

# 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てて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(♨️)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
<b>5 個別インタビュー</b>	
5.1 湯けむり発電 (株)ターボブレード林正基社長	87
5.2 土湯温泉 (株)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℃)	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)アドニスの子イタケ栽培状況	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・アミア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

## 1

# おんせん県おおいた 世界温泉地サミット

## 1 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 パ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 パース市 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	1. <b>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) 2. <b>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 3. <b>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)

## 5月25日 (金)

14:00-16:30	第3回 全国温泉地サミット (環境省主催)
17:45-20:00	世界温泉地サミット・第3回全国温泉地サミット歓迎レセプション

## 5月26日 (土)

9:00-12:00	<p>世界温泉地サミット全体会議 主催者挨拶 世界温泉地サミット実行委員会会長 大分県知事 広瀬 勝貞 来賓挨拶 環境大臣 中川 雅治 氏 海外参加国紹介スピーチ</p> <p><b>I 基調講演</b> 「サステイナブル・ツーリズムと世界の温泉地の更なる発展可能性」 ヨランダ・ペルドモ 氏 [スペイン] 前国連世界観光機関 (UNWTO) アフィリエイトメンバー部門長</p> <p><b>II 事例発表</b> (1) 観光 「フランスにおける温泉資源を活用した観光客誘致」 ジェローム・フリボ 氏 [フランス] カンパニー・ド・ヴィシー CEO</p> <p>(2) 医療・健康・美容 「イタリアにおける温泉療養の現状と健康と美を追求した温泉保養への新たな展開」 マッシモ・サビオン 氏 [イタリア] アバノ・モンテグロットホテル協会元会長</p> <p>(3) エネルギー 「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トティル 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</p>						
12:00-13:00	昼食休憩 ※立食サロン						
13:00-16:00	<p><b>III 分科会</b></p> <table border="0"> <tr> <td>分科会①観光</td> <td>テーマ「ONSEN ツーリズムの新たな可能性」</td> </tr> <tr> <td>分科会②医療・健康・美容</td> <td>テーマ「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～</td> </tr> <tr> <td>分科会③エネルギー</td> <td>テーマ「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」</td> </tr> </table>	分科会①観光	テーマ「ONSEN ツーリズムの新たな可能性」	分科会②医療・健康・美容	テーマ「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	テーマ「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」
分科会①観光	テーマ「ONSEN ツーリズムの新たな可能性」						
分科会②医療・健康・美容	テーマ「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	テーマ「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」						
17:00-18:00	分科会総括・サミット宣言						
18:10-18:40	記者会見						
19:00-21:00	フェアウェルディナー ※関係者のみ						

## 5月27日 (日)

9:30-13:20	①観光コース (別府市)
8:15-13:20	②医療・健康・美容コース (別府市)
9:30-13:20	③エネルギーコース (別府市)
9:00-16:20	④ ONSEN・ガストロノミーウォーキングコース (中津市)

### 関連イベント

#### 世界温泉地観光物産展

〈2018年5月26日(土)～27日(日) ビーコンプラザ コンベンションホール〉  
サミット参加国・自治体の紹介ブース・日本各地の物産販売、  
飲食ブース、ステージイベントなどを開催。

#### ONSEN・ガストロノミーウォーキング

〈2018年5月26日(土)別府市、27日(日)中津市〉  
温泉地を歩きながら、その土地特有の豊かな自然・歴史・文  
化をめぐり、その土地ならではの美味しい食べ物・美味しい  
お酒を『食べて(飲んで)』そして温泉に『つかって』温泉地の  
魅力を体感できるウォーキングイベント。

出典：世界温泉地サミット記録誌 (2018)

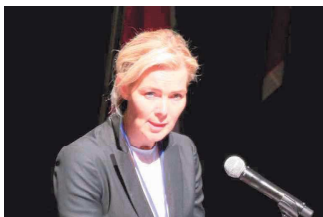


## 1 2 事例発表

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・ブ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・ブ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。



Blue Lagoon uses CO<sub>2</sub> from the local environmentally friendly power plant to feed blue- into a valuable commodity while reducing the plant's carbon footprint.

- 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。
- 光バイリア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。



### BLUE LAGOON ICELAND

Blue Lagoon is a venture company, leading in health tourism and skin care.

