

国内外の地熱エネルギー利用

2019年度 第1回地熱発電・熱水活用研究会(2019年5月14日)

一般財団法人エンジニアリング協会 塩崎 功

出典:大分県「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」(2019年3月)、ほか

主な内容:

- おんせん県おおいた&世界温泉地サミット宣言と事例集作成の目的
- 温泉熱(地熱)エネルギーの利用方法
- 温泉熱(地熱)の直接利用
 - 温泉としての利用
 - 環境省による温泉熱活用促進
- 国内の熱利用事例
- 世界の熱利用
- 海外の地熱資源と熱利用事例
- 個別インタビュー

おんせん県おおいた&世界温泉地サミット



- ・2018年5月25日(金)~27日(日)の3日間、大分県別府市の別府国際コンベンションセンターで、世界初となる温泉の世界サミット「おんせん県おおいた&世界温泉地サミット」を開催
- ・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つの分科会で議論を深め、最終的な成果として世界温泉地サミット宣言を採択



世界温泉地サミット宣言と事例集作成の目的

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、改革の重要な要素である。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、これを観光に結びつけることで、温泉地での観光振興の実現を目指す。

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。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ケア（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。

<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2026545.pdf>

2018年5月26日

2

大分県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た。

2019年4月に事例集を公開



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

2019年4月9日

2018年5月25日～27日、大分県別府市で、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。

サミットの中で、サブテーマの一つとして「温泉の持続可能なエネルギーとしての利活用」をテーマに活発な議論がされたところです。

このサミットの成果として、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ましたので、ここに公開致します。

本事例集を幅広い場でご活用頂くことにより、温泉の持続可能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。

◇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（日本語版）

その1 [PDFファイル/7.83MB]

その2 [PDFファイル/6.09MB]

その3 [PDFファイル/6.78MB]

◇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（英語版）

(Case Studies in Hot Spring Use for Sustainable Energy)

No. 1 [PDFファイル/9.3MB]

No. 2 [PDFファイル/8.94MB]

No. 3 [PDFファイル/9.53MB]

No. 4 [PDFファイル/9.28MB]

No. 5 [PDFファイル/9.02MB]

大分県 <https://www.pref.oita.jp/soshiki/14240/jireisyu.html>

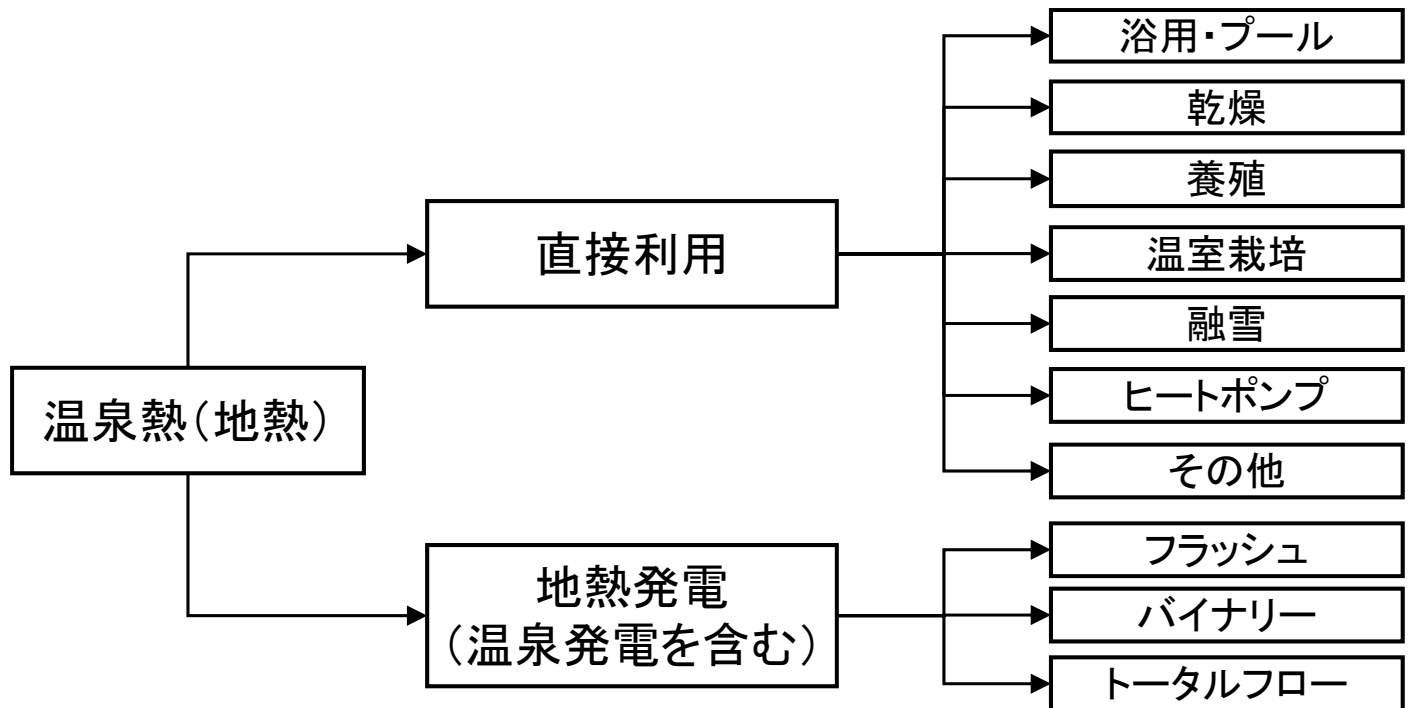
大分県エネルギー産業企業会

<http://oita-energy.jp/news/20190403154826.html>

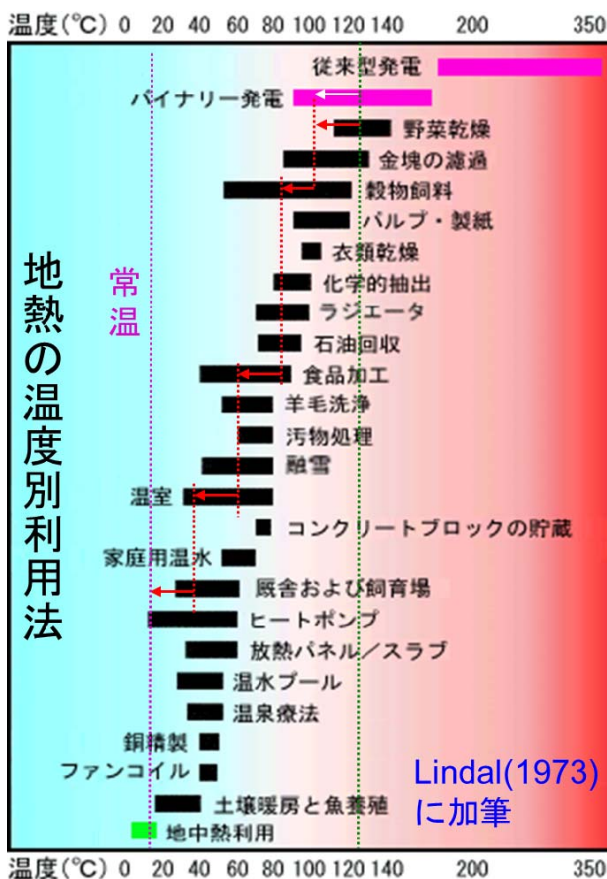
3

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。
- ・熱源の利用方法は、「直接利用」と、「発電」に大別できる。

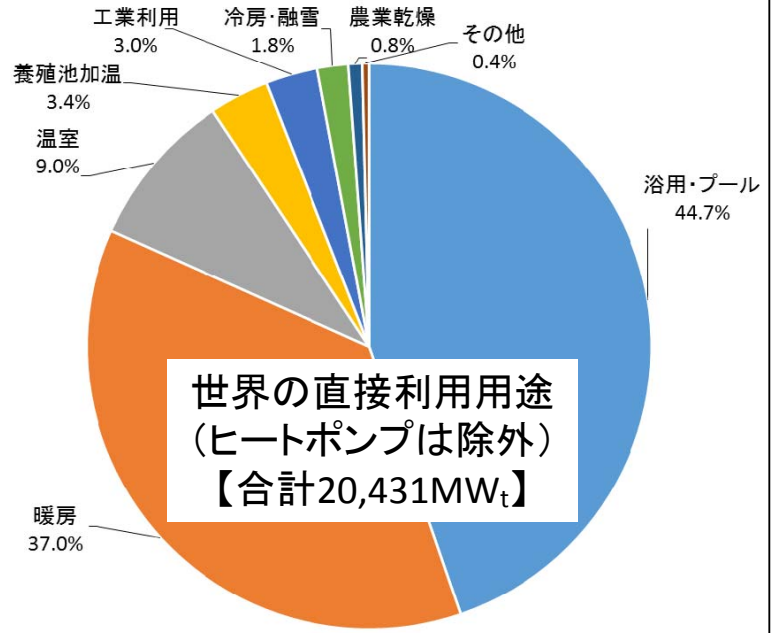
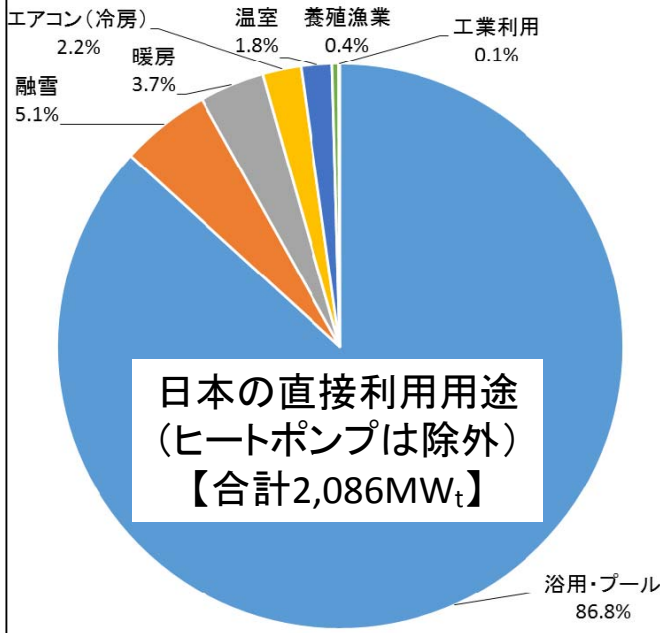


