410	B	2015.02.18	F

発電方式 DS：ドライスチーム SF：シングルフラッシュ DF：ダブルフラッシュ B：バイナリー F：固定価格買取制度認定発電所

※ 38カ所の地熱発電所のうち認可/認定出力が1,000kW以上の発電所を掲載

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 2015）をもとに作成

表2-5 主な発電所の仕様等

出典：JOGMEC (2018)：地熱 Geothermal 地域・自然との共生するエネルギー、一般パンフレット

http://geothermal.jogmec.go.jp/report/file/jogmec_geothermal.pdf

3

国内事例

3 1 温泉利用

(1) 温泉の歴史

わが国では、豊富な温泉（地熱）資源を背景に、古来より温泉を浴用だけでなく、飲用、療養、保養、観光と多岐に渡って活用してきた。中でも「道後温泉（愛媛県）」「有馬温泉（兵庫県）」「白浜温泉（和歌山県）」は日本三古湯と呼ばれ、文献上最も古いといわれているのが古事記に記載された「伊余湯（いよのゆ）」で、現在の「道後温泉」に他ならない。この伊余湯地域は、大宝律令で国郡里制（後の国郡郷制）が確立した際、温泉名が付いた郡として全国唯一の温泉郡（ゆのこおり）でもあった。また、伊予国風土記には大国主命（おおくにぬしのみこと）が大分の鶴見岳の山麓から湧く「速見の湯」（大分県）から豊予海峡の海底に下樋（暗渠）を通して道後温泉へと導き、少彦名命（すくなひこなのみこと）の病を癒したとの神話も記載されている。この他にも諸国の地理志をまとめた風土記には「温泉」という言葉が初めて登場するほか、各地の温泉の利用方法や効能、特徴などについて記載されており、当時の温泉地の情景を色鮮やかにうかがい知ることができる。

鎌倉時代には、国司や有力寺院が温泉の経営にあたり、武士や高僧などが湯治場として利用するなど、療養・保養を目的として入湯していた様子が記録されており、江戸時代に入ると將軍や大名などの湯治の他に、許可制ではあったものの農民や町民などの一般庶民にも温泉が解放されていた記録が散見されるほか、温泉案内や温泉番付といった、いわゆるガイドブックのようなものも発行されるなど、広く国民が温泉を利用するに至った。

近現代になると自然湧出の温泉だけでなく掘削による温泉開発が進められ、浴場を利用する外湯の形態から宿に温泉を引き込む内湯形態へと移行した。このことにより、温泉は療養を目的とした湯治場としての機能だけでなく保養、観光の場としての機能を持つようになった。昭和に入ると鉄道網などの交通整備が大きく進展したことで、多くの人々が温泉地を気軽に訪れることが可能になり、温泉地が目覚ましく発展したことに併せて、別府市に京都大学地球物理学研究所（現：京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設）、九州大学温泉治療学研究所（現：九州大学病院別府病院）が設立するなど、温泉の地学、医学、工学、温泉地計画などさまざまな分野から温泉と温泉地の研究が進められるようになった。

(2) 大分県の温泉の歴史と特色

豊後国風土記には別府温泉、長湯温泉、天ヶ瀬温泉の記載があり、先述の伊予国風土記にも別府温泉の記載があるなど、大分県の温泉は古くから既に広く知られていた様子が伺える。江戸時代の温泉番付にも「濱脇ノ湯」、「豊後別府ノ湯」（共に別府市）がランクインしているなど、非常に人気の高い温泉地であったことが分かる。

温泉に含まれる成分や含有量等によって揭示用泉質名は10種類に分類されるが、県内には「含よう素泉」「放射能泉」を除く8種類が湧出している。日本一の源泉数・湧出量を誇ることに加え、

別府温泉は「別府八湯」の名のとおり、多種多様の泉質の温泉が湧出する非常にバリエーションに富んだ温泉地であることも非常に大きな魅力となっている。

また、住民が個人的に利用する泉源、例えば戸建住宅への引き湯、近隣の関係住民による共同利用（公衆浴場以外）、同住宅（マンション）の共同浴場等で多く利用されていることも大きな特徴といえる。

【参考文献】

石川理夫 (2018): 温泉の日本史 記紀の古湯、武将の隠し湯、温泉番付、中公新書、248p

大銀経済経営研究所 (2017): おおいた温泉白書、168p

3 2 熱水活用事例

3.2.1 温室ハウス栽培利用の事例

全国で蒸気・熱水を温室ハウスに利用して栽培している植物は、野菜、果物、キノコ、花きで、野菜はトマト、キュウリ、ミツバ、パプリカ、果物はイチゴ、南国フルーツ、マンゴー、バナナ、キノコはキクラゲ、菌床シイタケ、花きは胡蝶蘭、シクラメン等が代表的な栽培物である。

野菜の代表的な栽培例は、北海道森町の森地熱発電所（1982年運転開始、定格出力25,000kW）である。本発電所では、発電用の蒸気を分離抽出した後に、地下の還元井へ戻す120℃の熱水の一部を熱交換器に導き、河川水と熱交換することによりできる65℃前後の温水を、近隣の温室団地に配湯している。温室ハウス内では地面に温水の配管を設置して、冬季の外気が-15℃でも室内を25℃以上に暖房して、主としてトマト、キュウリを通年で栽培し、関東圏にも出荷して収益を得ている。

果物の代表的な栽培例は、北海道弟子屈町のマンゴーである。80℃、160L/分の源泉から引湯し、温室ハウス内を23～25℃に通年で温度管理して、完熟マンゴーを栽培している。試験的な栽培を繰り返して、現在では、完熟マンゴーを「摩周湖の夕日」というブランドに仕立てて、東京にも出荷して収益を上げて、地域経済にも貢献している（図3-1参照）



(エンジニアリング協会撮影)

図3-1 弟子屈町のマンゴー栽培状況

果物のもう一つの事例は、岐阜県奥飛騨温泉の「奥飛騨ファーム」で栽培しているバナナ苗・種である。標高800mの高地で、平均65℃、25L/分の温泉水を温室ハウス内の水路に流して、通年で暖房している。食用のバナナは低価格のために、バナナ苗を鑑賞用として直接ネット販売して、収益を確保している（図3-2参照）。



(エンジニアリング協会撮影)

図3-2 奥飛騨ファームのバナナ苗栽培状況

キノコの栽培事例では、大分県別府市堀田温泉地区で「株アドニス」が、経済産業省の地熱開発理解促進事業の補助金を得て温室ハウスを建設し、シイタケを栽培して、販売している（図3-3参照）。大分県はシイタケが有名な名産品であり、希少価値のあるシイタケ栽培は事業性が高いと評価している。



(エンジニアリング協会撮影)

図3-3 株アドニスのシイタケ栽培状況

花きの栽培事例は、大分県別府市にある大分県農林水産研究指導センター農業研究部花きグループでの菊等の栽培である。こども地熱開発理解促進事業の補助金を得て、5棟の温室ハウスを環境制御型の温室ハウスに建替えている。源泉から120℃程度の蒸気を直接温室ハウスに送って、冬季は室内を暖房している。温室ハウスから出てきた温水は全量、無償で、近隣の温泉組合に提供している。

蒸気は暖房に利用するだけでなく、試験研究圃場の消毒（消防ホースで蒸気を目的の圃場に誘導し、穴を開けた鉄管を圃場内に埋設し、蒸気を通して消毒）に利用するほか、県内農家からの持ち込みによる土壌や資材の消毒（年間50件程度）を無料で行っている（図3-4）（大分県、2018）。

【参考文献】

奥村忠彦（2018）：パイナリー発電と熱水活用事例、地質と調査、2018年第2号、pp.19-24を加筆修正

<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

大分県商工労働部新産業振興室（2018）：再生可能エネルギートップランナー大分県における地熱資源活用に関する取組、地熱技術、Vol.43、Nos.3&4、pp.23-27

