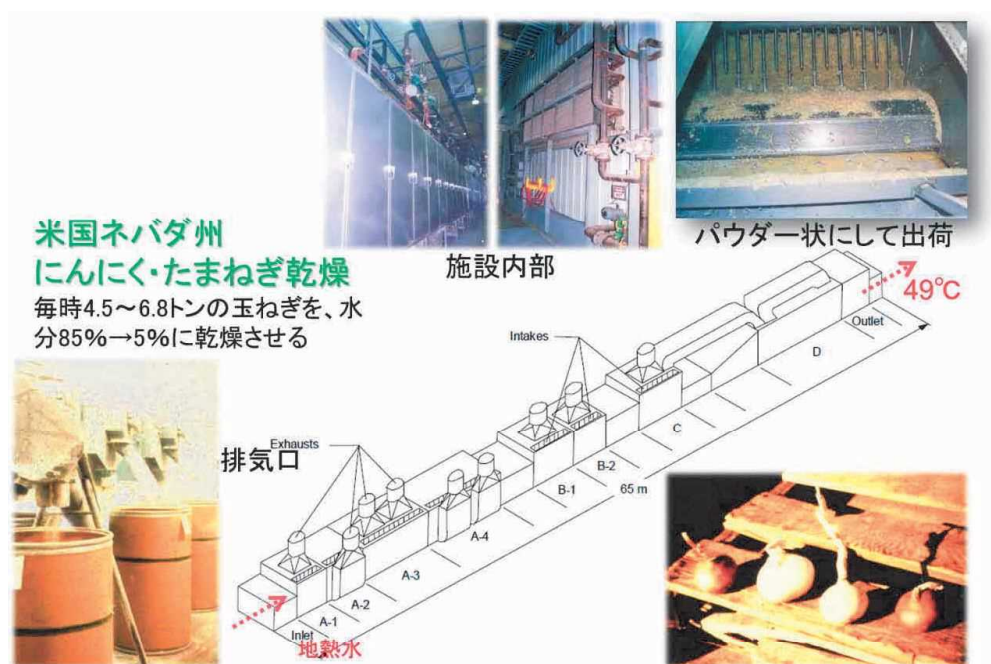


(2) 農業乾燥の事例

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

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/

地熱発電所の一例として、ガイザース地域の発電所を図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80km²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/



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）

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/

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、北スマトラ島サルーラ（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年未時点：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

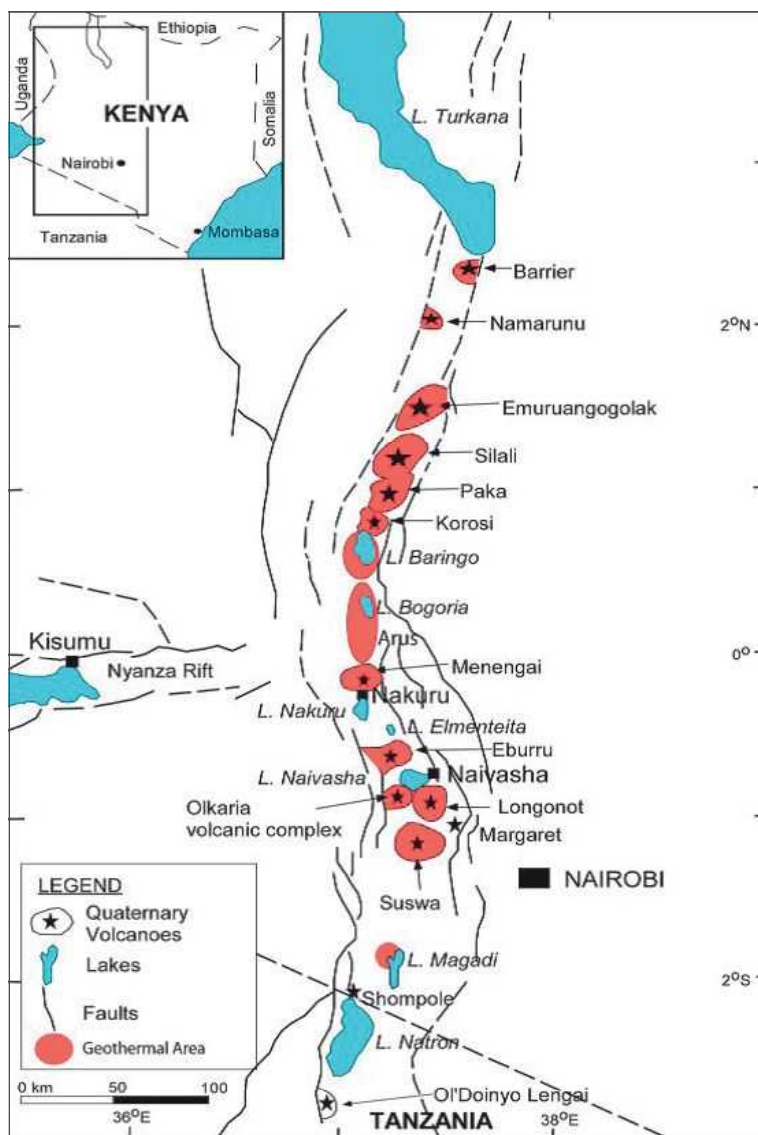
ケニアは、表2-3に示すようにアメリカ、インドネシア、日本に次ぐ世界第4位の地熱資源国である。ケニアの地熱資源開発は1950年代に着手され、図4-2に示すように、2005年以降の地熱発電設備容量の増加は著しい。