温泉熱(地熱)の直接利用



- ・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)

日本と世界の地熱直接利用用途



日本では浴用・プールによる利用が87%と大部分を占める。世界の利用用途を見ると、浴用・プールは45%であり、より多方面で地熱資源を活用している。**「W_t(watt thermal)」は熱出力の単位**である。(地熱発電所の設備容量(発電容量)は「W」で表記する)

IGC: GEOTHERMAL POWER DATABASE (2019年2月時点)を基に作成

Lund & Boyd (2015) : Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Proceedings WGC2015を基に作成

世界の温泉



- ・最も広く活用されているのは浴用としての温泉
- ・温泉は地球規模で地殻変動が盛んな場所と共に存在
- ・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
- ・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いる



各国の温泉の定義

- 日本では、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度以上又は別表に掲げる物質のうちいずれか一つを有するものと定義

温泉法 第2条 別表

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 ₂)	250mg以上
リチウムイオン(Li ⁺)	1mg以上
ストロンチウムイオン(Sr ²⁺)	10mg以上
バリウムイオン(Ba ²⁺)	5mg以上
フェロ又はフェリイオン(Fe ²⁺ , Fe ³⁺)	10mg以上
第一マンガンイオン(Mn ²⁺)	10mg以上
水素イオン(H ⁺)	1mg以上
臭素イオン(Br)	5mg以上
沃素イオン(I)	1mg以上
ふっ素イオン(F)	2mg以上
ヒドロヒ酸イオン(HAsO ₄ ²⁻)	1.3mg以上
メタ亜ひ酸(HAsO ₂)	1mg以上
総硫黄(S) [HS+S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	1mg以上
メタほう酸(HBO ₂)	5mg以上
メタけい酸(H ₂ SiO ₃)	50mg以上
重炭酸ソーダ(NaHCO ₃)	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



【日本】



【フランス】

温泉の地図記号

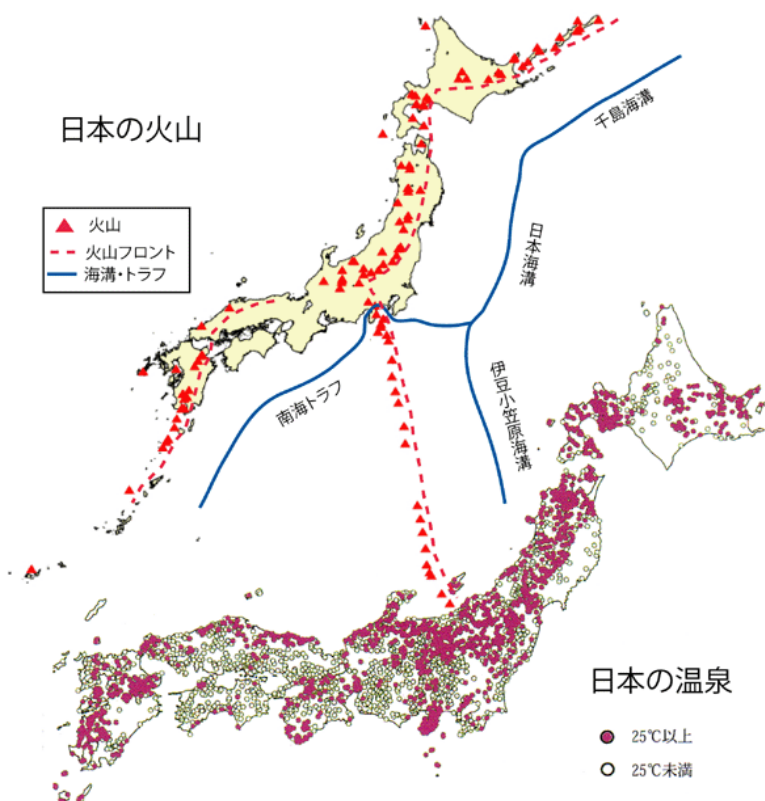
国土地理院ホームページ: 地理院ホーム > 子どものページ > 地図記号 > いろいろな地図記号 > 外国の地図記号

- 日本では25°C以上が温泉⇒湯けむりの絵柄
- 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°C以上が温泉⇒フランスでは噴水の絵柄

8

日本の温泉

日本の火山分布と温泉分布の比較



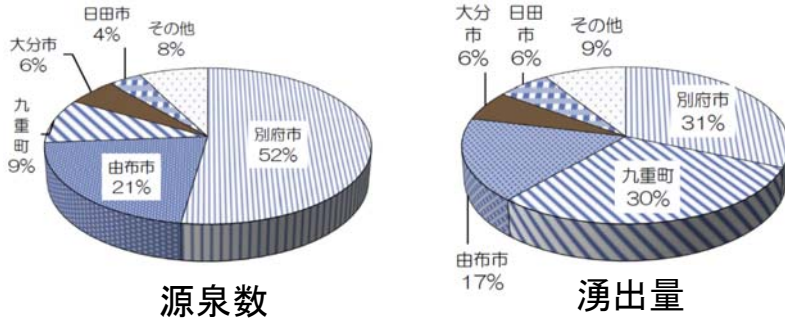
- 全国47都道府県すべてに温泉が湧出し、源泉数27,421、湧出量は毎分2,564,123Lに及ぶ。
- 多くは火山性の温泉であるが、有馬温泉や白浜温泉のような非火山性の温泉も存在(益田(2011):地球深部の窓-有馬温泉、温泉科学)。
- 主に都市部を中心に、深部掘削を行い、地熱を熱源として温められた地下水を温泉とする事例も多く存在する。

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

環境省(2018)「平成28年度温泉利用状況」を基に作成

大分県の温泉

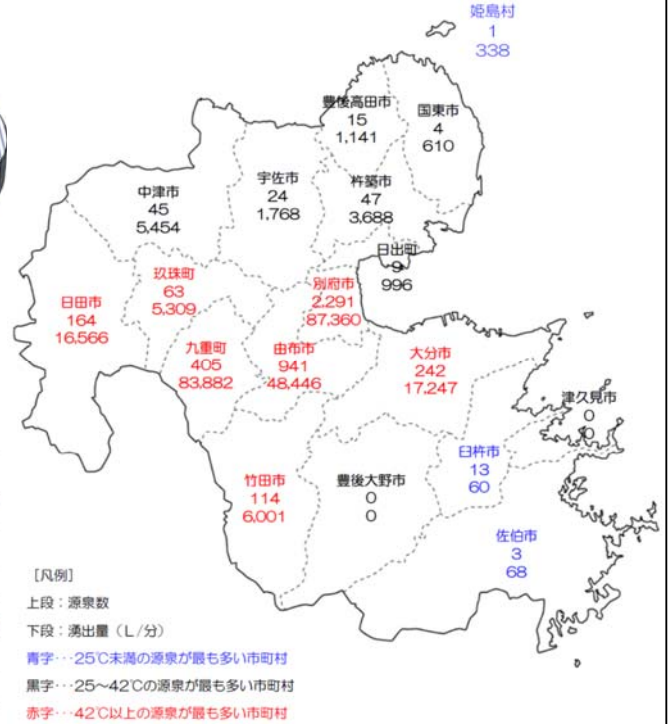
・別府市は源泉数2,291、湧出量87,360L/分で、源泉数・湧出量ともに県内トップ