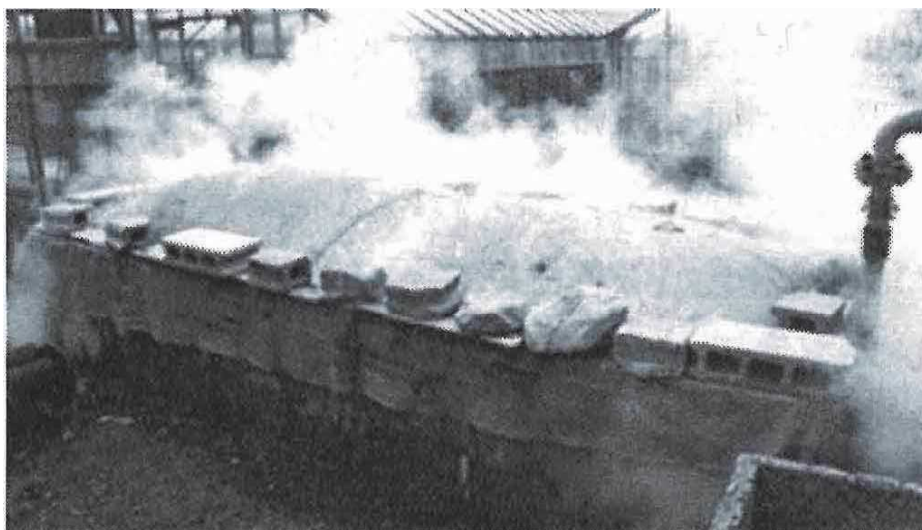


図3-4 蒸気消毒槽による土壌や資材の消毒

出典：大分県商工労働部新産業振興室（2018）：再生可能エネルギートップランナー大分県における地熱資源活用に関する取組、地熱技術、Vol.43、Nos.3&4、pp.23-27

3.2.2 陸上養殖利用の事例

熱水で養殖すると魚類の生育が速く、事業性が向上するという評価で、全国で陸上養殖事業が行われている。養殖している魚類の例は、ティラピア、トラフグ、ウナギ、スッポン、エビ、アワビ等である。

ティラピアの養殖事例は、北海道弟子屈町川湯温泉の「ホテルパークウェイ」で、1989年頃から、64.2℃、400L/分の温水を養殖場に送り、水温が15℃以下にならないように管理し、常時3万匹前後を育てている（図3-5参照）。良質の温泉であるため、ティラピアが活発に活動して餌を食べるため、1年で800gの大きさに育つ。味や姿が鯛に似ていることから「摩周鯛」のブランドで、姿づくりや釜飯等として旅館で提供している。

トラフグの養殖で有名なのは栃木県那珂川町の「(株)夢創造」で、養殖施設は廃校となった小学校を利用した第1プラント（60t）、廃校に隣接するビニールハウスの第2プラント（48t）、温水プールを利用した第3プラント（250t）である。飼育水の加温によりトラフグが年中高活性に保たれて体重停滞

期がなくなるため、海上養殖では1.5年かかる出荷が、1年に短縮できている。閉鎖循環養殖施設により、環境汚染及び殺菌処理循環により病害の発生を抑制できるメリットがあり、他の地区へのコンサルタントも行っている。

エビの養殖事例は、福島県福島市土湯温泉の㈱元気アップつちゆが2016年度地熱開発理解促進事業の補助金を得て建設した養殖施設で養殖している「オニテナガエビ」の養殖である。バイナリー発電の冷却水が10℃位から21℃程度に上昇するので、これを養殖施設まで送り、熱交換器で25℃程度まで上昇させて、水槽に供給している（図3-6参照）。この養殖は青森県弘前市で行われていたものを技術導入したものである。成長したオニテナガエビを簡易に造った釣り堀に入れて、観光客に釣りを楽しんでもらい、その場で焼いてもらうサービスもしている。今後、水槽を増やす計画もあり、陸上養殖で地域振興をしている好事例である。



(エンジニアリング協会撮影)

図3-5 ホテルパークウェイのティラピアの養殖状況

出典：大分県商工労働部新産業振興室（2018）：再生可能エネルギートップランナー大分県における地熱資源活用に関する取組、地熱技術、Vol.43、Nos.3&4、pp.23-27



(エンジニアリング協会撮影)

図3-6 土湯温泉のオニテナガエビの養殖状況

3.2.3 その他の利用事例

蒸気・熱水のその他の利用事例として、建物暖房、道路融雪、乾燥器（野菜、木材等）、乳製品加工場、染色、塩製造等が挙げられる。

建物の暖房では、地熱開発理解促進事業の補助金を得て設置した新潟県十日町市松之山温泉の「地炉」がある。観光用に、建物内部の暖房、床暖房、屋根の融雪を行うのみでなく、調理用にも熱水を利用し、近隣のブランド豚を低温加工して、「湯治豚」としてブランド化し、旅館で「湯治豚丼」として提供している。

大分県別府市鉄輪温泉の黒田やでは、温泉水を旅館内部の冷暖房に利用している（図3-7参照）。これも、2014年度地熱開発理解促進事業の補助金を得て設置したものである。黒田やの吸収式冷温水機は、熱水を利用した暖房だけでなく水が蒸発するときの気化熱を利用した冷房が可能な冷温水機である。吸収式冷温水機は、熱源があれば作動するので、工場の廃熱や自家発電設備の廃熱、バイオマス燃料といった様々な熱源を利用することができる（経済産業省中国経済産業局、2014）。

例えば、「アロエース」の排熱温水温度の標準仕様値は88℃であり、温度範囲は70～95℃とされている（矢崎エナジーシステム、2019）。このタイプの冷暖房施設は、鳴子温泉郷中山平温泉の仙庄館でも利用されている。

さらに、北海道弟子屈町の「医療法人共生会川湯の森病院」でも、病院内部の暖房に熱水利用をしている。これも2014年度地熱開発理解促進事業の補助金を得て設置したものであり、前年度に策定した事業計画をもとに、既存の泉源を活用して病院敷地内にエネルギーセンターを設置し、発電後の熱水の多段階利用を実施している。温泉熱を利用したビニールハウスを中心に、有機・無農薬で野菜・果物を栽培し、病院食として提供する取り組みなども行っている。

【参考文献】

奥村志彦 (2018): パイナリー発電と熱水活用事例、地質と調査、2018 年第 2 号、pp.19-24

<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

経済産業省中国経済産業局 (2014): 吸収式冷温水機について

<http://www.chugoku.meti.go.jp/info/densikoho/26fy/h2606/tweet2.pdf#search='吸収式冷温水機'>

矢崎エナジーシステム(株) (2019): 排熱利用吸収式冷温水機、温水焚アロエース

http://airconditioner.yazaki-group.com/product/aroace_ex_hw.html

環境ビジネスオンライン (2016): 地熱利用、地域に理解してもらおう 14 のよい事例 経産省から補助金交付

<https://www.kankyo-business.jp/news/013440.php>



(エンジニアリング協会撮影)

図3-7 黒田や 吸収式冷温水機

3 3 温泉を活用した発電所

3.3.1 小規模バイナリー発電所

全国で稼働している小規模バイナリー発電所の事例を紹介する。

大分県別府市にある五湯苑地熱発電所は、西日本地熱発電(株)が発電事業主体である。源泉所有者から蒸気を供給してもらう方式でバイナリー発電所を建設した。定格出力72kWの(株)神戸製鋼所の「マイクロバイナリー」2基を設置し、2014年3月より運転開始し、FITで九州電力(株)に全量売電している。FITで得られた収入から蒸気使用料を還元する新しい事業スキームである。西日本地熱発電(株)は五湯苑地熱発電所が順調に稼働したため、同じく別府市内に、同規模の湯山地熱発電所を建設し、合計4基のマイクロバイナリーで順調に発電し、売電している(図3-8参照)。

宇宙開発を手掛けている(株)コスモテックは、新規事業として、大分県別府市にコスモテック別府バイナリー発電所を建設した。定格出力125kWの第一実業(株)の「Thermapower125MT」を4基設置し、2014年11月に運転開始し、FITで九州電力(株)に全量売電している。ここも、蒸気は源泉所有者の(株)別府スパサービスから供給を受け、蒸気使用料を還元している。

中国四国地区では、初めてのバイナリー発電所が鳥取県湯梨浜(ゆりはま)町に建設された。事業主体は、鳥取県米子市の建設コンサルタント「協和地建コンサルタント(株)」で、発電所の建設費用の一部は鳥取県、湯梨浜町の補助金を受けている。85℃の熱水は温泉管理協同組合から供給を受け、FIT収入から熱水使用料を還元している。定格出力20kW(株)HI回転機械エンジニアリングの「ヒートリカバリーHR20W-20A」を1基設置している(図3-9参照)。

福島県土湯温泉町に、東北以北では最大のバイナリー発電所が建設された。2011年の東日本大震災で被害を受けたので、震災復興を目指して、バイナリー発電と熱利用施設で町おこしをするために(株)元気アップつちゆが中心となって事業を開始したものである。蒸気は土湯温泉観光組合所有の源泉から供給を受け、バイナリー発電所は(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の債務保証を得て、オーマツ社と提携しているJFEエンジニアリング(株)が定格出力440kWのバイナリー発電所を建設した。2015年11月から運転開始し、FITで全量売電している。全国のバイナリー発電所の中でも、暦日利用率は91%強と最も高くなっている(図3-10参照)。

