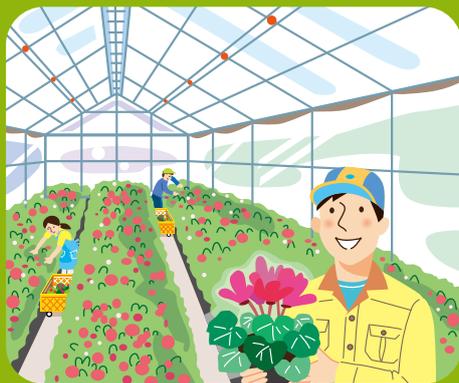


# 温泉の

持続可能なエネルギーとしての  
利活用に関する事例集





## はじめに

本県では、2018年5月25日～27日に大分県別府市において、世界中の人々が温泉の魅力を理解し、利用していただくことにより、世界の温泉地が更に発展していくことを期待して世界温泉地サミットが開催されました。このサミットでは、世界16カ国17地域から温泉地のリーダーをお迎えし、国内温泉自治体や関係団体等から1,000名を超える参加をいただき、実り多い国際会議になりました。

「世界の温泉地が拓く地域発展の可能性」～温泉がつなぐ地域資源の多様な活用方法～をテーマに、「観光」、「医療・健康・美容」、「エネルギー」の各分科会において、それぞれの地域で育んできた温泉文化や温泉資源の活用事例が共有されるとともに、温泉の新たな可能性について活発に議論がなされ、その結果がサミット宣言としてとりまとめられました。

特に、エネルギー分科会においては「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」をテーマにコーディネーターを中心に様々な意見が交わされました。その結果、温泉のエネルギー利用については「温泉は、エネルギー源として、さらなる活用が期待される資源である。エネルギー多様化の時代を迎え、温泉資源の保護・自然環境等との調和等を図りながら、発電や地域冷暖房、農業や水産業と一体となった熱利用など、様々な分野でのエネルギー利用を進めていく。」とサミット宣言に盛り込まれました。

そこで、大分県ではこの宣言を実現するため、日本全国をはじめ世界各地の温泉のエネルギーを活用する事例を紹介・解説する事例集を作成し、ホームページなどで広く公開することとしました。本事例集を幅広い場でご活用頂くことにより、温泉の持続的なエネルギーとしての利活用が進むことを期待しております。

2019年3月

大分県知事 広瀬 勝貞



## C O N T E N T S

### 1 | おんせん県おおいた<sup>♨</sup>世界温泉地サミット

1.1 概要	1
1.2 事例発表	4
1.3 分科会	5
1.4 サミット宣言	7

### 2 | 温泉熱（地熱）エネルギーの利用方法

2.1 温泉としての利用	9
2.1.1 世界の温泉分布	9
2.1.2 世界の温泉利用	10
(1) ドイツ	11
(2) ハンガリー	11
(3) アイスランド	11
2.1.3 日本の温泉分布	11
2.1.4 日本の温泉の定義と種類	12
2.2 温泉熱（地熱）の直接利用	14
2.2.1 温泉の熱利用	15
2.2.2 温泉の温度別熱利用	15
2.2.3 日本と世界の地熱直接利用	16
2.3 地熱発電としての利用	18
2.3.1 地熱資源の賦存分布	18
2.3.2 地熱発電とは	20
2.3.3 地熱発電の方式	22
(1) フラッシュ方式	22
(2) バイナリー方式	23
2.3.4 地熱発電の歴史	24
2.3.5 地域別の地熱賦存量および導入ポテンシャル	26
2.3.6 機関別の地熱発電量	29

### 3 | 国内事例

3.1 温泉利用	31
(1) 温泉の歴史	31



(2) 大分県の温泉の歴史と特色 .....	31
3.2 熱水活用事例 .....	32
3.2.1 温室ハウス栽培利用の事例.....	32
3.2.2 陸上養殖利用の事例.....	34
3.2.3 その他の利用事例.....	36
3.3 温泉を活用した発電所 .....	38
3.3.1 小規模バイナリー発電所.....	38
3.3.2 温泉発電所.....	40
(1) 温泉発電の種類と特徴 .....	40
(2) 温泉発電の現状 .....	41
3.4 温泉資源の保護 .....	43
3.4.1 法律等.....	43
3.4.2 ガイドライン.....	44
(1) 温泉資源の保護に関するガイドライン.....	44
(2) 温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係） .....	45
3.4.3 条例等.....	45
(1) 条例の内容.....	46
(2) 別府市のアボイドエリア .....	47
(3) 大分県環境審議会による審議基準の改正 .....	49

## 4 | 海外事例

4.1 海外の熱利用と地熱発電 .....	51
4.1.1 熱利用.....	51
4.1.2 地熱発電.....	52
4.2 アメリカ合衆国 .....	53
4.2.1 地熱資源.....	53
4.2.2 熱利用.....	53
(1) 養殖漁業の事例 .....	55
(2) 農業乾燥の事例 .....	57
(3) その他の事例 .....	57
4.2.3 地熱発電.....	57
4.3 インドネシア .....	59
4.3.1 熱利用.....	59

4.3.2 地熱発電	60
4.4 ケニア	61
4.4.1 地熱資源	61
4.4.2 熱利用	63
4.4.3 地熱発電	63
4.5 フィリピン	63
4.6 メキシコ	64
4.7 アイスランド	66
4.7.1 地熱資源	66
4.7.2 熱利用	67
(1) 魚乾燥の事例	69
(2) 屋外温水プールの事例	70
4.7.3 地熱発電	70
4.8 ニュージーランド	71
4.8.1 地熱資源	71
4.8.2 熱利用	72
(1) 木材乾燥の事例	72
(2) エビ養殖の事例	73
4.8.3 地熱発電	74
4.9 イタリア	76
4.9.1 地熱資源	76
4.9.2 熱利用	76
4.9.3 地熱発電	79
4.10 トルコ	80
4.10.1 地熱資源	80
4.10.2 熱利用	82
4.10.3 地熱発電	82
4.11 ドイツ	83
4.11.1 地熱資源	83
4.11.2 熱利用	83
4.11.3 地熱発電	84

## 5 個別インタビュー

5.1 湯けむり発電（㈱ターボブレード林正基社長）	87
5.2 土湯温泉（㈱元気アップつちゆ加藤勝一社長）	89
5.3 JOGMEC（西川信康部長）	91
5.4 GNS サイエンス（グレッグ・ビッグナル博士）	93

編集後記	95
------	----

## 目 次

図 2-1	世界の温泉分布	9
図 2-2	世界のプレート	10
図 2-3	温泉の地図記号	10
図 2-4	日本の温泉分布 (1994 年頃)	12
図 2-5	地熱エネルギーの多段階利用	14
図 2-6	様々な温泉の利用方法	15
図 2-7	日本の地熱直接利用用途	17
図 2-8	世界の地熱直接利用用途	17
図 2-9	地熱資源量と活火山数の相関	19
図 2-10	世界各国の地熱発電設備容量	19
図 2-11	地熱発電の仕組み	21
図 2-12	各種電源別のライフサイクル CO <sub>2</sub> 排出量	22
図 2-13	地熱発電 (シングルフラッシュ方式) の概念図	23
図 2-14	地熱発電 (バイナリー方式) の概念図	24
図 2-15	発電設備容量と発電電力量の経年変化	25
図 2-16	エリア別の地熱賦存量分布	26
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	27
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)	28
図 2-19	日本の地熱発電所位置図	29
図 3-1	弟子屈町のマンゴー栽培状況	32
図 3-2	奥飛騨ファームのバナナ苗栽培状況	33
図 3-3	(株)アドニス of シイタケ栽培状況	33
図 3-4	蒸気消毒槽による土壌や資材の消毒	34
図 3-5	ホテルパークウェイのティラピアの養殖状況	35
図 3-6	土湯温泉のオニテナガエビの養殖状況	36
図 3-7	黒田や 吸収式冷温水機	37
図 3-8	湯山地熱発電所	39
図 3-9	湯梨浜地熱発電所	39
図 3-10	土湯温泉 16 号源泉バイナリー発電所	40
図 3-11	別府市アボイドエリア	48
図 3-12	別府市の温泉保護地域の変更	50
図 4-1	世界の熱利用量の用途割合	51
図 4-2	主要国の地熱発電設備容量の変化	52
図 4-3	アメリカ合衆国の地熱資源分布	53
図 4-4	アメリカ合衆国の熱利用量の用途割合	54
図 4-5	アイダホでの地熱を使った食用ワニの養殖	56
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	56

図 4-7	アメリカ合衆国における熱利用の例（農作物の乾燥）	57
図 4-8	アメリカ合衆国西部に分布する主要な地熱発電所	58
図 4-9	ガイザース地域の地熱発電所の例（カルパイン・ユニット）	59
図 4-10	地熱の殺菌作用を利用したきのこと栽培（インドネシアのカモジャン）	60
図 4-11	ケニアの火山と地熱資源の分布	62
図 4-12	メキシコの地熱資源地域	65
図 4-13	ロス・アスフレス地域の地熱発電所	65
図 4-14	アイスランドの火山帯と地熱資源分布	67
図 4-15	アイスランドの暖房用熱源	68
図 4-16	アイスランドの熱利用量の用途割合	69
図 4-17	アイスランドにおける熱利用の例（魚の乾燥）	69
図 4-18	アイスランドのブルーラグーンとスヴァルツェンギ（Svartsengi）地熱発電所	70
図 4-19	ニュージーランドのタウポ火山地帯	71
図 4-20	ニュージーランドにおける熱利用の例（木材乾燥）	73
図 4-21	ニュージーランドにおける熱利用の例（エビ養殖）	74
図 4-22	ワイラケイ地熱発電所	75
図 4-23	イタリアの主要な地熱フィールド	76
図 4-24	イタリアでの主な地熱利用	77
図 4-25	アバノテルメの Trione Hotel の地熱直接利用フローチャート	78
図 4-26	モンテ・アマタにある温泉熱を使った温室花き栽培	78
図 4-27	トルコの西アナトリアにおける地熱フィールド	80
図 4-28	トルコの熱利用量の用途割合	81
図 4-29	トルコでの温室栽培（ディキリ地熱地域）	82
図 4-30	ドイツの熱水帯水層（左）および結晶質岩分布（右）の推定結果	83

## 表目次

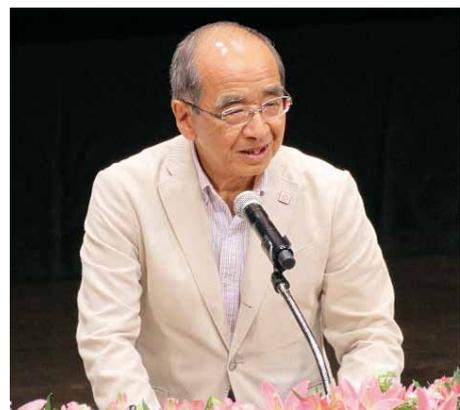
表 2-1	源泉数と湧出量の上位 5 都道府県	12
表 2-2	温泉法 第 2 条 別表	13
表 2-3	主要国における地熱資源量及び地熱発電設備容量	18
表 2-4	150℃以上の熱水系資源と国立公園の分布の関係	20
表 2-5	主な発電所の仕様等	30
表 3-1	温泉発電の主な導入事例	41
表 3-2	温泉に関する法律, 施行令, 施行規則	43
表 3-3	温泉法における温泉の保護に関する内容	43
表 3-4	地熱開発に関する自治体の条例等の一覧	45
表 3-5	各自治体の条例等の概要 (1)	46
表 3-6	各自治体の条例等の概要 (2)	47
表 4-1	米国の熱利用 (地中熱ヒートポンプを除く)	55
表 4-2	インドネシアの地熱発電所の設備容量	61
表 4-3	ケニアの熱利用	63
表 4-4	フィリピンの地熱発電所の設備容量と発電量	64
表 4-5	メキシコの地熱発電所の設備容量	66
表 4-6	メキシコの地熱資源の直接利用設備容量	66
表 4-7	アイスランドの熱利用	68
表 4-8	ニュージーランドの熱利用	72
表 4-9	ニュージーランドの地熱発電所の設備容量	74
表 4-10	イタリアの地熱発電所の設備容量	79
表 4-11	トルコの熱利用	81

# おんせん県おおいた 世界温泉地サミット

## 1 概要

2018年5月25日（金）～27日（日）の3日間、国内外の温泉を有する自治体のトップや経営者、研究者等が集まり、温泉資源の活用や地域発展の可能性について、情報交換や議論を行うため、大分県別府市の別府国際コンベンションセンタービーコンプラザにおいて、世界初となる温泉の世界サミットである「おんせん県おおいた 世界温泉地サミット」が開催された。

サミットでは、基調講演と事例発表が行われた後、①観光、②医療・健康・美容、③エネルギーの3つの分科会において各分野の議論を深め、最終的な成果として世界温泉地サミット宣言が採択された。



出典：世界温泉地サミット記録誌（2018）

開催期間	2018年5月25日(金)～27日(日)
開催地	大分県別府市 別府国際コンベンションセンター B-Con Plaza
主催	<b>世界温泉地サミット実行委員会</b> 会長 広瀬 勝貞(大分県知事) 副会長 長野 恭紘(別府市長) 副会長 幸重 綱二(公益社団法人ツーリズムおおいた会長) 監事 姫野 昌治(大分経済同友会代表幹事) ほか委員14名(P49名簿参照)
後援	経済産業省/国土交通省/観光庁/環境省/外務省/日本貿易振興機構(ジェトロ)/ 日本政府観光局(JNTO)/日本観光振興協会/国際交流基金/JICA
テーマ	「世界の温泉地が拓く地域発展の可能性」～温泉がつなぐ地域資源の多様な活用方法～
分科会	◆分科会①「観光」：ONSEN ツーリズムの新たな可能性 ◆分科会②「医療・健康・美容」：健康寿命延伸と癒やしのための温泉活用の展望 ～クアからウエルネスの時代へ～ ◆分科会③「エネルギー」：温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用
海外 参加国・地域	<b>16カ国 17地域(国連方式による国名英語表記順)</b> 1. 中華人民共和国 咸寧市 2. 中華人民共和国 烟台市 3. チェコ共和国 ホドニン市 4. フランス共和国 ヴィシー 5. ドイツ連邦共和国 バートクロツィンゲン 6. ハンガリー ブダペスト 7. アイスランド共和国 グリンダヴィーク(ブルーラグーン) 8. イタリア共和国 アバノ市 9. ヨルダン・ハシェミット王国 マイン 10. モンゴル国 バヤンホンゴル県 11. ニュージーランド タウポ市 12. 大韓民国 釜山広域市 13. スペイン王国 マドリード 14. タイ王国 チェンマイ県 15. 英国 バース市 16. アメリカ合衆国 アーカンソー州 ホットスプリングス 17. ベトナム社会主義共和国 トゥエンクワン省
数字で見る サミット	<b>1. サミット参加者：1,039名</b> うち海外からの参加者：86名 うち国内からの参加者：953名(自治体：272名、学会・企業等：262名、その他：419名) <b>2. メディア登録者数：46名</b> うち海外メディア：6カ国(フランス、ドイツ、イタリア、スペイン、英国、米国)／18名 うち国内メディア：20社／28名 <b>3. 運営スタッフ数：計185名</b> うち県・市職員スタッフ：152名 うち学生ボランティア：33名

出典：世界温泉地サミット記録誌(2018)



## 1 2 事例発表

事例発表では、①観光、②医療・健康・美容、③エネルギーの3つ分野について、それぞれ発表が行われ、このうち、エネルギー分野では、アイスランドのアーサ・プリンヨルフスドッティル氏より事例発表が行われた。

### (3) エネルギー分野

## 「エネルギーと観光：アイスランド・ブルーラグーンにおける地熱発電と地熱資源の多様な利用」



アーサ・プリンヨルフスドッティル 氏

【アイスランド】ブルーラグーン・アイスランド研究開発担当役員

アイスランド大学で薬学の修士号を取得。地熱海水の治癒力の研究を行うブルーラグーン株式会社に入社。以後、ブルーラグーンの地熱海洋水とその成分についての研究に長年従事し、その後さまざまなスキンケア商品を開発。ブルーラグーン株式会社をアイスランドのヘルスツーリズムにおける代表的な会社に押し上げたマネージメントにおけるキーパーソンである。

日本と同じく活火山の多いアイスランドでは、地熱エネルギーが多く活用されています。近くの地熱発電所からの地熱資源を利用した広大な温泉施設、ブルーラグーンでの地熱エネルギーの多様な利用について、具体的な事例を発表していただきました。

### 事例発表要約



- 雑誌「ナショナルジオグラフィック」の中で、ワンダー・オブ・ザ・ワールド(世界の不思議)として取り上げられたブルーラグーン。
- ラグーンの地熱海水は、地下2000メートルの火山帯水層から、藻類、シリカ、ミネラルが豊富な地表へと流出する。
- 研究によると、ラグーンの特有の成分には治癒力があり、とりわけ乾癬に効果がある。



- 会社の理念は、地域地熱資源を持続可能な方法で活用することである。
- 光バイオリクターシステムでは、藻類の培養に地熱発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を使用。地熱ガスを養分として藻類を培養している。こうして、廃棄される資源を有用なものに変え、発電所の二酸化炭素排出量を削減している。



- ラグーンが青いのはシリカによるもので、それはラグーンの特徴的な成分である。シリカの沈殿物は、ブルーラグーンの象徴的な白い泥マスクとして、すべてのお客様が使用できる。
- ブルーラグーンは、ヘルスツーリズムとスキンケアで先端を走る、ベンチャー企業であり、世界規模のデスティネーションかつ独自ブランドとなっている。



- 今現在は、新しいラグジュアリーホテル、ザ・リトリート・ブルーラグーン・アイスランドへの投資が行われている。
- ブルーラグーンは、今や世界的に知られ、皆が行きたいと思うようなデスティネーションとなった。またお客様に対し、忘れられない体験を提供する。

出典：世界温泉地サミット記録誌（2018）

# 1 3 分科会

分科会では、①観光、②医療・健康・美容、③エネルギーの3つ分野について、各会場に分かれ、分野ごとに議論を深めた。このうち、エネルギー分野では、「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」をテーマに、国立研究開発法人産業技術総合研究所の安川香澄氏をコーディネーターとしてシンポジウム形式で議論が行われた。



## 分科会③エネルギー

期日 / 2018年5月26日(土)  
場所 / ビーコンプラザ 中会議室

### テーマ:「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」

コーディネーター: 安川 香澄 (国立研究開発法人産業技術総合研究所再生可能エネルギー研究センター副研究センター長)  
パネリスト: 福田 孝一 (九州電力株式会社エネルギーサービス事業統括本部火力発電本部地熱部長)  
山田 茂登 (富士電機株式会社発電事業本部火力・地熱プラント総合技術部担当部長)  
グレッグ・ビグナル ([ニュージーランド] GNSサイエンス地熱科学部長)  
アーサ・ブリンヨルフスドッティル ([アイスランド] ブルーラグーン・アイスランド研究開発担当役員)

#### 論 点

- ①地熱エネルギーの利活用をどのように図るべきか
- ②温泉地における持続的なエネルギー利活用をどのように進めるべきか

#### 登壇者の発言要旨



#### 福田 孝一氏

- 九州電力の八丁原・大岳発電所では、バラヤカスミンソウなどのハウス栽培、暖房設備に活用している。
- 九州電力では2006年、2015年、2018年にかけてバイナリー発電方式を採用。

さらなる地熱エネルギーの利活用を拡大し、2018年5月、インドネシアでも地熱発電を行っている。

- 温泉地を守るには、定期的なモニタリングや自然を守るための環境アセスメントを決められたとおりやることが大事。ただし、それだけでは不十分で相互理解、コミュニケーション、そしてそれに基づく信頼関係が大切。
- 運転開始以降のコミュニケーションとして、八丁原発電所では、地熱発電について知ってもらうため、年に1度オープンデーというイベントで構内を開放。常設の展示館も設けており、年間を通じ2万2000人の方が来訪。



#### 山田 茂登氏

- アイスランドやトルコは、世界の地熱発電の設備容量(発電能力)のデータによると、大きく伸びている。幅広く事業展開し、地熱エネルギーの利活用を行っていることが評価できる。

- 地熱発電は、熱だけではなく、色々と事業を広げる可能性がある。
- 地熱は、第1次産業に有益ではないという意見もある。各々の地域で温泉利用以外に、地域に適したエネルギーの利用拡大を検討し、計画できる人が出てくるのが非常に大事。
- 地熱発電が広まることも重要だが、温泉資源の利用機会を拡げる、コンサルや企業が出てきて利用拡大につながっていくといい。





### グレッグ・ビグナル 氏

- ニュージーランドでは、19～20%ぐらいの発電を地熱が担っている。これにより、化石燃料を基にした発電所を閉鎖していく機会が訪れる。中期的には、その地熱発電の将来的な投資、将来的な拡張を考えていきたい。
- 重要なことは、コミュニティがどのようなことに地熱を使いたいかということ。マオリの人々は自然を所有するのではなく、守りたいという立場を取っている。温泉に関しても地熱に関しても、所有はしない、守るという信念・心情が大切。
- 発電所のサイズが非常に小さいものであっても、グリーンハウスや酪農工場に供給され、雇用を創出し、利益を生み出している点で、地域の経済開発に大きなプラスになっている。
- 地下から熱水をくみ出すときに自然に補充される補充率とのバランスを取る必要がある。以前ニュージーランドは、そのレートが間違っていたため地球に負荷をかけたことがある。しかし、そのバランスを保つ限り、地下熱資源というものは再生可能エネルギーである。



### アーサ・プリンヨルフスドットティル 氏

- ブルーラグーンでは、温泉やホテル、スキンケアショップやレストランを企業群(リソースパーク)として捉え、発電時の温水を各施設が持続可能な方法で活用するなど様々な方法で活用している。
- 持続的なエネルギー利活用を進めるにはモニタリングが重要。教育、コミュニケーション、それから互いの信頼関係を構築していくことが持続可能な開発につながる。
- 地域の人たちのクオリティ・オブ・ライフ(生活の質)を向上させるためできる限り天然資源を使ったエネルギー発電に努めている。
- さまざまな産業分野に温泉を通して雇用を創出し、供給していけるということも重要。それぞれの分野でどのような可能性があるか、連携しながら開発を進めていくことが大切。



参加機関の取組パネル展示



参加機関の取組冊子

### 分科会総括

### 安川 香澄 氏

- 「地熱エネルギーの利活用をどのように進めるべきか」という論点では、産業面での活用がある。産業面の活用には、地域資源の特性を考え、社会環境も考慮し計画を立てることが重要。
- 「温泉を活用した新たな発電の可能性」という論点では、特に島しょ部や遠隔地では、災害時、送電が断たれることがあるので、小規模でも温泉を活用した発電所は非常に有効。
- 「温泉地における持続的なエネルギー利活用をどのように進めるべきか」という論点では、大規模な地熱発電の開発は温泉への影響がないかという意見が会場から多くあり、温泉地で温泉をうまく利用し、悪影響を与えずエネルギーを別の使い方ができないかと考える観点が必要。
- 「泉源に影響を及ぼさないエネルギー利用の検討」という論点では、モニタリングデータに基づいた効果的な数値モデリングを行って、将来予測を行うことが重要。また、専門家以外にも理解できる技術ガイドラインを作成し、乱開発を避けて管理する体制をつくるための社会環境整備も重要。
- 「自然環境や景観、生活環境との調和」という論点では、地域の賛同を得られるデザインが大切。プラントを隠すだけではなく、環境教育や観光の観点から見せる施設も必要。
- 「地域関係者との合意形成による持続的な発展」という論点では、地元とコミュニケーションを密に取りながら合意形成を行い、多目的利用によって持続的な地域の発展に貢献するような使い方を考えていくことが大切。



## 1 4 サミット宣言

分科会終了後、再び全体会の会場に集まり、分科会コーディネーターから3つの分科会での議論の総括が発表され、最後に前国連世界観光機関（UNWTO）アフィリエイトメンバー部門長ヨランダ・ペルドモ氏からサミット宣言が発表された。サミット宣言には、世界の温泉地のリーダーがサミットで得た知見やネットワーク等を活かし、温泉地の発展に貢献することや、観光や医療・健康・美容、エネルギーの各分野における温泉の活用を進めることに加え、継続的な情報共有や議論の場としてサミットを継続していくことが盛り込まれ、会場の出席者から大きな拍手をもって承認された。



出典：世界温泉地サミット記録誌（2018）

## 世界温泉地サミット宣言

我々、世界の温泉地のリーダーは、日本国大分県別府市で開催された「世界温泉地サミット」において、主題である『世界の温泉地が拓く地域発展の可能性』について情報を持ち寄り、活発に議論した。今後、世界中の人々が温泉の魅力を理解し、利用していただくことにより、世界の温泉地がさらに発展していくことを期待して、次のことを世界に向けてアピールし、実践することを表明する。

### 1. 世界の温泉地発展への貢献

我々は、地球の恵みである温泉資源について、本サミットを通じて得た世界の温泉文化や温泉資源の活用事例、専門的知見、多様な主体とのネットワークを最大限生かし、温泉に関するデータベースの構築に取り組むとともに、新たな価値の創造と相互交流を図りながら、世界の温泉地の発展に貢献する。

### 2. 温泉と観光振興

観光は、貧困や富の不平等の軽減、文化の保存、無形有形遺産の保護、ジェンダーの平等の促進、そして、環境・社会・経済の発展と持続可能性の向上において、改革の力をもつツールである。

温泉は、観光分野において重要な自然・文化資源である。環境意識の向上を図り、自然の恵みである温泉資源を維持するとともに、地域の特性に応じた差別化によって魅力を高めるなど、これまで以上に誰もが楽しめる温泉観光の実現を目指す。

### 3. 温泉の医療・健康・美容への利用

温泉は、医療・健康・美容分野において非常に有益な資源である。産学官連携による研究を進め、人類共通の財産として、温泉の新たな可能性と魅力を発信しながら、これらの分野への活用を推進する。特に、温泉利用がこれまでのクア(療養)に加え、ウエルネス(健康・美容)へと拡大していることに注目すべきである。

### 4. 温泉のエネルギー利用

温泉は、エネルギー源として、さらなる活用が期待される資源である。エネルギー多様化の時代を迎え、温泉資源の保護・自然環境等との調和等を図りながら、発電や地域冷暖房、農業や水産業と一体となった熱利用など、様々な分野でのエネルギー利用を進めていく。

### 5. 世界温泉地サミットの継続

我々は、以上のような目的を持って、世界の温泉地のリーダーが継続的な情報共有や議論をするため、サミットの開催を継続していく。

以上、ここに宣言する。

2018年5月26日

# 2

## 温泉熱(地熱)エネルギーの利用方法

温泉は地熱により熱せられた地下水であり、温泉熱と地熱は熱源としては同種である。これらの熱源の利用方法は、熱として直接利用する方法と、温泉熱・地熱を利用して発電する方法に大別できる。

### 2 1 温泉としての利用

温泉熱(地熱)エネルギーの利用方法として、最も広く活用されているのは浴用としての温泉である。

#### 2.1.1 世界の温泉分布

海外では特にヨーロッパ諸国をはじめ、北南米、ニュージーランド、中国など環太平洋諸国、および東・南アフリカ諸国にも多数の温泉が湧出し利用されている。これらの温泉はアルプス・ヒマラヤ造山帯や日本列島からロッキー・アンデス山脈を経て南太平洋に至る環太平洋造山帯など、火山活動が活発で地殻運動が盛んな新期造山帯に多く見られる。対して、ヒマラヤ・チベット高地、中国、シベリアのバイカル湖周辺、アフリカ大陸の北西部と南部など火山のないところにも高温の温泉が湧出することがあるが、これらの温泉はプレートの境界部とよく一致しており、断層に沿って温泉が湧出することはよく知られている。また、ハワイ島や北米のイエローストーンなど、高温のマグマがプレートを突き抜けて地表に現れるホットスポットと呼ばれる場所にも温泉が湧出する。このように、温泉は地球規模で地殻変動が盛んな場所と共に存在することから、まさに温泉は「大地の恵み」であると言える。世界の温泉分布を図2-1に、世界のプレートを図2-2に示す。