Blue Lagoon represents a destination and a unique brand on a global base.

- 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・プ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、バラやカスミノ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。

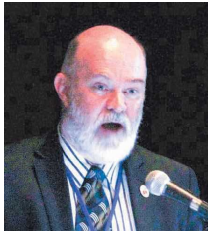


#### 山田 茂登氏

- 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広げる、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。

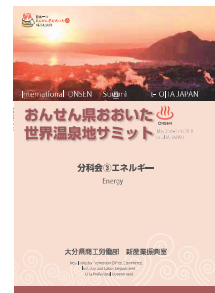


### アーサ・プリンヨルフスドットティル 氏

- ブルーラグーンでは、温泉やホテル、スキング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、ウェルネス(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。

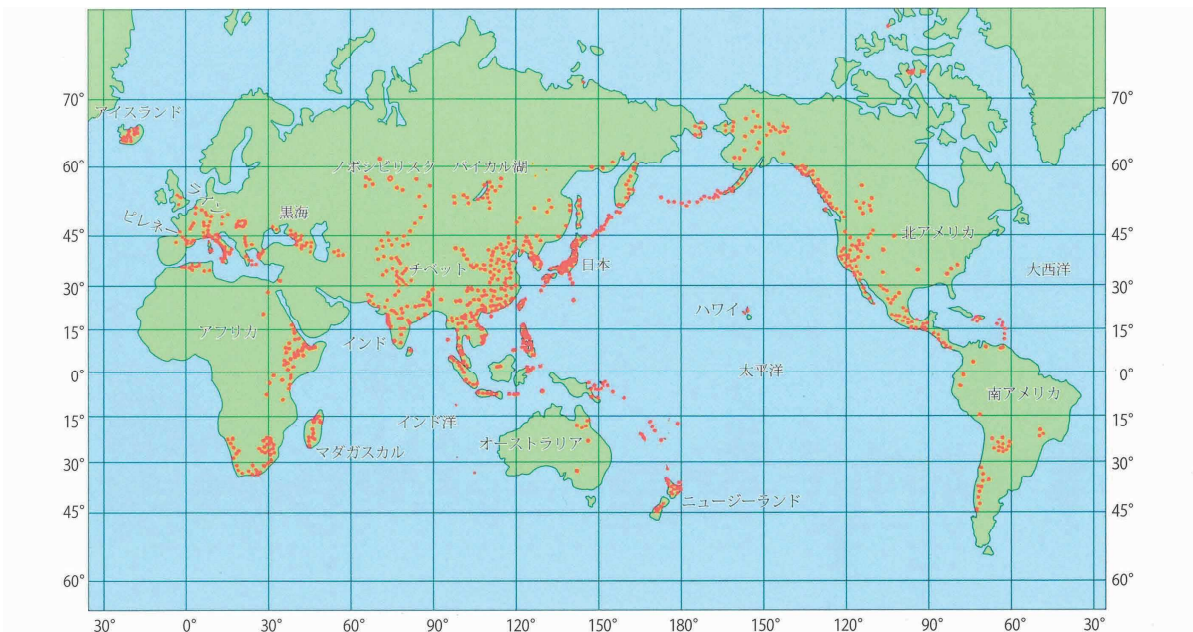


図 2-1 世界の温泉分布

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。



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、高い皮膚病治癒効果があるとして、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/>