大分県別府市には、(有)三光電機が事業主体で三光地熱開発バイナリー発電所を建設した。蒸気は源泉所有者から供給を受け、FIT収入から使用料を還元している。定格出力65kWのElectra Therm社の「Power+Generator Power+4400」を1基設置している。冷却方式は空冷で、FITで全量売電している。

【参考文献】

奥村忠彦(2018):バイナリー発電と熱水活用事例、地質と調査、2018年第2号、pp.19-24を加筆修正
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>



図3-8 湯山地熱発電所

出典：大分県エネルギー産業企業会（2016）：大分県のエネルギー産業、2016パンフレット
http://oita-energy.jp/upload/2016_最新版パンフレット.pdf



図3-9 湯梨浜地熱発電所

出典：協和地建コンサルタント(株)（2018）：湯梨浜地熱発電所
<http://kyowacc.com/business/chinetsu-hatsuden>



図3-10 土湯温泉16号源泉バイナリー発電所

出典：(株)元気アップつちゆ (2018)：土湯温泉 16 号源泉バイナリー発電所
<http://www.genkiuptcy.jp/jigy01.html>

3.3.2 温泉発電所

(1) 温泉発電の種類と特徴

温泉発電の方式としては、フラッシュ発電、バイナリー発電、湯けむり発電の3つが知られている。この他には、熱電素子を用いて熱エネルギーを電力エネルギーに変換する発電方法もあるが、出力が小さいのでここでは詳しく触れない。

フラッシュ発電は、噴出する温泉蒸気でタービンを回転させて発電する方式で、これまでも大規模な地熱発電で使われてきた。温泉発電であっても、十分な蒸気が得られるならばこの方式を適用できる。九州の温泉ホテルでは、フラッシュ発電による温泉発電を導入し、捨てていた130～160℃程度の蒸気を有効利用している。

バイナリー発電は、70～150℃程度の熱水または蒸気を用いて、沸騰温度が水より低い媒体を加熱して高圧蒸気を発生させ、タービンを回して発電するものである。100℃以下の熱水でも発電できるのが特徴である。媒体には、炭化水素ガス（ペンタン等）、不活性ガス（代替フロン等）、アンモニア水などが用いられるが、近年は不活性ガスを用いた数十～数百キロワット規模の導入事例が増えている。

湯けむり発電は、100～150℃程度で噴出する沸騰泉（熱水と蒸気が混合したもの）を用いた新しい発電方式である。噴出した熱水と蒸気をジェット噴流に変換してタービンを回転させ、さらにタービン通過後の蒸気で別のタービンを回転させるものであり、2つのタービンで発電することにより発電効率が高まるとされている。また、機器の構造がシンプルで冷却塔や熱交換器などを設置する必要がなく、フラッシュ発電やバイナリー発電では必要となる冷却水も不要である。

冷却塔などの設置場所や冷却水が確保できれば、湯けむり発電を行った後の熱水（90℃以上）でバイナリー発電を行うことも可能である。

温泉の温度や湧出量は地域によって様々である。従来型のフラッシュ発電に、バイナリー発電や湯けむり発電が加わったことで、温泉の状況に適した発電方式を選択できるようになり、今後、温泉発電の適地拡大や効率化が進むものと期待される。

(2) 温泉発電の現状

初期の温泉発電は、フラッシュ発電による千キロワット規模の施設が中心であったが、FIT制度導入後は、数十～数百キロワット規模のバイナリー発電が急増しており、今後も湯けむり発電とともに導入が進むものとみられる。

温泉発電の立地場所は、大分県が最も多い。大分県は、地熱資源量の割に源泉数が多く、42℃以上、水蒸気ガスのいずれの源泉数も全国最多となっており、既存の温泉井戸を用いる温泉発電の適地と考えられている。

温泉発電の主な導入事例を表3-1に示す。表3-1には含まれていないが、大分県では、県が発電事業者として売電までを行う実用プラントを県の農林水産研究指導センター農業研究部花きグループの施設内に設置している。敷地内にある源泉から、蒸気と熱水を研究温室の暖房や近隣の入浴用の温泉として供給しており、その一部を湯けむり発電のために利用している。本プラントは実用2号機であり、1号機は、本設備の販売事業者である地熱ワールド工業(株)が、自ら発電事業に使用している。

【参考文献】

遠藤真弘 (2015): 温泉発電—温泉資源と共生する再生可能エネルギー—, 調査と情報—ISSUE BRIEF—, No.845

http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8943330_po_0845.pdf?contentNo=1

鈴木真人・高平洋祐・渋谷智美 (2016): バイナリー発電事業への新たな参入動向と今後の地熱活用の方向性、日経研月報 2016.5

https://www.jeri.or.jp/membership/pdf/research/research_1605_01.pdf

発電所名	所在地	発電事業者／ 蒸気熱水供給事業者	ユニット 数	設備 容量 (kW)	運転 開始日	発電 方式
九重	大分県九重町	(株)まきのとコーポレーション	1	990	H12.12.1	SF
杉乃井	大分県別府市	(株)杉乃井ホテル	1	1,900	H18.4.1	SF
霧島国際ホテル	鹿児島県霧島市	大和紡観光(株)	1	100	H22.11.1	SF
KAコンティニュー	大分県別府市	KAコンティニュー(株)	1	72	H25.1.17	B
五湯苑	大分県別府市	西日本地熱発電(株)	2	144	H26.1.17	B
七味温泉溪山亭バイナリー	長野県高山村	やごやまソーラー(同)	1	20	H26.4.3	B
湯村温泉観光交流センター 薬師湯温泉バイナリー	兵庫県新温泉町	兵庫県新温泉町／ 新温泉町湯財産区	2	40	H26.4.10	B
タタラ第一	大分県別府市	日本地熱興業(株)	1	72	H26.7.8	B
小国まつや	熊本県小国町	(同)小国まつや発電所	3	60	H26.7.29	B
湯山	大分県別府市	西日本地熱発電(株)	2	144	H26.10.3	B
コスモテック別府バイナリー	大分県別府市	(株)コスモテック／ (株)別府スパサービス	4	500	H26.11.30	B
亀の井	大分県別府市	地熱ワールド工業(株)	1	11	H27.2.27	T
フィノバイナリー	大分県別府市	フィノバイナリー発電所(同) ／(株)別府スパサービス	2	250	H27.6.30	B

発電所名	所在地	発電事業者/ 蒸気熱水供給事業者	ユニット 数	設備 容量 (kW)	運転 開始日	発電 方式
湯布院フォレストエナジー バイナリー	大分県由布市	湯布院フォレスト エナジー(株)	1	125	H27.7.30	B
南立石温泉熱	大分県別府市	(株)平和建設	3	60	H27.8.5	B
小浜温泉バイナリー	長崎県雲仙市	第1小浜バイナリ発電所(同)	1	135	H27.9.2	B
協和地建コンサルタント 湯梨浜	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	1	20	H27.10.5	B
土湯温泉16号源泉バイナリー	福島県福島市	つちゆ温泉エナジー(株) / 湯遊つちゆ温泉協同組合	1	440	H27.11.16	B
安倍内科医院	大分県別府市	安倍内科医院	1	20	H27.12.21	B
ホテルサンバレーバイナリー	栃木県那須町	(株)ホテルサンバレー那須	1	20	H28.3.18	B
三光地熱開発バイナリー	大分県別府市	(有)三光電機	1	65	H28.4.15	B
PPSNバイナリー	大分県別府市	(株)PPSN/ (株)別府スパサービス	1	125	H28.7.1	B
SUMO POWER	大分県別府市	(株)SUMO POWER/ (株)別府スパサービス	1	125	H28.7.1	B
エスエヌエスパワー	大分県別府市	(株)エスエヌエスパワー/ (株)別府スパサービス	1	125	H28.10.26	B
摩周湖温泉熱	北海道弟子屈町	(株)国書刊行会	1	125	H28.11.2	B
HTBエナジー別府温泉保養 ランド温泉	大分県別府市	HTBエナジー(株)	1	72	H28.9.9	B
洞爺湖温泉バイナリー	北海道洞爺湖町	洞爺湖温泉利用協同組合	1	72	H29.3.10	B
牧野発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.6	B
湯布院フォレストエナジー バイナリー2号発電所	大分県由布市	—	—	72	H29.6	B
奥江温泉地熱バイナリ サイクル発電所	大分県由布市	—	—	72	H29.6	B
ホットラグーン 大分地熱発電所	大分県九重町	—	—	72	H29.7	B
BLDバイナリー発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.7	B
九重野矢地区バイナリー発電所	大分県九重町	—	—	72	H29.8	B
千葉発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.9	B
千葉HD発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.9	B
GRACE発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
基住発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
檜崎幹雄発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
VEPエナジー発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
RE-ENERGY地熱発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
レナヴィス発電所	大分県別府市	—	—	125	H29.9	B
レナ発電所1号発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.9	B
奥飛騨第1バイナリー発電所	岐阜県高山市	—	—	72	H29.11	B
ルレーブ発電所	大分県別府市	—	—	72	H29.11	B
P-POWER発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.11	B
奥尻地熱発電所	北海道奥尻町	—	—	250	H29.12	B
エヌアイエスパイナリー発電所	大分県別府市	—	—	250	H29.12	B