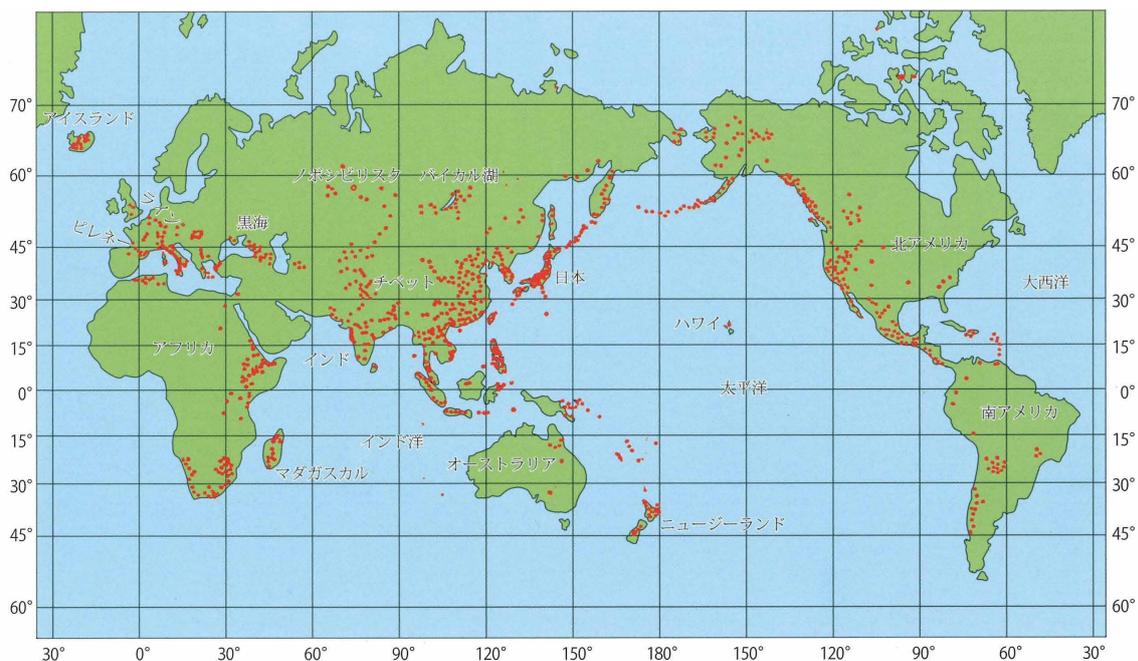


図 2-1 世界の温泉分布

出典：社団法人日本温泉協会（2006）：温泉 自然と文化、世界の温泉分布（湯原・瀬野原図）



図 2-2 世界のプレート

出典：社団法人日本温泉協会（2006）：温泉 自然と文化、世界のプレート（兼岡一郎原図）

### 2.1.2 世界の温泉利用

先の温泉分布図に示した通り、世界中で温泉が湧出しているが、自然環境、生活習慣、宗教、言語などの違いによって温泉文化もまた世界各国で異なっている。日本では高温泉が多く湧出したことから、そのほとんどが、いわゆる「湯浴み・お風呂」として利用されているのに対し、海外、特にヨーロッパでは火山帯が少ないため湯量が少なく、泉温も低いため「水浴び・プール」のように利用されることが多い。

温泉の温度の定義として日本では25℃以上と定義されているのに対し、ドイツ、イギリス、フランス、イタリアなどのヨーロッパ地域では20℃以上、北米では70°F（21.1℃）以上とされている。湯けむりが立ち上る泉を示す日本の地図記号に対して、フランスの地図記号ではおよそ噴水を彷彿とさせる。



【日本】



【フランス】

図 2-3 温泉の地図記号

出典：国土地理院ホームページ：地理院ホーム>子どものページ>地図記号>いろいろな地図記号>外国の地図記号  
<http://www.gsi.go.jp/common/000206972.jpg>

### (1) ドイツ

ドイツは日本に続いて世界的にも温泉国として有名である。これは近代になって医療としての温泉、すなわち「温泉医学 (Balneology)」として発展させ、さらにはバーデン・バーデンに代表される高級リゾート地を開発したことが大きく影響していると考えられる。この地はヨーロッパでは珍しく高温 (70℃) の温泉が豊富に湧出しており、中でも19世紀に建設されたフリードリッヒ浴場は伝統的な温泉療養館である。ここでは、複数の浴槽やサウナ、マッサージ等で構成され、滞留時間まで細かく定められた一連のプログラムに従って入浴する入浴法がとられており、医師などの専門家による健康状態に合わせた助言も行っている。

### (2) ハンガリー

ハンガリーの首都、ブダペストには非常に多くの温泉施設が存在し、ローマ時代から利用されている。また、ハンガリー西部にあるバラトン湖の近くにヘーヴィーズ湖という入浴ができる天然の温泉湖があり、水温は年中30℃前後で保たれるが、水深が深いところでは35mを超えるため、浮き輪を使って入浴する様子が見られる。

### (3) アイスランド

アイスランドを代表する観光地の1つでもあるブルーラグーンは世界最大の温泉湖であるが、自然に湧出する温泉ではなく隣接する地熱発電所が汲み上げた地下熱水の排水からなる温泉である。その名の通り、パステルブルーの温泉で、シリカや硫黄を多く含むため、高い皮膚病治療効果があるとして、温泉の泥を利用したスキンケア用品などの開発も行われている。

## 2.1.3 日本の温泉分布

環太平洋造山帯に位置する日本列島は火山活動や地震に見舞われる一方で、全国47都道府県すべてに温泉が湧出し、源泉数27,421、湧出量は毎分2,564,123Lに及ぶなど、世界有数の温泉大国として大自然の恵みを享受してきた (表2-1参照)。1994年頃の温泉分布を図2-4に示す。

日本全土の温泉地の多くは火山性温泉であるが、近年の掘削技術の進歩に伴い、深部掘削が容易になってきていることから、主に都市部を中心に地熱を熱源として温められた地下水等を温泉とする非火山性温泉も多く存在する。

出典：環境省 (2018)：平成 28 年度温泉利用状況  
<https://www.env.go.jp/nature/onsen/data/>

順位	源泉数*		湧出量 (L / 分)	
1	大分県	4,385	大分県	281,331
2	鹿児島県	2,764	北海道	206,564
3	静岡県	2,261	鹿児島県	156,346
4	北海道	2,230	青森県	153,054
5	熊本県	1,352	熊本県	133,661
全国総数		27,421		2,564,123

平成 28 年度温泉利用状況を基に作成。\*源泉数は利用源泉数と未利用源泉数の和

表2-1 源泉数と湧出量の上位 5 都道府県

出典：環境省（2018）：平成 28 年度温泉利用状況  
<https://www.env.go.jp/nature/onsen/data/>

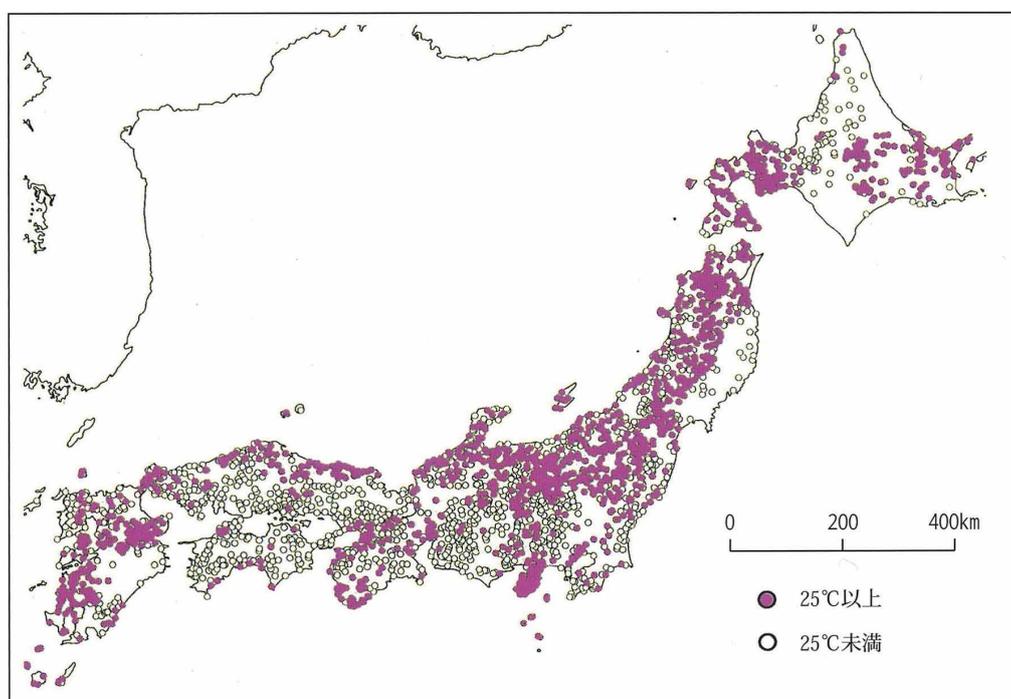


図 2-4 日本の温泉分布（1994 年頃）

出典：社団法人日本温泉協会（2006）：温泉 自然と文化、日本の温泉分布（大山正雄原図）

#### 2.1.4 日本の温泉の定義と種類

温泉は、1948年に制定された「温泉法」により、地中から湧出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く。）であって、温度は摂氏25度以上又は表2-2に掲げる物質のうちいずれか一つを有するものと定義されている。温泉を分類する方法として「温度」、「pH」、「浸透圧」、「泉質」などが挙げられるが、浴場に掲示され一般的に馴染み深いのは泉質による分類である。

泉質名としては先述の温泉法制定以降「単純温泉」、「単純炭酸泉」、「鉄泉」など泉質を大きく11種類に分類した「旧泉質名」が使われていたが、1979年以降国際基準に合わせて「ナトリウム-塩化物泉」、「ナトリウム-炭酸水素塩泉」など、温泉水に含まれる化学成分をそのまま記す「新泉質名」に変

更された。しかしながら、化学成分だけでは一般的に効能なども分かりづらいことから、1982年に「揭示用泉質名」がつけられ、2014年の改訂に伴い現在は「単純温泉」、「二酸化炭素泉」、「塩化物泉」、「炭酸水素塩泉」、「硫酸塩泉」、「含鉄泉」、「含よう素泉」、「硫黄泉」、「酸性泉」、「放射能泉」の10種類に分類されている。

物質名	含有量（1kg中）
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量 1,000mg 以上
遊離炭酸（CO <sub>2</sub> ）	250mg 以上
リチウムイオン（Li <sup>+</sup> ）	1mg 以上
ストロンチウムイオン（Sr <sup>2+</sup> ）	10mg 以上
バリウムイオン（Ba <sup>2+</sup> ）	5mg 以上
フェロ又はフェリイオン（Fe <sup>2+</sup> 、Fe <sup>3+</sup> ）	10mg 以上
第一マンガンイオン（Mn <sup>2+</sup> ）	10mg 以上
水素イオン（H <sup>+</sup> ）	1mg 以上
臭素イオン（Br <sup>-</sup> ）	5mg 以上
沃素イオン（I <sup>-</sup> ）	1mg 以上
ふっ素イオン（F <sup>-</sup> ）	2mg 以上
ヒドロヒ酸イオン（HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ）	1.3mg 以上
メタ亜ヒ酸（HAsO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ）	1mg 以上
総硫黄（S）〔HS <sup>-</sup> +S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +H <sub>2</sub> S に対応するもの〕	1mg 以上
メタほう酸（HBO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ）	5mg 以上
メタけい酸（H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ）	50mg 以上
重炭酸そうだ（NaHCO <sub>3</sub> ）	340mg 以上
ラドン（Rn）	20( 百億分の1 キュリー※) 以上
ラジウム塩（Ra として）	1 億分の1mg 以上

※放射エネルギーの単位、1キュリーは 37 ギガベクレル

表2-2 温泉法 第2条 別表

【参考文献】

- 川崎義巳（2002）：アチチ君の温泉教室—そこが知りたい温泉の見方、利用の仕方—、民事法研究会、223p
- 山本正隆（2006）：世界温泉紀行66湯、くまざ出版、199p
- 阿岸祐幸・飯島裕一（2006）：ヨーロッパの温泉保養地を歩く、岩波書店、162p
- 日本温泉科学会編（2005）：温泉学入門—温泉への誘い—、コロナ社、128p
- 山村順次（2015）：47都道府県・温泉百科、丸善出版、311p
- 環境省 HP：温泉法の概要（<https://www.env.go.jp/nature/onsen/outline/>）

## 2.2 温泉熱（地熱）の直接利用

温泉熱（地熱）の直接利用とは、温泉の蒸気や熱水、あるいは地熱発電や温泉に利用した後の蒸気や熱水を、熱源としてさまざまな用途に利用することである。

最も温度の高い蒸気や熱水で地熱発電を行い、残った熱源を温度の高いほうから低いほうへ何段階にも渡って熱利用することは、地熱エネルギーのカスケード利用（多段階利用）と呼ばれている。未利用エネルギーを有効活用することができる地熱の直接利用は、コスト面でのメリットも大きい（JOGMEC、2018）。

図2-5は、高温度域から低温度域までの各段階における熱利用を示したものである（安川、2018）。地熱エネルギーを多段階利用することにより、熱効率もコスト効率も上がり、単独では採算性のない利用法も実現可能になる。

### 【参考文献】

JOGMEC (2018) : HOME > 地熱一般情報 > 地熱と温泉 > 熱水の有効利用  
<http://geothermal.jogmec.go.jp/information/hotsprings/use.html>  
 安川香澄 (2018) : 世界温泉地サミット資料

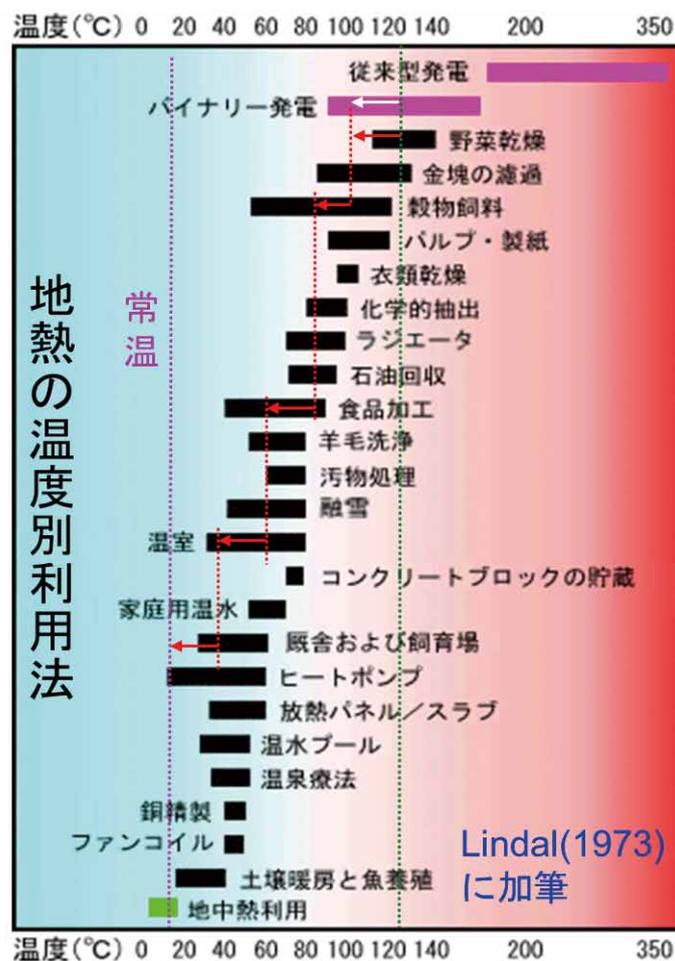


図2-5 地熱エネルギーの多段階利用

### 【参考文献】

安川香澄 (2018) : 世界温泉地サミット資料 (Lindal (1973) に加筆)  
 Lindal, B. (1973) : Industrial and Other Applications of Geothermal Energy. Geothermal Energy, (ed.H. C. H. Armstead), Earth Science, Vol.12, UNESCO, Paris, pp.135-148.

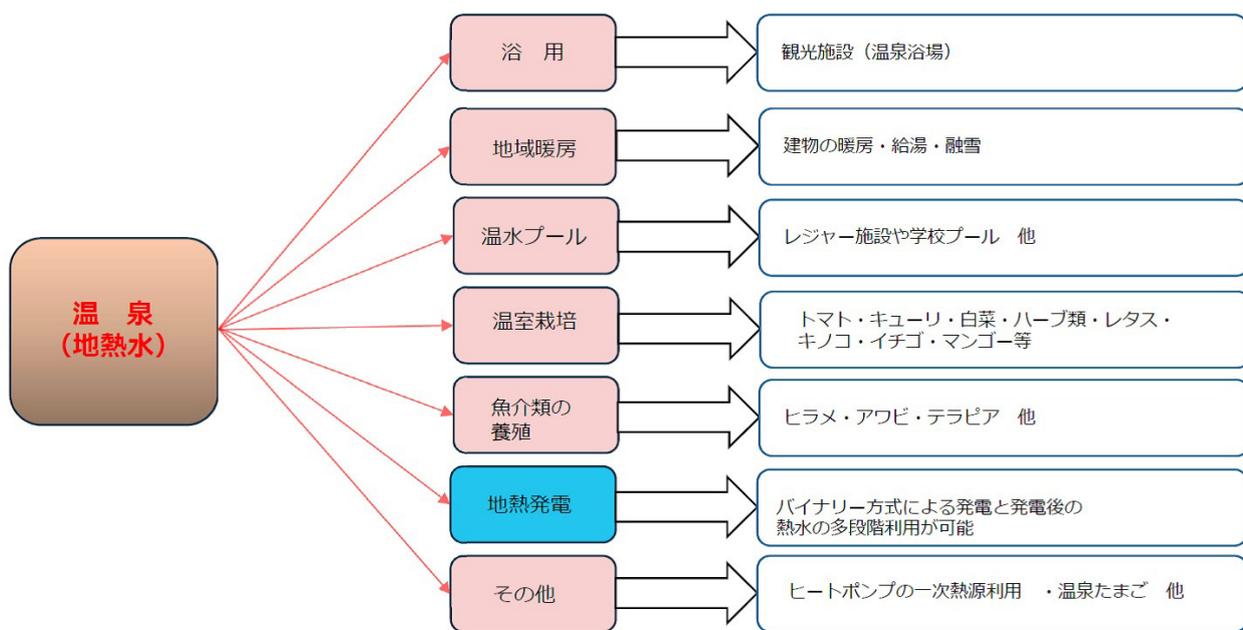
## 2.2.1 温泉の熱利用

温泉は、20℃から100℃超の広い温度幅で湧出するが、入浴適温は40℃程度である。このため、適温以上の温度で湧出した温泉は、自然冷却あるいは水を加えることにより、入浴適温にして利用されるのが通例である。入浴後の温泉水は、20℃前後の温度を保っている場合が多いが、通常はそのまま排出されて利用されることはない。温泉の熱エネルギーは無駄に捨てられていると言って過言ではない。このような状況を背景として、一般財団法人日本環境衛生センターは「温泉の温暖化対策研究会」を組織し、温泉熱の有効利用の技術的可能性の研究、温泉熱利用の促進策の検討を始めている（奥村ほか、2010）。

環境省においても、CO<sub>2</sub>排出削減や温泉地の活性化を目的として、図2-6に示すような各種の温泉熱利用の促進を図る施策が進められている（環境省、2018）。

### 【参考文献】

奥村明雄・河邊安男・大野貴弘（2010）：温泉熱等の利用状況の実態と有効利用に関する研究、日本環境衛生センター所報、第37号、pp.92-100  
<http://www.jesc.or.jp/Portals/0/center/library/shoho/H21shoho6.pdf>  
環境省（2018）：温泉熱の有効活用について  
[https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa\\_utilizing.html](https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html)



出典：資源エネルギー庁（2017）：地熱資源開発の現状について

図2-6 様々な温泉の利用方法

出典：四宮博（2018）：地熱資源の活用で地域を豊かに～宝の山プロジェクト始動～、平成29年温泉熱の有効活用促進セミナー、資料-3  
[https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa\\_utilizing.html](https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html)

## 2.2.2 温泉の温度別熱利用

温泉の熱利用では、温泉の温度帯に応じて、以下に示すような各種の温泉熱利用の促進を図る施策が進められている（北海道経済部産業振興局、2017）。

- ①70℃以上の高温であればバイナリー発電が期待できる。ただし、バイナリー発電を行う場合、温度に加え200L/分以上の温泉の流量と、30℃以下で330L/分以上の冷却水も必要である点に留意が必要である。
- ②温泉の熱は熱交換器により直接利用することもできる。45℃以上の温泉では直接浴用に利用するに

は温度が高いため、熱交換により熱を放出して冷ました後に浴用に利用することができる。

- ③排湯のような低温の熱でも、給湯の予熱に利用することができ、重油等の燃料の消費量を抑制することができる。
- ④排湯はヒートポンプの熱源として利用することができる。ただし、イニシャルコストが高いため、宿泊施設の暖房や給湯など稼働率が高く、燃料消費量の多い熱源であれば、代替できる可能性がある。ただし、流量が少ない場合は利用が見込めない場合や規模が縮小することがある点に留意が必要である。また、例えば農業利用では葉物野菜を栽培する場合は、土壌が凍結しない程度の温度が確保できれば良いなど、利用する目的や条件によって必要な温度帯は異なる。

【参考文献】

北海道経済部産業振興局（2017）：地熱・温泉熱課題解決ガイドブック  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/kadai-gaido.pdf>

### 2.2.3 日本と世界の地熱直接利用

日本における地熱の直接利用と世界における地熱の直接利用の用途割合を、熱量単位（MWt）の設備容量の割合として、それぞれ図2-7と図2-8に示す。日本では浴用・プールによる利用が87%と大部分を占めるが、世界の利用用途を見ると、浴用・プールは45%であり、日本よりは地熱資源を様々な用途で利用していることがわかる。日本においても今後さらなる地熱の直接利用用途の拡大を図る必要がある。

【参考文献】

NEDO（2008）：地熱エネルギー・パロメータ 2007年（EU）、NEDO 海外レポート、NO.1021  
<https://www.nedo.go.jp/content/100105395.pdf>

【発電容量と熱出力の設備容量の単位】

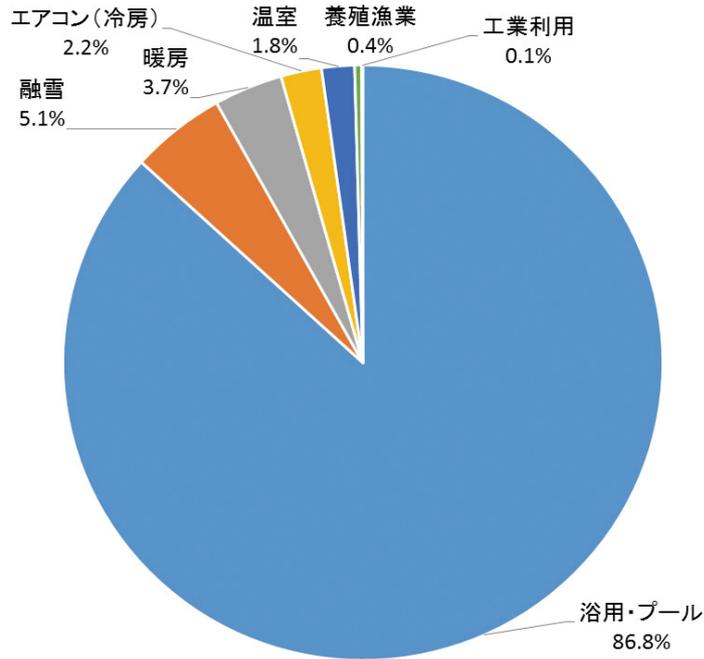
海外では、地熱発電所の設備容量は「MWe (megawatt electrical (メガワット電気トリカル) : ワット電気トリカルは電力の出力単位)、地熱の直接利用における設備容量は「MWt あるいは MWth (megawatt thermal (メガワットサーマル) : ワットサーマルは熱出力の単位) と区別して標記されている。

日本では、これらを区別して表記することは少なく、地熱発電所の設備容量（発電容量を）「W」単位で標記することが多いので、本事例集でもこれを踏襲する。また、地熱の直接利用における設備容量の単位は、「MWt」（t は半角下付き）とする。

なお、1万kWは10MWとなる。

【参考文献】

NEDO（2008）：地熱エネルギー・パロメータ 2007年（EU）、NEDO 海外レポート、NO.1021  
<https://www.nedo.go.jp/content/100105395.pdf>

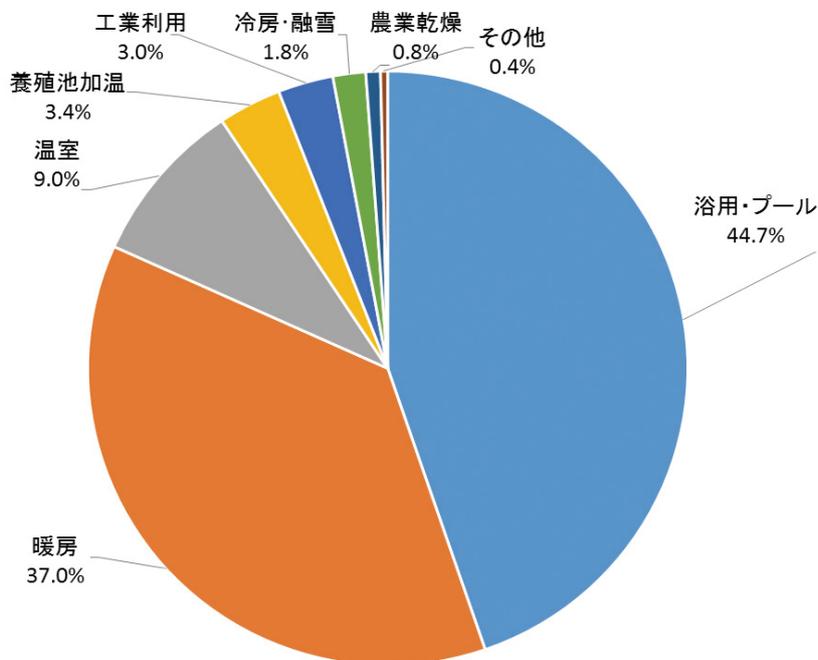


熱量としての設備容量の割合；IGCのGEOHERMAL POWER DATABASEに掲載されている日本の熱利用データ（合計2,086MWt）を基に作成（ヒートポンプのデータは除外）

図2-7 日本の地熱直接利用用途

出典：IGC：GEOHERMAL POWER DATABASE（2019年2月時点）

<https://www.geothermal-energy.org/explore/our-databases/geothermal-power-database/#direct-uses-by-purpose>



熱量としての設備容量の割合；Lund and Boyd（2015）の2015年世界の熱利用データ（合計20,431MWt）を基に作成（ヒートポンプは除外）

図2-8 世界の地熱直接利用用途

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

## 2 3 地熱発電としての利用

### 2.3.1 地熱資源の賦存分布

各国の地熱資源量を見ると、世界最大規模の地熱地帯（ザ・ガイザーズ地熱地帯）をもつアメリカが第1位（3,000万kW）、多くの火山島からなるインドネシアが第2位（2,779万kW）、次いで日本は世界第3位（2,347万kW）に位置しており、世界有数の地熱資源国といえる（表2-3）。地熱資源量は、図2-9に示すように活火山数と強い相関がある。図2-10に示す世界各国の地熱発電設備容量を見ても、環太平洋火山帯において大規模な地熱発電設備が設置されていることがわかる。