源泉数

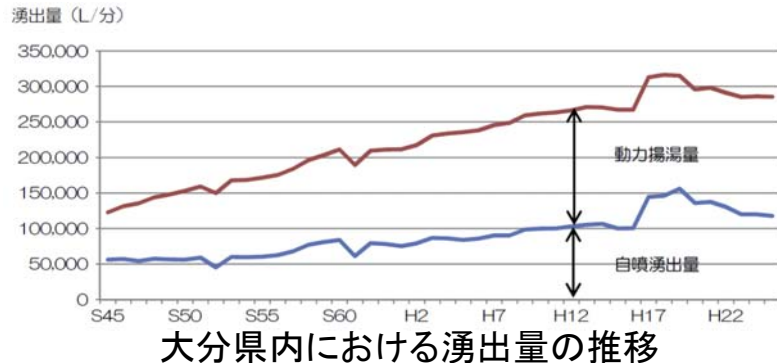
湧出量

市町村別の温泉湧出状況



〔凡例〕
 上段：源泉数
 下段：湧出量 (L/分)
 青字・・・25℃未満の源泉が最も多い市町村
 黒字・・・25～42℃の源泉が最も多い市町村
 赤字・・・42℃以上の源泉が最も多い市町村

大分県内における温泉湧出状況



・源泉総数は、平成18(2006)年度の5,093をピークに、以降は年々減少

大分県(2016): おおいた温泉基本計画～持続可能な温泉利用に向けて～

環境省による温泉熱活用促進

- ・温泉熱の有効活用は必ずしも進んでいない。
- ・環境省では、さらなる温泉熱の有効活用を促進するため、ガイドライン、パンフレット、事例集等を策定して2019年3月に公開。

https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/pamphlet_1903.pdf

- 食品を製造する**: 温泉からの放熱などを活用して、味噌の発酵や製塩に適した環境が作れます。
- 木材を乾燥する**: 温泉蒸気からの放熱などを活用して、木材の乾燥を行うことができます。
- 植物を育てる**: 温泉からの放熱などを活用して、青果や植物の栽培に適した室温環境を作れます。
- 電気を作る**: 温泉の熱水や蒸気を使って、発電が行えます。作った電気は、照明などの電気設備に使用できます。
- 暖房・シャワーに使う**: 温泉を熱交換器やヒートポンプなどの機械装置を使って、暖房やシャワーの温水を作れます。
- 地域のみんなでする**: 配管を通して、温泉や、温泉を活用して作った温水を、周辺施設に配ることで、温泉資源を有効に活用した魅力的な街づくりができます。
- 調理をする**: 温泉の蒸気などを活用して、野菜や卵の調理ができます。
- 雪を溶かす**: 道路の下に設置した配管に温泉や、温泉で作った温水などを流し、道路面をあたためることで雪を溶かします。
- 観光施設に活用**: 温泉熱を使って、ワニや魚、エビなど、観光施設における水槽の水温管理が行えます。

環境省による温泉熱利用の事例集

130C 洞爺湖温泉

概要

地熱構造試験井から高温地熱水（約135℃）を掘削し、バイナリー発電や観光素材（温泉卵）の製造に利用している。バイナリー発電で生成された電力は、揚湯ポンプの電力に利用することで人工自噴を行っている。

なおバイナリー発電後の温泉水は、他の源泉から汲み上げられた温泉と一緒に温泉貯湯槽へと集められ、その後洞爺湖温泉街（ホテル、旅館、土産店、足湯、手湯）へ配湯されている。

所在地	北海道虻田郡洞爺湖町
泉質	塩化物泉
温泉温度	135℃
利用温度	98℃
利用温泉	新規温泉(一部)
総事業費	5億5,000万円(一部補助金あり)



110C 小国町森林組合

概要

温泉を活用した木材乾燥を行っている。温泉噴気を乾燥用施設の配管に送り、室温を50～60℃に上げることで木材を乾燥させる。地域の製材所へ貸し出し良質な木材を提供することを目的とし、小国町で乾燥される木材の2～3割が当該施設を利用している。

なお配管には、フィンチューブを採用することで蒸気熱放熱の効率を高めている。

所在地	熊本県阿蘇郡小国町
泉質	塩化物泉
温泉温度	110℃
利用温度	-
利用温泉	既存温泉
供用開始	H19
総事業費	4,000万円(一部補助金あり)



150C 土湯温泉

概要

温泉の蒸気と熱水を利用しバイナリー発電装置により電力を生成し、東北電力に売電を行っている。発電所から約3kmに位置する黒沢池より湧水を引込み、バイナリー発電装置の冷却水利用、そして温水化された冷却水を16号、17号、18号造成塔及びエビの養殖水槽へ供給するとともに、展望デッキへの融雪にも利用している。

なお、発電使用後の温泉は集中管理方式により温泉組合員へ配湯している。

所在地	福島県福島市
泉質	単純温泉
温泉温度	130℃
利用温度	120℃
利用温泉	既存温泉
総事業費	6億3,000万円(一部補助金あり)



150C 熱川バナナワニ園

概要

温泉タンクに貯留、熱交換器を介しボイラーで昇温した温水(第1源泉)や、蒸気(第2源泉)を植物園の温室にある配管に通し、これらの配管からの放熱により暖房を行っている。また、第3源泉を温泉タンクに貯留、調整池にて水と混合しワニ池保温に利用している。第4源泉は、温泉タンクに貯留、ボイラーを介し温室の暖房を行い、温度の下がった温泉や源泉を利用してワニ池保温を行っている。

所在地	静岡県浜松市東区伊豆町
泉質	硫酸泉、塩化物泉
温泉温度	98℃
利用温度	98℃
利用温泉	既存温泉
供用開始	S339
総事業費	500万円(補助金なし)

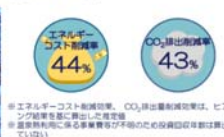


150C 定山溪鶴雅リゾートスパ 森の語

概要

温泉採湯と熱交換した上水を地中熱ヒートポンプにより昇温し、厨房及び客室への温水供給に利用している。また、昇温した上水は、ドッグランや駐車場の融雪にも利用している。

所在地	北海道札幌市
泉質	塩化物泉
温泉温度	80℃
利用温度	35℃
利用温泉	既存温泉
供用開始	H24.1
総事業費	-



150C 地熱観光ラボ縁間

概要

温泉熱により吸収式冷水水発生機を駆動し、いちご栽培用のビニールハウスにおけるヒートパイプの熱源と、同一敷地内の観光施設、選果施設の冷暖房に利用している。また、敷地内において、蒸気を利用した地獄蒸しを提供している。日帰り温泉施設に併設し、飲食を行うエリアでは、足湯の提供も行っている。さらにバイナリー発電システムによる売電も行っている。

所在地	大分県別府市
泉質	塩化物泉
温泉温度	99.7℃
利用温度	-℃
利用温泉	新規温泉
総事業費	1億8,000万円(一部補助金あり)



https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/case_examples_1903.pdf

国内の熱利用事例

温室栽培事例(摩周湖マンゴー栽培)



14

温室栽培(奥飛騨ファーム「温泉バナナ他」)

温泉水の活用

※標高800m・日本初の温泉水を活用したバナナ他の温室栽培

※温泉水の活用内容

単純泉,平均65°Cの温泉水をハウス内の水路に流して、温度・湿度の調整(湯量 25L/分程度)



事業内容

※バナナの販売ではなく、バナナ苗・種などの販売が主体

- ◆バナナの販売では事業性確保は困難
- ◆バナナ苗を観賞用として販売する方が事業性あり。ヤシの苗・種、カカオの木・苗等も販売しており、グリーンナッツオイルの販売も予定。

※販売方法:全てNET販売(楽天など利用せず、HPにて販売)

- ◆事業性は確保され、事業拡大の方向



温泉水用の水路(65°C,25L/分程度)

15

温室栽培(シイタケ栽培)

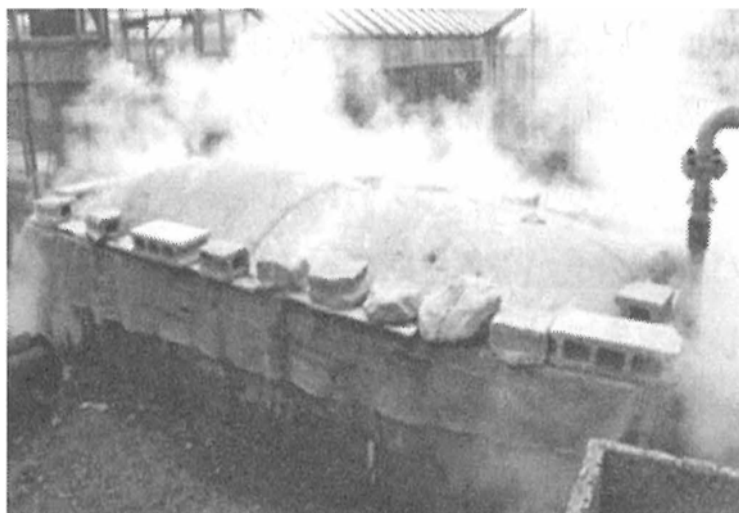
- ・別府市堀田温泉地区で(株)アドニス
が温室ハウスでシイタケを栽培
- ・経済産業省の地熱開発理解促進
事業の補助金を得て建設



16

蒸気による土壌消毒(大分県花きセンター)

- ・蒸気は暖房に利用するだけではなく、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。



土壌・資材の消毒槽

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

17

陸上養殖

(福島県元気アップつちゆのオニテナガエビの養殖)

- ・(株)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
- ・バイナリー発電後の熱水(温泉水と冷却水)を2次利用してエビを養殖。
- ・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。

つちゆ 温泉 エビ釣り堀

2018年
10/6(土)~11/4(日)
!毎週 土・日・祝日 開催!