発電方式 SF：シングルフラッシュ B：バイナリー T：トータルフロー（湯けむり）
出典：火力原子力発電技術協会（2018）を基に作成

表3-1 温泉発電の主な導入事例

出典：火力原子力発電技術協会（2018）：地熱発電の現状と動向 2017年

3 4 温泉資源の保護

温泉は、国民にとって公共の福祉の一部を担う貴重な資源であることから、温泉資源の保護については、温泉法に基づいて、環境省と都道府県が中心となって適切な利用推進を進めている。

温泉資源の開発にあたっては①そのゆう出を目的とした無秩序な土地の掘削、採取等による枯渇あるいはゆう出量の減少が起こるおそれ、②可燃性天然ガスによる災害が発生するおそれ、③温泉について適切な情報を付さないまま、公共の利用に供されることにより、公衆衛生上の問題が生ずるおそれがあるため、温泉法では、「温泉の保護」、「温泉の採取に伴う災害の防止」、及び「温泉利用の適正」について定めている。

3.4.1 法律等

温泉に関する法律、施行令、施行規則を表3-2に示す。

名称	最終改正
温泉法（昭和23年7月10日法律第125号）	平成23年 8月30日法律第105号
温泉法施行令（昭和59年3月9日政令第25号）	平成23年11月28日政令第364号
温泉法施行規則（昭和23年8月9日厚生省令第35号）	平成24年7月6日環境省令第21号

表3-2 温泉に関する法律、施行令、施行規則

出典：環境省（2019）：環境省>政策分野・行政活動>政策分野一覧>自然環境・生物多様性>温泉の保護と利用> 関連資料>法律、政令、省令
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_1.pdf

温泉法の目的は、「温泉を保護し、温泉の採取等に伴い発生する可燃性天然ガスによる災害を防止し、及び温泉の利用の適正を図り、もって公共の福祉の増進に寄与すること」とされており、「第二章 温泉の保護等」において、表3-3に示す内容が定められている。

条名	見出し
第3条	土地の掘削の許可
第4条	許可の基準
第5条	許可の有効期間等
第6条	土地の掘削の許可を受けた者である法人の合併及び分割
第7条	土地の掘削の許可を受けた者の相続、掘削のための施設等の変更
第8条	工事の完了又は廃止の届出等
第9条	許可の取消し等、緊急措置命令等
第10条	原状回復命令
第11条	増掘又は動力の装置の許可等
第12条	温泉の採取の制限に関する命令
第13条	環境大臣への協議等
第14条	他の目的で土地を掘削した者に対する措置命令

表3-3 温泉法における温泉の保護に関する内容

出典：環境省（2019）：環境省>政策分野・行政活動>政策分野一覧>自然環境・生物多様性>温泉の保護と利用> 関連資料>法律、政令、省令
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_1.pdf

3.4.2 ガイドライン

温泉資源の保護に関する最新のガイドラインとしては、「温泉資源の保護に関するガイドライン（平成26年4月改訂）」と、「温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）（平成29年10月改訂）」がある。いずれも環境省自然環境局によるものである。

(1) 温泉資源の保護に関するガイドライン

本ガイドラインの最大のねらいは、温泉の掘削等の不許可事由の判断基準について、一定の考え方を示すことである。その具体的な項目は、地域等による一律規制（制限地域の設定、既存源泉からの距離規制）の在り方、個別判断のための影響調査の手法、公益侵害への該当性の判断等である。

【ガイドライン作成の経緯】

各都道府県は、温泉の賦存量に関するデータや温泉の採取によるゆう出量等への影響に関する科学的知見が不足しており、十分な科学的根拠に基づき、不許可及び採取制限命令を行うことが難しいという限界がある中で、独自に要綱等により温泉保護地域の設定、既存源泉との距離規制、揚湯量の制限等、近隣源泉への影響に配慮しつつ、地域特性を活かした温泉資源の保護への取組を行ってきた。

平成19年2月、環境省の諮問に基づき温泉資源の保護対策及び温泉の成分に係る情報提供の在り方等について検討を行っていた「中央環境審議会（自然環境部会温泉小委員会）」は、環境省に対し「都道府県が温泉資源保護のための条例・要綱等を定めるに当たっての参考となり、対策を円滑に進めることができるよう、新規事業者による掘削や動力装置の許可等の基準の内容や、都道府県における温泉資源保護のための望ましい仕組みについて、国は、温泉は国民共有の資源であるという観点に立って、できるだけ具体的・科学的なガイドラインを作成すべきである」との答申を行った。この答申を踏まえ、環境省では、温泉を将来の世代においても引き継ぎ利用できるよう、持続的な利用を可能とするための資源保護のあり方を示すものとして、温泉資源の保護に関するガイドラインを平成21年3月に策定した。

出典：環境省自然環境局（2014）：温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）、平成26年4月
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_3.pdf

(2) 温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）

本ガイドラインは、温泉資源の保護を図りながら再生可能エネルギーの導入が促進されるよう、地熱発電の開発のための温泉の掘削等を対象とした温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）として、2012年3月に策定されたものである。

具体的には、各段階に実施される掘削行為等から得られたデータを温泉資源への影響を判断するための資料とし、それに基づく判断の方法等を示している。

なお、本ガイドラインは、上述の「温泉資源の保護に関するガイドライン（平成26年4月改訂）」の分冊として位置付けられている。

【参考文献】

環境省自然環境局（2017）：温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）（改訂）、平成29年10月
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_6.pdf

3.4.3 条例等

地熱開発を行う際に遵守すべき条例等に関する情報は、JOGMECのホームページで公開されている。その情報を元に作成した自治体の条例の一覧（2018年1月時点）を表3-4に示す。

ただし、別府市の要綱、九重町の指導要綱、八丈町の条例／ガイドラインは、地熱開発のみを対象にしたものではなく、再生可能エネルギー全般を対象にしている。

都道府県	自治体	条例等の名称	施行日
北海道	弟子屈町	弟子屈町地熱資源の保護及び活用に関する条例	2018年1月23日
東京都	八丈町	八丈町地域再生可能エネルギー基本条例	2014年4月1日
		八丈町再生可能エネルギー事業に関するガイドライン	2014年4月1日
大分県	別府市	別府市地域新エネルギー導入の事前手続等に関する要綱	2014年9月22日
		別府市温泉発電等の地域共生を図る条例	2016年5月1日
大分県	九重町	九重町再生可能エネルギー発電設備設置事業指導要綱	2014年12月1日
		九重町地熱資源の保護及び活用に関する条例	2015年12月18日
熊本県	南阿蘇村	南阿蘇村地熱資源の活用に関する条例	2015年12月12日
熊本県	小国町	小国町地熱資源の適正活用に関する条例	2016年1月1日
鹿児島県	指宿市	指宿市温泉資源の保護及び利用に関する条例	2015年4月1日
鹿児島県	霧島市	霧島市温泉を利用した発電事業に関する条例	2015年10月5日

2018年1月時点；JOGMEC（2018）を基に作成

表3-4 地熱開発に関する自治体の条例等の一覧

出典：JOGMEC（2018）：HOME >自治体情報>地方自治体の地熱条例等関連情報
<http://geothermal.jogmec.go.jp/local/info.html>

(1) 条例の内容

地熱資源に関する条例等では、地熱資源の位置付けを、市町村固有の財産、市町村および市町村民の共有資源とし、対象事業者は温泉を利用して地熱発電を行う事業者としている。対象事業は、地熱発電事業（新規掘削、代替掘削、増掘等）または発電後に生じる蒸気や熱水等を活用した事業になる。