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であると推定され、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 (和文)

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
ティウィ (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

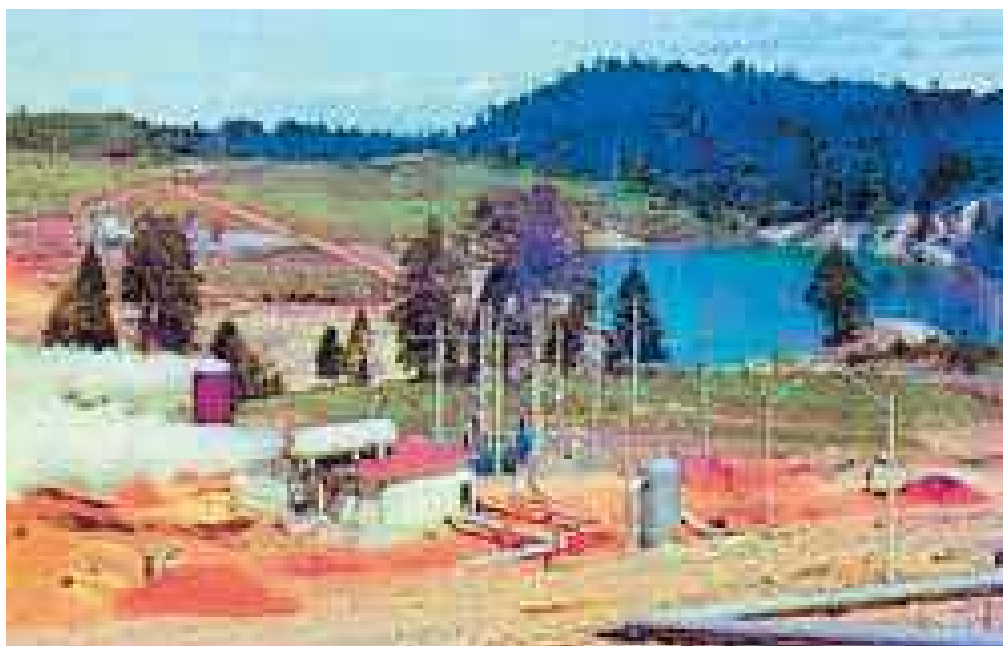


図 4-13 ロス・アスフレス地域の地熱発電所

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/

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