受付時間 10:00 ~ 14:00
会場 公共浴場 中之湯 湯かい
(会場住所 福島県土湯温泉町字下ノ町21)
料金 1,000円(小学生以上) ※未就学児の方は保護者同伴でご参加ください。
釣りルール 45分で3匹まで

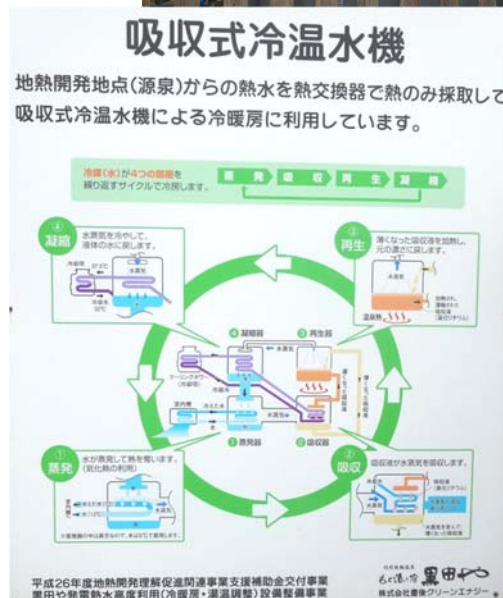
問い合わせ 土湯温泉観光協会
電話番号 024-595-2217
Eメール info@toy.jp



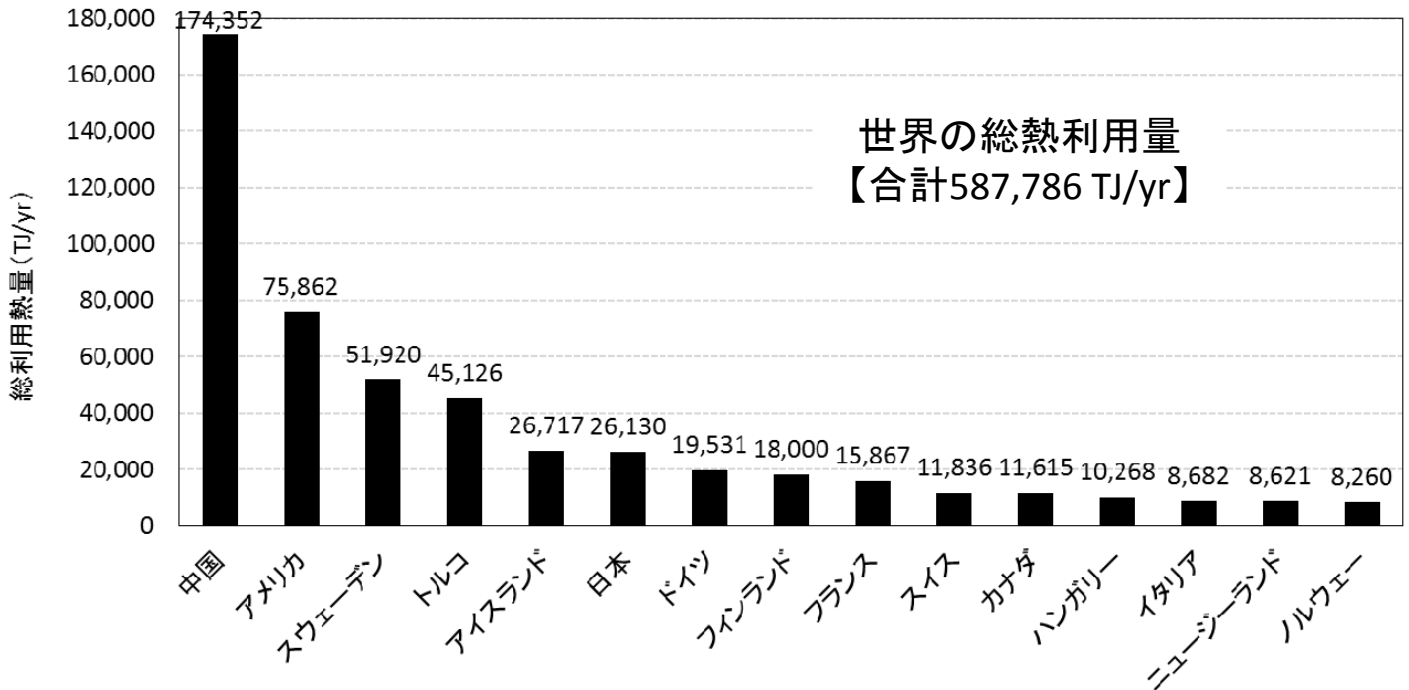

<https://twitter.com/genkiuptcy/status/1053814041460666368> 18

その他の事例(冷暖房)

- ・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。
- ・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。
- ・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。



世界の熱利用量

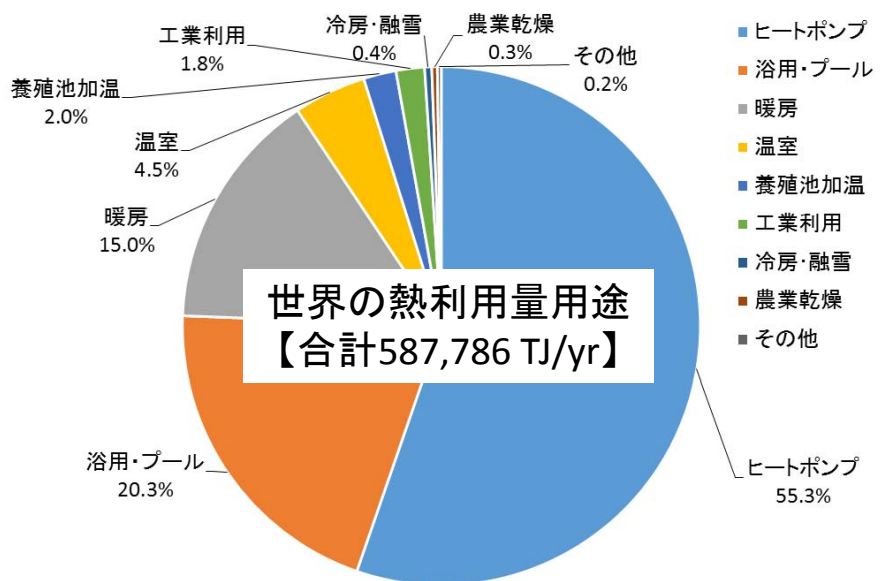


【Lund and Boyd (2015) の世界の熱利用データを基に作成】

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

世界の熱利用量の用途割合

- ・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)。
- ・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。
- ・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。



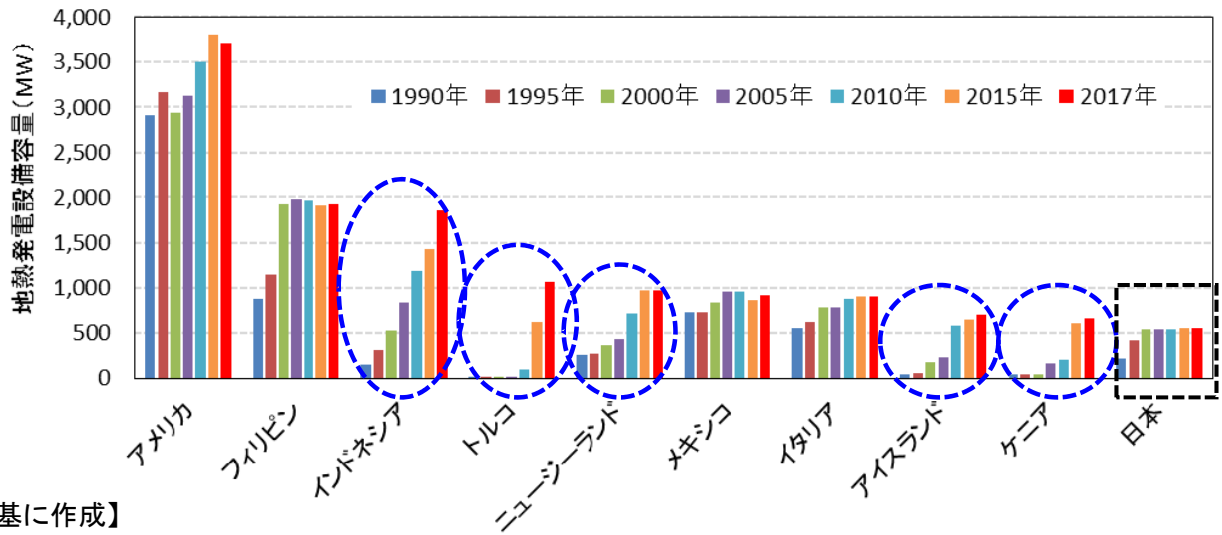
【安川ほか (2015) : WGC2015 報告】

【Lund and Boyd (2015) の世界の熱利用データを基に作成】

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

世界の地熱発電

- ・2017年の世界全体の地熱発電設備容量は14.3 GWに達した。
- ・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%程度であり、世界第10位の規模。
- ・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%。