#### 【参考文献】

NEDO（2008）：地熱エネルギー・バロメータ 2007年（EU）、NEDO 海外レポート、NO.1021  
<https://www.nedo.go.jp/content/100105395.pdf>

国名	地熱資源量 (万 kW)	地熱発電設備容量 (万 kW)
アメリカ合衆国	3,000	372
インドネシア	2,779	186
日本	2,347	52
ケニア	700	68
フィリピン	600	193
メキシコ	600	92
アイスランド	580	71
ニュージーランド	365	98
イタリア	327	92
トルコ	—	106

地熱資源量は経済産業省資源エネルギー庁（2018）を転記。海外の地熱発電設備容量はBP（2018）の2017年データを抜粋。日本の地熱発電設備容量は火力原子力発電技術協会（2018）の2017年データを基に、2019年2月時点の情報（東北電力、2017；日本重化学工業、2019）を踏まえて再計算した2019年2月時点の最新値。

表2-3 主要国における地熱資源量及び地熱発電設備容量

出典：経済産業省資源エネルギー庁（2018）：平成29年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2018）

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/>

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>

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

出典：東北電力（2017）：柳津西山地熱発電所の定格出力変更による運用開始について、平成29年8月28日

[https://www.tohoku-epco.co.jp/news/normal/1195420\\_1049.html](https://www.tohoku-epco.co.jp/news/normal/1195420_1049.html)

出典：日本重化学工業（2019）：岩手県松尾八幡平地域で地熱発電所が本格運転開始、2019年1月29日

<http://www.jmc.co.jp/> 岩手県松尾八幡平地域で地熱発電所が運転開始 .html

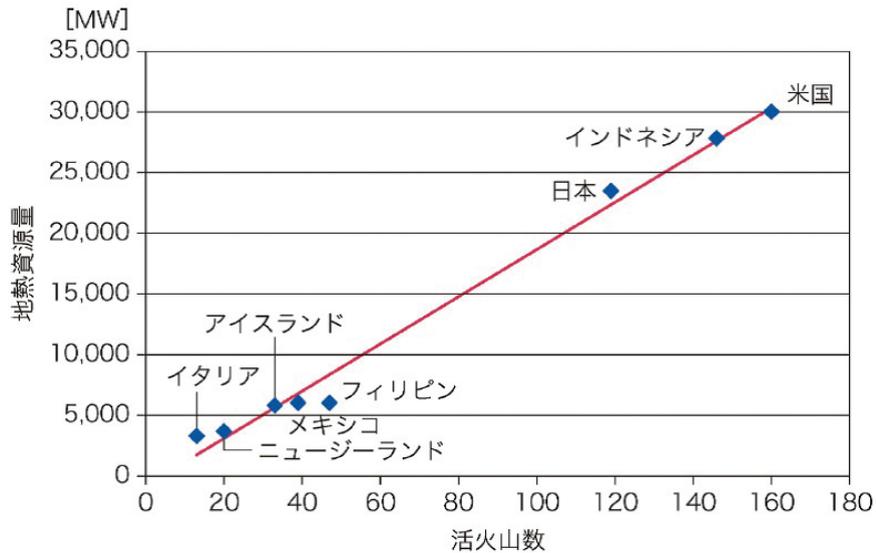
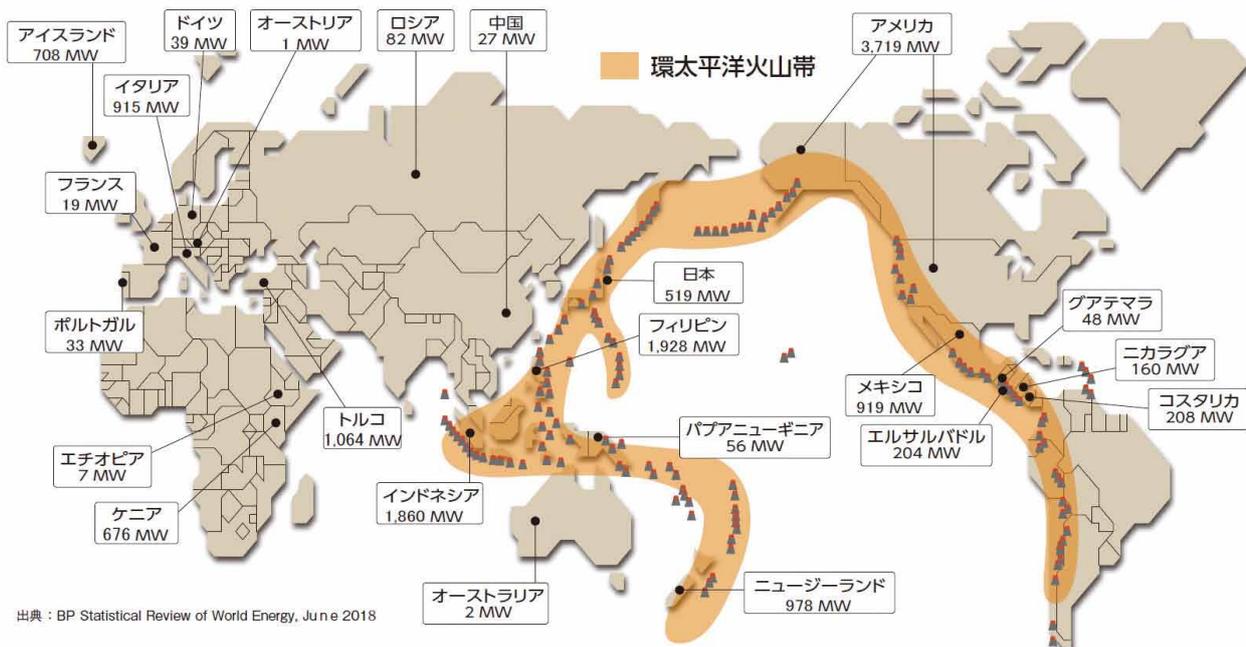


図2-9 地熱資源量と活火山数の相関

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>



出典：BP Statistical Review of World Energy, June 2018

JOGMEC (2018)の地熱発電設備容量データを修正。海外はBP (2018)の2017年データに変更。日本は表2-3に示す2019年2月時点の最新値。

図2-10 世界各国の地熱発電設備容量

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

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>

日本の地熱資源量は、出力にして2,347万kWのポテンシャルがあるとされている（表2-3）。これは、2008年に（独）産業技術総合研究所の村岡ほか（2008）がGISベースで全国の150℃以上の地熱資源量評価を行い、全国の150℃以上の地熱資源量を2,347万kWと推計した結果が基になっている。村岡ほか（2008）による150℃以上の資源量評価結果は、矢野（2008）が地熱発電に関する研究会（第1回）において、国立公園特別保護地区・特別地域・その他の資源量として表2-4のように公表している。

この評価結果によれば、150℃以上の熱水系資源の81.9%が国立公園特別保護地区・特別地域内となる。国立公園の開発規制を受けない地域は18.1%に過ぎない。自然公園内における開発規制が、地熱開発の障壁となっている。

資源量算出域の区分	資源量 (万 kW × 30 年)	全国シェア (%)
国立公園合計	1,922	81.9
国立公園特別保護地区	780	33.2
国立公園特別地域	1,142	48.7
その他	425	18.1
計	2,347	100.0

表2-4 150℃以上の熱水系資源と国立公園の分布の関係

出典：村岡洋文・阪口圭一・駒澤正夫・佐々木進（2008）：日本の熱水系資源量評価 2008、日本地熱学会平成 20 年度学術講演会講演要旨集、B01

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj1979/30/Supplement/30\\_Supplement\\_B01/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj1979/30/Supplement/30_Supplement_B01/_pdf)

出典：矢野雄策（2008）：地熱発電の開発可能性、H20.12.1 地熱発電に関する研究会（第1回）、資料 5（資料協力：村岡洋文）

<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81201a05j.pdf>

### 2.3.2 地熱発電とは

地球の内部は内核、外核、マントル、地殻から構成されており、中心部の温度は5,000℃以上と考えられている。マントルの上部で岩石が溶けてマグマが生じ、それが地殻を破って地表に達すると噴火が起こり、火山が形成される。火山帯の地下数km～20kmにはマグマ溜まりがあり、温度は1,000℃にも達する。地熱発電は、その熱を利用して発電を行う方法である。

地熱発電を行うためには、地下深部（約2,000m）に150℃を超える高温・高圧の蒸気・熱水が貯まる地熱貯留層が形成されていることが必要である。

地熱貯留層の形成には、①水（降水）②熱（マグマ）③容器（帽岩）の3つの要素が必要であり、形成された地熱貯留層に井戸（生産井）を掘削することで蒸気・熱水を採取し、発電を行う（図2-11参照）。

発電後の熱水は、井戸（還元井）から再び地熱貯留層に戻すことで、半永久的な発電が可能になる。

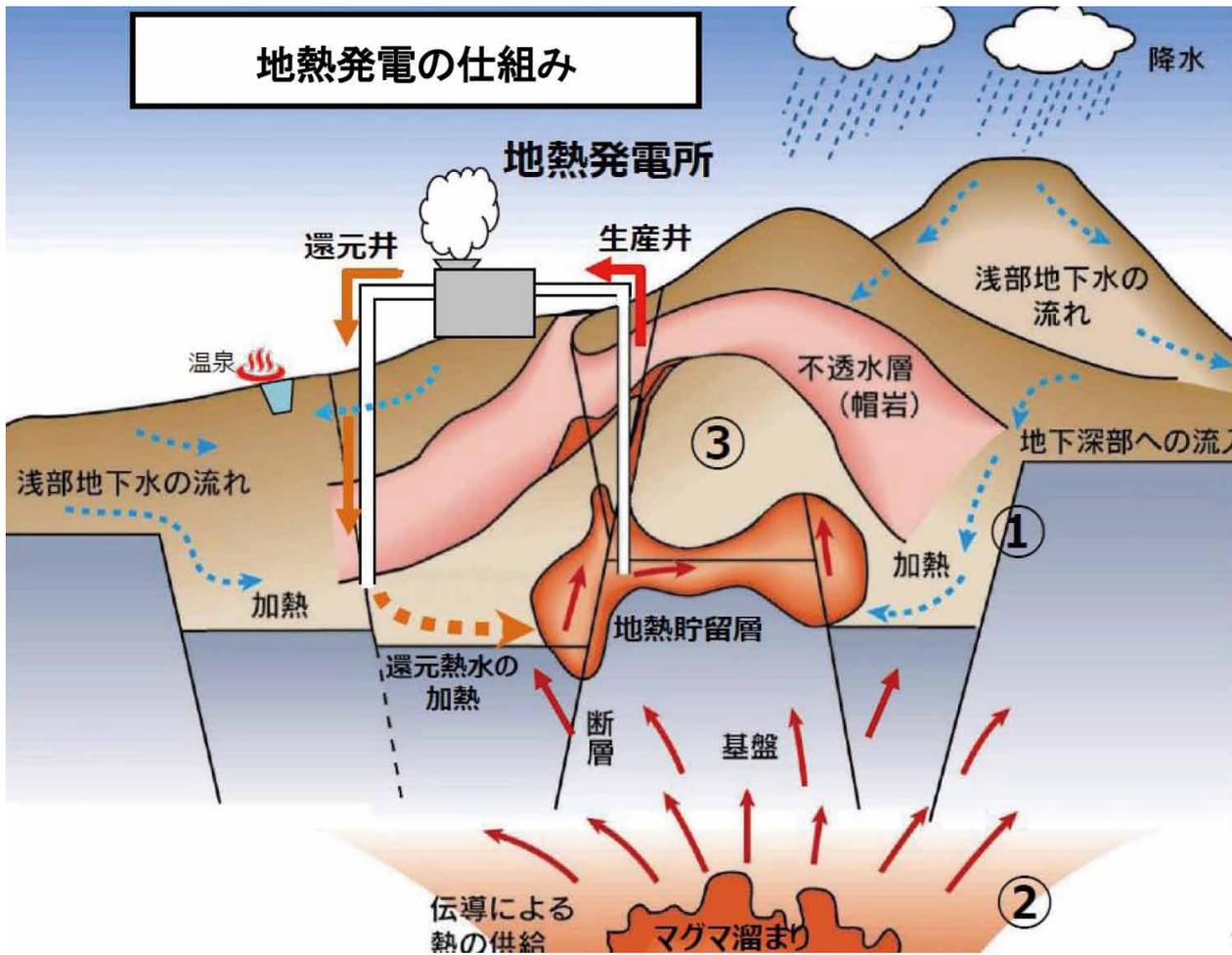


図2-11 地熱発電の仕組み

出典：資源エネルギー庁（2017）：地熱資源開発の現状について、総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会（第22回）、資料-4、平成29年6月  
[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shigen\\_nenryo/022\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shigen_nenryo/022_haifu.html)

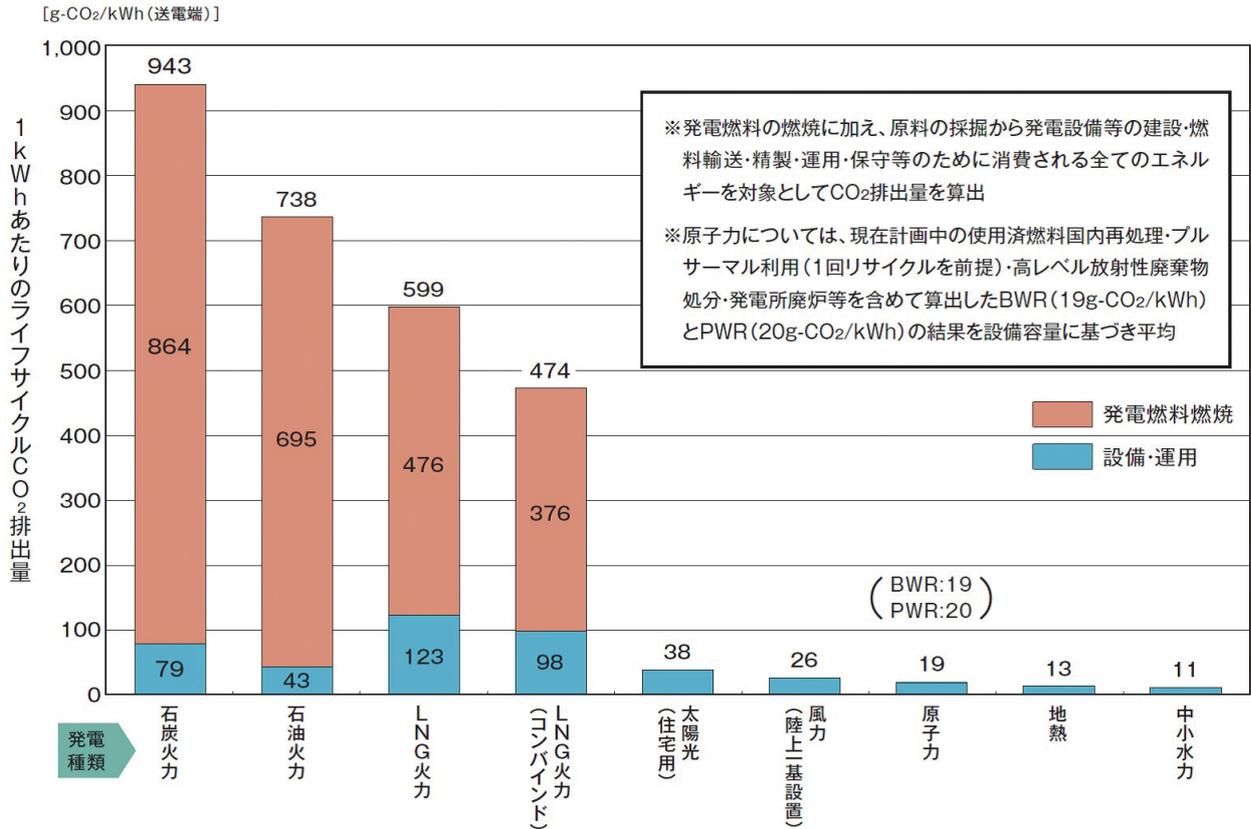
地熱発電は、化石燃料による発電（石油・石炭火力発電など）と比較してCO<sub>2</sub>排出量が相対的に小さく、地球温暖化の防止対策として効果的なクリーンエネルギーである。また、他の自然エネルギー（太陽光・風力など）に比べて高い安定性をもっている。蒸気とともに噴出した熱水は地下に戻すので、環境を悪化させることもない。

図2-12は、各種電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量である。地熱発電は、原子力発電や中小水力発電と同様に、CO<sub>2</sub>排出量が非常に少ない発電方式であることがわかる。

【参考文献】

資源エネルギー庁 HP（2018）：地熱発電のメリット

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/development/merit/clean/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/development/merit/clean/)

図2-12 各種電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量

出典：日本原子力文化財団（2018）：「原子力・エネルギー」図面集  
[https://www.ene100.jp/zumen\\_cat/chap2](https://www.ene100.jp/zumen_cat/chap2)

### 2.3.3 地熱発電の方式

実用化されている地熱発電の方式には、広く用いられている「フラッシュ方式」と、比較的、最近実用化された「バイナリー方式」がある。

#### (1) フラッシュ方式

フラッシュ方式（蒸気発電方式）は、地熱貯留層から約 200～350℃の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回して発電する方式である。気水分離器で分離された熱水は、還元井と呼ばれる井戸を通して再び地下に戻される。日本の地熱発電所のほとんどが、シングルフラッシュ発電方式である（図2-13）。その他、分離した熱水をフラッシャー（低圧気水分離器）に導いて再度、熱水と蒸気に分離して、蒸気を一次蒸気と一緒にタービンに送り、熱水を還元井へと送るダブルフラッシュ方式や、坑口から蒸気のみが噴出する生産井で、気水分離器が必要なく、そのままタービンを回すドライスチーム方式などがある。

国内の地熱発電所では、ダブルフラッシュ方式は八丁原発電所（九州電力）と森発電所（北海道電力）で、ドライスチーム方式は松川発電所（東北水力地熱）で採用されている。

## (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>

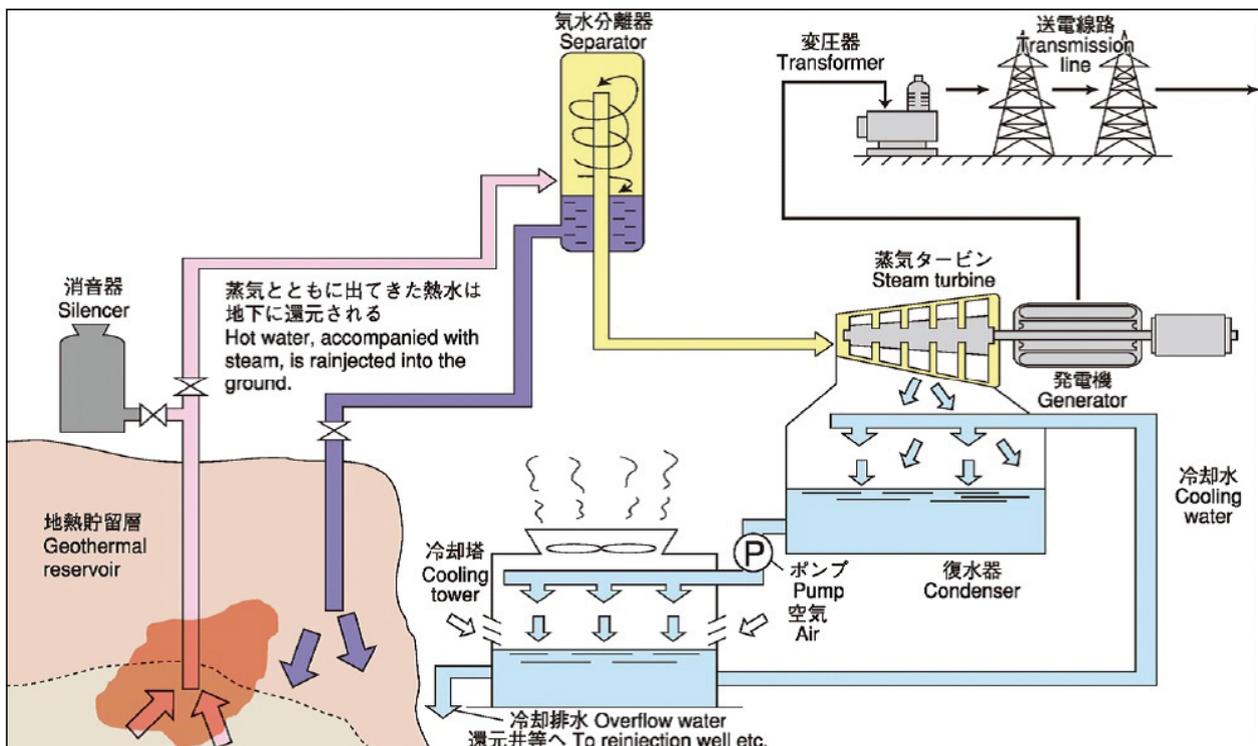


図2-13 地熱発電（シングルフラッシュ方式）の概念図

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>

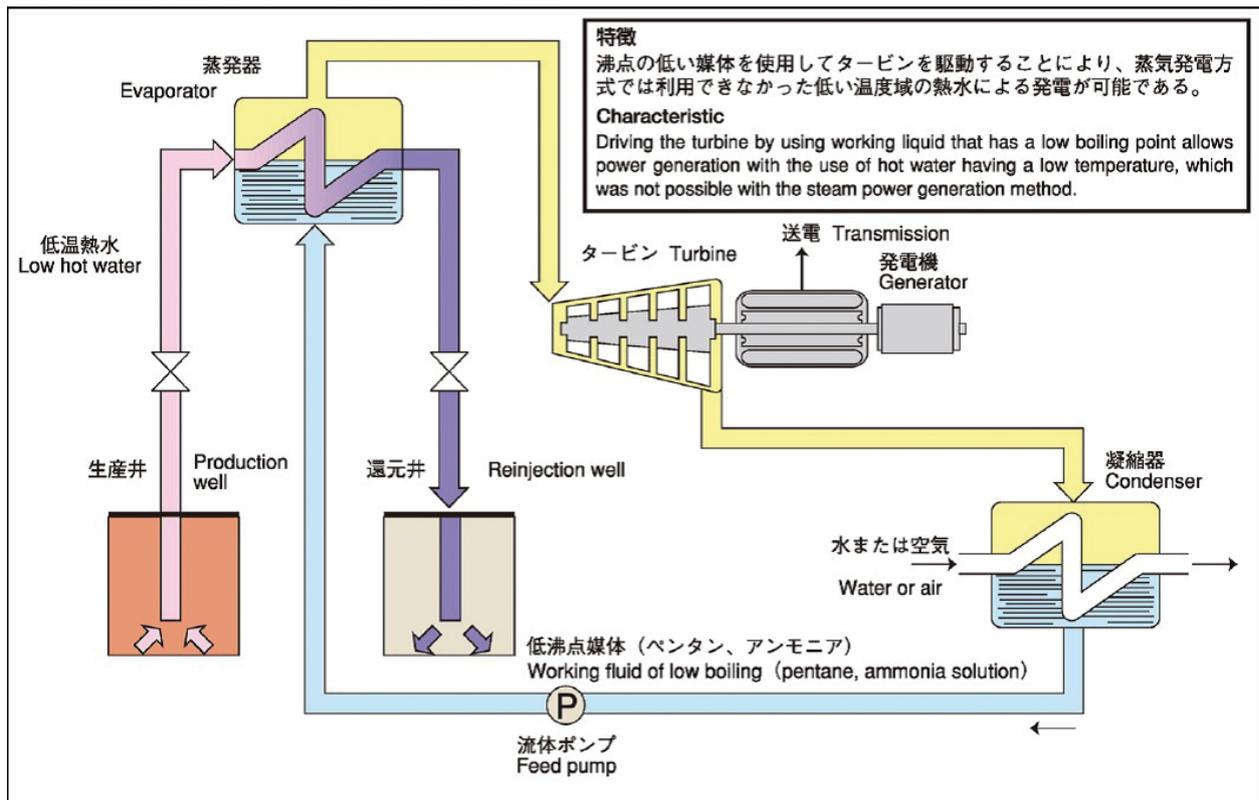


図2-14 地熱発電（バイナリー方式）の概念図

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。

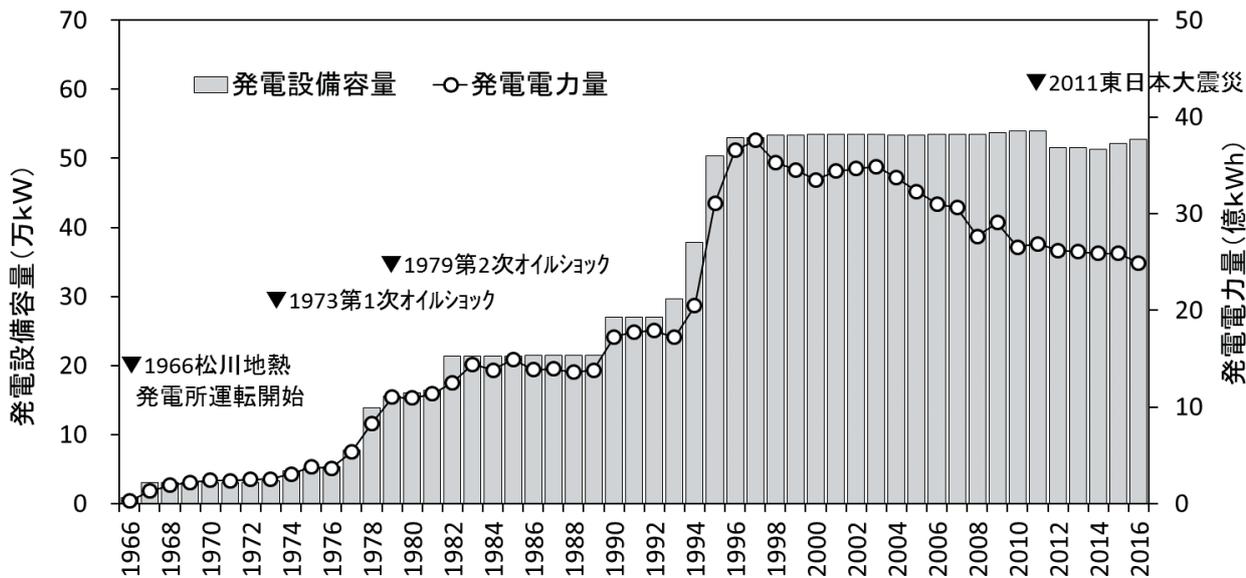
1990年代に入り、石油価格の安定化と、日本のエネルギー政策の転換等により、地熱発電の進展は再び横ばいの時代を迎える。地熱発電の普及には発電コスト、自然公園法の規制、温泉事業者との共生など、いくつかの課題があり、2002年には国の技術開発予算が一旦の終了をみた。これ以降、現在までに建設された発電所は2006年の八丁原バイナリー発電所のみであった。しかし、東日本大震災による深刻なエネルギー危機をきっかけとして、固定価格買取制度（FIT）が開始され、再生可能エネルギー