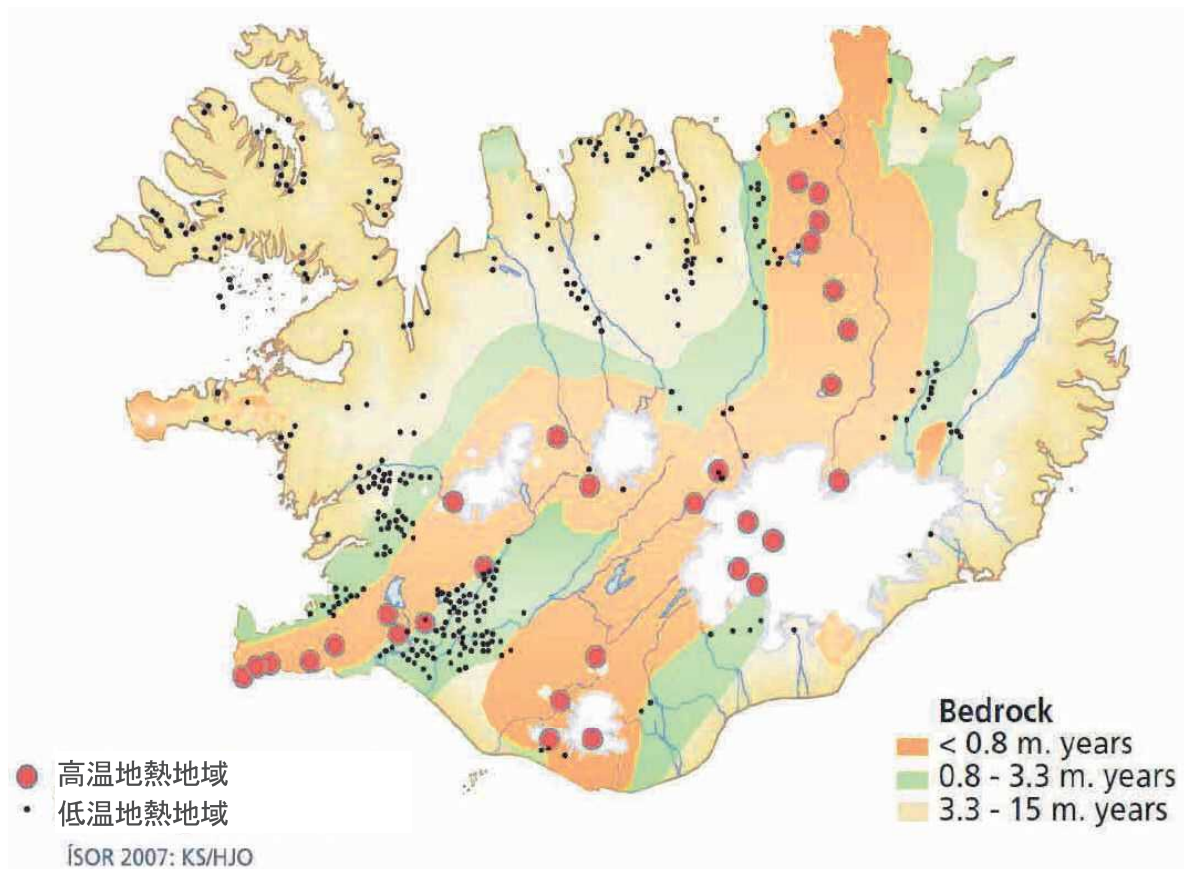


図4-14 アイスランドの火山帯と地熱資源分布

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。

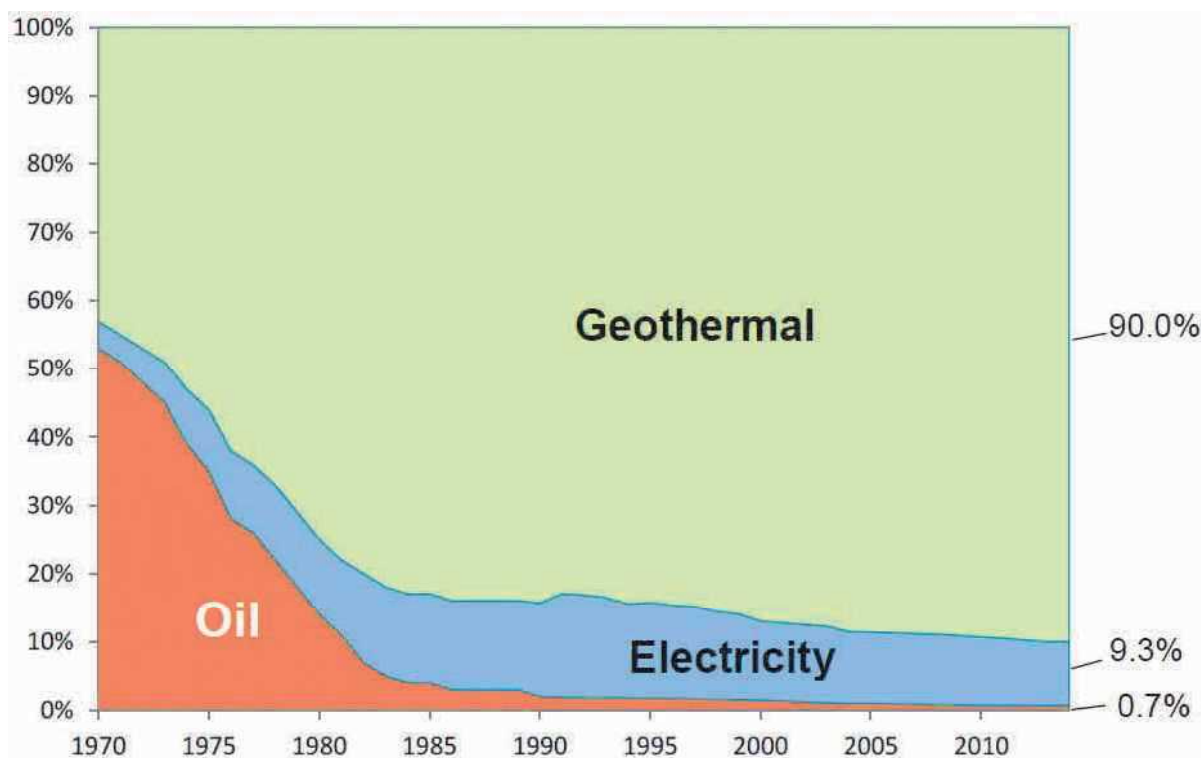


図 4-15 アイスランドの暖房用熱源

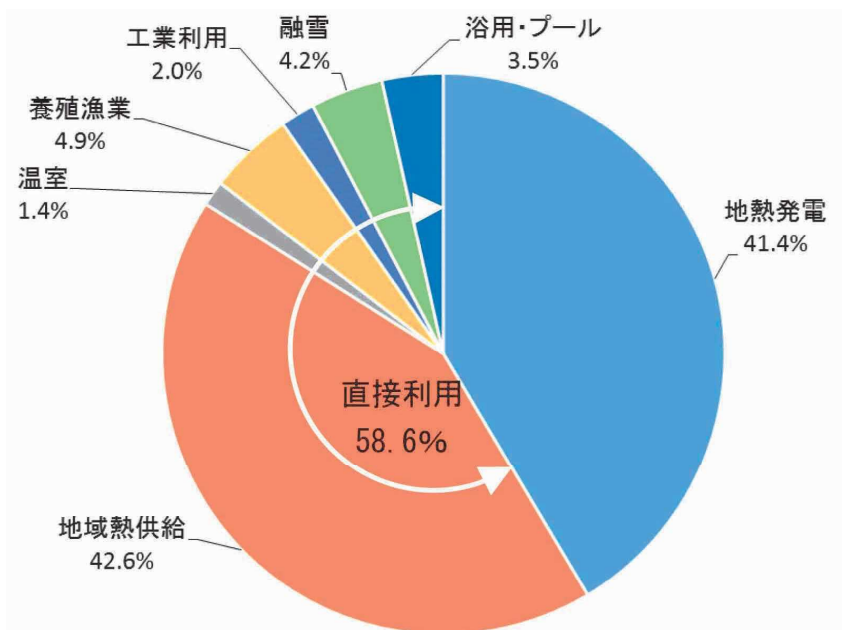
出典: Árni Ragnarsson (2015): Geothermal Development in Iceland 2010-2014, Proceedings World Geothermal Congress 2015