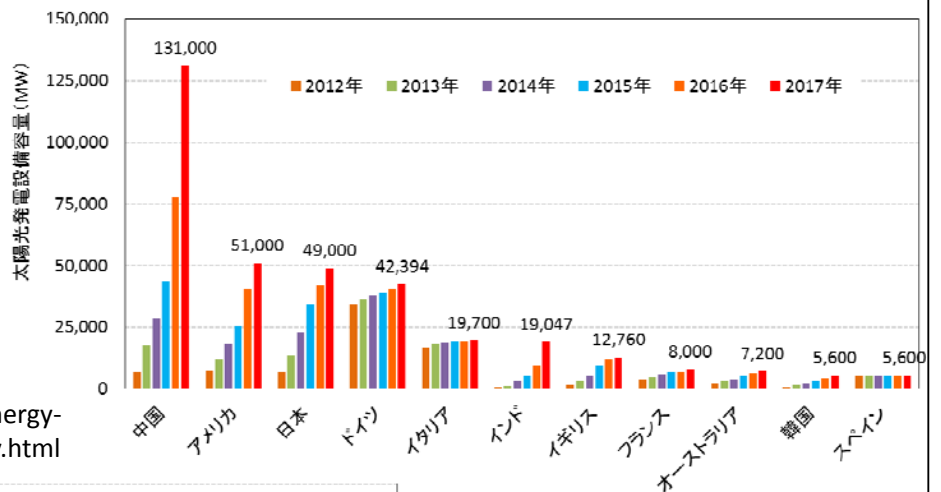


【BP(2018)を基に作成】

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

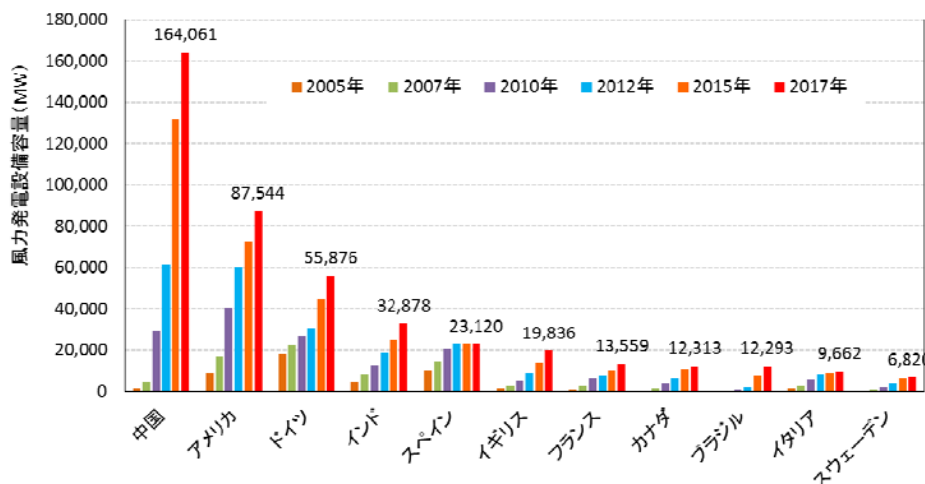
世界の太陽光発電と風力発電(参考)

- ・太陽光発電は、中国が世界第1位。すべての国で増加傾向。
- ・日本の太陽光発電は世界第3位。



【BP(2018)を基に作成】

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>



- ・風力発電は、中国が世界第1位。すべての国で増加傾向。
- ・日本の風力発電は2017年時点で世界第19位

【世界の風力発電導入量と市場環境
~2017年の概況~】

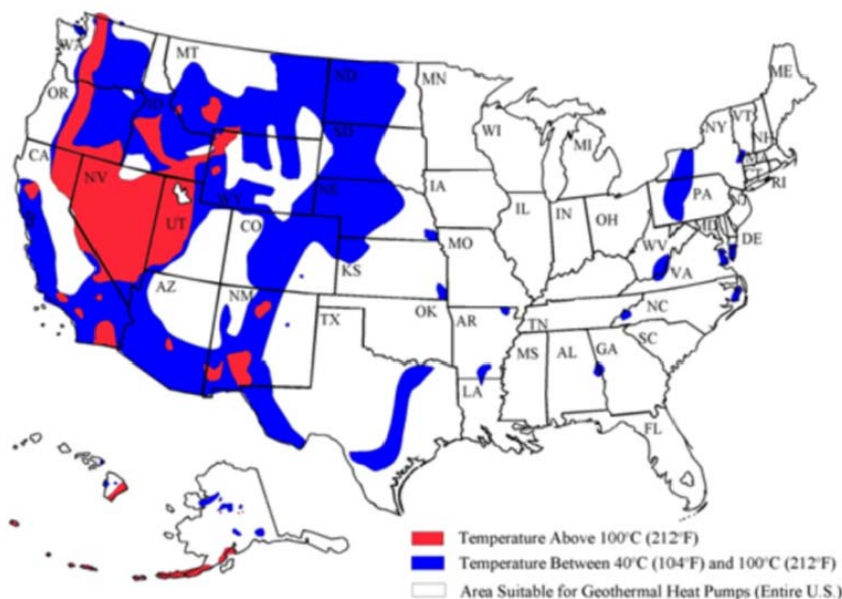
<https://sustainablejapan.jp/2018/02/20/wind-power-market-2017/30714>

海外の地熱資源と熱利用事例

24

アメリカ合衆国の地熱資源

- ・地熱資源は、火山活動や造山活動が進む西部地域に分布。
- ・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。カスケード山脈の火山活動は、米国の多くの地熱活動の源になっている。

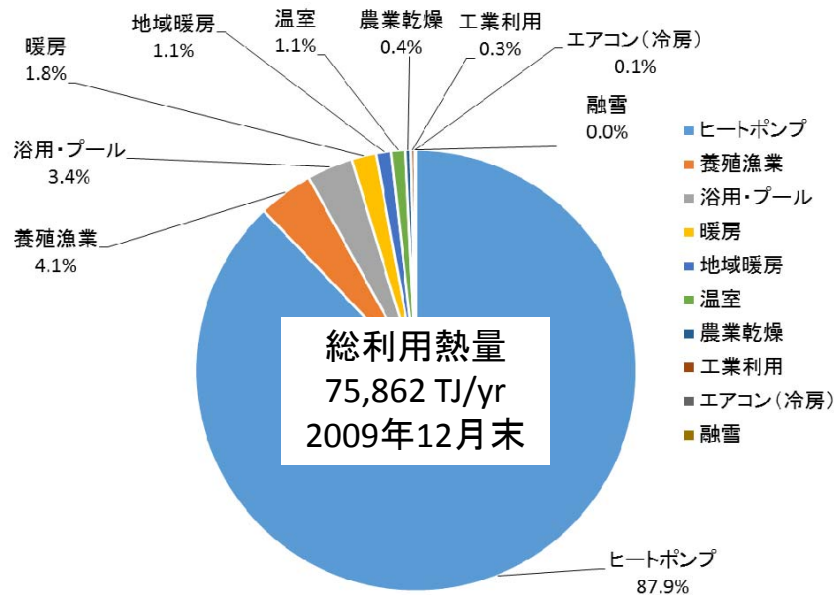


アメリカ合衆国の地熱資源分布

25

アメリカ合衆国の熱利用

- ・中国に次いで世界第2位の地熱直接利用国
- ・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。
- ・設備容量は17,416MW_t、年間エネルギー使用量は75,862TJまたは21,074 GWh。
- ・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、養殖漁業、浴用・プール、暖房が続いている。
- ・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。



熱利用量の用途割合

【Boyd et al. (2015)を基に作成】

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

26

アメリカ合衆国の熱利用(養殖漁業)

- ・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(Neely, 2007)。

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



アイダホでの地熱を使った食用ワニの養殖(写真提供: Boyd, T.)