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>

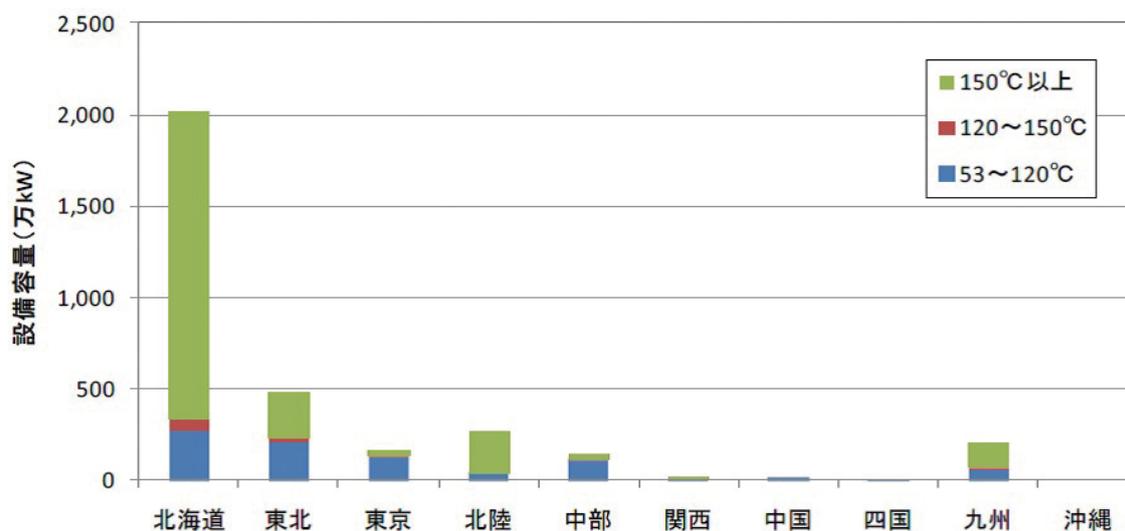
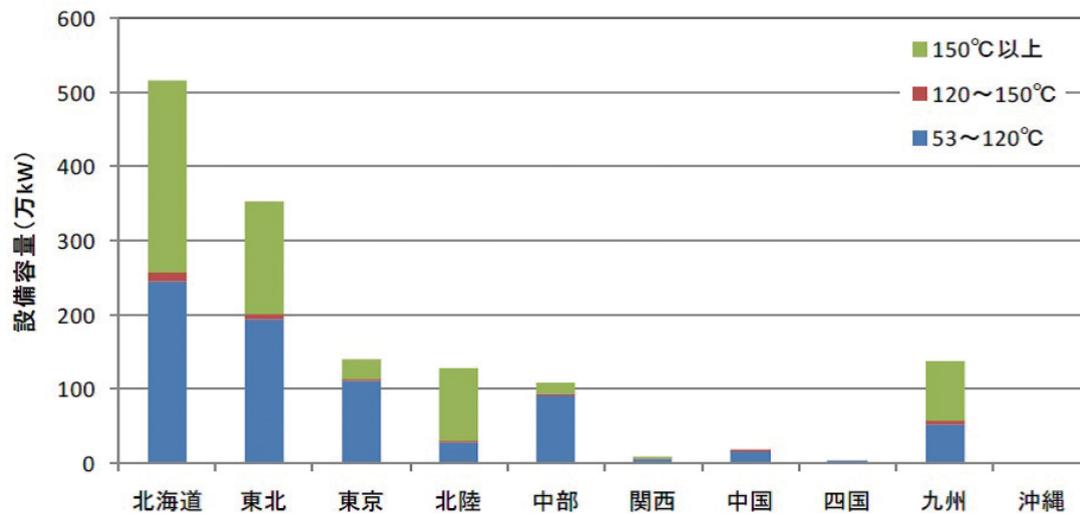


図2-16 エリア別の地熱賦存量分布

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: (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>

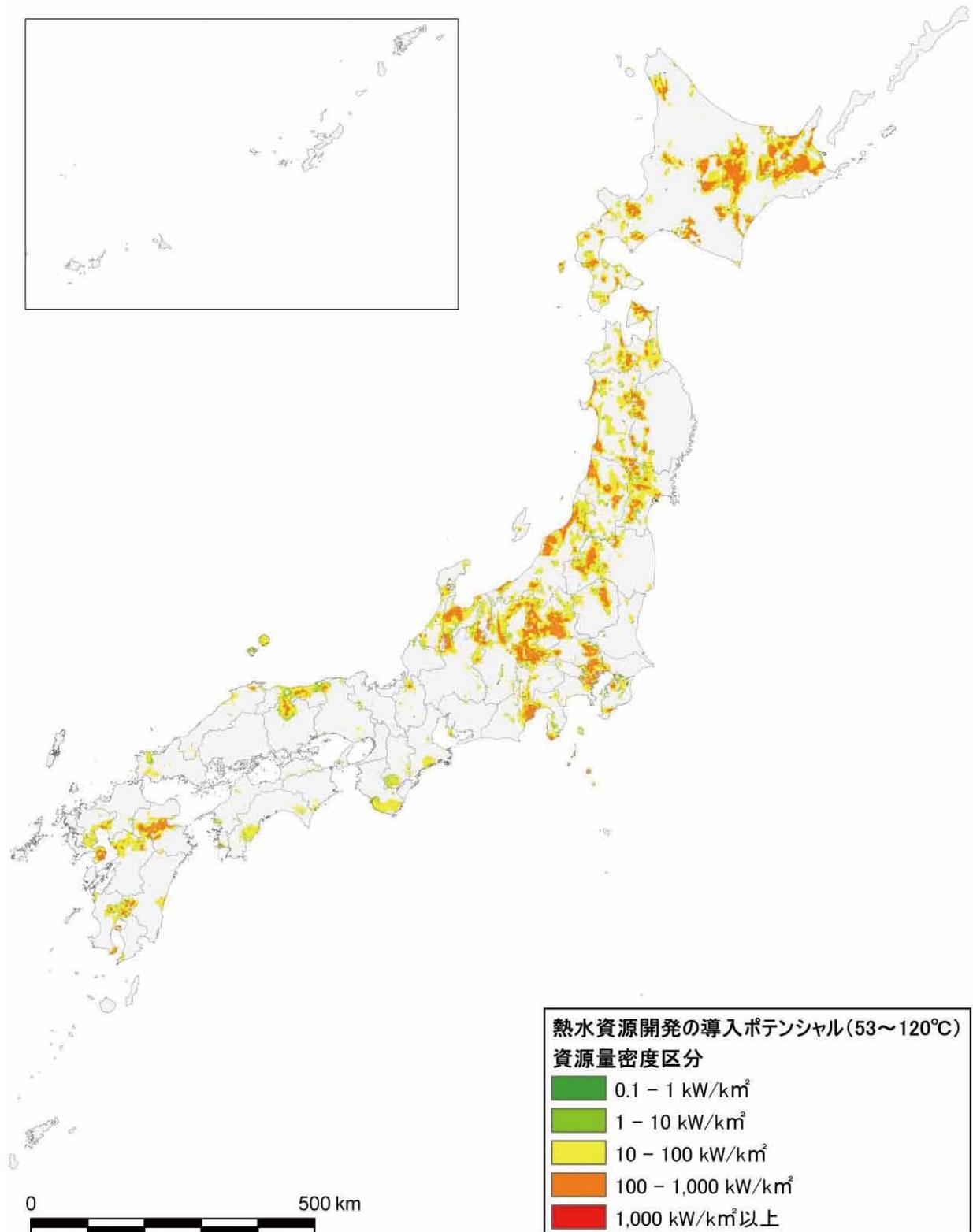


図2-18 熱水資源開発の導入ポテンシャルの分布図 (53～120°C)

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。

主な日本の地熱発電所位置図

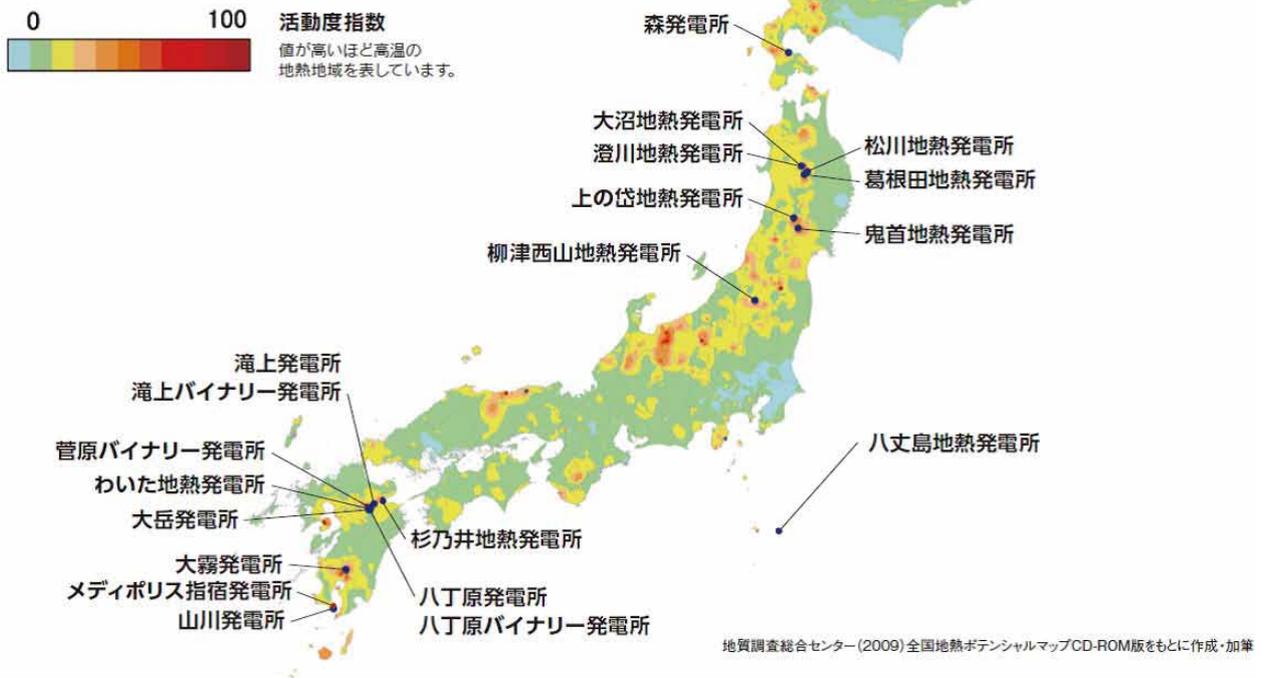


図2-19 日本の地熱発電所位置図

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](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	岩手県栗石町	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				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	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	
山川発電所	鹿児島県指宿市	九州電力(株)		25,960	SF	1995.03.01	
メディポリス指宿発電所		(株)メディポリスエナジー		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](http://geothermal.jogmec.go.jp/report/file/jogmec_geothermal.pdf)

### 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、江戸時代に入ると将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掲示用泉質名は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。ここ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）：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>

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

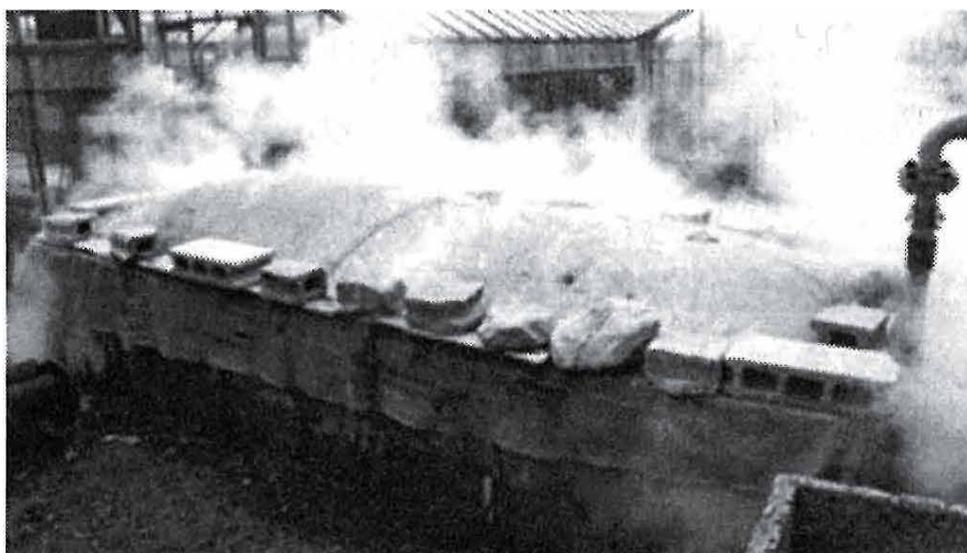


図3-4 蒸気消毒槽による土壌や資材の消毒

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

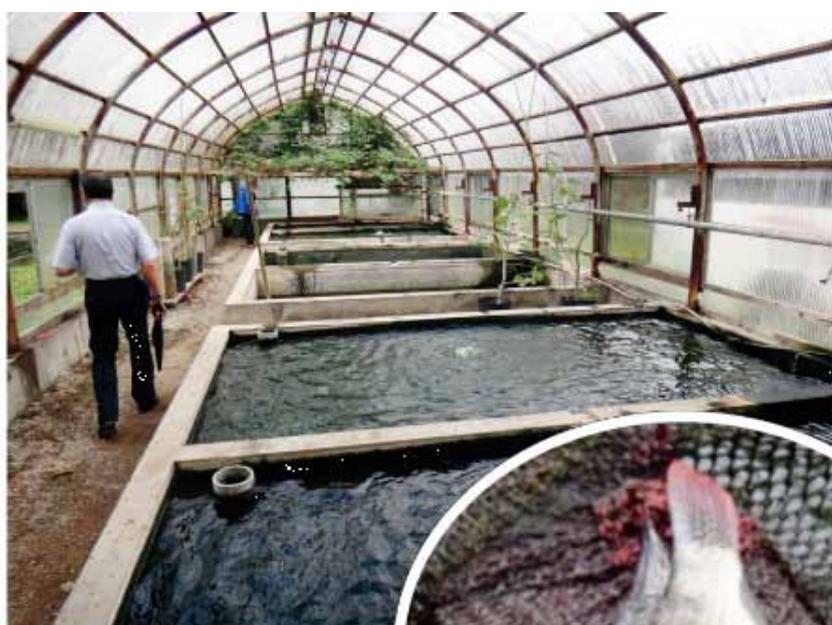
熱水で養殖すると魚類の生育が速く、事業性が向上するという評価で、全国で陸上養殖事業が行われている。養殖している魚類の例は、ティラピア、トラフグ、ウナギ、スッポン、エビ、アワビ等である。

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。



養殖場 内観



ティラピア

(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（矢崎エネルギーシステム、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

<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'>

矢崎エネルギーシステム(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](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、島根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)IHI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、オーマット社と提携している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収入から使用量を還元している。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](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://kyouwacc.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/jigyoo01.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、自ら売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](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](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
エヌエヌエスパワー	大分県別府市	(株)エヌエヌエスパワー/ (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
エヌアイエスバイナリー発電所	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

## 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](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、もつ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](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](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](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"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 事前相談の申込</li> <li>○ モニタリングの実施・報告</li> <li>○ 工事の着工、完了の届出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 水利関係者への説明及び承諾</li> <li>○ 周辺環境の影響予測調査の実施</li> <li>○ 騒音防止計画の策定</li> <li>○ 事前協議開始の届出、完了の報告</li> <li>○ モニタリングの実施・報告</li> <li>○ 工事の着工、完了の届出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 発電設備設置事業計画書及び誓約書の提出</li> <li>○ モニタリングの実施・報告</li> <li>○ 工事の着工、完了の届出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 発電設備設置事業計画書及び誓約書の提出</li> <li>○ モニタリングの実施・報告</li> <li>○ 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</li> <li>○ 事業の着手、完了の届出</li> </ul>
自治体の主な権能等	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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</li> <li>○ 事業者に対する指導及び助言</li> <li>○ 新エネ導入事例及び実績等の情報公開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 事前協議完了の承認</li> <li>○ 各種法令等手続きにおいて必要な場合に同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 事業者への立入調査</li> <li>○ 事業者に対する指導及び助言</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地熱発電事業検討委員会の設置</li> <li>○ 事業計画への町長による同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> </ul>

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](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"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 事業計画の提出</li> <li>○ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に变化が認められた際の必要な措置</li> <li>○ 事業の着手、完了の届出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 事業計画の提出</li> <li>○ 発電事業により周辺温泉の湧出量等に变化が認められた際の必要な措置</li> <li>○ 事業の着手、完了の届出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 事業計画の提出</li> <li>○ 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</li> <li>○ モニタリングの実施</li> <li>○ 市の求めに応じた協定の締結</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元説明会の開催</li> <li>○ 事業計画の提出</li> <li>○ 事業の着手、完了の届出</li> <li>○ 市の求めに応じた協定の締結</li> </ul>
自治体の主な権能等	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 協議会の設置</li> <li>○ 事業計画への村長による同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 協議会の設置</li> <li>○ 事業計画への町長による同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 協議会の設置</li> <li>○ 事業計画への市長による同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> <li>○ 事業者に対する環境保全に関する協定の締結要求</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 委員会の設置</li> <li>○ 事業計画への市長による同意書の交付</li> <li>○ 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)</li> <li>○ 事業者に対する環境保全に関する協定の締結要求</li> </ul>

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](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](https://www.city.beppu.oita.jp/sangyou/environment/alternative_onsen.html)

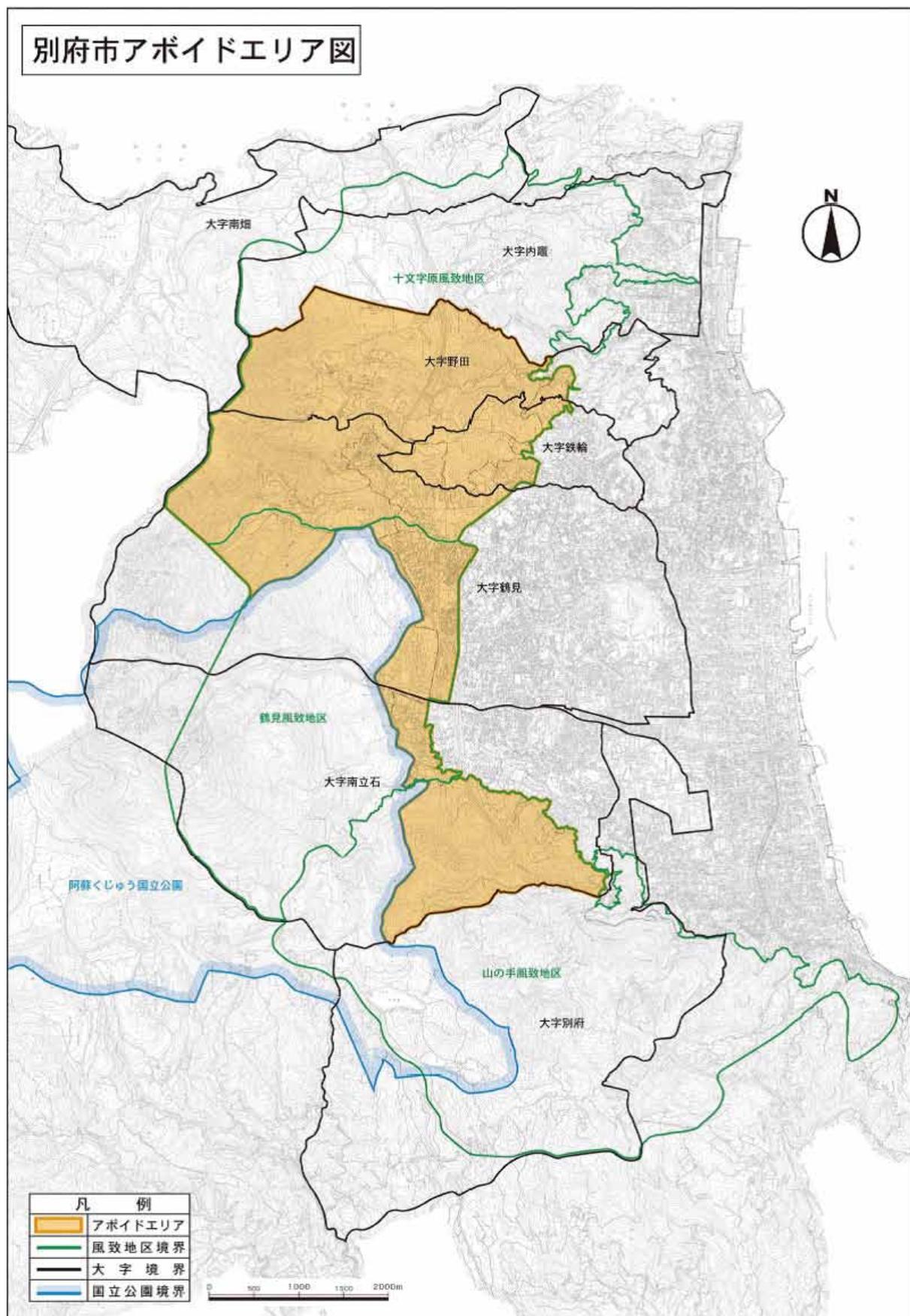


図3-11 別府市アボイドエリア

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

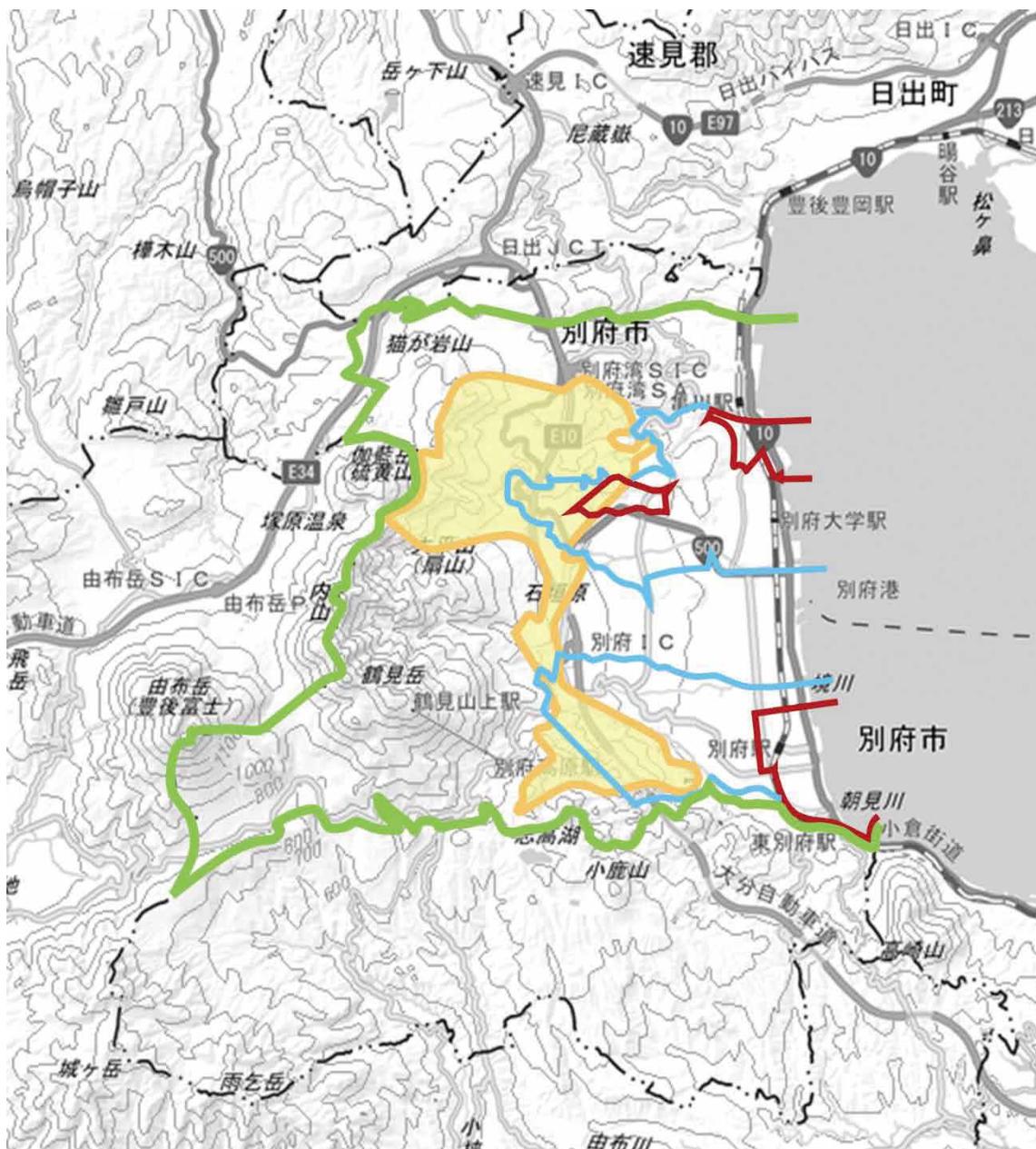
大分県環境審議会温泉部会（由佐悠紀会長）は、温泉掘削を許可する際の審議基準を定めた内規を改正し、別府市の保護地域の範囲をほぼ市内全域に拡大した。限りある温泉資源を保護し、持続的な利用につなげることが狙いである。市内の保護地域を広げるのは1973年以来45年ぶりであり、2018年12月1日から施行された。

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](http://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2036066_2261199_misc.pdf)