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。

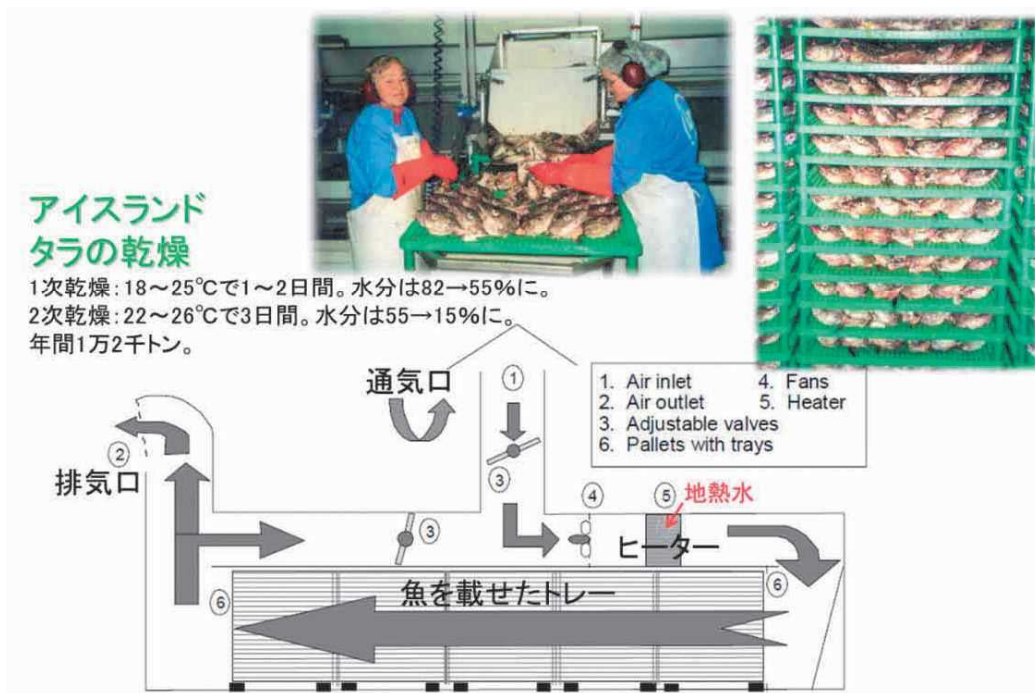


図 4-17 アイスランドにおける熱利用の例（魚の乾燥）

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

安川香澄 (2018) :世界温泉地サミット資料



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 ニューゼーランド

4.8.1 地熱資源

ニューゼ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 ニューゼ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。