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

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

27

アメリカ合衆国の熱利用（農業乾燥）

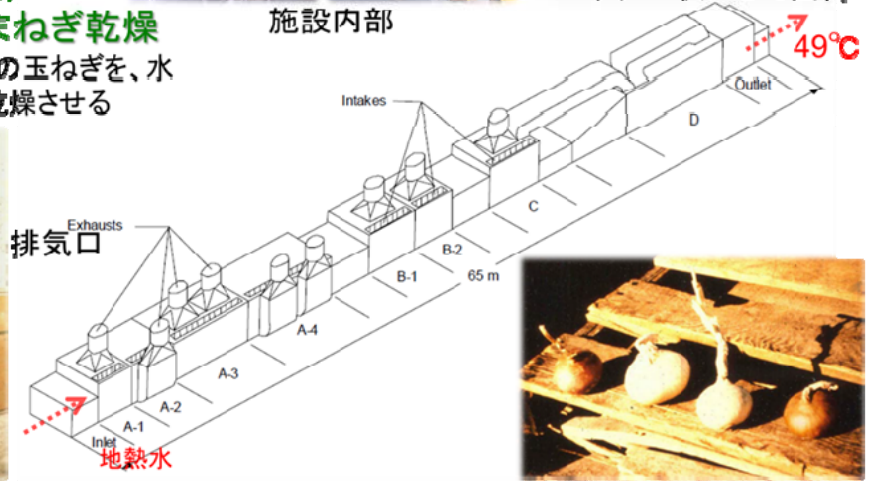
- ・地熱を農業乾燥に利用している例：ネバダ州において、にんにく・たまねぎの乾燥に活用している例である。99℃の熱水により毎時4.5～6.8トンのたまねぎを、水分85%→5%に乾燥させている。

**米国ネバダ州
にんにく・たまねぎ乾燥**
毎時4.5～6.8トンの玉ねぎを、水分85%→5%に乾燥させる



施設内部

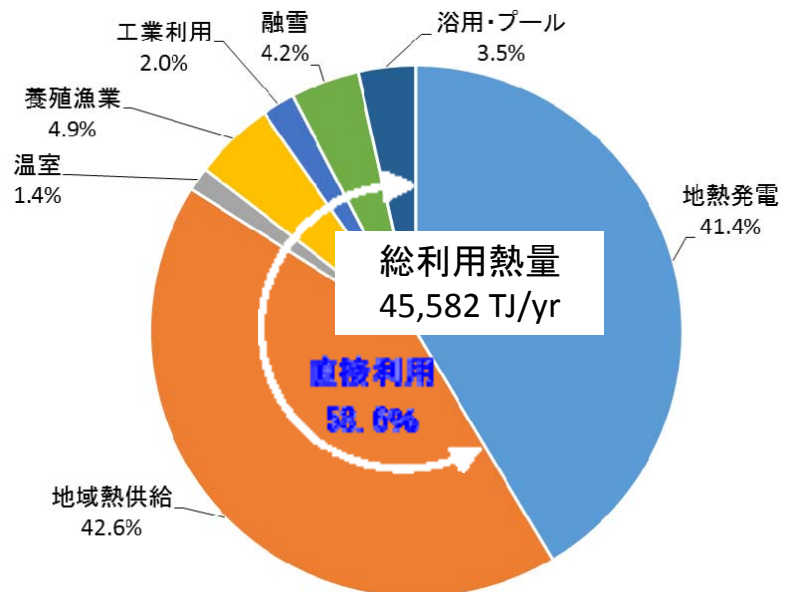
パウダー状にして出荷



【安川香澄(2018):世界温泉地サミット資料】

アイスランドの熱利用

- ・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割が地熱発電。
- ・2017年時点で世界第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(世界第5位)。
- ・地熱エネルギーのうち、42.6%が暖房(地域熱供給)、41.4%が発電であり、熱利用量は地熱発電の1.4倍と多い。暖房用熱源の90%が地熱エネルギーである。
- ・暖房、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。
- ・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。



熱利用量の用途割合(地熱発電を含む)
2014年12月末時点

【2014年12月末時点: Árni Ragnarsson(2015)を基に作成】
Árni Ragnarsson(2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

アイスランドのブルーラグーン



- ・1976年に運転開始したスヴァルツエンギ地熱発電所から排出された温水中に含まれるシリカが溶岩の穴をふさぎ、池を形成するようになったのが、ブルーラグーンの原型
- ・面積は約5,000m²で、露天温泉としては世界最大



<https://guidetoiceland.is/ja/best-of-iceland/blue-lagoon-the-ultimate-guide>

30

アイスランドの熱利用（魚乾燥）

- ・地熱水を用いてタラの乾燥を行っている事例。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。



アイスランド タラの乾燥

1次乾燥: 18～25℃で1～2日間。水分は82→55%に。
2次乾燥: 22～26℃で3日間。水分は55→15%に。
年間1万2千トン。



ニュージーランドの地熱資源

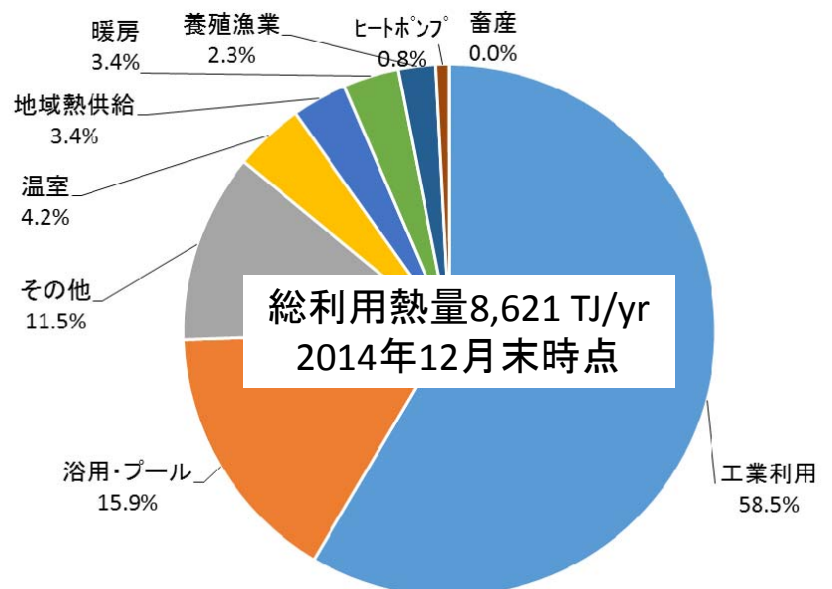
- ・ニュージーランドの主要な地熱資源は、北島の北東部のプレンティ湾からタウポ湖に延びるタウポ火山帯に沿う地熱地帯に集中。



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

ニュージーランドの熱利用

- ・地熱資源の直接利用用途で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。



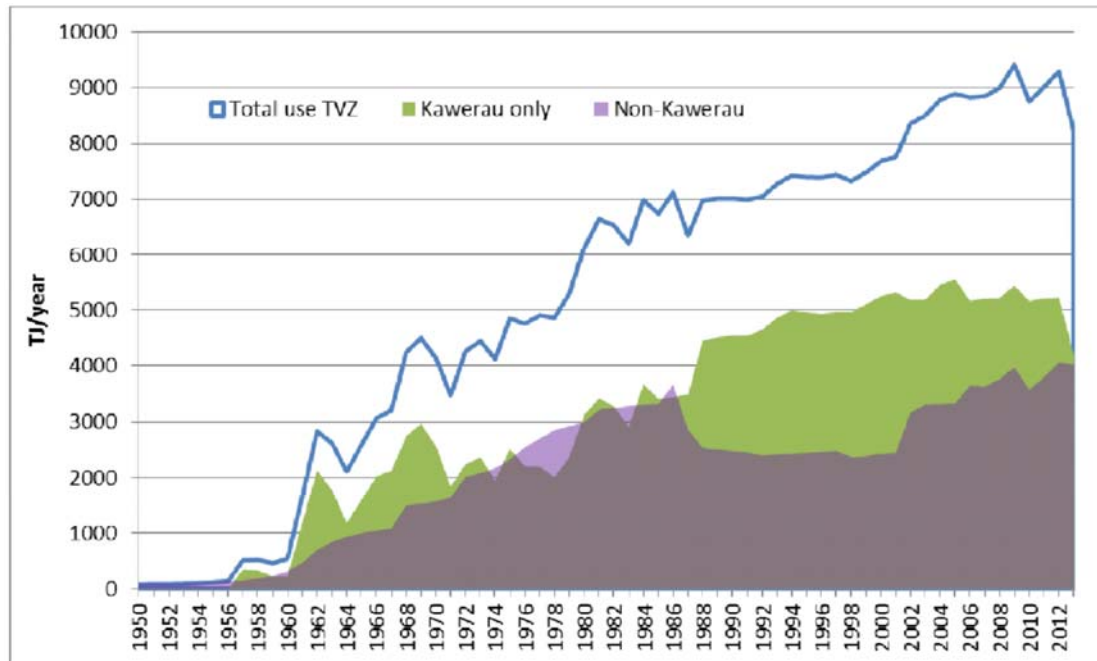
【Carey et al.を基に作成】

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

ニュージーランドの熱利用の変遷

1950年代以降の熱エネルギー使用量(TJ/year)の変化

ニュージーランド全体(青)、カウエラウ(緑)、カウエラウ以外のタウポ火山帯(紫)



From Geothermics Special Edition 2015: Climo, Milicich, White

The Big Picture of Geothermal in New Zealand

https://nzgeothermal.org.nz/app/uploads/2016/11/Bloomer_NZGAPresentation2017Seminar-AMB.pdf

34

ニュージーランドの熱利用(製紙工場への熱供給)



The Big Picture of Geothermal in New Zealand

https://nzgeothermal.org.nz/app/uploads/2016/11/Bloomer_NZGAPresentation2017Seminar-AMB.pdf