# 4

## 海外事例

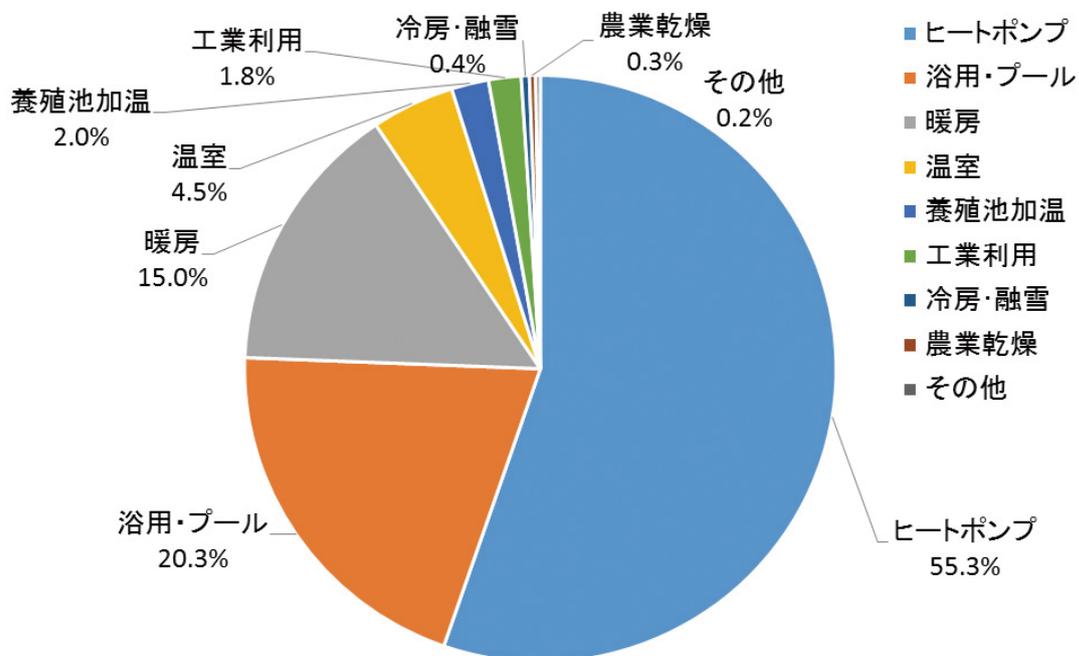
### 4.1 海外の熱利用と地熱発電

#### 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](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

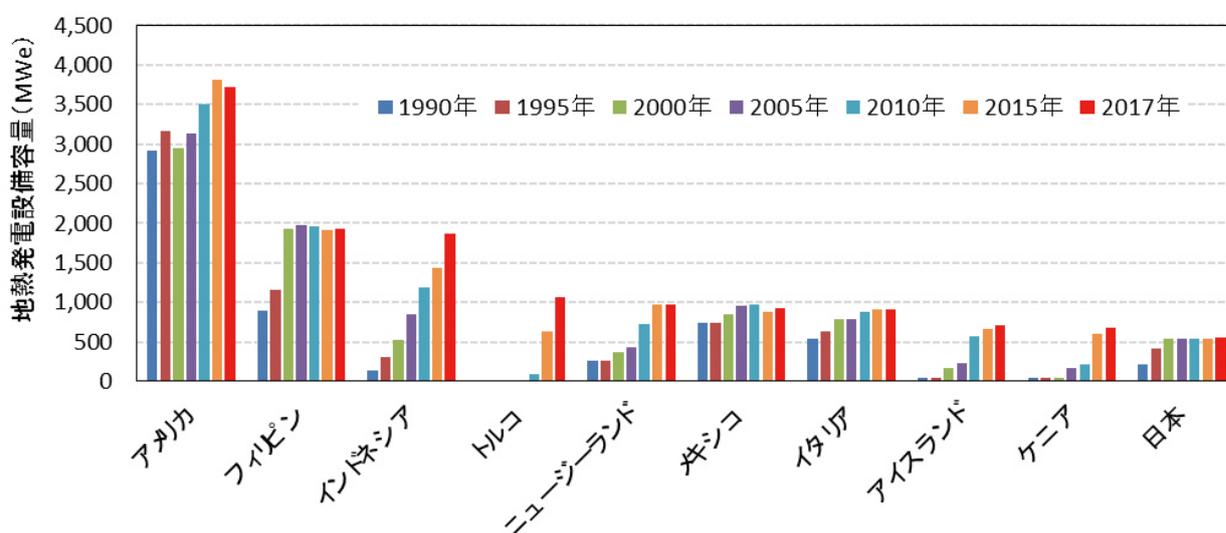
### 4.1.2 地熱発電

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。

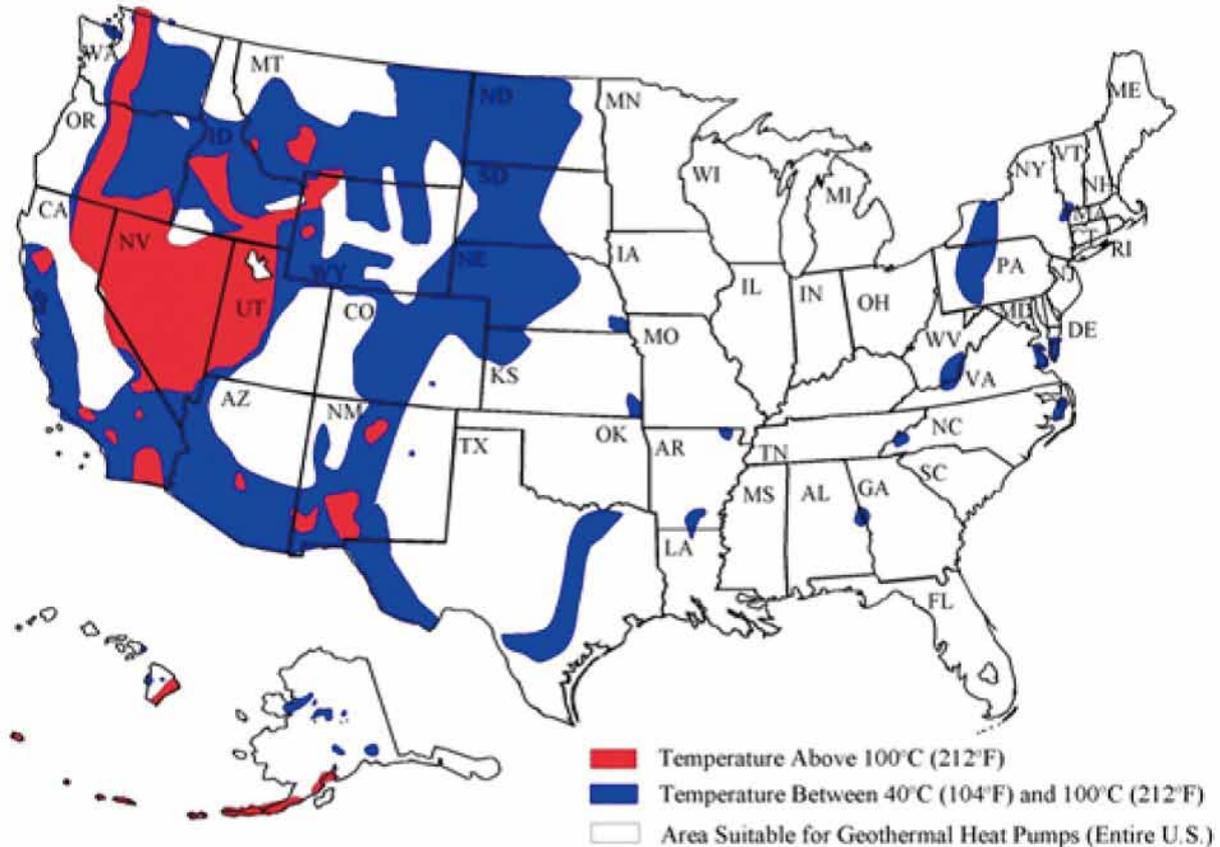


図4-3 アメリカ合衆国の地熱資源分布

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。

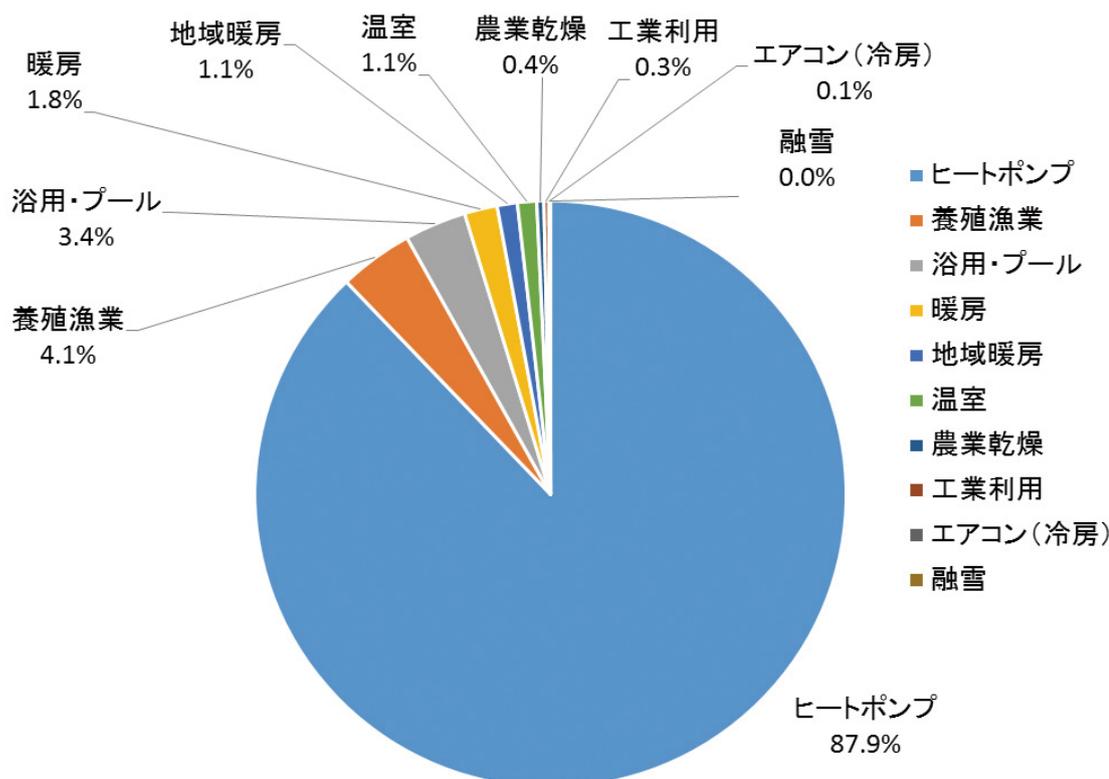
すべての地熱エネルギー使用による省エネルギーは、年間約1,120万トン相当の燃料油（7,470万バレル）であり、大気汚染を（燃料油と比較して）年間約1,000万トンの炭素と2,800万トンのCO<sub>2</sub>を削減している。

## 【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](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

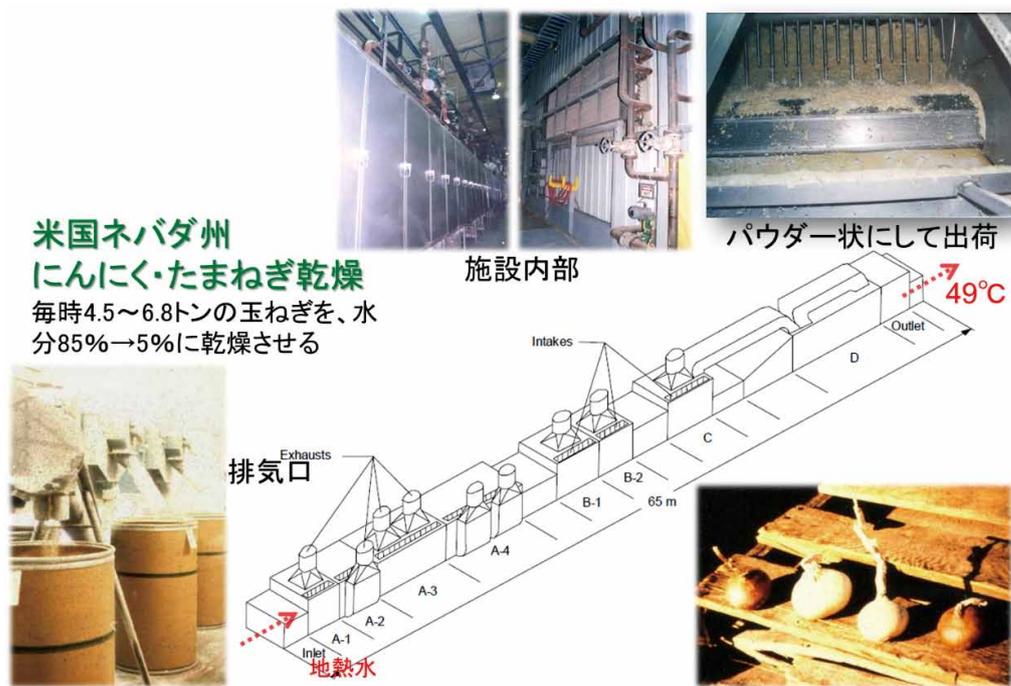
<http://geothermalresourcescouncil.blogspot.com/2017/09/usa-oregon-geothermal.html>

## (2) 農業乾燥の事例

地熱を農業乾燥に利用している例を図4-7に示す。ネバダ州において、にんにく・たまねぎの乾燥に活用している例である。99℃の熱水により毎時4.5～6.8トンのたまねぎを、水分85%→5%に乾燥させている。

### 【参考文献】

安川香澄 (2018):世界温泉地サミット資料



安川香澄 (2018):世界温泉地サミット資料

図 4-7 アメリカ合衆国における熱利用の例（農作物の乾燥）

## (3) その他の事例

量的には少ないものの、米国ではいくつかの興味深い地熱の工業利用が行われている。たとえば、鉱石から金属を溶出させて抽出するヒープリーチングの際の加熱、硫化水素から硫黄を生成する触媒反応のための加熱などがある（Bakane, 2013）。

### 【参考文献】

Bakane, P. (2013) Uses and advantages of geothermal resources in mining. GHC BULLETIN, 31 (4), 30-33.

[https://oregontechsfstatic.azureedge.net/sitefinity-production/docs/default-source/geoheat-center-documents/quarterly-bulletin/vol-31/art7.pdf?sfvrsn=6d18d60\\_4](https://oregontechsfstatic.azureedge.net/sitefinity-production/docs/default-source/geoheat-center-documents/quarterly-bulletin/vol-31/art7.pdf?sfvrsn=6d18d60_4)

## 4.2.3 地熱発電

2017年時点の地熱発電の設備容量は世界第1位（3,719MW、表2-3参照）である。主要な地熱発電所はカリフォルニア、ネバダ、ユタ、ハワイにあり、近年ではアラスカ、アイダホ、ニューメキシコ、オレゴンにも設置されている。

最も集中している地熱発電所は、カリフォルニア北部のガイザース、カリフォルニア南部のインペリアル・バレーである。最も低温の熱水を活用した発電所は、アラスカのChena温泉にあるバイナリー発電所である。74℃の地熱流体を使用して3つのユニットを運転し、合計730kWを発電している。

アメリカの地熱資源の主要な地熱発電所の位置を図4-8に示す。



図 4-8 アメリカ合衆国西部に分布する主要な地熱発電所

出典：資源エネルギー庁ホームページ：ホーム>政策について>資源・燃料>地熱資源政策・地熱発電について>地熱のページ>地熱発電のしくみ>地熱発電所の紹介>世界の地熱発電所

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/)

地熱発電所の一例として、ガイゼーヌ地域の発電所を図4-9に示す。この地域は、サンアンドレアス断層の近くにあり、面積約80km<sup>2</sup>及び世界最大の蒸気卓越型の地熱地域である。地熱はクリアレイク火山岩類の活動に関連した深成岩からもたらされている。

出典：資源エネルギー庁ホームページ：ホーム>政策について>資源・燃料>地熱資源政策・地熱発電について>地熱のページ>地熱発電のしくみ>地熱発電所の紹介>世界の地熱発電所

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/)

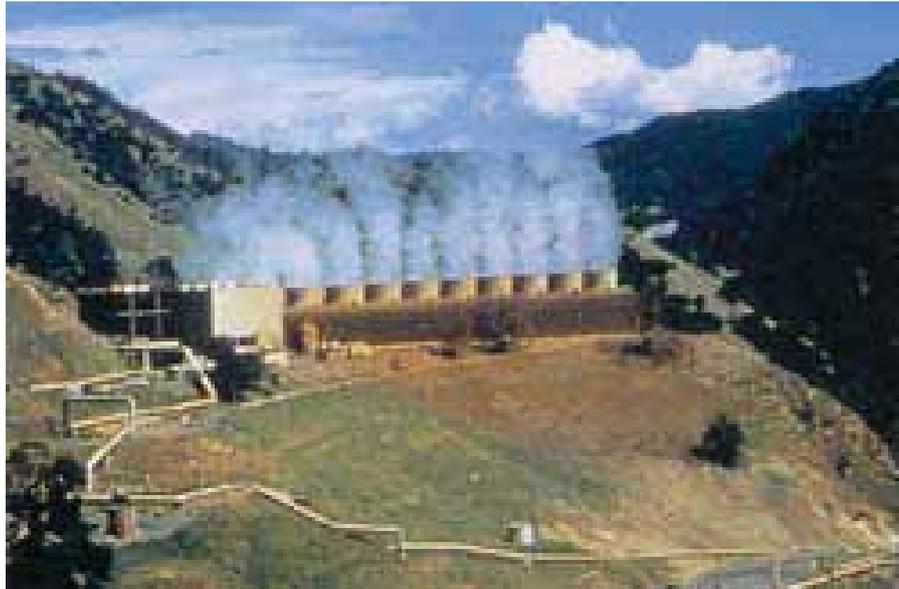


図 4-9 ガイゼース地域の地熱発電所の例 (カルパイン・ユニット)

出典：資源エネルギー庁ホームページ：ホーム>政策について>資源・燃料>地熱資源政策・地熱発電について>地熱のページ>地熱発電のしくみ>地熱発電所の紹介>世界の地熱発電所  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/)

## 4 3 インドネシア

インドネシアにおける地熱資源は、スマトラ島、ジャワ島、バリ島、インドネシア東部の島々に沿った火山地帯にある。

### 4.3.1 熱利用

インドネシアでは、天然温泉を利用した温泉やプールを中心に、何百年もの間、地熱の直接利用が行われている。20世紀以前は、地熱流体（地熱）は入浴、洗濯、調理にしか使われていなかったが、近年の地熱流体の利用は非常に多様である。

例えば、インドネシア技術評価応用庁（BPPT：Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi）では、農業分野で地熱エネルギーを利用する方法として、特にきのこと栽培に使用される成長培地を滅菌するための地熱エネルギーの使用に関する調査を進めている。

ラヘンドン（Lahendong）、マタロコ（Mataloko）、ワイ・ラタイ・ランパン（Wai Ratai Lampung）でのコプラ乾燥、ペンガレンガン（Pengalengan）でのキノコ栽培、ペンガレンガン（Pengalengan）での茶の乾燥と低温殺菌、さらにランパン（Lampung）で生育する大型キャットフィッシュへの地熱直接使用など、農業用の地熱利用も増えている。また、地熱流体を利用する養殖施設もランパンで確認されている。ランパン県の伝統的な淡水漁業として、天然の地熱水（流出水）と川からの淡水を混合して大型のナマズの養殖を実施しており、地熱流体と淡水の混合物により生育が高まると報告されている。

図4-10にインドネシアのカモジャンにおいて実施している地熱の殺菌作用を利用したきのこと栽培の例を示す。

出典：Surya Darma, Tisnaldi and Rony Gunawan (2015) : Country Update: Geothermal Energy Use and Development in Indonesia, Proceedings World Geothermal Congress 2015



図4-10 地熱の殺菌作用を利用したきのこ栽培（インドネシアのカモジャン）

出典：Surya Darma, Tisnaldi and Rony Gunawan (2015) : Country Update: Geothermal Energy Use and Development in Indonesia, Proceedings World Geothermal Congress 2015

### 4.3.2 地熱発電

2017年時点の地熱発電設備容量は世界第3位（1,860MW、表2-3参照）である。

インドネシアでは国内の地熱資源量が30,000MWであると推定し、1984年頃から地熱発電所の運転が始まり、グヌン・サラク（Gunung Salak）（377MW）、ダラジャ（Darajat）（260MW）、カモジャン（Kamojang）（200MW）などで地熱発電所が建設されている。政府は2025年までに7,100MWの地熱発電所建設の目標を立てており、今後開発が加速される見込みである。インドネシアでの地熱開発には日本の企業も参加しており、北スマトラ島サルラ（Sarulla）では総出力330MWにもなる発電所の建設に、九州電力㈱や伊藤忠商事㈱などが参画している（海江田、2018）。

インドネシアのそれぞれの地域における発電設備容量を表4-2に示す。

#### 【参考文献】

海江田秀志（2018）：海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46  
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

地域名	地域数	設備容量 (MW)
スマトラ (Sumatera)	93	122
ジャワ (Java)	71	1,134
バリヌサテンガラ (Bali-Nusa Tenggara)	33	5
カリマンタン (Kalimantan)	12	
スラウェシ (Sulawesi)	70	80
マルク (Maluku)	30	
パプア (Papua)	3	
計	312	1,341

2012 年末時点 ; Surya Darma, et al. (2015) から抜粋

**表4-2 インドネシアの地熱発電所の設備容量**

出典 : Surya Darma, Tisnaldi and Rony Gunawan (2015) : Country Update: Geothermal Energy Use and Development in Indonesia, Proceedings World Geothermal Congress 2015

## 4 4 ケニア

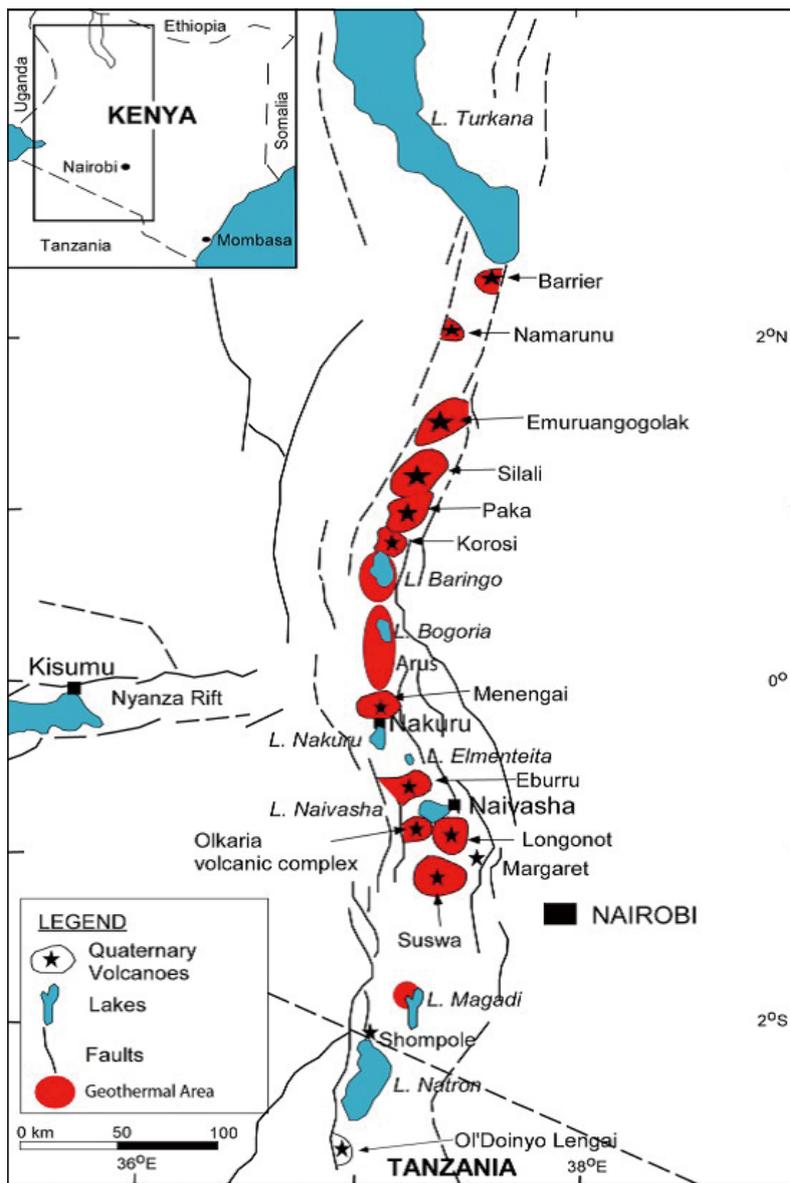
ケニアは、表2-3に示すようにアメリカ、インドネシア、日本に次ぐ世界第4位の地熱資源国である。ケニアの地熱資源開発は1950年代に着手され、図4-2に示すように、2005年以降の地熱発電設備容量の増加は著しい。

### 4.4.1 地熱資源

ケニアには、図4-11に示すように第四紀の火山が14個あり、その周辺に地熱資源が存在している。

**【参考文献】**

Peter Omenda and Silas Simiyu (2015) : Country Update Report for Kenya 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015



Peter Omenda and Silas Simiyu (2015) に加筆

図4-11 ケニアの火山と地熱資源の分布

出典: Peter Omenda and Silas Simiyu (2015): Country Update Report for Kenya 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

## 4.4.2 熱利用

2014年12月末時点のケニアの地熱資源の直接利用設備容量を表4-3に示す。

オセリアンの花き栽培施設では、10MWtが温室の加熱や土壌の燻蒸に利用されている。また、花き栽培施設以外に自社使用のために4MWの熱利用設備が設置されている。

### 【参考文献】

Peter Omenda and Silas Simiyu (2015): Country Update Report for Kenya 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)
温室	16.0	126.6
浴用・プール	5.4	46.0
農業乾燥	1.0	10.0
合計	22.4	182.6

2014年12月末時点

表4-3 ケニアの熱利用

出典: Peter Omenda and Silas Simiyu (2015): Country Update Report for Kenya 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

## 4.4.3 地熱発電

地熱開発資源量は10,000MWあると推定され、2017年時点で世界第9位の発電設備容量（676MW、表2-3参照）を2030年には5,000MWまで拡大させる計画である。地熱開発が進められているのはオルカリア（Olkaria）地域で、1950年代より地熱発電所の建設が進められており、この地域でこれまでに300本の坑井が掘削されている（海江田、2018）。

オルカリア（Olkaria）地熱発電所は、ケニア電力（Kenya Electricity Generating Company；KenGen）所有の5つの発電所（463MW）とOrpower4（110MW）を併せた573MWの設備容量を有する最大の生産地である（海江田、2018）。

### 【参考文献】

海江田秀志（2018）：海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46  
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

## 4 5 フィリピン

フィリピンは、アメリカ、インドネシア、日本、ケニアに次ぐ世界第5位の地熱資源国であり、地熱発電設備容量は世界第2位（1,928MW、表2-3参照）である。フィリピンでは2000年以降地熱発電の導入が停滞していたが、2009年の再生可能エネルギー法案の施行により、地熱発電を含む再生可能エネルギーの導入に対し、法的・経済的優遇策が取られ、動きが活発化してきた。再生可能エネルギー計画（The National Renewable Energy Plan）のロードマップ（2010-2030）では、2030年までに15,236MWの地熱発電を導入する計画になっている。

フィリピンの2013年末時点の地熱発電所の設備容量と発電量を表4-4に示す。

【参考文献】

新エネルギー財団アジアバイオマスオフィス：「フィリピンの地熱発電の現状」

[https://www.asiabiomass.jp/topics/1311\\_03.html](https://www.asiabiomass.jp/topics/1311_03.html) (和文)

[https://www.asiabiomass.jp/english/topics/1311\\_03.html](https://www.asiabiomass.jp/english/topics/1311_03.html) (英文)

地域名	設備容量 (MW)	発電量 (GWh/yr)
マク - バン (Mak-Ban)	458.8	1,931
ティウイ (Tiwi)	234.0	1,130
アルベイ - ソーソゴン (Albay-Sorsogon)	131.5	323
トンゴナン (Tongonan)	722.7	4,031
南ネグロス (Southern Negros)	192.5	1,489
ミンダナオ (Mindanao)	108.5	743
合計	1,848.0	9,647

2013年12月末時点

表4-4 フィリピンの地熱発電所の設備容量と発電量

出典：Ariel D. Fronda, Mario C. Marasigan and Vanessa S. Lazaro (2015) : Geothermal Development in the Philippines: The Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015

<http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/makalinao1/docs/01053.pdf>

## 4 6 メキシコ

メキシコの地熱資源量はフィリピンと並んで世界第5位である。地熱発電設備容量は2017年時点で世界第6位 (919MW、表2-3参照) である。

2015年より過去5年間にメキシコで追加された地熱地帯はなく、4つの地域で地熱発電事業が実施されている。

地熱発電所は、図4-12に示すセロ・プリエト (Cerro Prieto)、ロス・アスフレス (Los Azufres)、ロス・ウメロス (Los Humeros)、ラス・トレス・ベルヘネス (Las Tres Vírgenes) に建設されており、2015年時点の設備容量は1,017.4MW、運転容量は839.4MWである。ロス・アスフレス (Los Azufres) では2つのバイナリサイクルユニット (1.5MW×2基) による発電が実施されている。

図4-13に示すロス・アスフレス地域の地熱発電所は、メキシコ火山帯の中央部にあるサン・アンドレス火山付近の標高約3,000mの台地にあり、蒸気卓越型の地熱貯留層が地下600~2,000mにある。

【参考文献】

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>

Luis C.A. Gutiérrez-Negrín, Raúl Maya-González and José Luis Quijano-León (2015) : Present Situation and Perspectives of Geothermal in Mexico, Proceedings World Geothermal Congress 2015



図4-12 メキシコの地熱資源地域

出典：Luis C.A. Gutiérrez-Negrín, Raúl Maya-González and José Luis Quijano-León (2015): Present Situation and Perspectives of Geothermal in Mexico, Proceedings World Geothermal Congress 2015