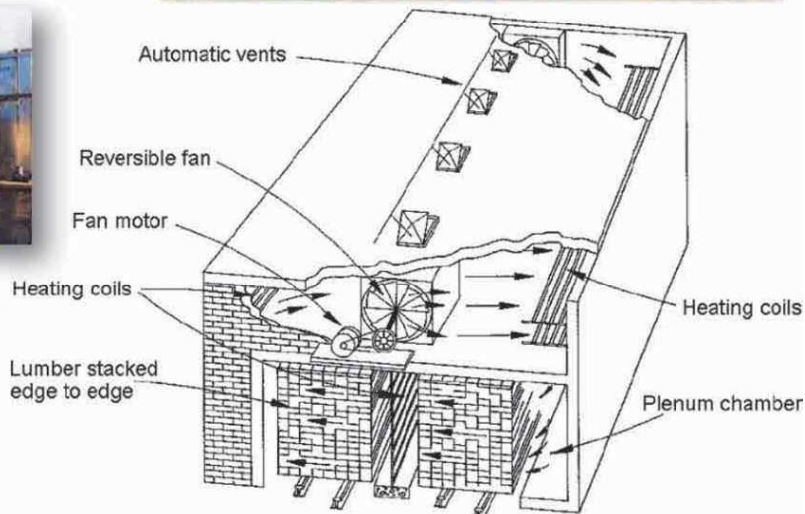


図4-20 ニュージーランドにおける熱利用の例（木材乾燥）

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/

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。

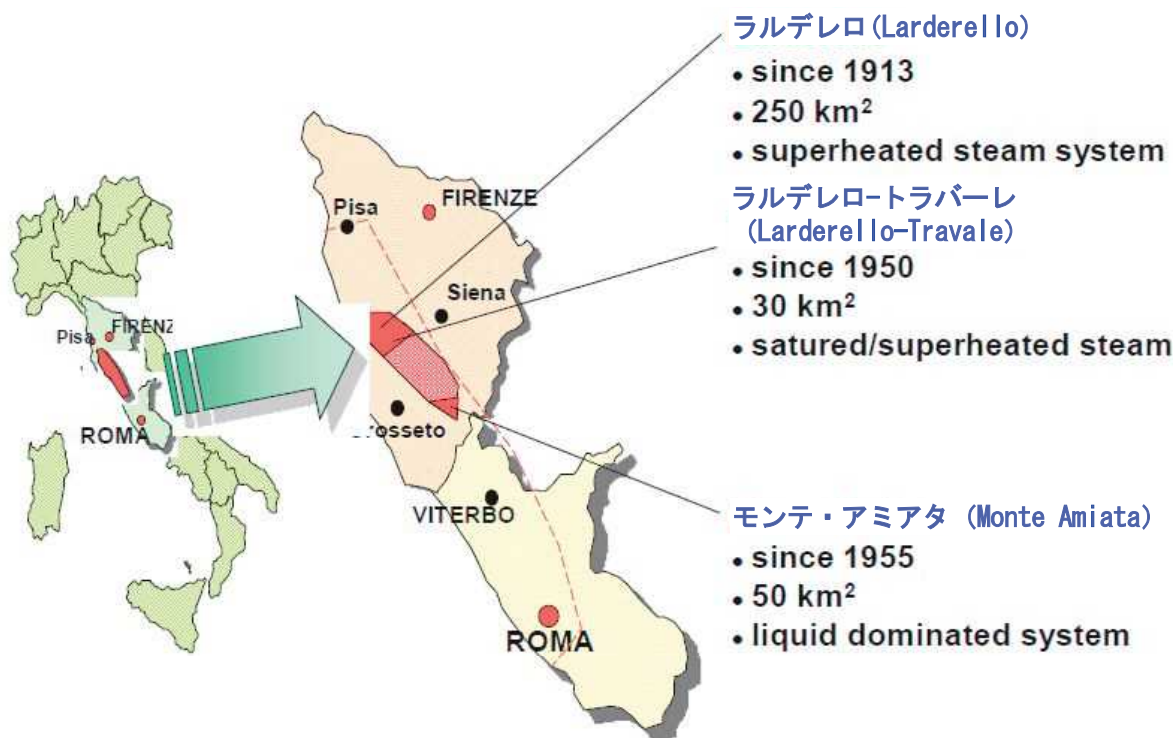


図 4-23 イタリアの主要な地熱フィールド

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認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