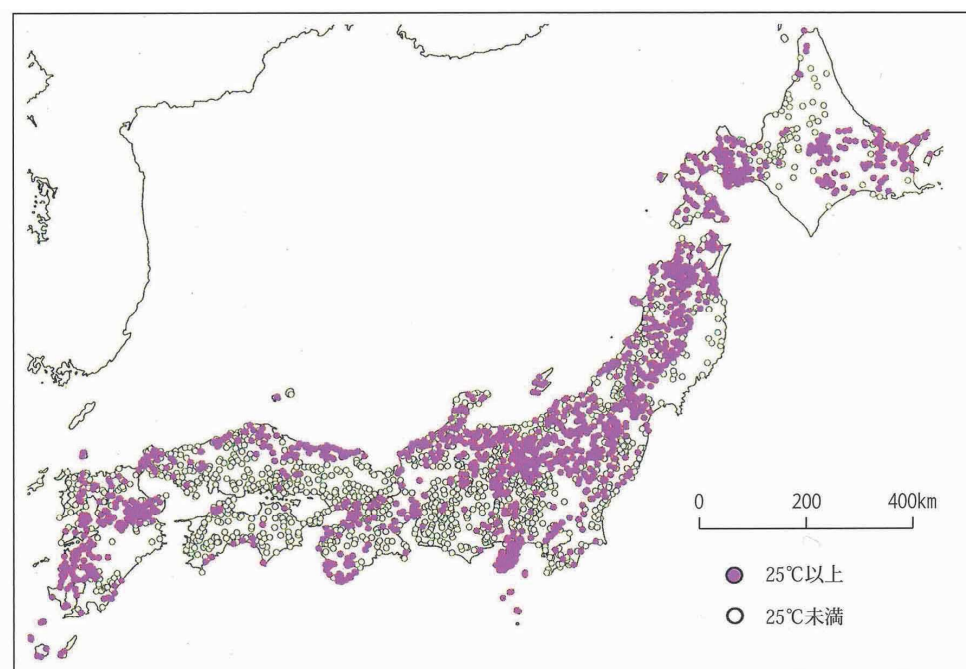


図 2-4 日本の温泉分布（1994 年頃）

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
メタ亜ひ酸（HAsO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ）	1mg 以上
総硫黄（S）〔HS <sup>-</sup> +S <sup>2-</sup> 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>3</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

※放射能量の単位、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、くまざさ出版社、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