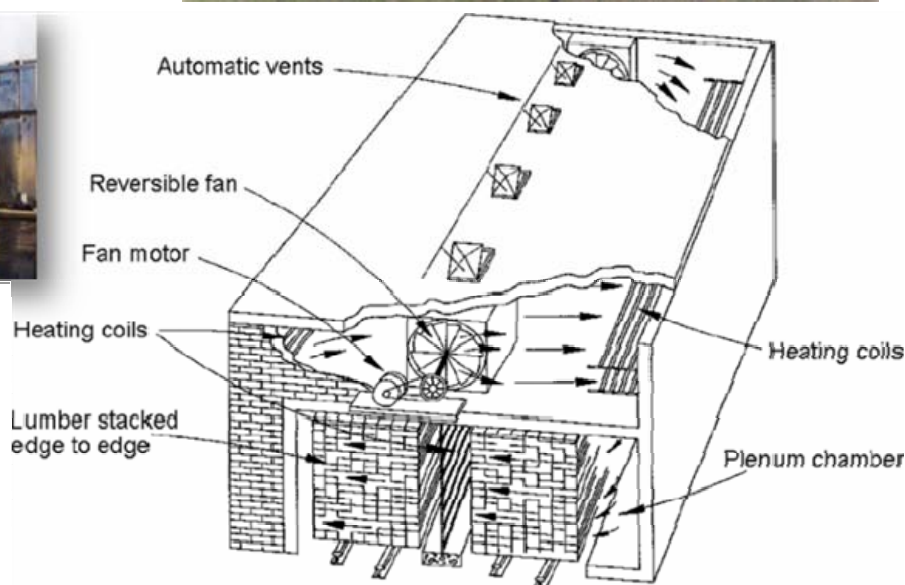
35

ニュージーランドの熱利用(木材乾燥)

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



- 専用のかまどで、60℃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℃。使用後は70～80℃に。



【安川香澄(2018):世界温泉地サミット資料】

36

ニュージーランドの熱利用(エビ養殖ほか)

- 養殖業に加えて、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。
- 職員80名のうち、75名は観光業、5名のみ養殖に従事。
- 年間6万人の観光客が訪れ、年間収益は約50万NZドル(約3800万円)。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。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。

【安川香澄氏による2017年11月の現地聞き取り調査結果】

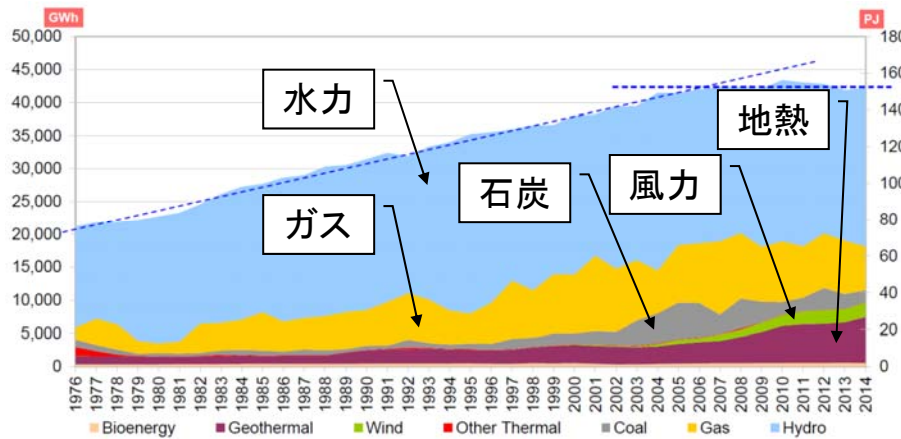
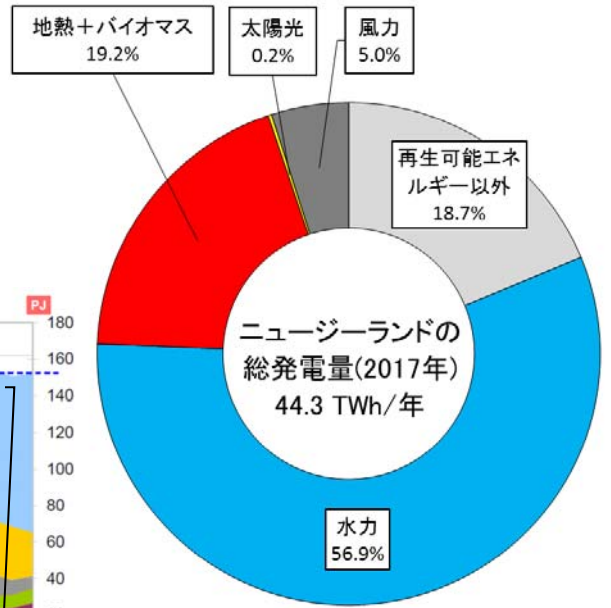


Huka Prawn Parkのウェブサイト
<https://hukaprawnpark.co.nz/>

37

ニュージーランドの電力供給の現状(参考)

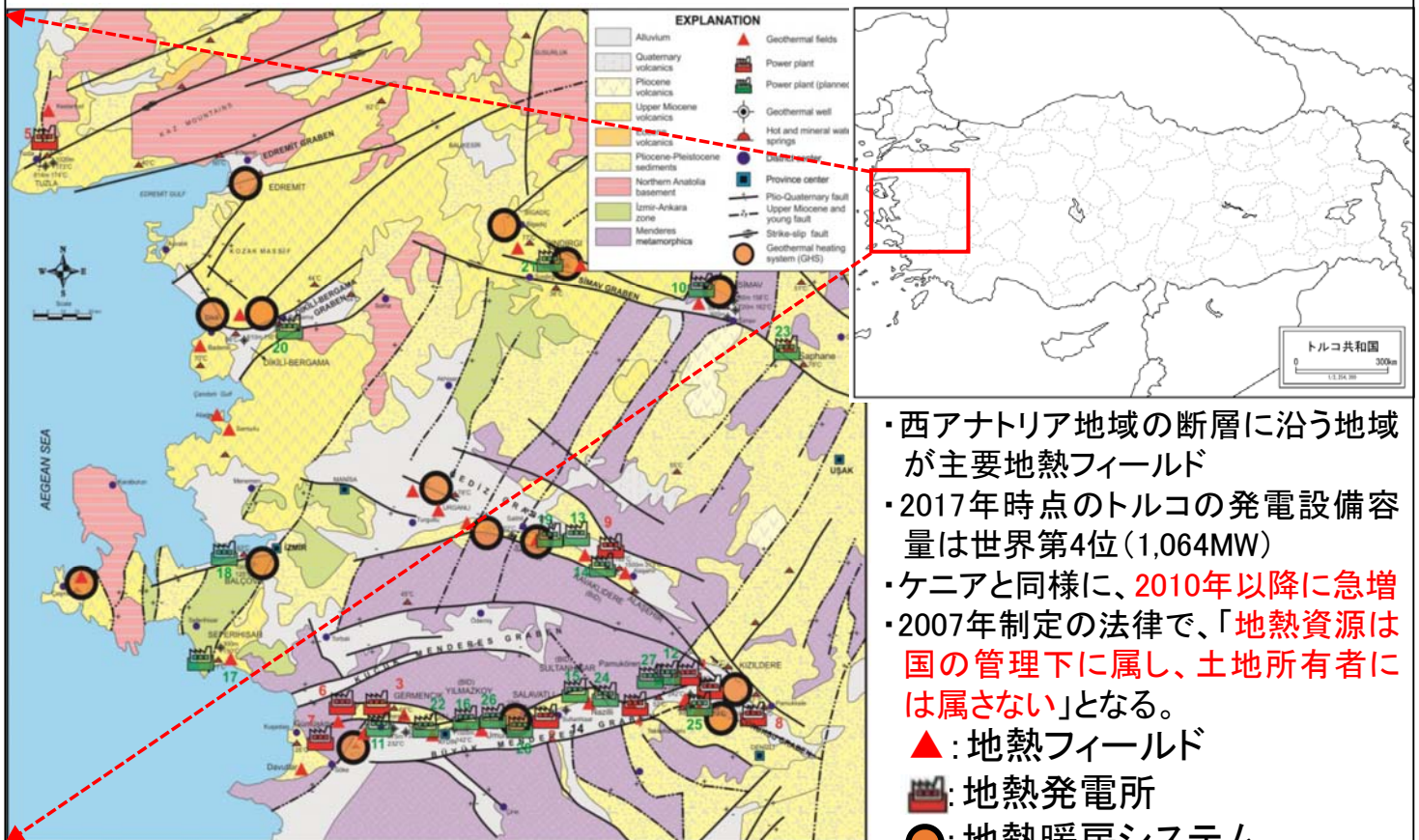
- ・2017年時点のニュージーランドの総発電量と発電方式別の発電割合。
- ・水力を含む再生可能エネルギーによる発電量は全体の81%と多い。
- ・「2025年までに電力の90%再生可能エネルギー」を実現できる可能性も高い。
- ・地熱発電の増加が寄与している。