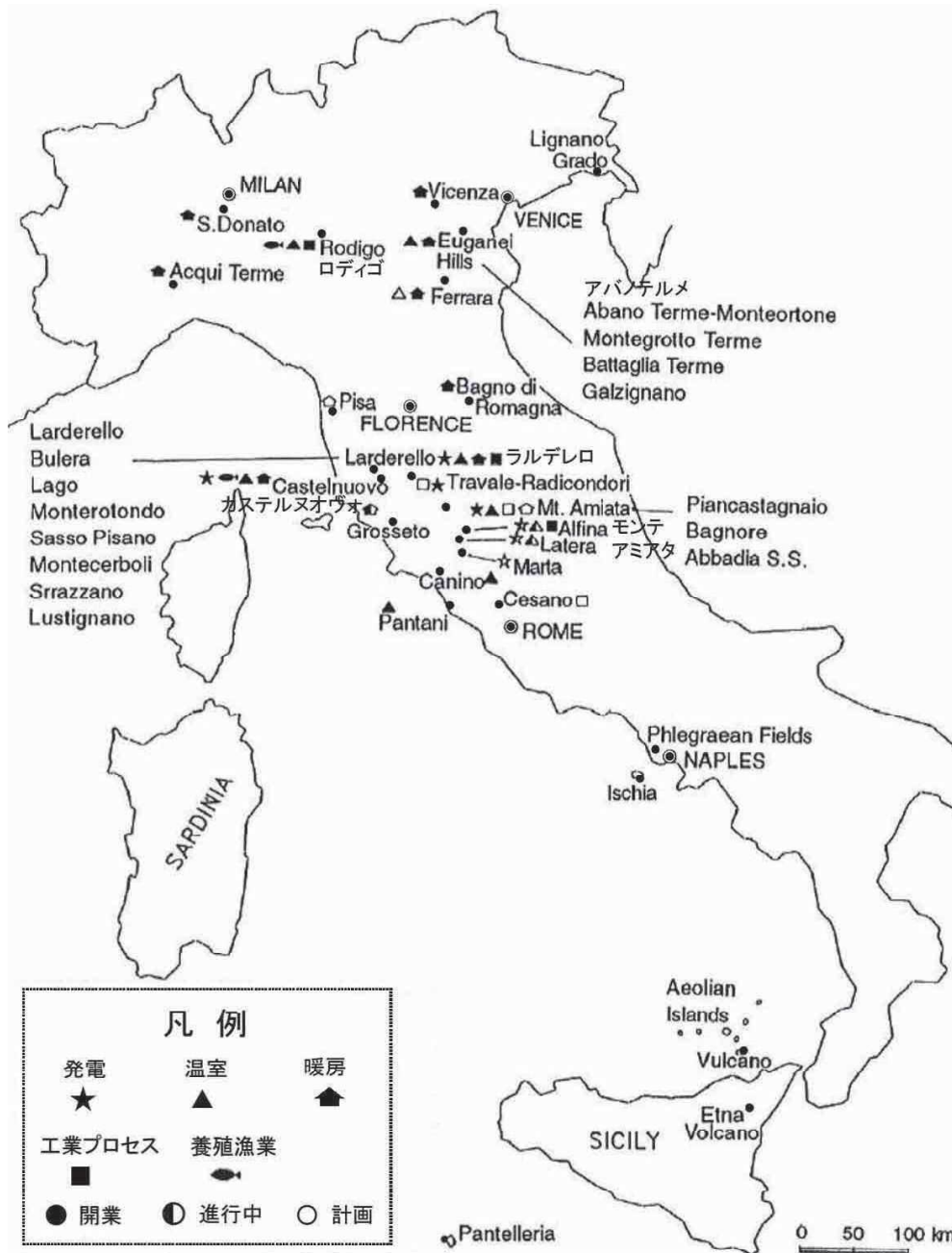


図 4-24 イタリアでの主な地熱利用

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

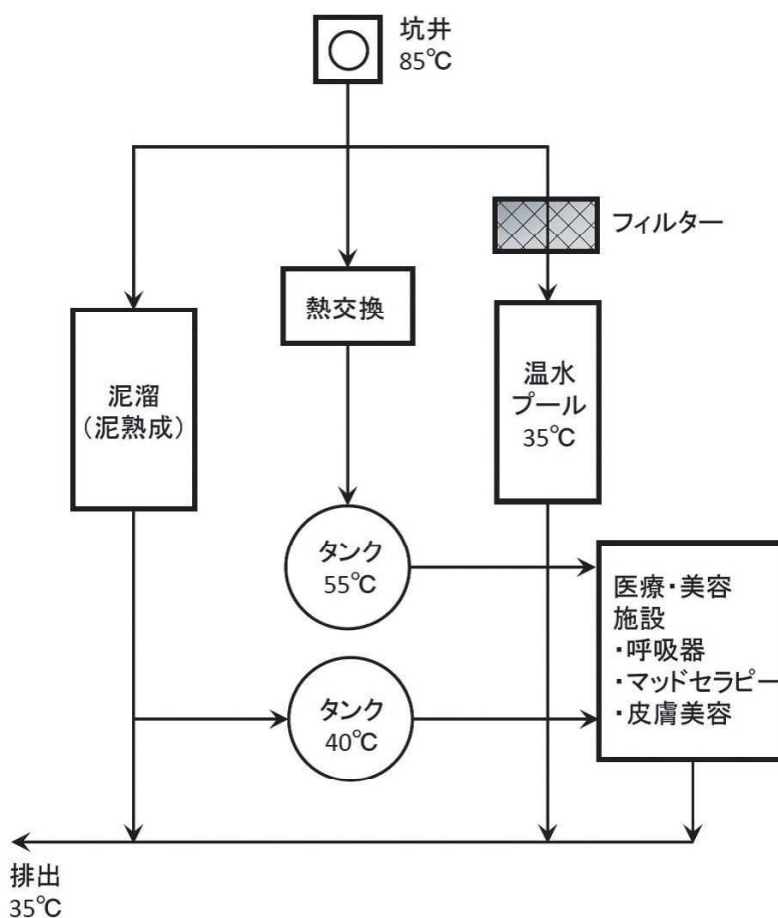


図 4-25 アバノテルメの Trione Hotel の地熱直接利用フローチャート