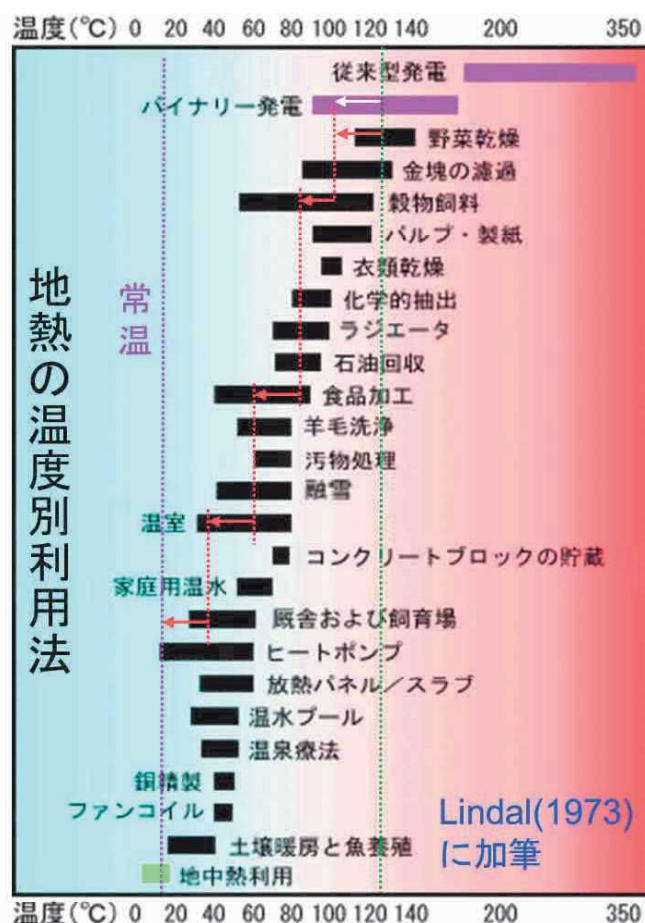


図2-5 地熱エネルギーの多段階利用

### 【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）。

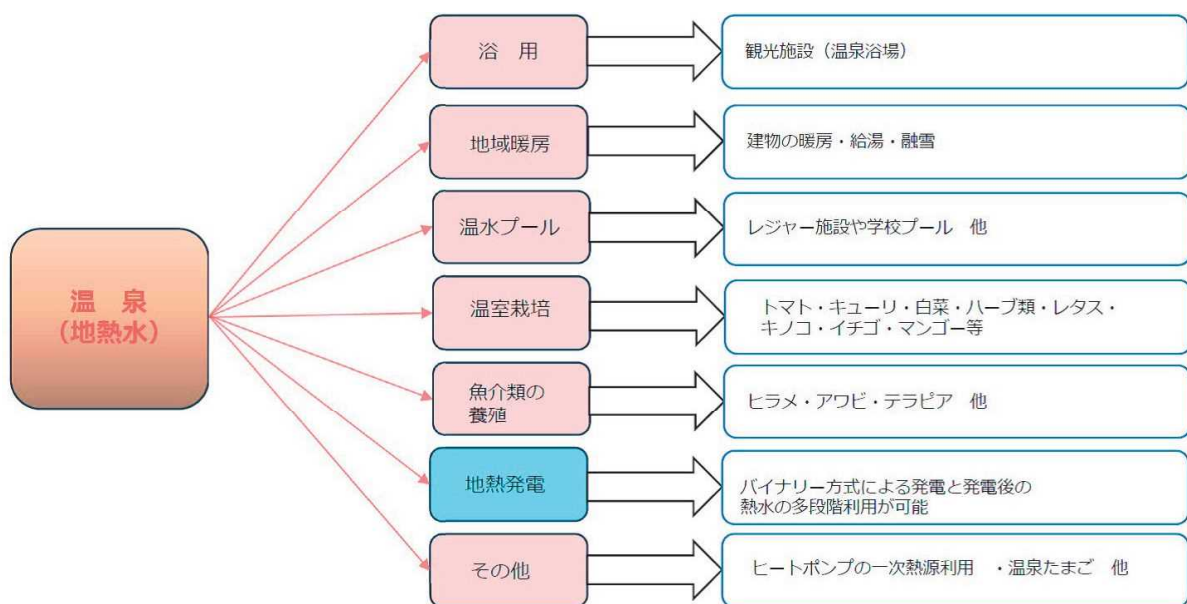
環境省においても、CO<sub>2</sub>排出削減や温泉地の活性化を目的として、図2-6に示すような各種の温泉熱利用の促進を図る施策が進められている（環境省、2018）。

### 【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】

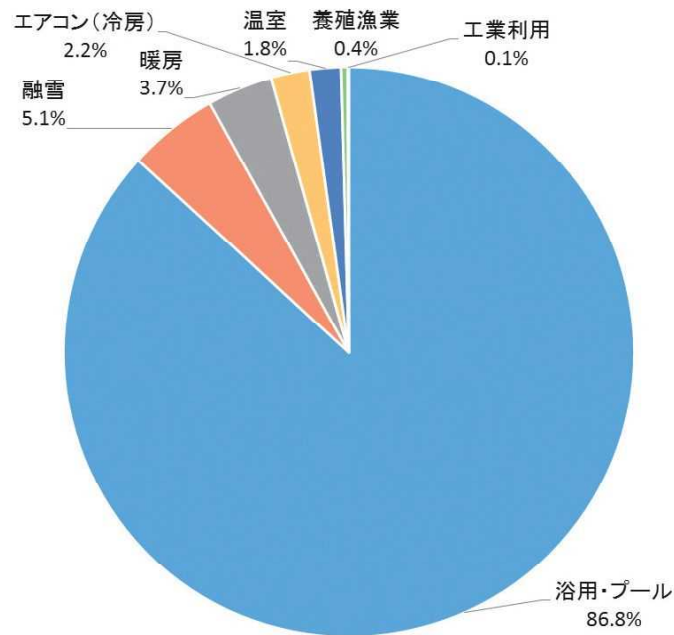
海外では、地熱発電所の設備容量は「MWe（megawatt electrical（メガワット電気力）：ワット電気力）は電力の出力単位」、地熱の直接利用における設備容量は「MWtあるいはMWth（megawatt thermal（メガワットサーマル）：ワットサーマルは熱出力の単位）」と区別して標記されている。