条例等で示されている事業者の責務と自治体の権能は、概略以下のようなになる。

(i) 事業者の責務

- ・ 地元説明会の開催
- ・ モニタリング調査計画を含む事業計画の提出
- ・ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に変化が認められた際の必要な措置
（九重町、南阿蘇村、小国町）
- ・ 事業の着手、完了の届出

(ii) 自治体の権能

- ・協議会や委員会（以下協議会等）を設置し、事業計画を審査する。市町村長は、協議会等の意見を斟酌し同意の可否を決定する。（九重町、南阿蘇村、小国町、指宿市、霧島市）
- ・事業者に対する立入調査、勧告を実施できる。また、措置に従わない場合は事業者名を公表することができる。
- ・事業者に対する環境保全に関する協定の締結を求めることができる。（指宿市、霧島市）

弟子屈町と八丈町を除く各自治体の条例等の概要を表3-5、表3-6に示す。

	大分県別府市		大分県九重町	
名称	別府市地域新エネルギー導入の事前手続等に関する要綱	別府市温泉発電等の地域共生を図る条例	九重町再生可能エネルギー発電設備設置事業指導要綱	九重町地熱資源の保護及び活用に関する条例
施行日	2014年9月22日	2016年5月1日	2014年12月1日	2015年12月18日
対象事業	太陽光発電(50kW以上) 風力発電(20kW以上) 地熱・温泉熱発電(10kW以上) 水力発電(20kW以上) バイオマス発電(10kW以上) 等	温泉発電、その他地熱エネルギーを利用した発電設備、及びその付帯設備	太陽光発電(50kW以上) 風力発電(20kW以上) 水力発電(20kW以上) 温泉発電(※) バイオマス発電全般 等	地熱発電事業(※) (※)既存井を利用した事業で事業実施前後でゆう出量に変化を生じない事業は左要綱で対応
事業者の主な責務等	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 事前相談の申込 ○ モニタリングの実施・報告 ○ 工事の着工、完了の届出 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 水利関係者への説明及び承諾 ○ 周辺環境の影響予測調査の実施 ○ 騒音防止計画の策定 ○ 事前協議開始の届出、完了の報告 ○ モニタリングの実施・報告 ○ 工事の着工、完了の届出 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 発電設備設置事業計画書及び誓約書の提出 ○ モニタリングの実施・報告 ○ 工事の着工、完了の届出 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 発電設備設置事業計画書及び誓約書の提出 ○ モニタリングの実施・報告 ○ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に変化が認められた際の必要な措置 ○ 事業の着手、完了の届出
自治体の主な権能等	<ul style="list-style-type: none"> ○ 事前相談に対する回答にあたっての関係者からの意見聴取、立入調査等 ○ 事業者に対する指導及び助言 ○ 新エネルギー導入事例及び実績等の情報公開 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 事前協議完了の承認 ○ 各種法令等手続きにおいて必要な場合に同意書の交付 ○ 事業者に対する立入調査、勧告(措置に従わない場合は当該事実の公表。改善されるまで当該事業者が行う他案件についても手続き凍結) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 事業者への立入調査 ○ 事業者に対する指導及び助言 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地熱発電事業検討委員会の設置 ○ 事業計画への町長による同意書の交付 ○ 事業者に対する勧告、立入調査(措置に従わない場合は公表)

表3-5 各自治体の条例等の概要(1)

出典：地熱発電の推進に関する研究会（2016）：地熱資源開発に係る現状と対策について（平成28年1月）を一部修正（和暦を西暦に変更し、別府市の条例施行日を追記）

http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/society/pdf/160127.pdf

	熊本県南阿蘇村	熊本県小国町	鹿児島県指宿市	鹿児島県霧島市
名称	南阿蘇村地熱資源の活用に関する条例 適用範囲:阿蘇山西部地域(南阿蘇村大字河陽、大字長野)	小国町地熱資源の適正活用に関する条例	指宿市温泉資源の保護及び利用に関する条例	霧島市温泉を利用した発電事業に関する条例
施行日	2014年12月12日	2016年1月1日	2015年4月1日	2015年10月5日
対象事業	地熱・温泉熱発電等地熱資源を活用した事業	地熱資源を活用した発電を行う事業	地熱発電(10kW以上)	温泉を利用した発電事業又は発電後に生じる蒸気や熱水等を活用した事業
事業者の主な責務等	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 事業計画の提出 ○ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に変化が認められた際の必要な措置 ○ 事業の着手、完了の届出 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 事業計画の提出 ○ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に変化が認められた際の必要な措置 ○ 事業の着手、完了の届出 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 事業計画の提出 ○ 良好な環境等に対して支障をきたすことのないよう必要な措置 ○ モニタリングの実施 ○ 市の求めに応じた協定の締結 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地元説明会の開催 ○ 事業計画の提出 ○ 事業の着手、完了の届出 ○ 市の求めに応じた協定の締結
自治体の主な権能等	<ul style="list-style-type: none"> ○ 協議会の設置 ○ 事業計画への村長による同意書の交付 ○ 事業者に対する勧告、立入調査(措置に従わない場合は公表) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 協議会の設置 ○ 事業計画への町長による同意書の交付 ○ 事業者に対する勧告、立入調査(措置に従わない場合は公表) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 協議会の設置 ○ 事業計画への市長による同意書の交付 ○ 事業者に対する勧告、立入調査(措置に従わない場合は公表) ○ 事業者に対する環境保全に関する協定の締結要求 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 委員会の設置 ○ 事業計画への市長による同意書の交付 ○ 事業者に対する勧告、立入調査(措置に従わない場合は公表) ○ 事業者に対する環境保全に関する協定の締結要求

表3-6 各自治体の条例等の概要(2)

出典：地熱発電の推進に関する研究会（2016）：地熱資源開発に係る現状と対策について（平成28年1月）を一部修正（和暦を西暦に変更）
http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/society/pdf/160127.pdf

(2) 別府市のアボイドエリア

別府市では、市内での温泉発電等の導入が自然環境及び生活環境と調和するとともに、市民との共生が図られながら行われるよう、「別府市温泉発電等の地域共生を図る条例」を制定した。施行日である2016年5月1日以降、温泉発電等の導入事業者は、本条例で規定した事前協議を中心とした手続きを行う必要があった。

2018年6月に、別府市温泉発電等の地域共生を図る条例が一部改正されたことに伴い、施行日（2018年10月1日）以降、アボイドエリア内で温泉発電等掘削を行う事業者は、新しく定められた掘削前申出を中心とした手続きが追加される。また、アボイドエリア内で温泉発電等の導入を行う場合は、温泉掘削許可申請の前に地熱資源調査、モニタリング調査等を実施し、自治会との協定の締結に努めなければならない。

【参考文献】

別府市（2018）：別府市温泉発電等の地域共生を図る条例
https://www.city.beppu.oita.jp/sangyou/environment/alternative_onsen.html