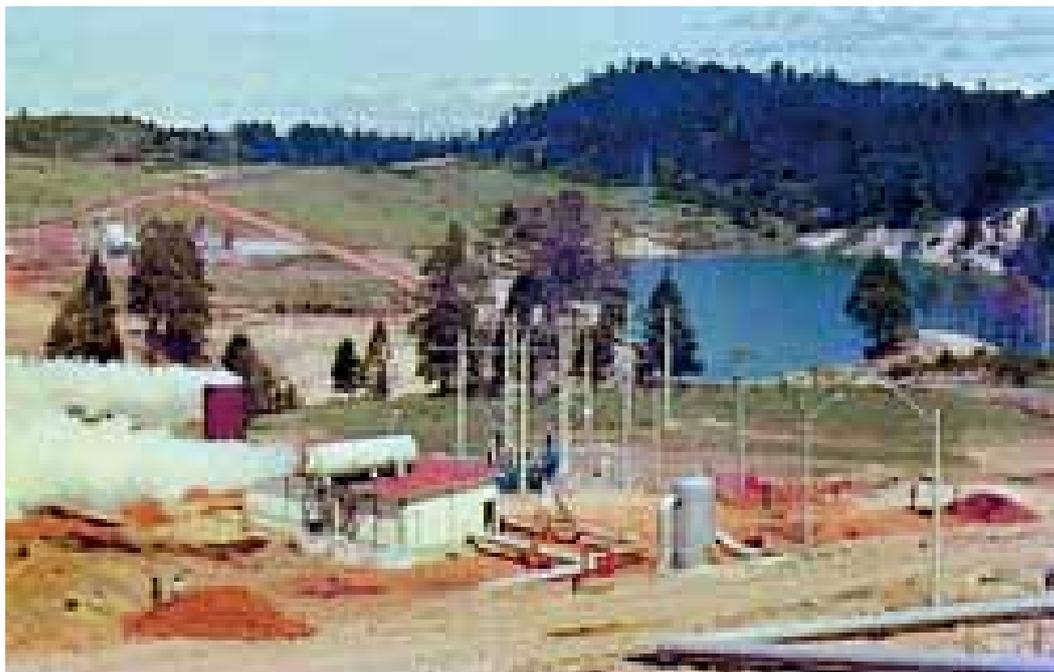


図 4-13 ロス・アスフレス地域の地熱発電所

出典：資源エネルギー庁ホームページ：ホーム>政策について>資源・燃料>地熱資源政策・地熱発電について>地熱のページ>地熱発電のしくみ>地熱発電所の紹介>世界の地熱発電所

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/)

2013年時点のメキシコの地熱発電設備容量を表4-5に示し、地熱資源の直接利用設備容量を表4-6に示す。直接利用の用途は、浴用・プールが100%近い割合を占めている。

地域名	設備容量 (MW)
セロ・プリエト (Cerro Prieto)	720
ロス・アスフレス (Los Azufres)	194
ロス・ウメロス (Los Humeros)	42
ラス・トレス・ビルヘネス (Las Tres Vírgenes)	93.4
セリートス・コロラドス (Cerritos Colorados)	10
計	1,017.4

2013年12月末時点；Luis C.A., et al. (2015) から抜粋

表4-5 メキシコの地熱発電所の設備容量

出典：Luis C.A. Gutiérrez-Negrín, Raúl Maya-González and José Luis Quijano-León (2015): Present Situation and Perspectives of Geothermal in Mexico, Proceedings World Geothermal Congress 2015

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)	利用率 (%)
浴用・プール	155.347	4,166.512	85
暖房 (個別建物)	0.460	4.397	33
農業乾燥	0.007	0.067	30
温室	0.004	0.028	21
合計	155.819	4,171.004	85

2013年12月末時点

表4-6 メキシコの地熱資源の直接利用設備容量

出典：Luis C.A. Gutiérrez-Negrín, Raúl Maya-González and José Luis Quijano-León (2015): Present Situation and Perspectives of Geothermal in Mexico, Proceedings World Geothermal Congress 2015

## 4 7 アイスランド

### 4.7.1 地熱資源

アイスランドは、大西洋の中央部を南北に走る大西洋中央海嶺上にある火山島である。アイスランドの火山帯は南西から北東に走っており、この地域には200以上の火山がある。火山帯内には少なくとも20の高温域があり、深さ1,000m以浅で200℃に達する。1,000m以浅で150℃を超えない温度を持つ約250の別々の低温地域は、主に活動的な火山帯に隣接する地域にある。これらの地域には、600以上の温泉地（温度20℃以上）が存在する（図4-14）。

【参考文献】

Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

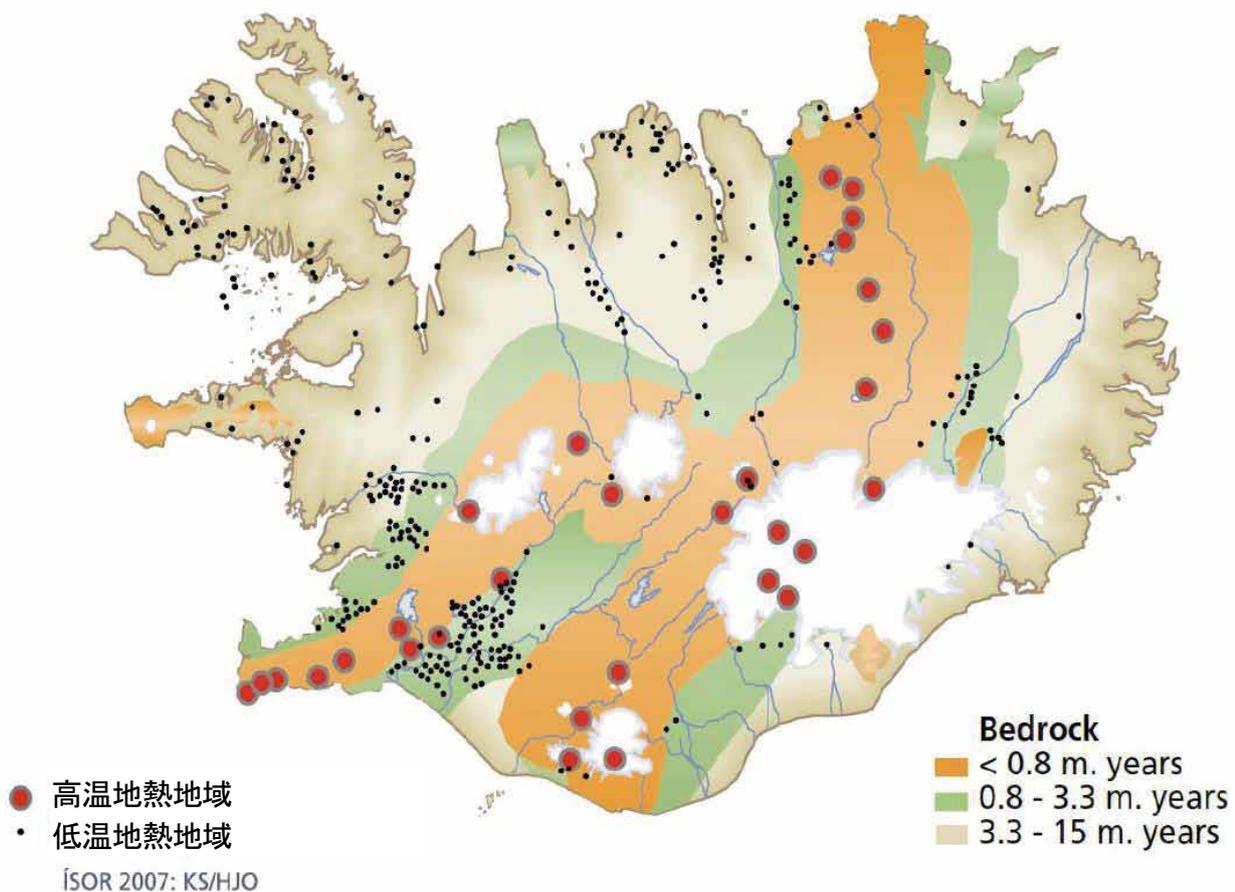


図4-14 アイスランドの火山帯と地熱資源分布

出典：Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

#### 4.7.2 熱利用

アイスランドは2017年時点で発電設備容量が世界第8位（708MW）の地熱発電大国であるが、それ以上に地熱直接利用大国である。1940～1950年代に地熱は石炭に変わる最大の1次エネルギー源となった。現在、全エネルギー利用のうち、42.6%が暖房、41.4%が発電であるが、暖房用のうち、90%超を地熱エネルギーが担っている（図4-15）。

2014年12月末時点における熱利用量を表4-7に、熱利用の用途割合を図4-16に示す。年間利用熱量は地熱発電の1.4倍と多い。地域暖房への利用が約70%と多いが、養殖漁業、融雪、浴用・プール、工業利用、温室と多岐にわたる地熱利用が行われている。レクリエーション用の温水プールは通年開放されている例が多く、小学校では水泳は必修となっている。有名なブルーラグーンは年間70万人の観光客を集める、同国有数の観光スポットとなっている。

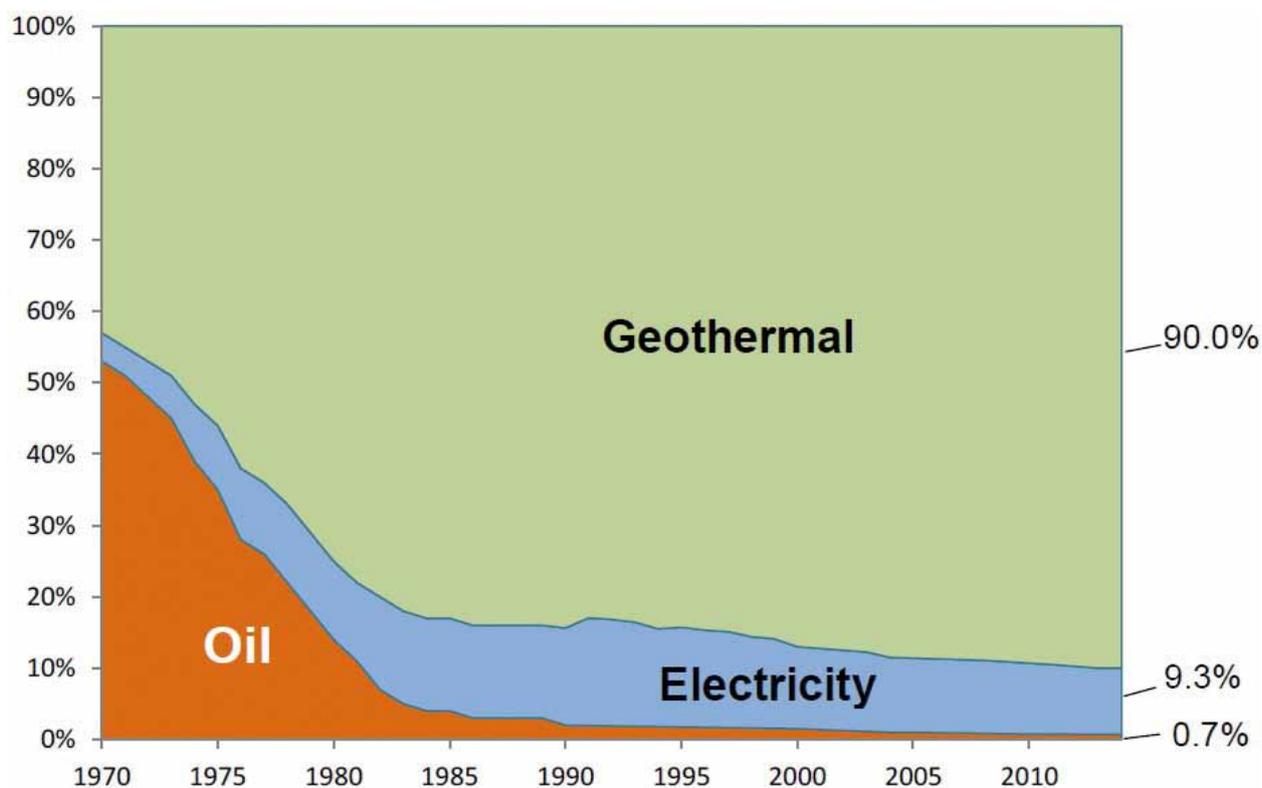


図 4-15 アイスランドの暖房用熱源

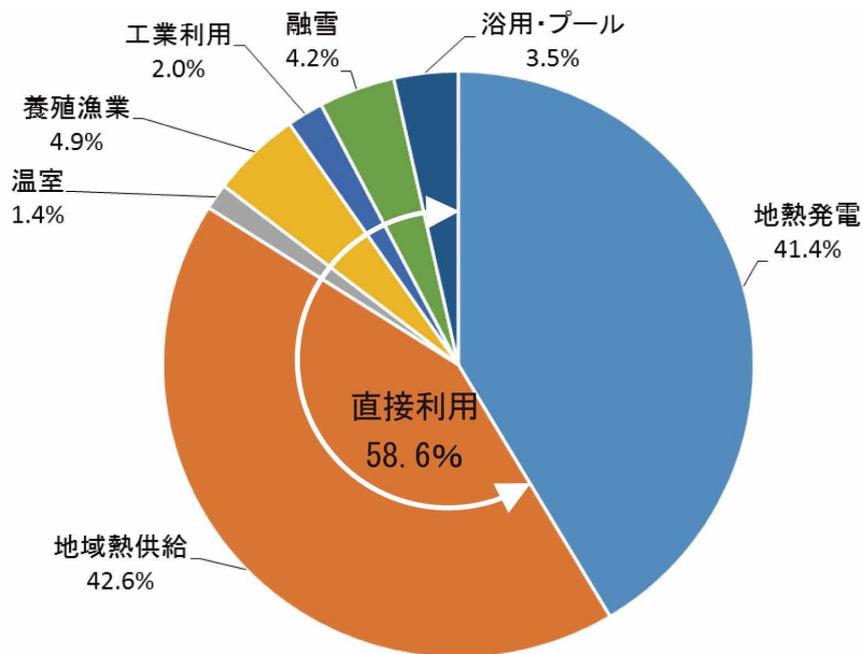
出典: Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)	利用率 (%)
直接利用	2,035	26,700	42
地域暖房	1,550	19,400	40
温室	45	660	47
養殖漁業	85	2,230	83
工業利用	70	910	41
融雪	195	1,900	31
浴用・プール	90	1,600	56
地熱発電	663	18,882	
合計	2,698	45,582	

2014年12月末時点; Árni Ragnarsson (2015) を基に作成

表4-7 アイスランドの熱利用

出典: Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015



2014年12月末時点；Árni Ragnarsson (2015) を基に作成

図 4-16 アイスランドの熱利用量の用途割合

出典：Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

### (1) 魚乾燥の事例

直接利用の例として、地熱水を用いてタラの乾燥を行っている事例を図4-17に示す。1次乾燥は18～25℃で1～2日間行い、水分を82→55%に減少させ、2次乾燥は22～26℃で3日間行い、水分を55→15%に減少させる。年間の生産量は1万2千トンである。

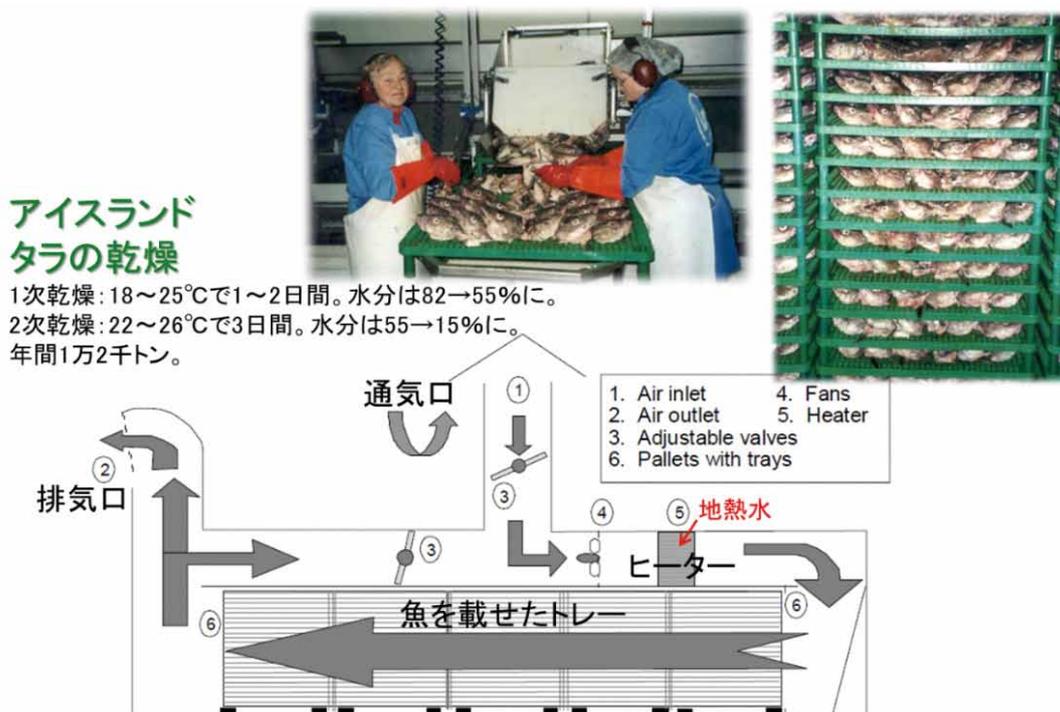


図 4-17 アイスランドにおける熱利用の例 (魚の乾燥)

出典：安川香澄 (2018): 世界温泉地サミット資料

## (2) 屋外温水プールの事例

図4-18は、アイスランドの「ブルーラグーン」とスヴァルツェンギ (Svartsengi) 地熱発電所である。ブルーラグーンは、スヴァルツェンギ地熱発電所の地熱流体を利用した屋外温水プールであり、観光名所になっている。また、発電に使用した後の地熱流体と熱交換した湯を地域暖房にも利用している。

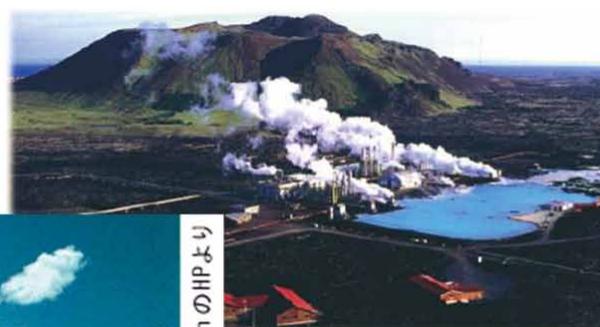
### 【参考文献】

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

安川香澄 (2018) :世界温泉地サミット資料

スヴァルツェンギ地熱発電所の地熱流体を利用した屋外温水プール。観光名所。



使用後の地熱流体と熱交換した湯を地域暖房にも利用している。

### アイスランド

電力の27%を地熱発電で供給(73%は水力)、一次エネルギーの66%を地熱エネルギーで供給。

※国の人口は32万人。

写真は、International Geothermal AssociationのHPより

図4-18 アイスランドの「ブルーラグーン」とスヴァルツェンギ (Svartsengi) 地熱発電所

出典:安川香澄 (2018) :世界温泉地サミット資料

### 4.7.3 地熱発電

アイスランドでは国内の電力の7割が水力発電で、残りの3割を地熱発電で賄っている。地熱発電の設備容量は、2017年時点で世界第8位(708MW、表2-3参照)である。地熱発電所で造成された熱水は都市部に輸送し、地域暖房や温水プールなどに活用されている。これにより、国内の1次エネルギーの69%は地熱エネルギーとなっており、発電後の熱水の利用もエネルギー量としては大きな役割を果たしている。

### 【参考文献】

海江田秀志 (2018) :海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46

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

## 4 8 ニュージーランド

### 4.8.1 地熱資源

ニュージーランドの主要な地熱資源は、北島の北東部のプレンティ湾からタウポ湖に延びるタウポ火山帯に沿う地熱地帯に集中している（図4-19参照）。



図 4-19 ニュージーランドのタウポ火山地帯

出典：GNS Science 資料

<https://www.gns.cri.nz/Home/Learning/Science-Topics/Earth-Energy/Geothermal-Energy/Maori-korero>

## 4.8.2 熱利用

過去5年間で、いくつかのニュージーランド企業が大規模な産業用直接地熱エネルギー利用に多額の投資を行ってきた。カウエラウ (Kawerau) にあるティッシュ工場への熱供給、モカイ (Mokai) にある粉ミルク加工プラントへの蒸気供給が行われている。これらの新しい開発にもかかわらず、2010年以來、地熱直接利用は全体的に減少している。その主な理由は、Norske Skog Tasmanが2013年1月にカウエラウ工場で製紙ラインの1つを閉鎖したことによるものである。

2014年12月末時点のニュージーランドの地熱資源の直接利用用途を表4-8に示す。最も多いのが工業利用（農業用の乾燥と脱水を含まない）である。次いで、浴用・プール、その他（灌漑、霜防護、旅行者用公園など）、温室、地域熱供給、暖房、養殖漁業と続いており、非常に多くの用途に利用されている。

### 【参考文献】

Brian Carey, Mike Dunstall, Spence McClintock, Brian White, Greg Bignall, Katherine Luketina, Bridget Robson, Sadiq Zarrouk, Anya Seward (2015): 2015 New Zealand Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)	利用率 (%)
工業利用	284	5,043	56
浴用・プール	58	1,375	75
その他（灌漑、霜防護、旅行者用公園など）	33	992	95
温室	24	366	48
地域熱供給	31	289	30
暖房	31	289	30
養殖漁業	17	196	37
ヒートポンプ	9.32	69	23
畜産	0.13	2	49
合計	487.45	8,621	

2014年12月末時点

表4-8 ニュージーランドの熱利用

出典: Brian Carey, Mike Dunstall, Spence McClintock, Brian White, Greg Bignall, Katherine Luketina, Bridget Robson, Sadiq Zarrouk, Anya Seward (2015): 2015 New Zealand Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015

### (1) 木材乾燥の事例

直接利用の例として木材乾燥の事例を図4-20に示す。80~90℃の地熱水を用いて、専用のかまどで水分を均質に保ちながら60℃で木材を乾燥することにより、木材をゆがませずに乾燥することができる。

### 【参考文献】

出典: 安川香澄 (2018): 世界温泉地サミット資料

## ニュージーランド、Fletcher Challenge Forest Operation



- 専用のかまどで、60°Cで乾燥。
- 木材がゆがまずに乾燥(水分を均質に保つのが重要。天日干しは×)。
- 地熱水の温度は、80~90°C。使用後は70~80°Cに。

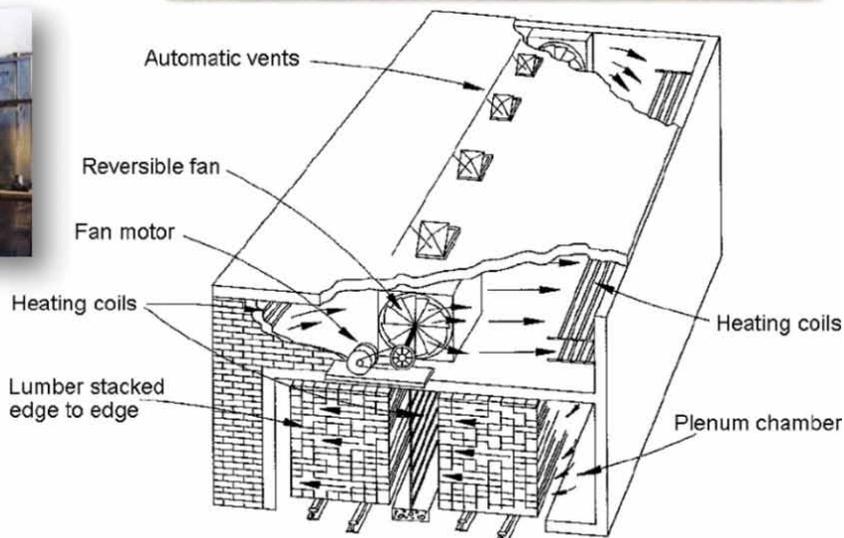


図4-20 ニュージーランドにおける熱利用の例（木材乾燥）

出典：安川香澄（2018）：世界温泉地サミット資料

### (2) エビ養殖の事例

直接利用の例としてエビ養殖の事例を図4-21に示す。

現経営者は1991年に前所有者から養殖施設を買い取り、養殖業そのものよりも、エビ釣り・川遊び等のアトラクションとレストラン経営といった観光業により収入を上げることに成功した。職員80名のうち、75名は観光業、5名のみ養殖に携わっている。年間6万人の観光客が訪れ、年間収益は約50万NZドル（約3,800万円）。運転コストの内訳は温水循環ポンプの電気代（年間約12万NZドル）と人件費である。通常のボイラーで温水を作ると年間35万NZドルかかるところ、近隣のタウポ地熱発電所から年間2万NZドルで温水が提供されるため、高い収益を維持している。なお、近年では観光業の他、エビ養殖ノウハウの技術移転により、少しずつ別収入を得ている。

#### 【参考文献】

安川香澄による 2017年11月の現地聞き取り調査結果



図 4-21 ニュージーランドにおける熱利用の例（エビ養殖）

出典：Huka Prawn Park のウェブサイト  
<https://hukaprawnpark.co.nz/>

### 4.8.3 地熱発電

ニュージーランドは、イタリアに次いで世界で2番目に地熱発電を行った国である。2017年時点の発電設備容量は世界第5位（978MW、表2-3参照）である。2014年12月末時点の主要な地熱発電所の設備容量を表4-9に示す。

地域名	ユニット数	設備容量 (MW)
ワイラケイ (Wairakei)	15	394
カウエラウ (Kawerau)	5	140
レポロア (Reporoa)	2	58
ロトカワ (Rotokawa)	6	174
ノースランド (Northland)	3	35
モカイ (Mokai)	12	111
タウハラ (Tauhara)	2	26
ナタマリキ (Ngatamariki)	4	82
合計	49	1,020

2014年12月末時点

表4-9 ニュージーランドの地熱発電所の設備容量

出典：Brian Carey, Mike Dunstall, Spence McClintock, Brian White, Greg Bignall, Katherine Luketina, Bridget Robson, Sadiq Zarrouk, Anya Seward (2015): 2015 New Zealand Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015

ニュージーランドでは1958年にワイラケイ地熱発電所において熱水と蒸気が混合して生産される貯留層から蒸気のみを分離して6.5MWの発電に成功した。それまでの地熱発電は、貯留層から蒸気のみが噴出する蒸気卓越型の地熱地域でのみで発電が行われ、日本のように蒸気と熱水が噴出する地域では発電が難しいとされてきた概念を覆し、その後の日本の地熱開発に大きな影響を与えた。ニュージーランドではロトカワ、カウエラウ、モカイなど多くの地点で地熱発電開発が進められており、2017年時点では総計978MW（世界第5位）の地熱発電設備容量を有している。

ニュージーランドは現在、再生可能エネルギー源から電力の約75%を生産しており、2025年までに

再生可能エネルギー源による電力の90%を戦略的に目標にしている。ただし、2013年以降、ニュージーランドの地熱発電設備の建設は停滞しており、電力需要は横ばいとなっている。

図4-22に示すワイラケイ地熱発電所は、イタリアのラルデレロに次いで世界で2番目に建設された地熱発電所で、世界初の熱水型地熱発電所でもある。復水器用の冷却水をワイカト川から採り、地熱水もこの川に放流している。

【参考文献】

海江田秀志 (2018): 海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46

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

Brian Carey, Mike Dunstall, Spence McClintock, Brian White, Greg Bignall, Katherine Luketina, Bridget Robson, Sadiq Zarrouk, Anya Seward (2015): 2015 New Zealand Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015



図4-22 ワイラケイ地熱発電所

出典：資源エネルギー庁ホームページ：ホーム>政策について>資源・燃料>地熱資源政策・地熱発電について>地熱のページ > 地熱発電のしくみ>地熱発電所の紹介>世界の地熱発電所

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/explanation/mechanism/plant/foreign/)