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】

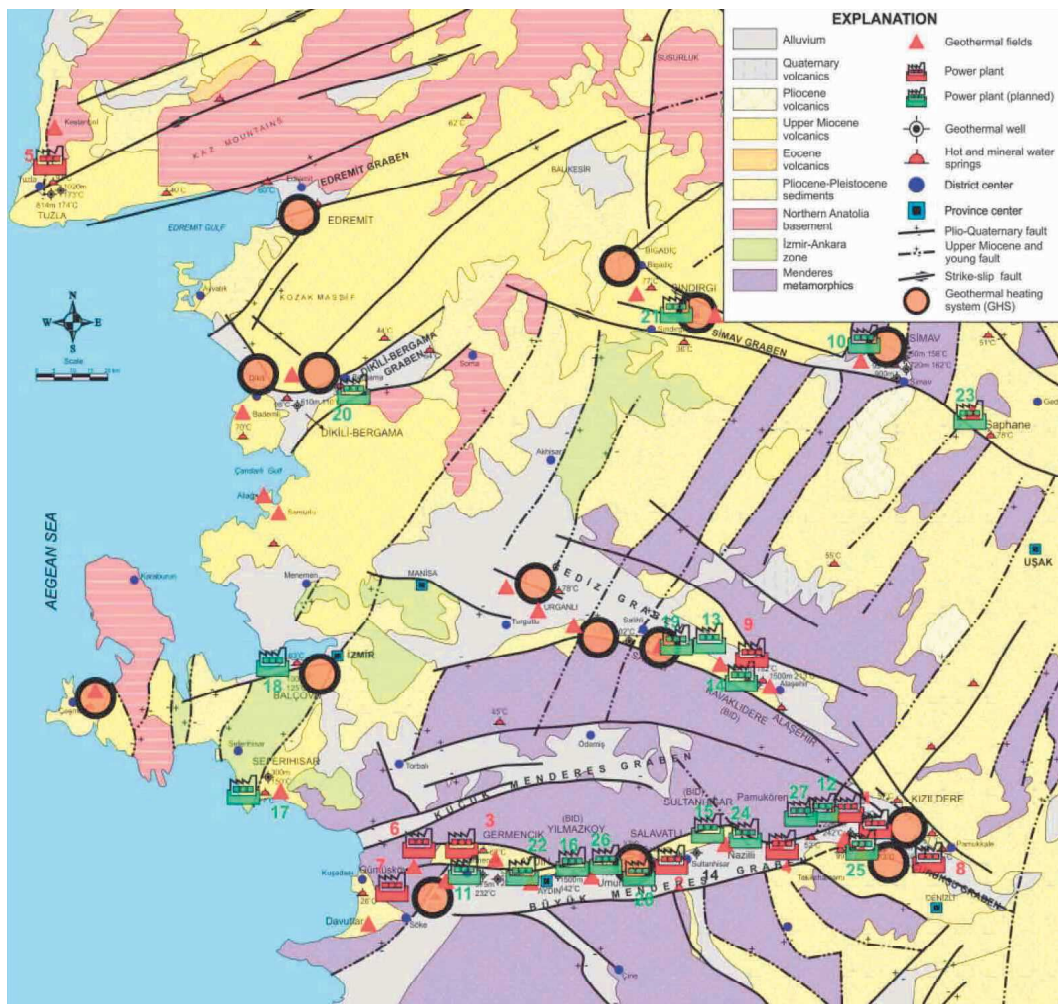
海江田秀志 (2018): 海外における地熱発電の動向、地質と調査、2018年第2号、pp.41-46
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca152.pdf>