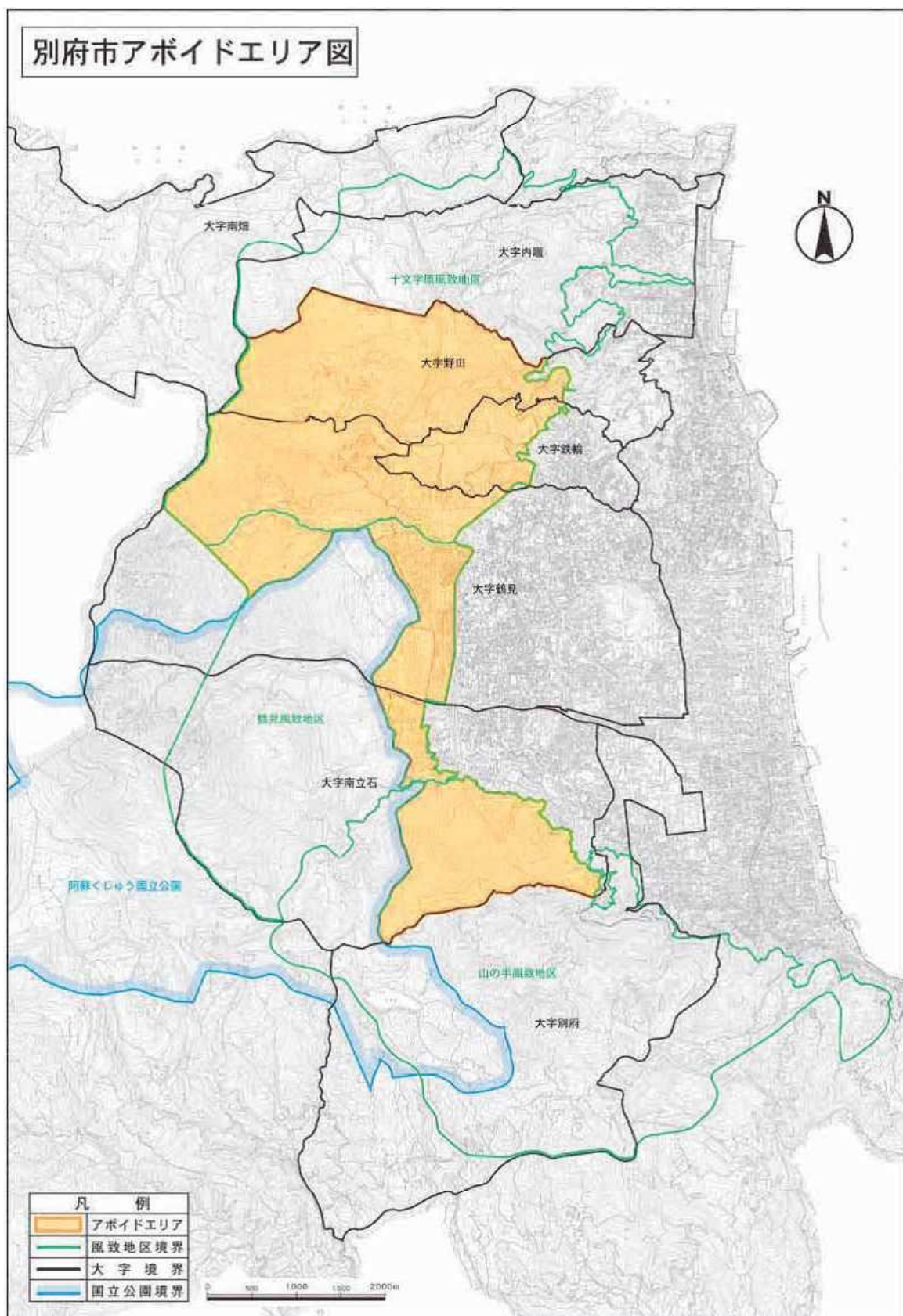


図3-11 別府市アボイドエリア

出典：別府市環境課（2018）：別府市アボイドエリア図 <https://www.city.beppu.oita.jp/doc/sangyou/environment/avoid.pdf>

(3) 大分県環境審議会による審議基準の改正

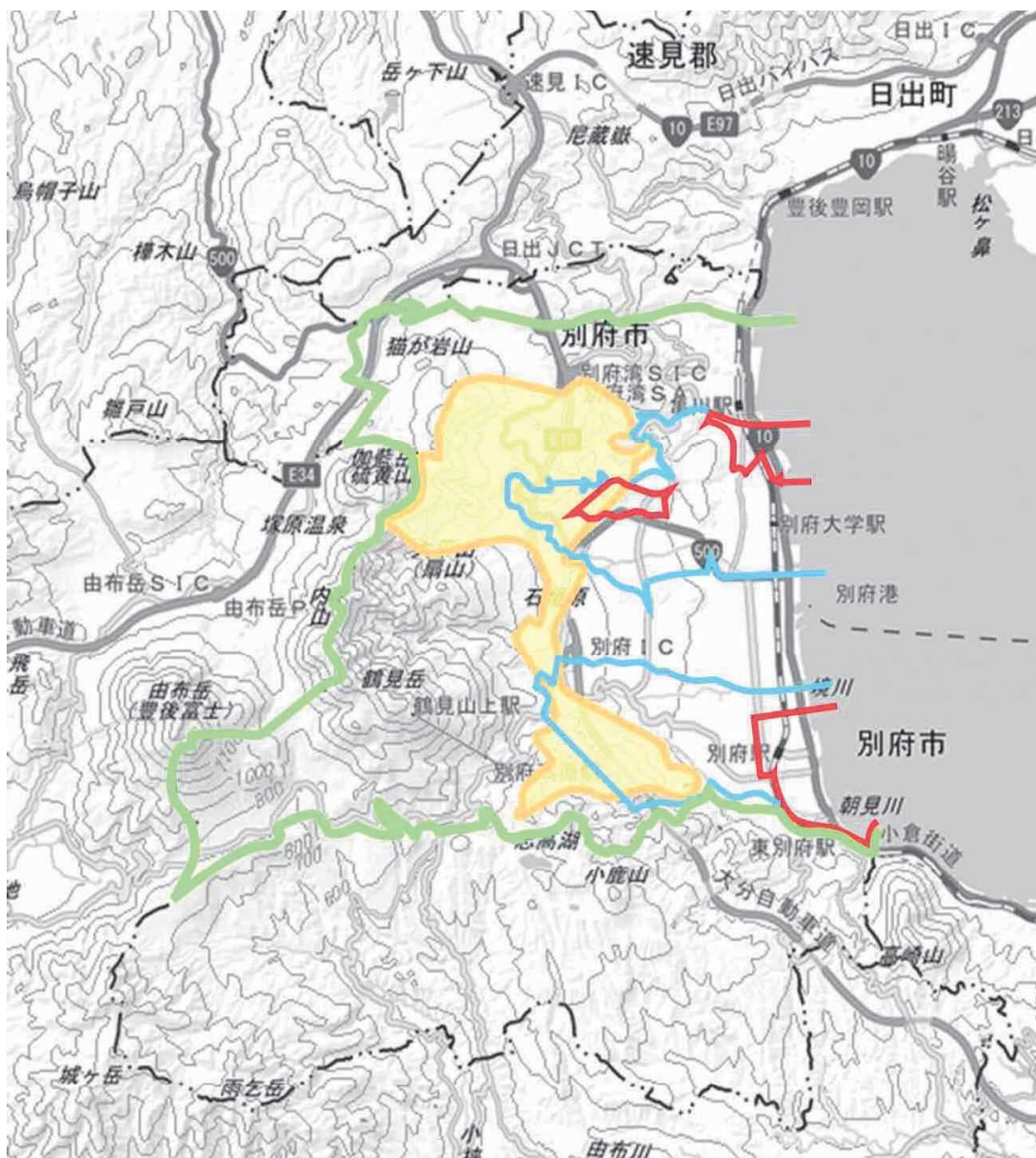
大分県環境審議会温泉部会（由佐悠紀会長）は、温泉掘削を許可する際の審議基準を定めた内規を改正し、別府市の保護地域の範囲をほぼ市内全域に拡大した。限りある温泉資源を保護し、持続的な利用につなげることが狙いである。市内の保護地域を広げるのは1973年以来45年ぶりであり、2018年12月1日から施行された。

市内の保護地域では、源泉から100m以内と噴気・沸騰泉から150m以内の新規掘削を禁止している（既存の源泉を掘り替える代替掘削は可能）。これまでは北浜や浜脇地区などを含む南部保護地域と、鉄輪地区などを含む北部保護地域が指定されていた。今回の改正で、熱源の伽藍（がらん）岳と鶴見岳から別府湾に向かって広がり、温泉が生成されていると考えられる流域の全エリアを指定。全体の名称を「市保護地域」とした。

温泉部会や県によると、市全体で、より深く掘削しないと同一温度の温泉を確保できなくなってきたおり、温度低下がみられる地域も出ている。温泉資源には限りがあり、採取しすぎると将来的に不足する懸念があることから、保護地域の見直しを検討していた。

【参考文献】

大分合同新聞（2018）：別府の温泉保護地域 ほぼ市内全域に拡大
<https://www.oita-press.co.jp/1010000000/2018/08/11/JD0057197925>



表示	地域指定	名称	新規掘削			代替掘削
			掘削の可否	離隔距離		
				温泉	噴気・沸騰泉	
	特別保護地域 (変更なし)	別府市南部特別保護地域 別府市亀川特別保護地域 別府市鉄輪特別保護地域	認めない	—	—	認める
	保護地域 (改正前)	別府市南部保護地域 別府市北部保護地域	認める	100m	150m	認める
	保護地域 (改正後)	別府市保護地域	認める	100m	150m	認める
	一般地域		認める	60m	150m	認める

※ 別府市アボイドエリア図 (概略図のため詳細は図3-11参照のこと)

図3-12 別府市の温泉保護地域の変更

出典: 大分県 (2018): 別府市の温泉保護地域の変更を基に作成
http://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2036066_2261199_misc.pdf