## 4.9 イタリア

### 4.9.1 地熱資源

イタリアの主要な地熱フィールドは図4-23に示す地域である。

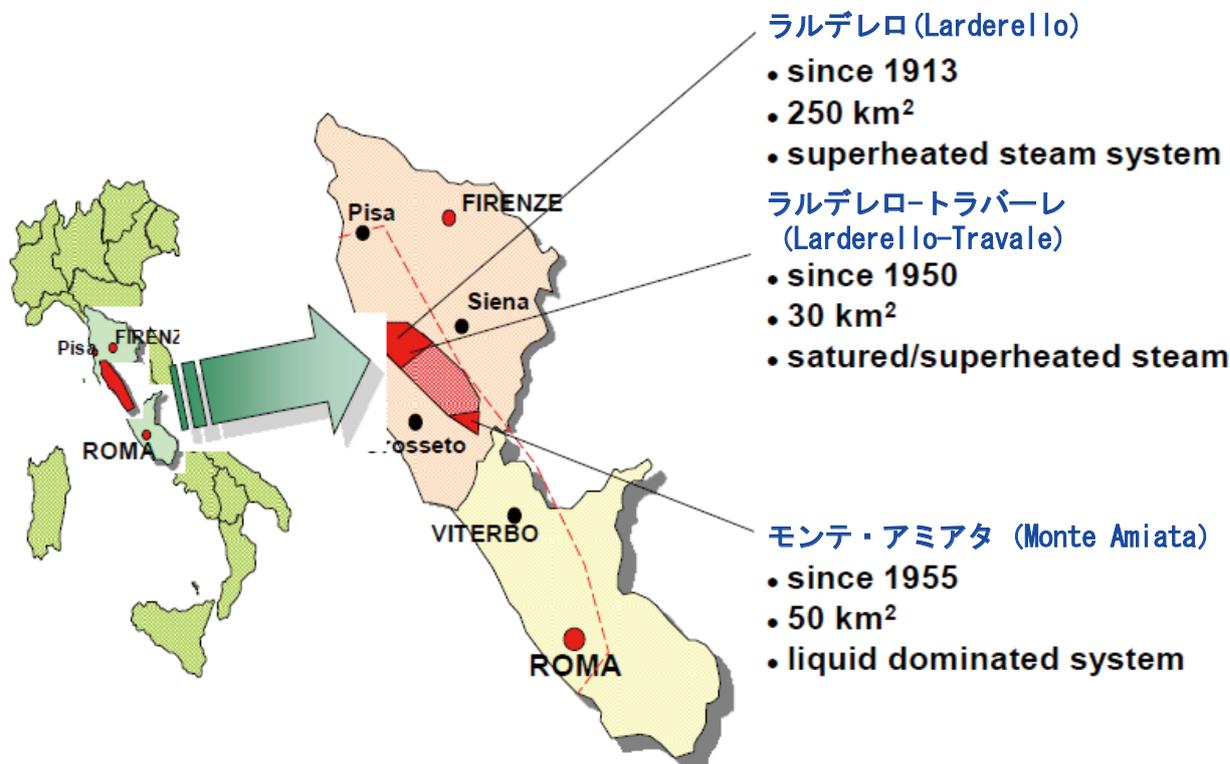


図 4-23 イタリアの主要な地熱フィールド

出典: Francesco Razzano and Maurizio Cei (2015): Geothermal Power Generation in Italy 2010-2014 Update Report, Proceedings World Geothermal Congress 2015

### 4.9.2 熱利用

イタリアでは、古くから地熱・温泉地域の熱が産業に用いられている。世界初の地熱発電が行われたことで有名なラルデレロの地名は、19世紀前半、地熱蒸気の熱を利用して温泉水からホウ酸を蒸留する技術を確立したラルデレル氏に由来する。当時、ヨーロッパではホウ酸が眼薬として非常に高価であり、ラルデレル氏の事業は大成功を収めた (Unione Geotermica Italiana, 2007)。

図4-24は、少々古い資料であるが、イタリアでの主な地熱利用の分布を示している (Allegrini et al., 1995)。イタリアの地熱資源はラルデレロとモンテ・アミアタを中心とした半島中部に集中しているので、直接利用もこの地域に多いものの、北部の温泉地域でも直接利用が行われている。興味深いのは鰻の養殖であり、仔魚と稚魚では適温が異なるため、より高温の温泉水が得られるカステルヌオヴォで仔魚を育て、稚魚になるとロディゴ (Rodigo) に運び、そこで成魚に育て出荷する。運送費がかかっても、一か所に温度の異なる設備を備えるよりコストパフォーマンスが良いと言う。

また、北部のアバノテルメは温泉療養地として有名である。図4-25に示す通り、当地でとれる特殊な泥を温泉の成分と熱で熟成させてマッドセラピーに用いるなど、浴用以外にも多目的に熱を利用している (安川, 1998)。

図4-26は、モンテ・アミアタにある大規模な温室栽培施設の現在の様子である。温泉熱を使い商品

価値の高い花きを栽培している。

【参考文献】

Unione Geotermica Italiana (2007): "La Geotermia - Ieri, oggi, domani"

<https://www.unionegeotermica.it/la-geotermia-pubblicazione.asp>

Allegrini, G., Cappetti, G., Sabatini, F. (1995): Geothermal development in Italy: country update report, Proceedings, World Geothermal Congress 1995, 201-208

安川香澄 (1998): イタリアにおける熱水卓越型および低温地熱資源の研究と利用状況、地熱、35、pp.111-127

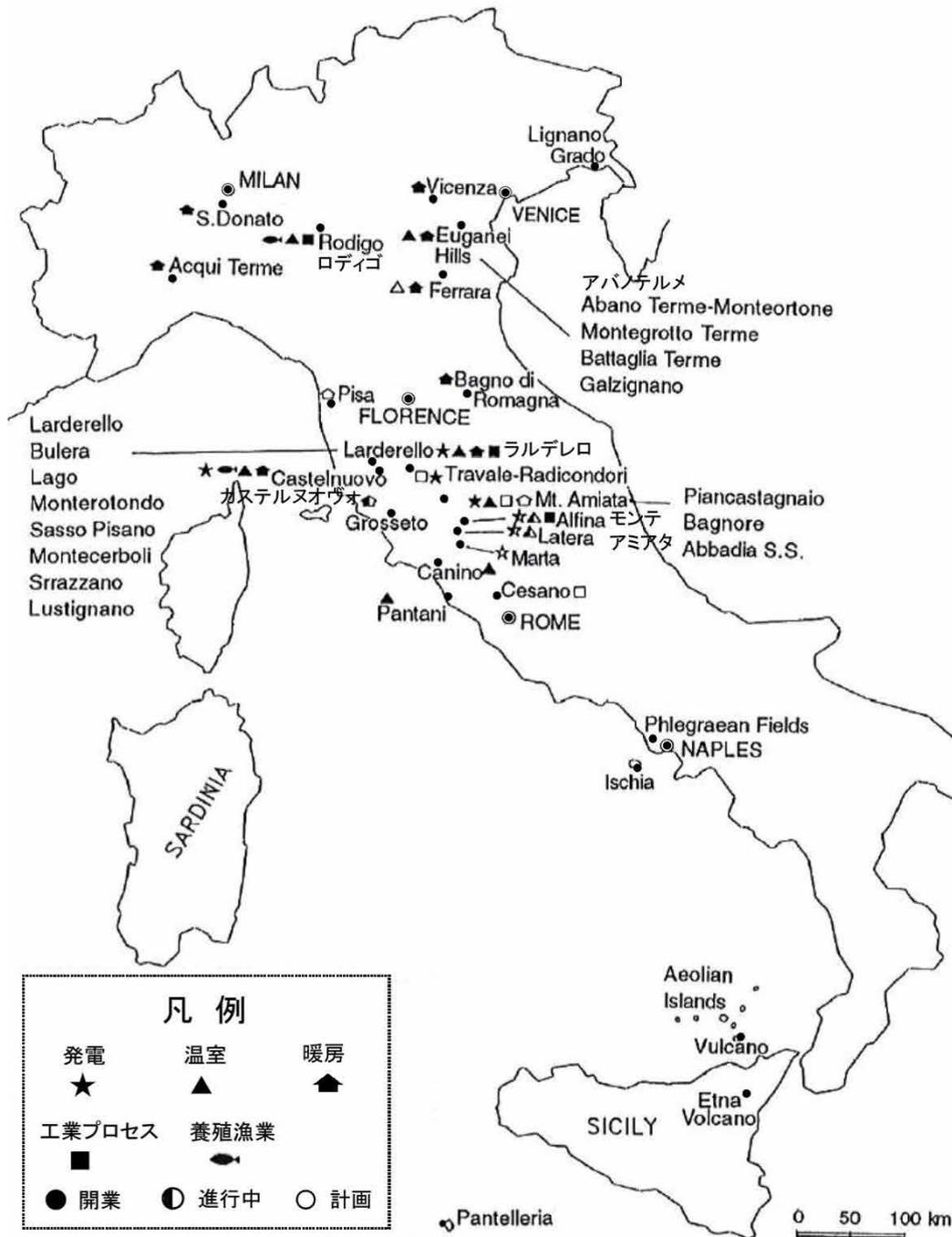


図 4-24 イタリアでの主な地熱利用

出典: Allegrini, G., Cappetti, G., Sabatini, F. (1995): Geothermal development in Italy: country update report, Proceedings, World Geothermal Congress 1995, pp.201-208

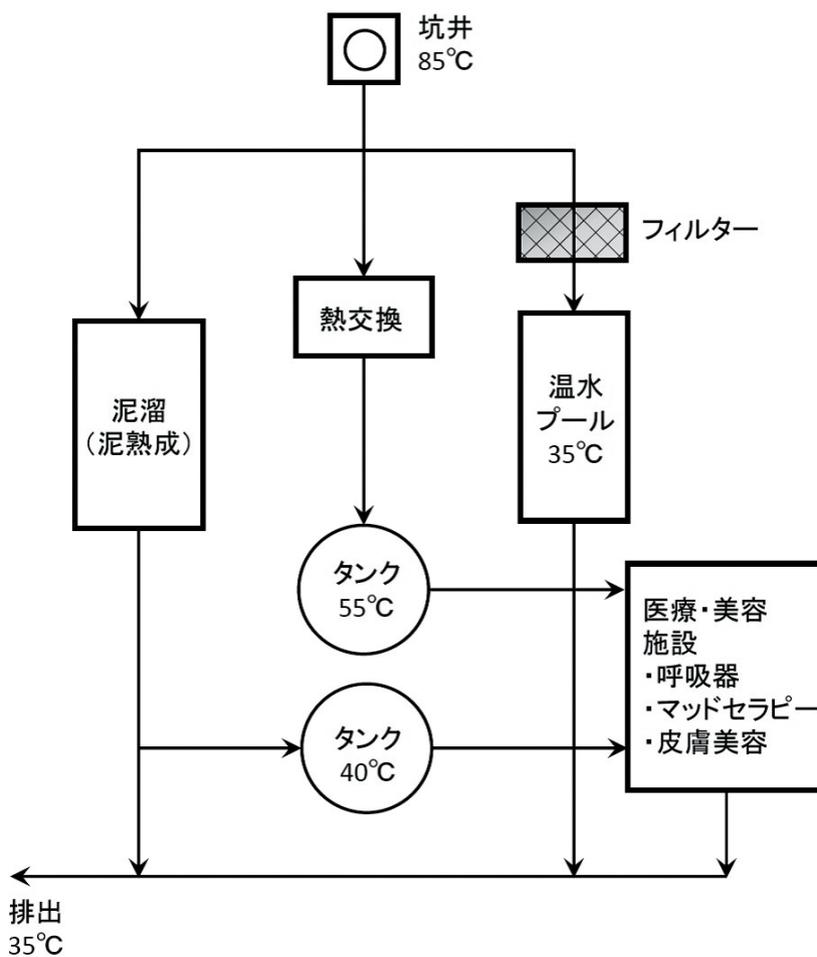


図 4-25 アバノテルメの Trione Hotel の地熱直接利用フローチャート

出典：安川香澄 (1998)：イタリアにおける熱水卓越型および低温地熱資源の研究と利用状況、地熱、35、pp.111-127



図 4-26 モンテ・アミアタにある温泉熱を使った温室花き栽培

出典：フローラミアタ社 HP  
<https://www.floramiata.it/>

### 4.9.3 地熱発電

イタリアでは、地熱資源は主に発電に使用され、稼働中のすべての発電所はトスカーナのラルデレロ-トラバーレ (Larderello-Travale) とモンテ・アミアタ (Monte Amiata) の2つの地域にある。2017年の発電設備容量は世界第7位 (916MW、表2-3参照) である。

イタリアの主要な地域における地熱発電設備容量を表4-10に示す。

地域名	ユニット数	設備容量 (MW)
ラルデレロ (Larderello)	22	595
ラルデレロ - トラバーレ (Larderello-Travale)	8	200
モンテ・アミアタ (Monte Amiata)	5	81
計	35	876

2014年12月末時点

表4-10 イタリアの地熱発電所の設備容量

出典: Francesco Razzano and Maurizio Cei (2015): Geothermal Power Generation in Italy 2010-2014 Update Report, Proceedings World Geothermal Congress 2015

イタリアではラルデレロ (Larderello) において1913年以降地熱発電所の建設が進められ、1942年には設備容量が120MWに達した。第二次世界大戦で発電設備の多くが破壊されたが、その後発電所の建設が進んだ。1950年代から蒸気の生産量が低下し始めたため、その原因について検討した結果、貯留層内の熱水量が減少していると評価された。そこで、1970年代から発電後の凝縮水などを注入した結果、蒸気生産量が回復している。なお、イタリアでは最近熱水の直接利用による地域暖房などの設備も建設が進んでおり、2015年には1,300MWtの設備が設置されている (海江田、2018)。

2013年、Enel Green Power社はイタリアに最初のバイナリー発電所 (Gruppo Binario Bagnore 3: 1MW) を設置した。このバイナリー発電所では、バニョール地熱地帯 (Mount Amiata) における地熱流体による一次フラッシュ発電後の液相を利用している (Francesco and Maurizio、2015)。

#### 【参考文献】

海江田秀志 (2018): 海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46

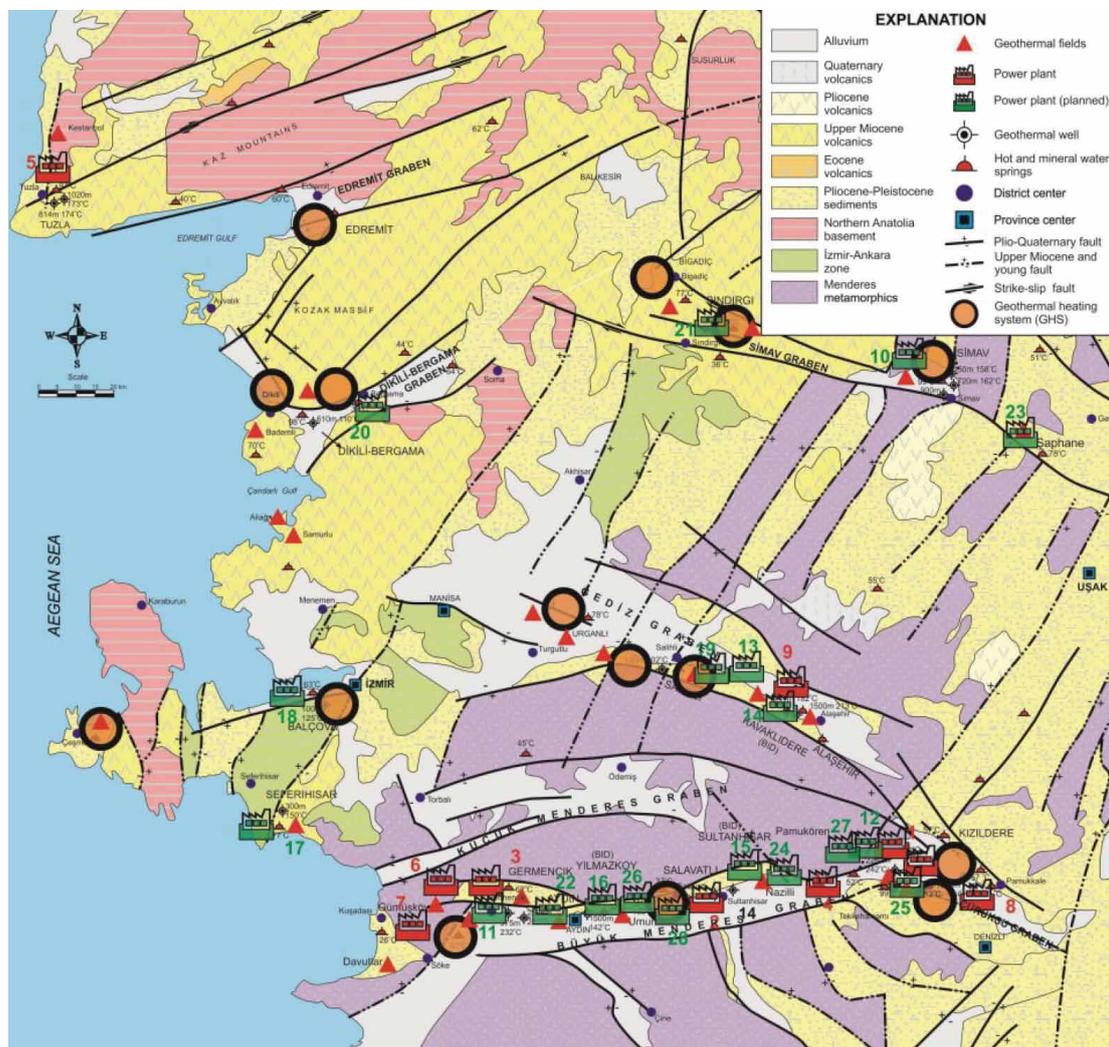
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

Francesco Razzano and Maurizio Cei (2015): Geothermal Power Generation in Italy 2010-2014 Update Report, Proceedings World Geothermal Congress 2015

## 4 10 トルコ

### 4.10.1 地熱資源

トルコの主要な地熱フィールドは図4-27に示す西アナトリア地域である。



【▲：地熱フィールド，：地熱発電所，：地熱暖房システム，色分けは地質区分】

図4-27 トルコの西アナトリアにおける地熱フィールド

出典：Orhan Mertoglu, Sakir Simsek, Nilgun Basarir (2015): Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015

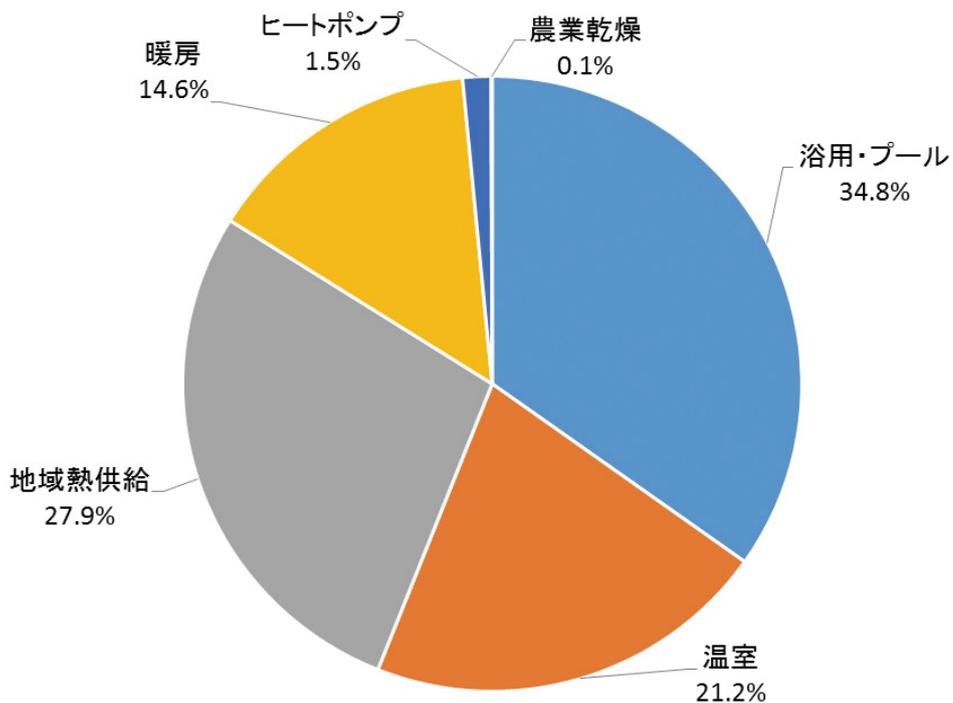
### 4.10.2 熱利用

地熱の直接利用の設備容量は、2014年12月末時点で、地域暖房（805MWt）、約300万m<sup>2</sup>の温室暖房（612MWt）、熱設備、ホテルなどの暖房420MWt、温泉利用（1,005MWt）およびヒートポンプ用途（42.8MWt）を含む2,886.3MWtに達している。

2014年12月末時点の地熱資源の直接利用用途の割合を図4-28に、直接利用量を表4-11に示す。年間利用熱量は45,126TJ/yrと多く、アメリカ合衆国に次いで世界第2位の利用熱量になる。

#### 【参考文献】

Orhan Mertoglu, Sakir Simsek, Nilgun Basarir (2015): Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015



2014年12月末時点； Mertoglu et al. (2015) を基に作成

図 4-28 トルコの熱利用量の用途割合

出典：Orhan Mertoglu, Sakir Simsek, Nilgun Basarir (2015): Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015

用途	設備容量 (MWt)	年間利用熱量 (TJ/yr)	利用率 (%)
浴用・プール	1,005	19,016	60
温室	612	11,580	60
地域熱供給	805	8,885	35
暖房	420	4,635	35
ヒートポンプ	42.8	960	70
農業乾燥	1.5	50	30
合計	2,886.3	45,126	

2014年12月末時点

表4-11 トルコの熱利用

出典：Orhan Mertoglu, Sakir Simsek, Nilgun Basarir (2015): Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015

トルコにおける熱利用の一例を図4-29に示す。本地域では、深度400mの井戸4本から95℃の熱水100L/秒を利用して冬期の霜を避け、総面積400万m<sup>2</sup>に及ぶ温室でトマトやパプリカを栽培している。トルコでは、地熱による地域暖房、地熱発電も急速に伸びている。



地熱直接利用による広大な温室栽培

図 4-29 トルコでの温室栽培（ディキリ地熱地域）

出典：安川香澄（2018）：世界温泉地サミット資料

### 4.10.3 地熱発電

2017年時点のトルコの発電設備容量は世界第4位（1,064MW、表2-3参照）である。図4-2に示したように、ケニアと同様に2010年以降に急増していることが最大の特徴である。

トルコは1984年に15MWの地熱発電所が建設され、その後、2005年の「再生可能エネルギー資源発電利用法」の制定を契機として急速に開発が進んだ。さらに、2007年に初めて法律「Law on the Geothermal Resources and Natural Mineral Waters (Law No.5686/2007)（地熱資源および天然鉱水法 2007年法第5686号）」が制定された。この法律では、「地熱資源は国の管理下に属し、土地所有者には属さない」としている（金子、2016）。これが、近年の急激な地熱資源開発の増加につながっているものと考えられる。

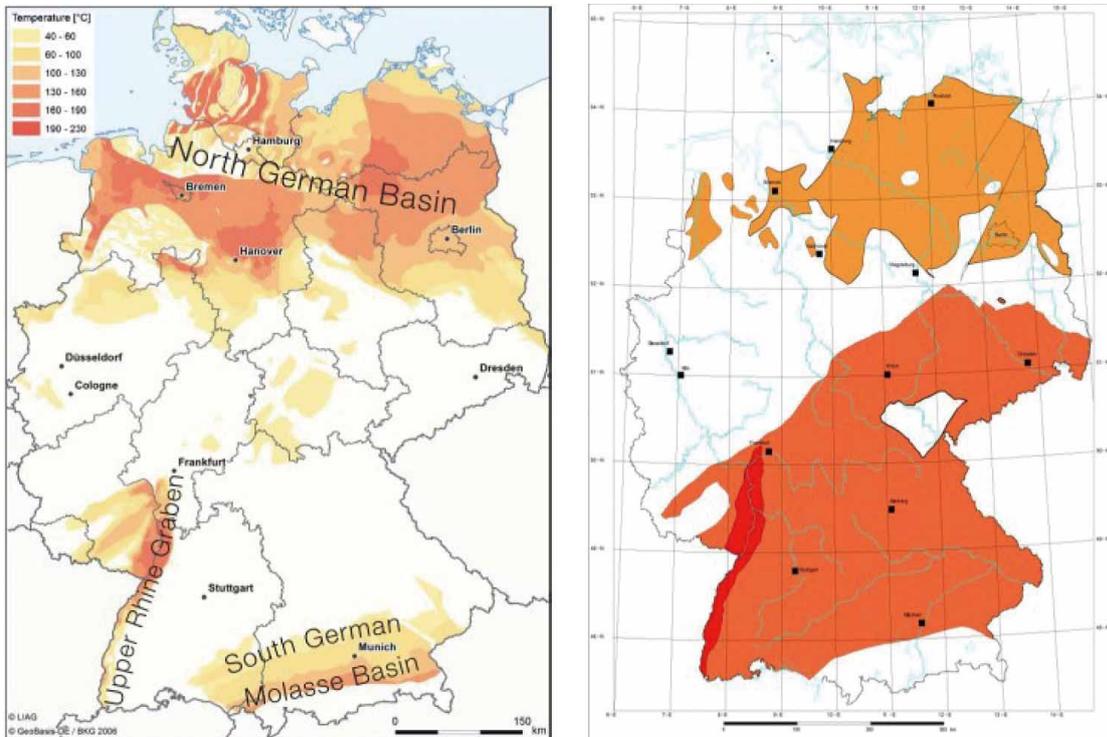
#### 【参考文献】

金子正彦（2016）：世界の地熱法（2）、日本地熱学会誌、第38巻、第3号、pp.85-100

## 4 11 ドイツ

### 4.11.1 地熱資源

ドイツにおける地熱資源開発のための調査は2002年に実施された。熱水の帯水層、地熱資源となる結晶質岩分布が図4-30のように示されている。



結晶質岩分布 (右) 凡例 赤：深さ 3km、平均気温 100°Cの結晶質岩。暗赤色：アッパーライングラーベンの深さ 3km、温度 130°Cの結晶質岩。オレンジ色：100°C以上の温度を有する Rotliegend (Permian) 火山岩。

図 4-30 ドイツの熱水帯水層 (左) および結晶質岩分布 (右) の推定結果

出典：Josef Weber, Britta Ganz, Ruediger Schellschmidt, Burkhard Sanner and Ruediger Schulz (2015): Geothermal Energy Use in Germany, Proceedings World Geothermal Congress 2015

### 4.11.2 熱利用

現在、ドイツでは地熱エネルギーを直接利用するための180の地熱施設が稼働している。これらのプラントの設備容量は、およそ260 (地熱) / 650 (ピーク負荷容量などを含む合計) MWtになる。導入設備は、集中暖房ユニット (地域暖房)、温室との組み合わせを含む暖房、および温泉を含む。地熱発電所の大部分は北ドイツ盆地、南ドイツのMolasse盆地、またはアッパーライングラーベン沿いにある。これらの大規模発電所に加えて、多数の中小規模の分散型地熱ヒートポンプユニット (地盤結合ヒートポンプおよび地下水ヒートポンプ) がある。設備容量は約2,600 (地熱) / 3,500 (総消費電力量を含む) MWtに達する。過去10年間、設備容量は増加した後、ここ数年では新しい地熱ヒートポンプの設置数は、経済的および法的な欠点から減少した。2013年末までにドイツにおける地熱エネルギーの直接熱利用は、約2,850 (地熱) / 4,150 (合計) MWtの総熱容量に達した (Weber et al., 2015)。

ドイツでは、地熱は発電への貢献はわずかであるが、暖房・冷房の市場では主要な熱源とされている。浅部地熱の利用は継続的な進歩を続けており、個人住宅や商業ビルに約165,000個の設備が設置され

ていると推定される。毎年約30,000個が新たに設置される。いくつかの地域では、新たに建設される建物の20%以上が地熱暖房を利用している。それらのほとんどは、鉛直のクローズドシステムである (Holst、2013)。