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>

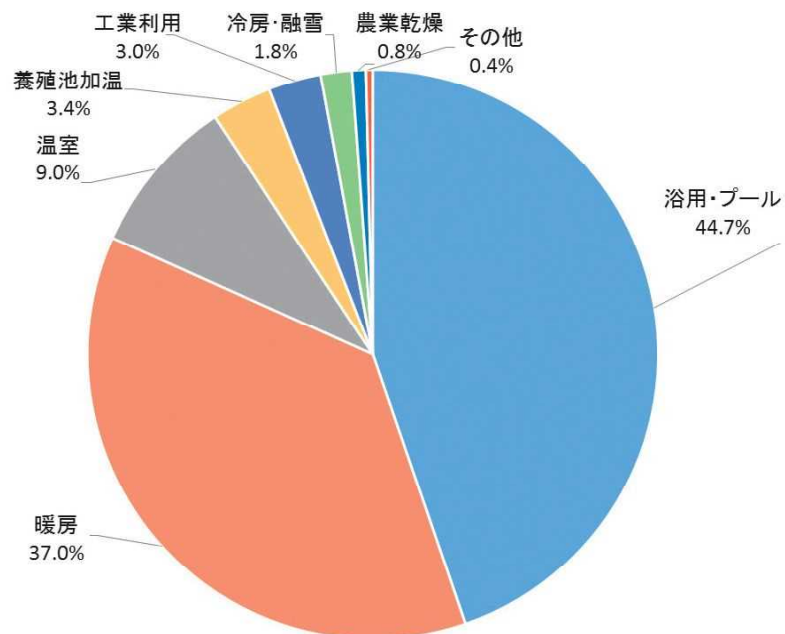


熱量としての設備容量の割合；IGCのGEOTHERMAL POWER DATABASEに掲載されている日本の熱利用データ（合計2,086MWt）を基に作成（ヒートポンプのデータは除外）

図2-7 日本の地熱直接利用用途

出典：IGC：GEOTHERMAL 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>

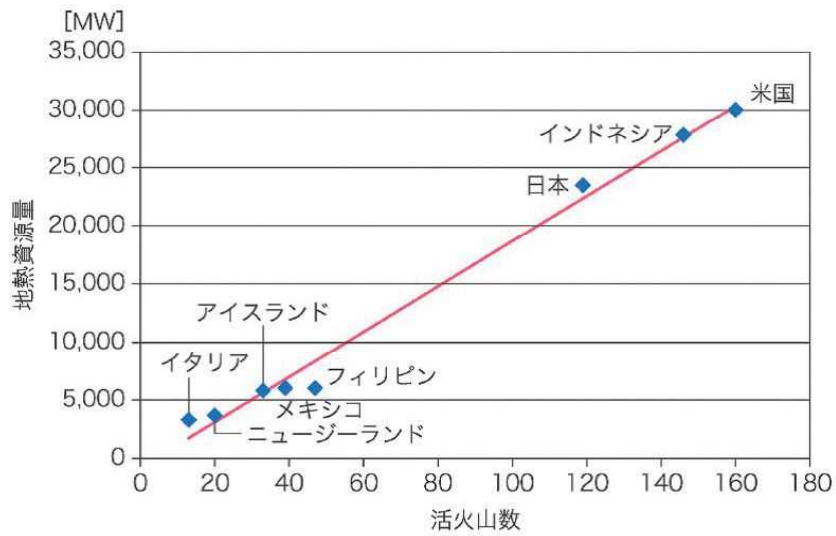
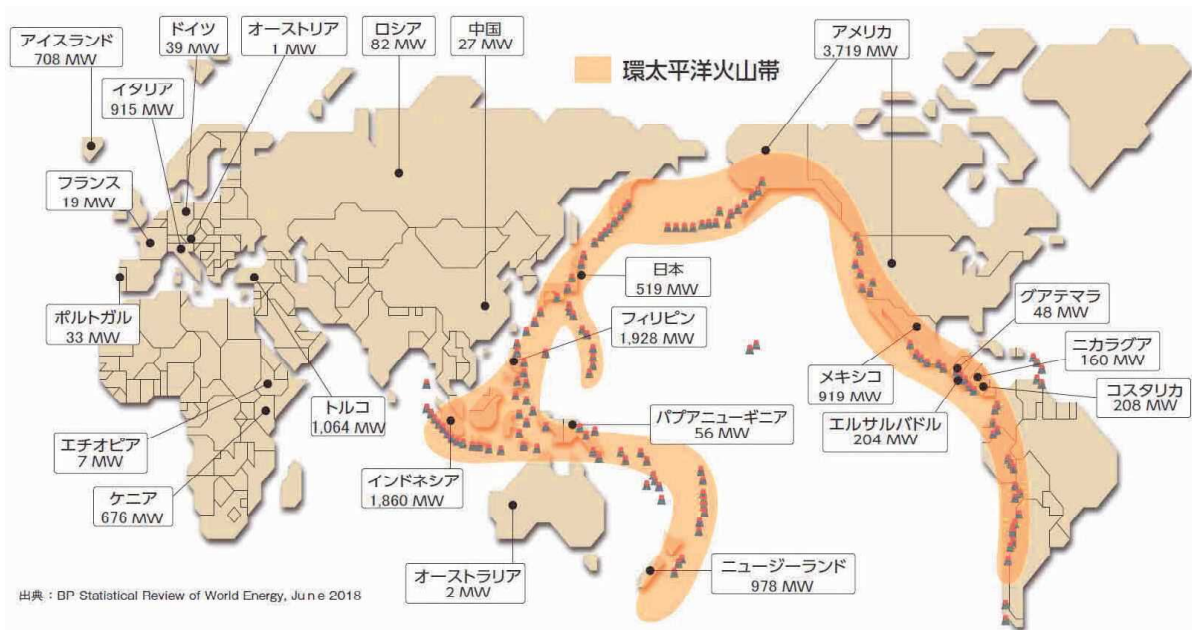