【BP(2018)を基に作成】
BP(2018) : BP Statistical Review of World Energy, 67th edition

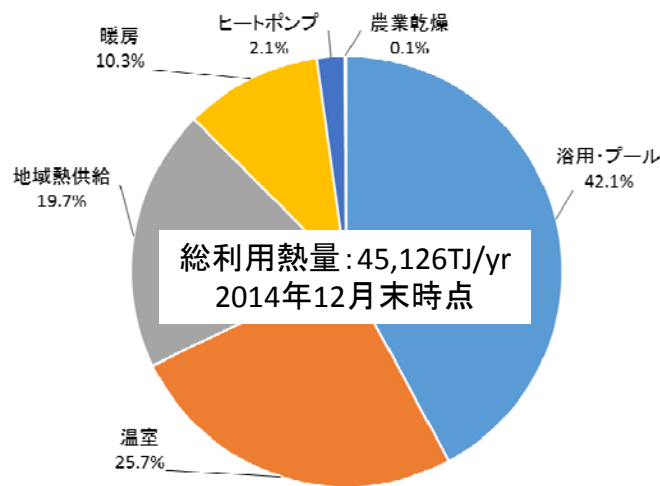
The Big Picture of Geothermal in New Zealand
https://nzgeothermal.org.nz/app/uploads/2016/11/Bloomer_NZGAPresentation2017Seminar-AMB.pdf

トルコの地熱地域と熱利用



- ・西アナトリア地域の断層に沿う地域が主要地熱フィールド
- ・2017年時点のトルコの発電設備容量は世界第4位(1,064MW)
- ・ケニアと同様に、2010年以降に急増
- ・2007年制定の法律で、「地熱資源は国の管理下に属し、土地所有者には属さない」となる。
- ▲: 地熱フィールド
- : 地熱発電所
- : 地熱暖房システム

トルコの熱利用



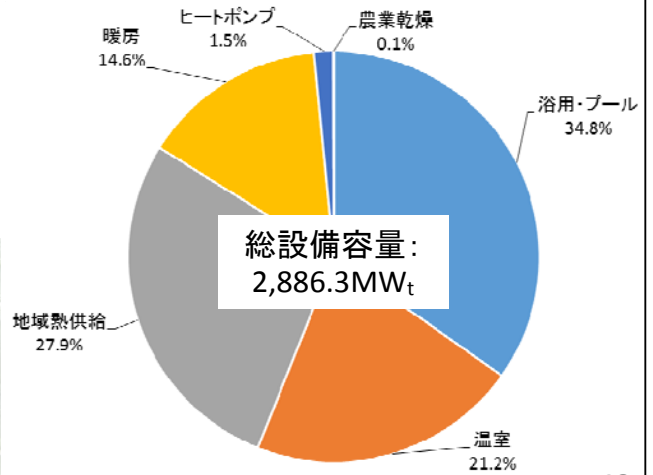
- ・年間利用熱量は45,126 TJ/yrと多い
- ・利用熱量は、世界第4位
- ・地熱の直接利用の設備容量は、2014年12月末時点で、地域暖房 (805MW_t)、約300万m²の温室暖房 (612MW_t)、熱設備、ホテルなどの暖房 (420MW_t)、温泉利用 (1,005MW_t) およびヒートポンプ用途 (42.8MW_t) を含む2,886.3MW_tに達している。

Mertoglu et al. (2015) : Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings WGC2015

地熱直接利用による広大な温室栽培

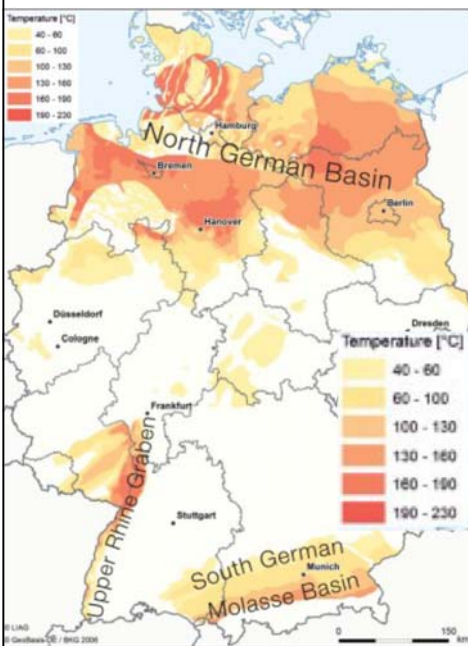


安川香澄 (2018) : 世界温泉地サミット資料



ドイツの地熱地域

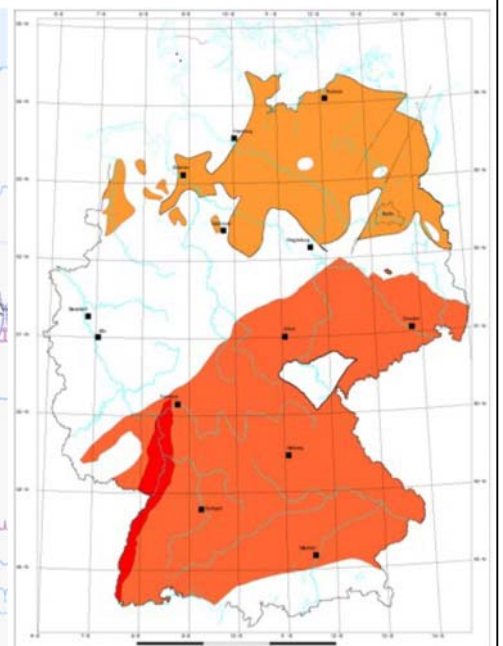
- ・地熱発電所の大部分は、北ドイツ盆地、南ドイツのMolasse盆地、アッパーライングラベン沿いにある。



熱水帯水層



断層位置



結晶質岩

Weber et al. (2015) : Geothermal Energy Use in Germany, Proceedings WGC2015

ドイツの熱利用

【利用熱量】

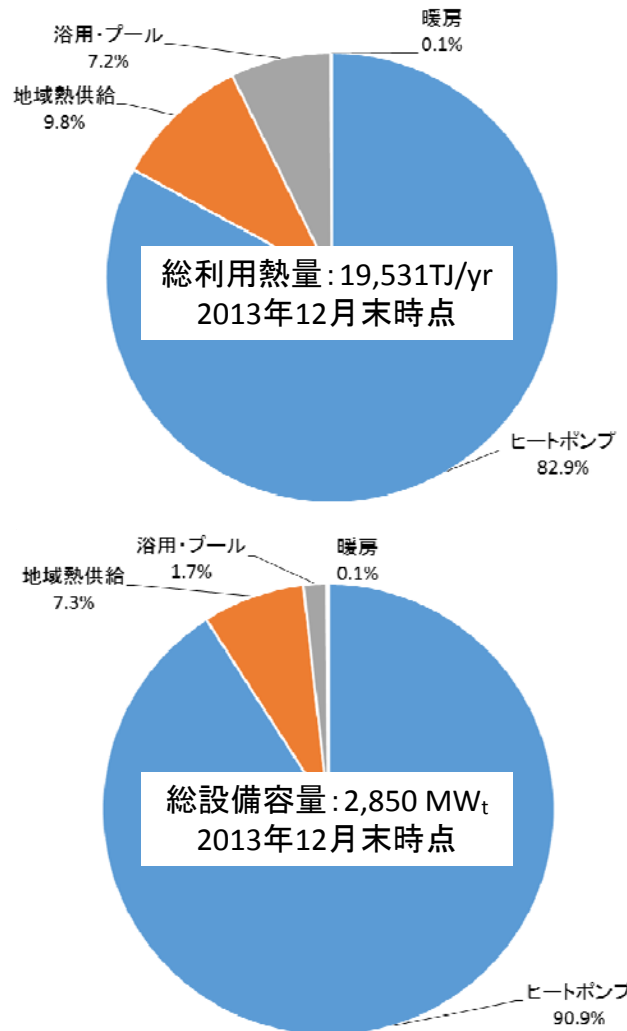
- ・熱利用の83%はヒートポンプ。次いで、地域熱供給、浴用・プール。

【熱利用設備容量】

- ・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。これらのプラントの設備容量は、およそ260MW_t。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。
- ・そのほかに、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)があり、設備容量は約2,600MW_tに達する。
- ・2013年末時点のドイツにおける地熱エネルギーの直接熱利用設備容量は、約2,850MW_t。

【Weber et al. (2015)を基に作成】

Weber et al. (2015) : Geothermal Energy Use in Germany, Proceedings WGC2015



42

個別インタビュー

- ・地熱発電に造詣の深い4名の方へのインタビューを実施。
- ・(株)ターボブレードの林正基様
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。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。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。
- ・(株)元気アップつちゆの加藤勝一様
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。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。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。
- ・JOGMECの西川信康様
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。温泉・地熱エネルギーの開発の最前線で指揮。
- ・ニュージーランドのグレッグ・ビグナル様
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。海外の先進的な技術者。

43