【参考文献】

Josef Weber, Britta Ganz, Ruediger Schellschmidt, Burkhard Sanner and Ruediger Schulz (2015): Geothermal Energy Use in Germany, Proceedings World Geothermal Congress 2015

Holst RUETER (2013): ドイツにおける地熱開発マスタープランとその実現、日本地熱学会誌、第35巻、第1号、pp.45-47

### 4.11.3 地熱発電

ドイツでは2015年までにDurmhaar (7MW)、Kirchstockach (7MW)、Sauerlach (5MW)、Insheim (4.3MW) などの地熱発電所が建設され (海江田、2018)、発電設備の総量は2017年時点で39MWとなっている (BP、2018)。

【参考文献】

海江田秀志 (2018): 海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46

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

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>

# 地熱フル活用おおいた

## ■ 農業や水産業での活用

- 地熱エネルギーで加温した温水を循環させ、化石燃料に頼らない暖房システムへ
- クリーンエネルギーで栽培や養殖することにより高付加価値化



## ■ 生活面での活用

- 温泉の蒸気を循環させて温める掘りごたつなど、暖房にも活用



## ■ 日本の地熱発電発祥の地 大分県

- 1925年、世界では、イタリア、アメリカに次ぐ3番目
- 別府市坊主地獄の北側にある噴気孔を利用



## 5

## 個別インタビュー

事例集の最後に、地熱発電に造詣の深い次の4名の方へのインタビュー結果を掲載する。インタビュー対象者の選定理由は以下のとおり。

(株)ターボブレードの林正基様は、地熱井から出てくる蒸気と熱水の2相流をタービンに入れて発電する世界で初めての湯けむり発電機を、公的資金を活用しながら開発した。試験機から実用機まで製作し、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の実用機はマスコミにも大きく取り上げられ、多くの見学者が訪問した。温泉エネルギーによる発電技術によって、地元の活性化につなげた成功事例として選定した。

(株)元気アップつちゆの加藤勝一様は、地元の土湯温泉が2011年の東日本大震災で被災し、温泉旅館も大きな被害を受けて観光客が激減したことを受けて、再生可能エネルギーで土湯温泉の再生を図ることを提言された。地元が一致団結して、国の補助金を得て、小水力発電、バイナリー発電、テナガエビの養殖事業を完成させた。温泉エネルギーを活用して、地元を活性化させた成功事例として選定した。

JOGMECの西川信康様は、わが国の地熱発電量を2030年までに100万kW増大させる国の方針を実現するために、全国の地熱資源量調査への助成事業を進めるとともに、自らも空中探査等を実施している。温泉・地熱エネルギーの開発の最前線で指揮されている方として選定した。

ニュージーランドのグレッグ・ビグナル様は、地熱発電の先進国であるニュージーランドで、地下の構造を明らかにする解析技術等を開発して、ニュージーランドの地熱開発に貢献している。海外の先進的な技術者として選定した。

## 5 1 湯けむり発電

(株)ターボブレード 林 正基社長



林正基社長と湯けむり発電機 2号機

**Q** 蒸気と熱水の両方で発電する湯けむり発電方式を発明したきっかけをお伺いしたいと思います。

林：約25年前、九州大学の江原幸雄先生（現在、九大名誉教授）が、国立公園内の地獄谷で蒸気と熱水の調査をする時、調査用センサーの電源がないので、自分が蒸気タービンと熱水タービンを製作して発電したのがきっかけです。その後、大分県の再生可能エネルギーに関する補助金を得て、地熱ワールド工業(株)から地熱用井戸の勉強をさせてもらって、蒸気と熱水で発電するトータルフロー発電機（湯けむり発電機とも呼ぶ）を世界で初めて開発しました。以前から日米で、蒸気と熱水で発電すると蒸気のみ比べて1.6倍の発電が得られることはわかっていましたが、効率が悪く、実用化されませんでした。開発したトータルフロー発電機は70%以上の効率があるのが特徴です。東日本大震災の後、安倍総理がお見えになり、実験機3号機をご覧になって、感心され、実用化に苦労していた法規制の緩和に動いていただいたので、実用機の開

発に至ることができました。その後、台湾大学から要請があり、台北の近くの宜蘭県に、150℃の蒸気と熱水を使って発電する機械の設計を行って、台湾に設計図を提供し、台湾で発電機を製作し、現在でも150kWの発電をしています。

**Q** 湯けむり発電機の構造についてお伺いしたいと思います。

林：蒸気のみで発電するフラッシュ発電機と比べて、蒸気と熱水の2相流で回転させるタービンを有している構造が特徴です。タービンの構造は、蒸気、熱水の温度、量、成分によっても異なりますので、受注生産になります。

**Q** 湯けむり発電機の開発で苦労されたことをお伺いしたいと思います。

林：蒸気タービンはフラッシュ発電機で研究されていますが、熱水エネルギーに関する研究は少なく、トータルフロー発電では、熱水を蒸気に変える超音速ノズルがなく、その開発が重要で、回転する羽根の形状設計、熱水エネ

### 会社概要

- 1999.2 大分県大分市に(株)ターボブレード設立
- 2013.6 大分県の補助金を得て、蒸気と熱水の両方で発電する湯けむり発電機（トータルフロー発電機）の実験機1号～3号（3kW）を世界で初めて完成・運転開始
- 2014 実用機1号機（10kW）を完成・運転開始（地熱ワールド工業(株)、亀の井発電所）
- 2015 実用機2号機を完成・運転開始（22kW×2基）（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）

### 経歴概要

(株)ターボブレード 社長

### 林 正基

1983年熊本大学大学院工学研究科修了、林エンジニアリングに入社し、水カタービンの設計に携わる。

1999年(有)ターボブレード（現：(株)ターボブレード）を設立。高効率のポンプやファン、水力や蒸気などのタービンの開発設計を手掛ける。

ルギーのノズルの熱流体設計に最も苦労しました。

### Q 世界で初めての発電機を開発するための協力者についてお伺いしたいと思います。

林：研究開発する上で、大分県が補助金を出していただいたのが有難かったです。大分県でビジネスグランプリがあり、トータルフロー発電機が1位に表彰されて、900万円程度の賞金をいただきましたので、花きグループの実用機2号機（22kW×2基）の開発ができました。当社は設計会社で、加工・製作は(株)戸高製作所が行い、営業・販売は地熱ワールド工業(株)が担当しています。トータルフロー発電機はこのグループで対応しています。

### Q 実証機が稼働し始めた時の社会の反響についてお伺いしたいと思います。

林：大分県の補助金を得て開発した1号実験機が完成した時は、大分県内の3社のテレビ局が取材に来て、大きく取り上げてくれました。大分県のバックアップを得て、九州経済産業局の認定制度にも取り上げていただきましたので、国会議員の先生方も見学にお見えになり、東京でも宣伝していただきました。蒸気と熱水で効率良く発電するトータルフロー発電機は世界で初めての開発で、かつ、大分県と言う地方で開発したことは、社会的に相当なインパクトがありました。

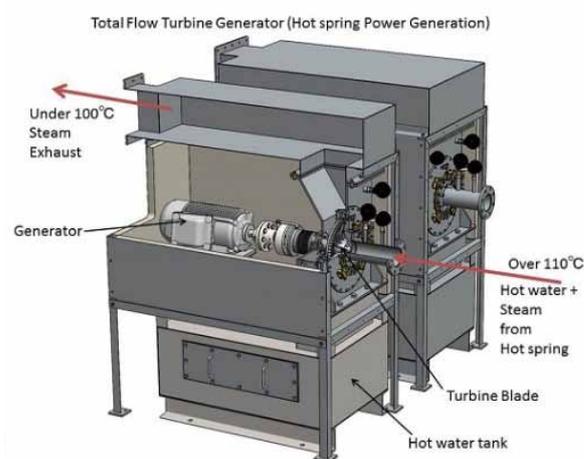
### Q 大分県花きグループの実用機2号機の稼働状況についてお伺いしたいと思います。

林：花きグループの源泉の蒸気は、温室ハウスの暖房に使うのが主目的ですので、11～4月

の冬季は発電用には使えません。5～10月は暖房が必要ありませんので、余剰蒸気を発電用として使っています。元々、源泉の圧力、流量からは発電機1基分しか発電する能力はありませんでした。発電を継続する内に、2相流の中に砂が混じってきて、タービンの羽根が削られることがわかりました。そこで、現在は、2相流が発電機に入る手前に砂分離タンクを設置しました。最近は、1基の運転で、5～6kWしか発電できていません。最近、熱水が少なくなっていますので、蒸気タービンのみの発電に切り替えることも検討しています。

### Q 湯けむり発電機の今後の展望についてお伺いしたいと思います。

林：蒸気と熱水の2相流で有効に発電する機械を開発できましたので、最近、この考え方を他の産業機械の開発等に应用するニーズが出てきましたので、発電機以外の分野への展開も図っていきたいと考えています。



湯けむり発電機の構造の概念

## 5 2 土湯温泉

(株)元気アップつちゆ 加藤 勝一社長



加藤勝一社長と土湯温泉 16 号源泉バイナリー発電所

**Q 水力発電、バイナリー発電、発電後の熱水活用事業を始められるきっかけについてお伺いしたいと思います。**

加藤：2011年3月11日の東日本大震災で土湯温泉も被災し、温泉旅館も5軒が大きな被害を受け、結局、廃業に追い込まれました。土湯温泉の観光客は震災前は約26万人でしたが、震災後は10万人を切りました。このままでは、土湯温泉は成り立たないと言う危機意識から、温泉資源を活用して町おこしをしようと立ち上がりました。震災の前から構想のあった小水力発電所の建設から始め、次に、土湯温泉に豊富にある温泉資源を活用する意味で、バイナリー発電に着目し、世界的に実績のあるオーマツ社のバイナリー発電機に決めて、何とか着工できました。資金調達で、発電所の建設にはJOGMECの債務保証を受けました。2015年11月に竣工し、売電を開始することができました。

**Q バイナリー発電所の建設に当たって、住民の理解はどのようにして得られましたか。**

加藤：土湯温泉の源泉の温度は高いので、加水して温泉旅館に配湯していましたので、バイナリー発電して温度が低下しても、加水しない分だけ経済的と考えました。住民の方々には、バイナリー発電は、温泉水が空気に触れないで、熱交換器の中を通過して、同じ泉質の温泉が配湯されるので問題ないと説明して、理解を得ました。

**Q 許認可を得るのに苦労された点についてお伺いしたいと思います。**

加藤：まず、土湯温泉は国立公園の中に位置していますし、観光が主な産業ですので、景観、環境に配慮することは重点的に取り組みました。バイナリー発電機の媒体にノルマルペンタンを使用しますので、危険物扱いの対応が必要でした。緊急時の場合を想定して、発電所回りに保安帯を5m設ける必要がありました。

### 会社概要

- 2012.10 地元資本による復興まちづくり会社として(株)元気アップつちゆ設立
- 2014.5 東鴉川水力発電所起工式・安全祈願祭
- 2014.8 土湯温泉 16 号源泉バイナリー発電所起工式・安全祈願祭
- 2015.5 東鴉川水力発電所竣工式
- 2015.11 土湯温泉 16 号源泉バイナリー発電所竣工式・発電開始
- 2017.5 エビ養殖施設・無散水融雪見学体験展望施設竣工式

### 経歴概要

(株)元気アップつちゆ 社長  
加藤 勝一

1948 年生まれ、県立福島商業高校卒業、家業（石材業）に従事。

1971 年から旅館業に携わるとともに社会福祉法人を設立、温泉を活用した高齢者介護福祉施設を開設する。

観光協会会長等を歴任、東日本大震災と原発事故以来協議会を設立、疲弊した温泉街の復興再生と賑わいの創出に努める。

**Q バイナリー発電所の概要についてお伺いしたいと思います。**

加藤：源泉は、湯遊つちゆ温泉協同組合が所有している16号源泉で、温度は130℃強、流量は37.2t/h、圧力は0.35MPで、蒸気と熱水の2相流を使っています。冷却水は、約4km上流の沼の湧水を引いて使っています。温度は10～12℃で、流量は260t/hです。オーガニックランキンサイクル方式の発電方式で、定格出力440kWで認可を得ています。これは、一般世帯約800世帯分に相当する発電量で、全量をFITで売電しています。

**Q 発電後の温水でエビを養殖していますが、エビを選ばれた理由をお伺いしたいと思います。**

加藤：経済産業省の地熱開発理解促進事業の補助金があることを知り、土湯温泉でも何とか活用したいと考えました。温室栽培は経験がありましたので、陸上養殖を検討しました。その中で、青森県弘前市でオニテナガエビの養殖をしていることを知り、弘前市まで出かけて、幼魚を分けていただき、土湯温泉で試験的に飼育し、何とか、目途が立ちましたので、地熱開発理解促進事業の補助金の採択を得ることができました。2018年の7～8月の土日限定して簡易釣り堀で釣り、焼いて召し上がっていただくサービスをしました。お陰様で、450人程度の方に楽しんでいただきました。

**Q バイナリー発電は順調に発電できていますか、お伺いしたいと思います。**

加藤：お陰様で、発電機に起因するトラブルはなく、2018年の6月に、源泉の圧力が少し低下してきたので、井戸の清掃を2年ぶ

りに行き、圧力も回復できました。電力会社の停電が時々ありますが、暦日利用率も91%強と高い数字を維持できています。その結果、売電収入も計画より2割程度増えましたので、売電収入は地元還元しています。例えば、小学校の給食を無償にしたり、高校生は福島市に通学しますので、バス代を無償にする等を行っています。

**Q バイナリー発電所、エビ養殖場、小水力発電所等を観光資源として活用して見学、研修プログラム等を、具体的にお伺いしたいと思います。**

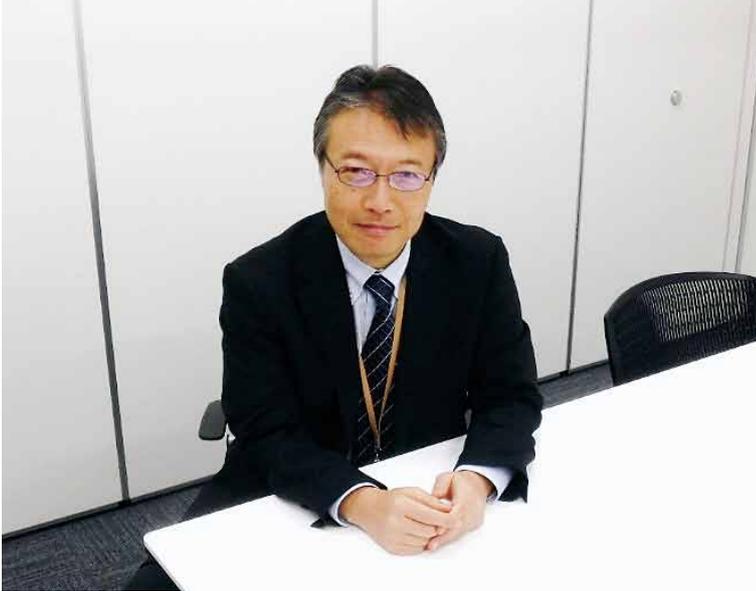
加藤：バイナリー発電所、エビ養殖場の見学には一人4千円いただいでご案内し、専門的な方々にはオーダーメイド講座を設けて、1団体5万円いただいています。これらの方々には、土湯温泉に宿泊することをお勧めしています。その結果、土湯温泉の観光客は、震災の前の約27万人までに戻りました。バイナリー発電所、エビ養殖場、小水力発電所等を建設することによって、土湯温泉の復興に役に立っていると思っています。今後も、皆様のお越しをお待ちしています。



オニテナガエビの養殖状況

## 5 3 JOGMEC

### JOGMEC 西川 信康部長



JOGMEC 地熱部西川信康部長

#### 会社概要

- 2002.7 独立行政法人（独法）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）法の公布
- 2004.2 JOGMEC 設立
- 2012.8 JOGMEC 法の改正
- 2012.9 石炭・地熱資源開発に係る支援の機能が追加  
地熱資源開発の支援事業等を開始

#### 経歴概要

(独法)石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
(JOGMEC)地熱統括部長

#### 西川 信康

1984年、京都大学大学院（資源工学）を卒業、金属鉱物資源機構（現 JOGMEC）に入団し、金属資源に係る探査、技術開発、情報収集等事業に携わる。

2015年4月より地熱部長、2019年1月より地熱統括部長。

**Q 国は 2030 年度までに地熱発電の設備容量を約 100 万 kW 増加させる目標を立てていますが、その目標達成には JOGMEC の役割は大きいと考えられます。まず初めに、JOGMEC の地熱資源開発に関する主な業務についてお伺いしたいと思います。**

西川：JOGMEC の業務は、ポテンシャル調査、地熱資源開発の支援事業、技術開発、普及広報（情報提供）、研修、海外との連携等に分けられます。支援事業は地質構造調査に対する助成金制度、資源量評価等の探査に対する出資制度、発電所建設に対する債務保証制度があります。

**Q わが国の地熱発電量を増やすために支援事業は重要と考えられますが、具体的にお伺いしたいと思います。**

西川：まず、助成金制度ですが、地表調査、抗井掘削調査、温泉モニタリングなどが対象となります。助成率は、地熱発電事業者と地元的地熱関係法人によって異なります。最近では、発電規模によっても助成率を変え

て、大規模な発電規模の開発にインセンティブを与えています。これまで（2012～2017年度）66件に助成金を交付しました。その約4割が地方自治体や温泉事業者等の地元型である上、調査地域も東北や九州など既存エリアに加え、北海道や中部地方の案件が増加しており、地熱ビジネスの裾野が着実に広がっています。また、発電所の建設に対する債務保証は4件実施していますが、この中で特に注目されている案件は、秋田県湯沢市に建設中の湯沢地熱（株）の山葵沢地熱発電所で、1996年に運転開始した滝上発電所以来の大規模地熱発電所（出力42,000kW）となります。

さらに、フロンティア地域での新規案件を発掘するため、空中物理探査による広域調査及び、ヒートホール調査も実施しています。

**Q JOGMEC で行っている技術開発についてお伺いしたいと思います。**

西川：エネルギーミックスの目標達成にキーとな

るリードタイムの短縮、掘削成功率の向上、蒸気出力の安定化等の技術課題を解決するために、三次元弾性波探査技術や柳津西山発電所で涵養試験、PDC ビットの開発などを進めています。早期の実用化に向け、現場での実証試験など、勢力的に取り組んでいるところです。今後も、小型ハイパワーリグの開発や透水性改善技術等の技術開発を積極的に進めていきます。

**Q 普及広報に関する多くの事業を行っていますが、具体的にお伺いしたいと思います。**

西川：地熱開発を進めるにあたって、一般国民や地元住民の理解が大前提になることは言うまでもありません。JOGMEC では、シンポジウムや小中高生向けの特別授業、各種展示会への出展等を通じて理解促進活動を実施しています。また、10月8日の地熱発電の日に向けたキャンペーン活動も展開しています。今後は、関係者の知恵をいただきながら、地熱発電に反対している温泉事業者への理解促進活動が重要と考えています。

**Q 地熱開発関連の研修制度についてお伺いしたいと思います。**

西川：地熱開発の技術者不足を解消するため、若手技術者を中心とした「地熱開発技術者研修」や「地熱掘削技術者向け研修」等を実施しています。特に、秋田県小坂町にある国際資源大学校で開催している「地熱開発技術者研修」は、毎年30～40名に参加いただき、技術の習得のみならず、研修生同士のネットワーク作りにも貢献していると自負しています。

**Q 海外との連携についてお伺いしたいと思います。**

西川：2015年7月にニュージーランドのGNS Science と締結したMOUの下、双方の

国でワークショップを開催し、技術情報の交換や技術交流を図っています。2018年の9月には、ニュージーランドから3名の講師に来日いただき、日本の若手技術者向けの研修を実現しました。また、米国電力研究所（EPRI）とは、涵養技術の分野で、協力関係を構築しています。

**Q 2018年度から5年間の中期計画を策定していますが、具体的にお伺いしたいと思います。**

西川：2030年のエネルギーミックス目標の実現のためには、今期は、正念場の時期と認識しています。JOGMECは、紹介したすべての業務を総動員して最大限がんばっていく覚悟です。しかしながら、JOGMECでコントロールできない系統接続問題や温泉事業者との合意形成、諸手続き上の問題など、クリアしなければならない外的要因も顕在化しており、今後、国や関係機関と一層の連携をとりながら、先頭に立って、地熱資源開発を推進してまいります。皆様方のご支援・ご協力のほどよろしくお願い致します。



空中物理探査の試験状況

## 5 4 GNSサイエンス

グレッグ・ビグナル博士



グレッグ・ビグナル博士

### Q GNSサイエンスの組織構成や研究対象についてお教え願います。

グレッグ：ニュージーランドのMBIE（Ministry of Business, Innovation and Employment）が管轄する国立の研究機関です。総勢390人以上のスタッフが在籍し、その85%以上が研究者・技術者になります。

研究部門は、自然災害系、環境・材料系、地下資源系の3つに分類されています。地下資源系には、「地熱科学部」、「海洋地球科学部」、「古生物学部」、「石油地球科学部」があります。地熱開発に特化した研究所としては、「ワイラケイ研究所」があり、地質学者、地球物理学者、地球化学者、エンジニアが在籍しています。我々のチームは、地質学、地球化学および地球物理学的な手法を用いて収集したデータを統合することにより、地熱システムを描写し、地熱資源量の評価、貯留層の化学・温度・水理地質構造の把握を行っています。

ニュージーランドでは、自然・物理的資源の持続的管理を目的として、環境保全・

### 会社概要

正式名称：The Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited

1865年に開設されたニュージーランド地質調査所を起源とする。

1992年に地質・核科学研究所を新設し、地質調査所と科学技術研究省の全部門を移設し組織は公社化される。

地質学、地球物理学、火山学、及び原子核研究を主な研究対象とする研究機関である。研究成果をコンサルティング・サービス等のビジネスとして外部に提供している。

### 経歴概要

GNSサイエンス 理学博士(地質学)

Greg Bignall グレッグ・ビグナル

オークランド大学院卒業、理学博士（地質学）

東北大学等で研究職に従事した後、2004年 GNSサイエンスに入職し、現在は地熱科学部長。日本・ニュージーランド両国、及び数々の諸外国で地熱資源の評価や開発に関する幅広いコンサルティング経験を持つ。

自然保護関連の法律を統合した資源管理法（RMA；Resource Management Act）を1991年に制定し、その法律に基づいて土地、水、空気的环境を保護する政策を進めています。GNSサイエンスはその政策を支える研究機関になります。

長期を見据えた研究が多く、研究期間は短くても5年です。その間に担当研究者を変えることとはほとんどありません。

### Q ニュージーランドの地熱開発の現状についてお教え願います。

グレッグ：電源に占める再生可能エネルギーの割合が高いのがニュージーランドの大きな特徴です。総発電量の約60%が水力発電で最も高く、次いで地熱発電が約18%となっています。水力以外の再生可能エネルギーの割合は約30%です。日本の場合、地熱発電は総発電量のわずか0.3%ですので大きな違いがあります。

前述のRMAが施行されたことにより、開発のためのルールが明確になり、地熱開発の進捗遅延が少なくなりました。1990年代後半以

降、地熱発電量は急激に増加しています。地熱探査は、GNSサイエンスなどの国営企業や民間企業が行っていますが、土地を利用するには土地所有者からの同意が必要になります。ニュージーランドの土地や資源は先住民であるマオリ族が所有していますので、地熱資源の開発者はマオリ族とのパートナーシップを構築する必要があります。そのため、マオリ族に地熱事業に参画してもらう形で事業を進めています。サイエンスと、マオリ族の伝統に基づくスピリチュアリティの融合が大切になります。

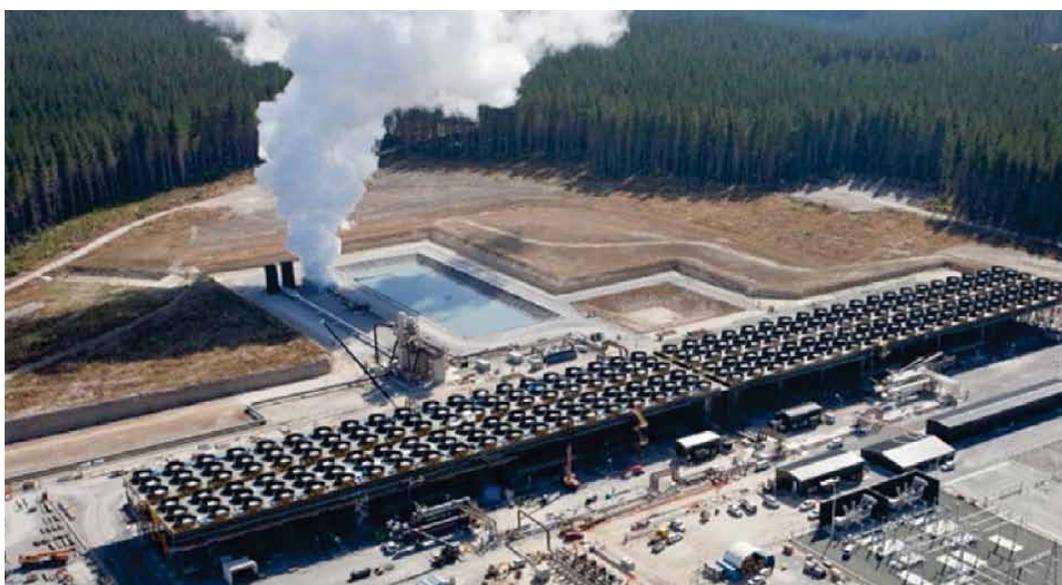
**Q** 今までのご経験を踏まえて大分県の地熱開発の進め方についてアドバイスをお願いします。

グレッグ：ニュージーランドの地熱発電所は、北島の特にワイカト地方のタウポ地域が中心となっています。ワイラケイ (Wairakei)、オハアキ

(Ohaaki)、モカイ (Mokai) などが代表的な地熱エリアです。別府地域はこれらの地域と地質学的にも類似しています。

ニュージーランドと日本の大きな違いは開発規模です。日本では小規模な地熱資源開発をたくさん実施していますが、ニュージーランドでは大規模開発が主です。ナタマリキ (Ngatamariki) 発電所は、82MWの大型バイナリー発電所であり、発電に使った熱水は全量を還元しています。別府-島原地溝帯の地下構造や地熱貯留層の解析を大規模かつ集中的に行えば、大分県の地熱開発も大きく前進することでしょう。

またニュージーランドでは地熱を電力だけでなく、熱を農産業にも直接利用しています。バラエティに富んだ地熱の活用は 地域創生にも役立っています。



ナタマリキ地熱発電所 (熱水全量を還元)

## 編集後記

2018年5月に別府で開催された世界温泉地サミットの宣言の後、温泉エネルギーの活用事例集を発行することになった。国立研究開発法人産業技術総合研究所の安川香澄様、富士電機株式会社の山田茂登様を編集委員として編集会議を組織し、編集を行った。

わが国では、温泉エネルギーは温泉浴として最も多く利用されているが、発電、熱利用による温室ハウス栽培・陸上養殖・建物の暖房等にも活用されて、地域活性化に貢献している。

2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギーが注目され、特に、ベースロード電源となる地熱発電、発電後の熱利用に対する国の助成が手厚くなり、小規模なバイナリー発電が増えるとともに、熱利用施設も増大した。

海外の事例も、ニュージーランド大使館、編集委員の方々の協力も得て、有益な情報を得ることができた。

事例集の最後に掲載した個別インタビューでは、今まで知り得なかった情報を知ることができ、今後、温泉エネルギーの普及に役に立つことができると確信した。

### 温泉の持続可能なエネルギーとしての 利活用に関する事例集

発行：大分県・大分県エネルギー産業企業会  
発行日：2019年3月  
印刷・製本：(株)得丸デザイン印刷