図2-9 地熱資源量と活火山数の相関

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>



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。



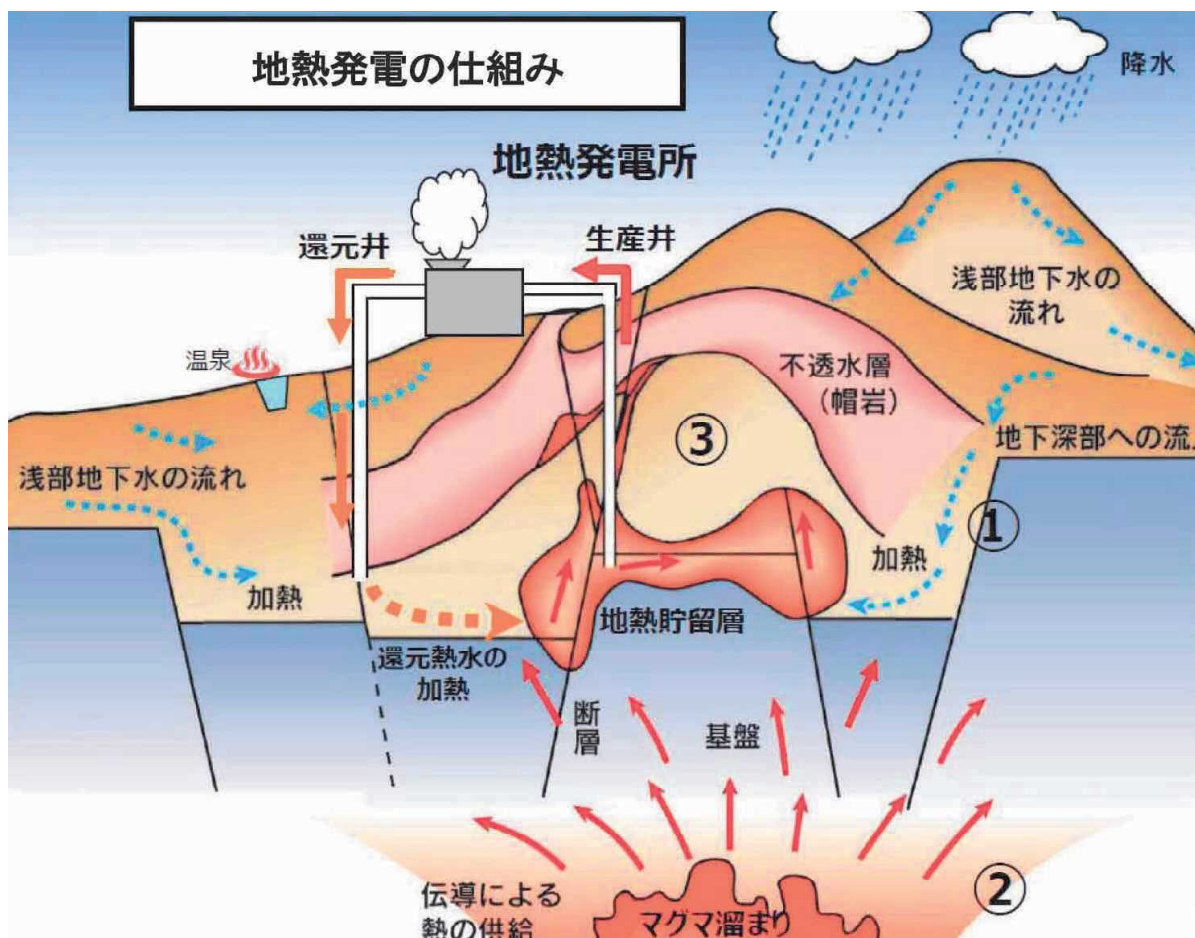


図2-11 地熱発電の仕組み

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)