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

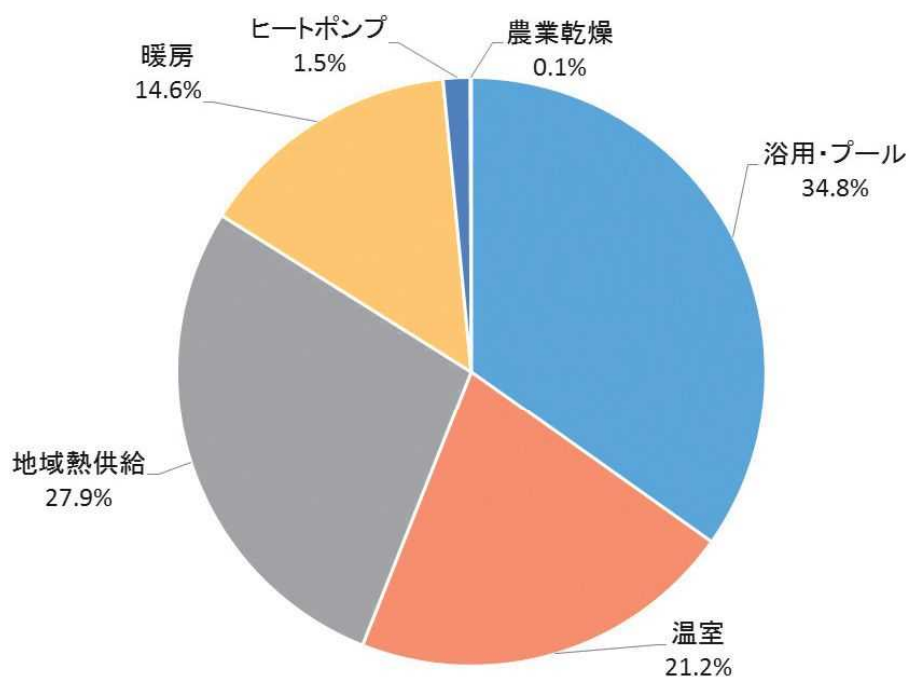
4.10.2 熱利用

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^2 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m²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。



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。

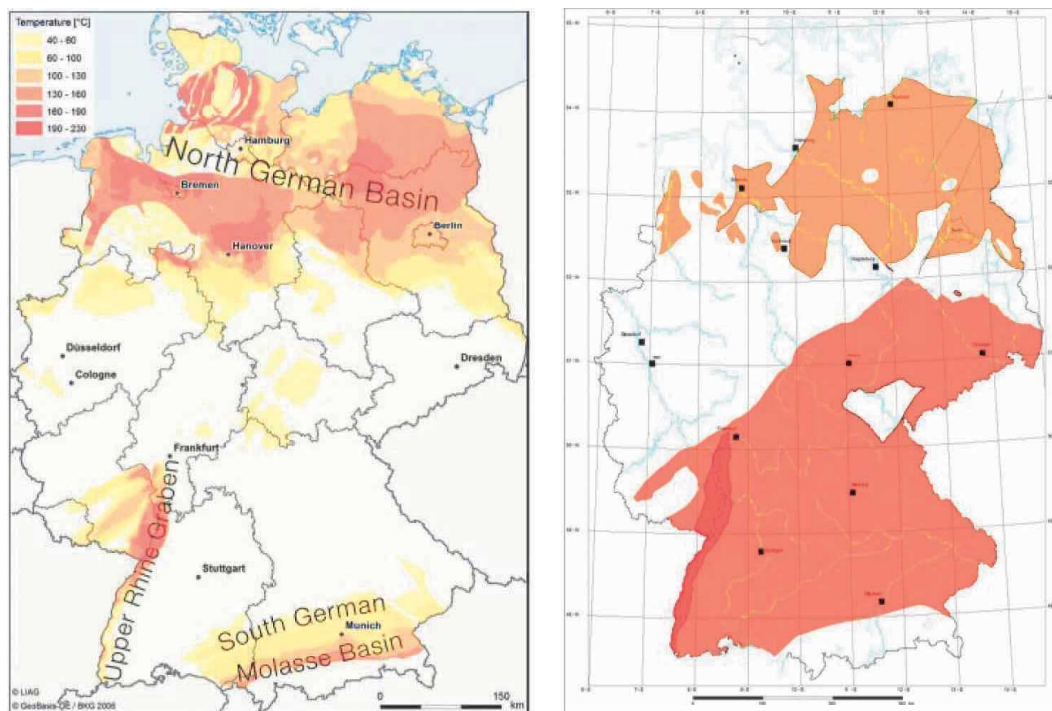
【参考文献】

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するのがきっかけです。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、実用化に苦勞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

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、水力タービンの設計に携わる。

1999年(株)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。

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勞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

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。

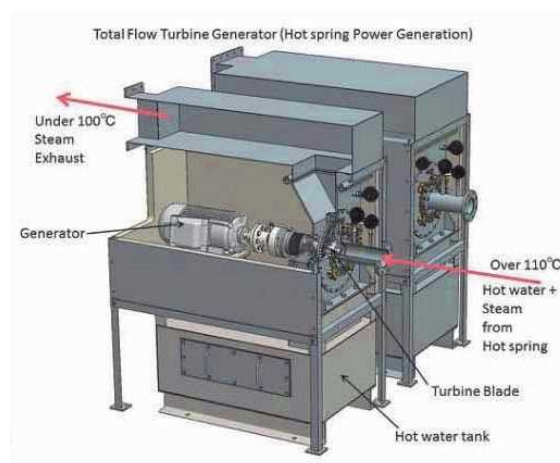
Q 大分県花きグループの実用機2号機の稼働状況についてお伺いしたいと思います。

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。最近では、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応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く考えています。



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

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 東鴨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 東鴨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・無敵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 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。

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月の土日に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が、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、売電収入は地元に還元しています。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しています。

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、金属鉱業事業団（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の地熱関係法人によって異なります。最近、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いて、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ことが必要です。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