4

海外事例

4.1 海外の熱利用と地熱発電

4.1.1 熱利用

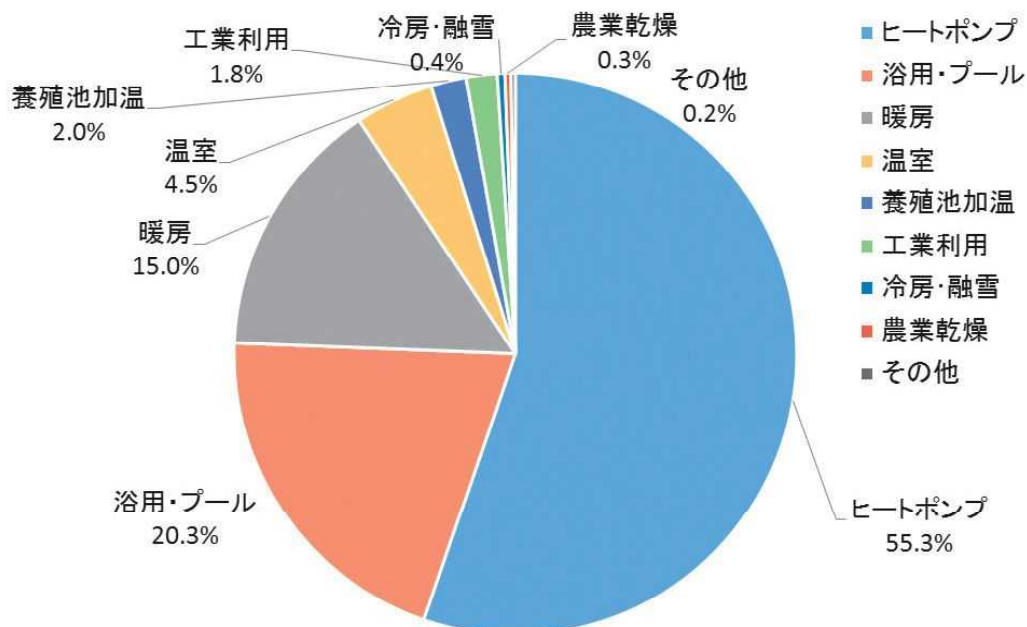
2014年12月末時点の世界の熱利用量の用途割合を図4-1に示す。熱利用の55%は地中熱ヒートポンプ（GHP）で、20%は浴用・プール、次いで15%は暖房（うち半分は地域暖房）となっている。人口あたりの直接利用が多いのはアイスランド、スウェーデン、ノルウェーなど北欧諸国、面積あたりで多いのはスイスである。最近は、タイ、エジプトの増加率が高い。利用方法として多いのは、浴用・プールが70か国、GHPは45か国、温室は31か国で使われている。利用率はGHPが20.7%、他はもう少し高く全体の平均では20%代後半、一方で産業利用の平均は50%を超えている。直接利用全体では26.2TOE/年（TOE：Tons of Oil Equivalent）、地熱発電は52.2TOE/年となり、年間の石油代替量としては、直接利用が地熱発電の約半分の量に匹敵する。

【参考文献】

安川香澄ほか（2015）:WGC2015 報告 その1（キーノート、各国近況、社会的側面、掘削、EGS、持続可能性、ソフトウェア、イノベーション、地中熱ヒートポンプ）、日本地熱学会誌、第37巻、第3号、pp.101-117

https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj/37/3/37_101/_pdf/-char/ja

John W. Lund and Tonya L. Boyd（2015）:Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review、Proceedings World Geothermal Congress 2015



2014年12月末時点

Lund and Boyd（2015）の世界の熱利用データ（合計 587,786 TJ/yr）を基に作成

図 4-1 世界の熱利用量の用途割合

出典：John W. Lund and Tonya L. Boyd（2015）:Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review、Proceedings World Geothermal Congress 2015

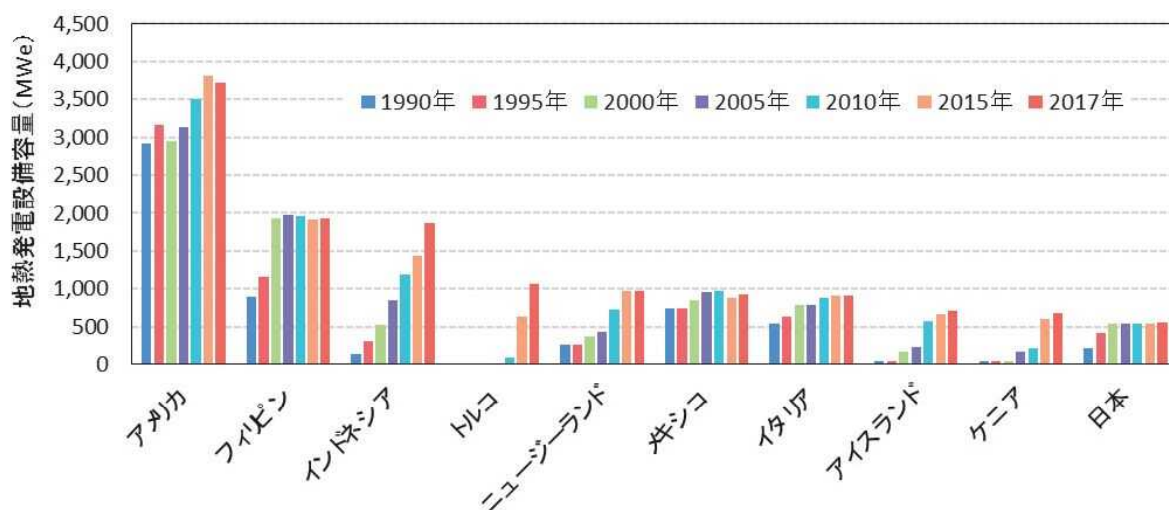
4.1.2 地熱発電

各国の地熱発電設備容量の変化は、図4-2のようになる。2017年の世界全体の地熱発電容量は14.3 GWeに達した。図4-2から分かるように、近年ではインドネシア、トルコ、ニュージーランド、アイスランド、ケニアにおける地熱開発の伸びが著しい。地熱発電設備容量の日本のシェアは4%程度となり、アイスランドに次いで世界第10位の規模となる。

世界全体のトータルの発電に占める地熱発電のシェアは非常に小さい（2017年で0.3%）が、国によっては重要な役割を果たしている。例えば、総発電設備容量に占める地熱発電の割合は、ケニアでは40%以上、アイスランドでは25%以上、ニュージーランドでは18%となっている。

【参考文献】

BP (2018): Home / Energy economics / Statistical Review of World Energy / Renewable energy / Geothermal power
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy.html/geothermal-power>



BP (2018) を基に作成

図 4-2 主要国の地熱発電設備容量の変化

出典: BP (2018): BP Statistical Review of World Energy, 67th edition, Renewable energy - geothermal
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-renewable-energy.pdf>

次節以降に、主要国における熱利用と地熱発電を含めた地熱エネルギーの利用状況を、地熱資源量の多い順に示す。

4 2 アメリカ合衆国

4.2.1 地熱資源

アメリカ合衆国における地熱資源は、火山活動や造山活動が進む西部地域に分布している。カリフォルニア州のインペリアル・バレーからサンフランシスコ地域にかけてのサンアンドレアス断層、カリフォルニア北部の海岸沖の沈み込み帯、オレゴン州、ワシントン州、そしてカスケード火山活動は、米国の多くの地熱活動の源になっている。