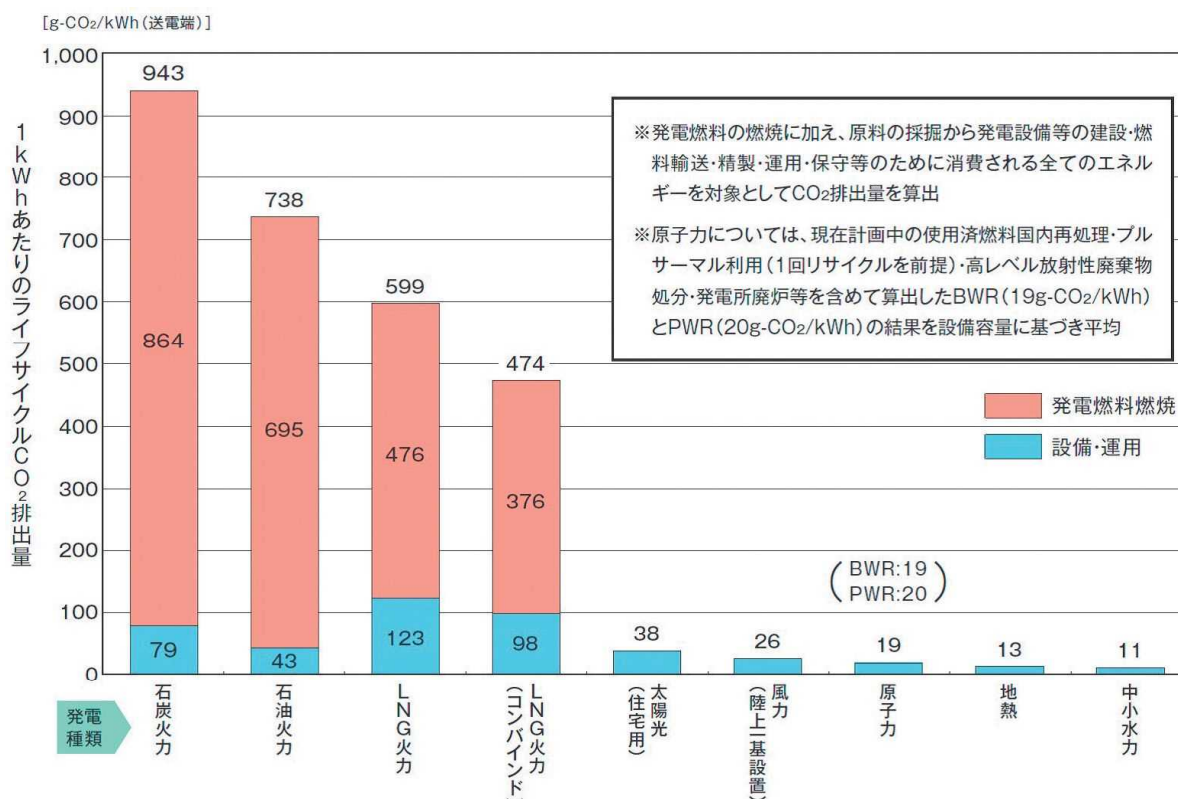
地熱発電は、化石燃料による発電（石油・石炭火力発電など）と比較してCO<sub>2</sub>排出量が相対的に小さく、地球温暖化の防止対策として効果的なクリーンエネルギーである。また、他の自然エネルギー（太陽光・風力など）に比べて高い安定性をもっている。蒸気とともに噴出した熱水は地下に戻るので、環境を悪化させることもない。

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。