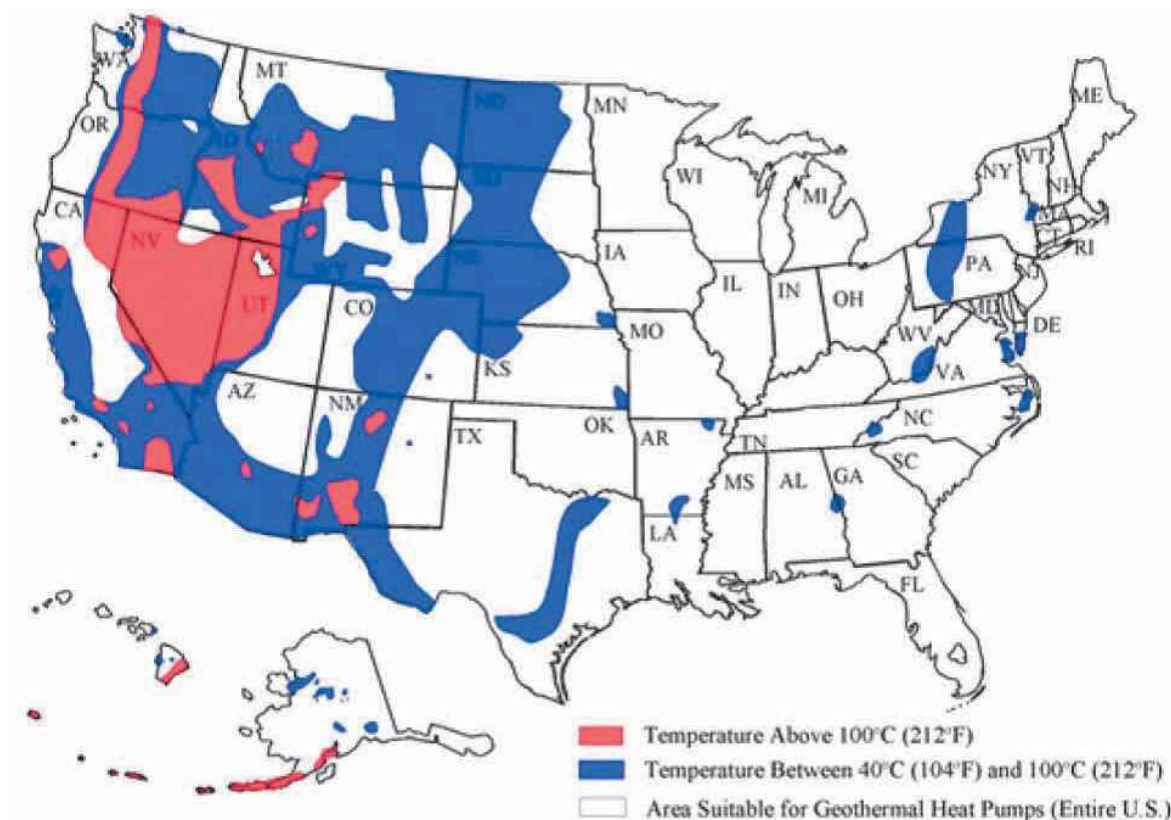


図4-3 アメリカ合衆国の地熱資源分布

出典: Tonya L. Boyd, Alex Sifford and John W. Lund (2015): The United States of America Country Update 2015, Proceedings World Geothermal Congress 2015

4.2.2 熱利用

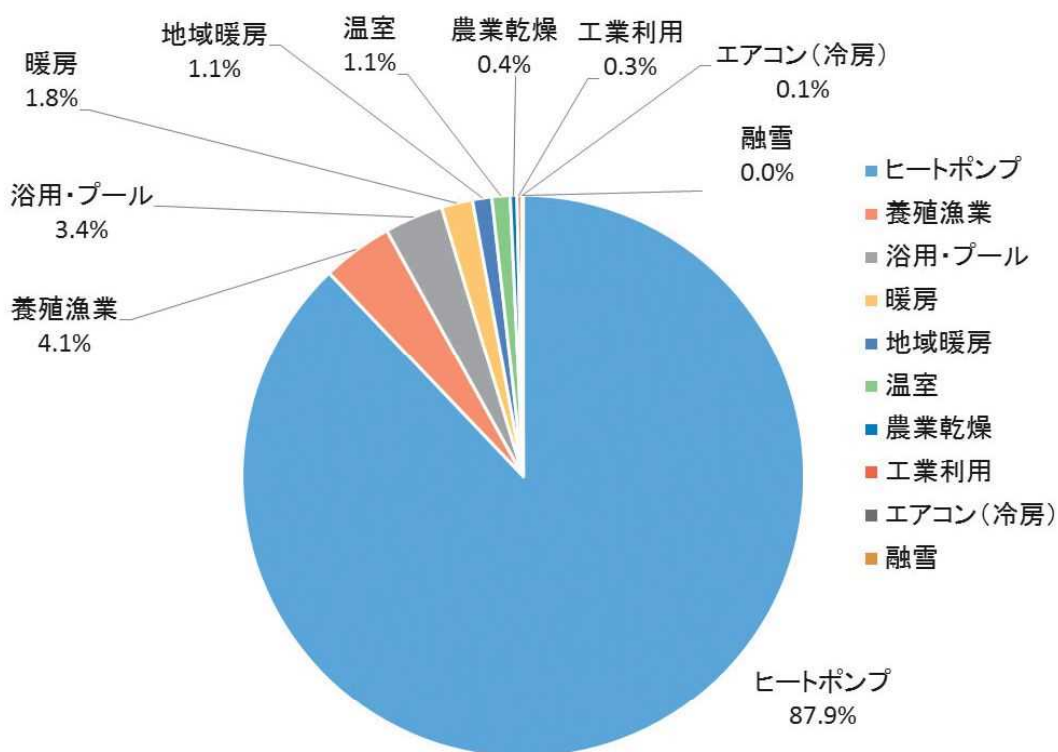
米国は、世界有数の地熱直接利用国であり、地熱エネルギーは、浴用・プール、温室および養殖漁業の暖房、暖房および地域暖房、融雪、農業乾燥、工業用および地中熱ヒートポンプとして利用されている。設備容量は17,416MWt、年間エネルギー使用量は75,862TJまたは21,074GWhである。最大の用途は地中熱（地熱）ヒートポンプ（エネルギー使用の88%）であり、次に大きい直接使用は養殖漁業と浴用・プールである。地中熱ヒートポンプは年間8%の成長率で運転され、140万ユニット（12kWサイズ）が稼働している。

すべての地熱エネルギー使用による省エネルギーは、年間約1,120万トン相当の燃料油（7,470万バレル）であり、大気汚染を（燃料油と比較して）年間約1,000万トンの炭素と2,800万トンのCO₂を削減している。

【参考文献】

BP (2018) : Home / Energy economics / Statistical Review of World Energy / Renewable energy / Geothermal power
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy.html/geothermal-power>

Tonya L. Boyd, Alex Sifford and John W. Lund (2015) : The United States of America Country Update 2015, Proceedings World Geothermal Congress 2015
<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01009.pdf>



2009年12月末時点；Boyd et al. (2015) を基に作成 (合計75,862 TJ/yr)

図4-4 アメリカ合衆国の熱利用量の用途割合

出典：Tonya L. Boyd, Alex Sifford and John W. Lund (2015) : The United States of America Country Update 2015, Proceedings World Geothermal Congress 2015
<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01009.pdf>

表4-1は、地中熱ヒートポンプを除いた2014年12月末時点の熱利用の用途別内訳である。設備容量・利用熱量ともに養殖漁業がトップで、利用率は69%と高い。次いで利用熱量が多いのは浴用・プールで、利用率は72%と極めて高い。設備容量は個別建物の暖房が2位であるが、利用率が低いいため利用熱量は浴用・プールの約半分となる。

【参考文献】

Tonya L. Boyd, Alex Sifford and John W. Lund (2015) : The United States of America Country Update 2015, Proceedings World Geothermal Congress 2015
<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01009.pdf>

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)	利用率 (%)
養殖漁業	141.95	3,074.0	69
浴用・プール	112.93	2,557.5	72
暖房（個別建物）	139.89	1,360.6	31
地域暖房	81.55	839.6	33
温室	96.91	799.8	26
農業乾燥	22.41	292.0	41
工業利用	15.43	201.1	41
冷房	2.31	47.6	50
融雪	2.53	20.0	25
その他	0.0	0.0	-
合計	615.91	9,192.2	47

2014年12月末時点

表4-1 米国の熱利用（地中熱ヒートポンプを除く）

出典：Tonya L. Boyd, Alex Sifford and John W. Lund (2015) : The United States of America Country Update 2015, Proceedings World Geothermal Congress 2015
<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01009.pdf>

(1) 養殖漁業の事例

米国の主な地熱地帯は西海岸とハワイであるが、直接利用は中西部でも広く行われている。中部のアイダホでは、12か所で地熱を使った各種養殖が行われている。最も多いのはティラピアで、その他に、なまず、かたつむり、熱帯魚、食用カエル、サンゴ等が養殖されており、中でも食用ワニが有名である (Neely, 2007)。なお、表4-1ではワニ等も養殖漁業（原文では Aquaculture）に分類されている。

食用ワニの養殖事例を図4-5に、ティラピアの養殖事例を図4-6に示す。

【参考文献】

Neely, K. (2007) : Geothermal resources in Idaho -A consumer's guide.
https://www.idahogeology.org/.../Geothermal/Geothermal_book.pdf



写真提供：Boyd, T.

図 4-5 アイダホでの地熱を使った食用ワニの養殖



図 4-6 オレゴン州クラマスフォールズ付近でのティラピアの養殖

出典：Geothermal Resources Council ホームページ
<http://geothermalresourcescouncil.blogspot.com/2017/09/usa-oregon-geothermal.html>