
第1編 地熱開発に関する基礎知識

ちねつ - かいほつ

【 地熱開発 】

1. 地熱とは
2. 世界と日本の地熱発電

1. 地熱とは

1.1 「地熱」は地球内部の熱

地球の中心部では、5,000～6,000℃もの温度があると考えられており、地球は中からたえず暖められている。このような地球内部の熱を「地熱」という。

火山周辺には「マグマだまり」を熱源として、特に高温な地熱地帯が発達している。この地熱は多目的な利用が可能なエネルギーである。発電以外にも、暖房、施設園芸、浴用など各温度段階で様々な利用方法がある。

火山地帯の地下数～十数 km には、1,000℃以上もの温度になって岩がドロドロに溶けているところ（マグマだまり）がある。このマグマだまりは多量の熱を放出し、その周辺に高温の地熱地帯を形成している。

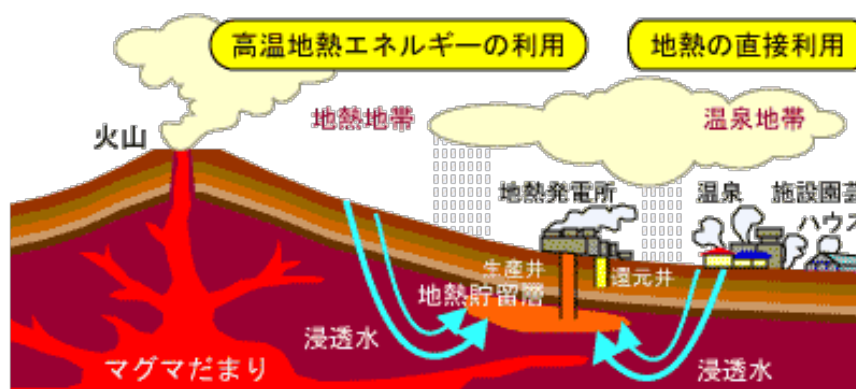


図 1-1-1 地熱のイメージ

出典：経済産業省資源エネルギー庁HP、「地熱のページ」

地球内部の熱のうち、浅いところ（地表から数 km 以内）にあり、人間が利用できる熱エネルギーを地熱エネルギーと呼んでいる。この浅いところにある熱エネルギーだけでも、利用し尽くせないほどの極めて膨大な量がある。火山の近くでは、都市のようなところと比べ、浅いところで高温になっている。火山の深いところ（地下数～10km 程度）には、高温のマグマ（溶けた岩石）が存在するからである。

従って、マグマより浅いところに地熱貯留層ができる。なお、マグマが溶けていなくても、まだ高温であれば（例えば 300℃以上）、比較的浅いところに地熱貯留層をつくることが可能である。

参考文献：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012年

1.2 日本の地熱資源量

日本全体の地熱資源量を評価するときには、容積法、簡単に言えばある入れ物の中に、どれだけ発電に使える地熱エネルギーが溜まっているかを見積もる方法を用いる。

容積法では、測定された地下のある領域に溜まっている熱量をまず評価する。そして、そこにある熱を地下にしみ込んだ雨水によって取り出した場合、どの程度の発電量が得られるかを計算する。このとき、どのような発電方式を選ぶか、あるいは何年くらいで熱を取り出すかなどを設定して計算する。計算では多くの場合、30年間程度で熱を取り出すとして発電規模を決めるが、実際には地下で熱がなくなってしまうことはなく、周辺から自然に補給されるため、発電は半永久的に行われる。

容積法をわが国全体に適用した結果、わが国の150℃以上の地熱資源から発電される量として2,347万kWという値が推定されている。この量は、アメリカ、インドネシアに次いで世界第3位である。

しかしながら、現在のわが国の地熱発電設備容量は約53万kWで、推定されている資源量のわずか2%程度が利用されているに過ぎない。

参考文献：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012年

国名	地熱資源量 (万kW)	地熱発電設備容量 (万kW) 2019年末時点
米国	3,000	256
インドネシア	2,779	213
日本	2,347	53
ケニア	700	82
フィリピン	600	193
メキシコ	600	94
アイスランド	580	75
ニュージーランド	365	97
イタリア	327	80
ペルー	300	-

図 1-1-2 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「エネルギー白書」（令和3年版）、第213-2-23

1.3 地熱発電の4つの特徴

1.3.1 再生可能エネルギー

雨水や河川水が地中深くまで浸透した地下水の一部は、マグマで熱せられ、難透水層の下に地熱貯留層を作る。そこから噴出する蒸気や熱水によって発電する地熱発電は、化石燃料のように資源が枯渇する心配がなく、計画的に使用すれば持続的な利用が可能である。また、蒸気とともに噴出した熱水は河川水と熱交換することで造成熱水を作り、農業用ハウスや魚の養殖、地域の暖房などに再利用されることもある。

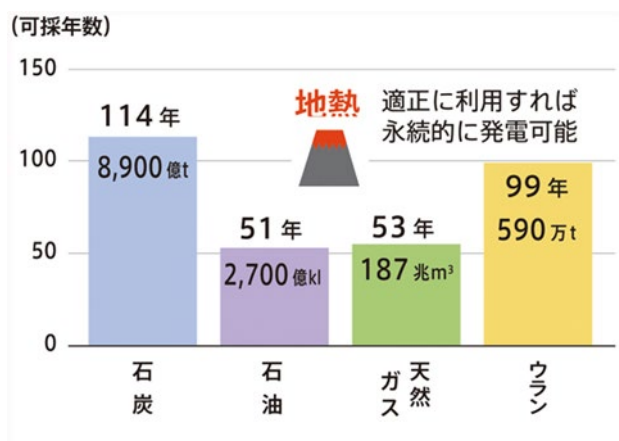


図 1-1-3 地下資源の確認埋蔵量と可採年数
出典：JOGMEC HP

1.3.2 クリーンエネルギー

火力発電の場合、石油や石炭、天然ガス等を燃やし、燃焼ガスや水を沸騰させて作った蒸気でタービンを回して発電するが、地熱発電では自然が生み出す蒸気を使って発電する。そのため二酸化炭素の排出量は火力発電より大幅に少なく、また再生可能エネルギーである太陽光発電や風力発電よりも少ないため、まさに地球にやさしい発電方法と言える。また、蒸気とともに噴出した熱水は、還元井と呼ばれる井戸を通じて地下深くに戻される。

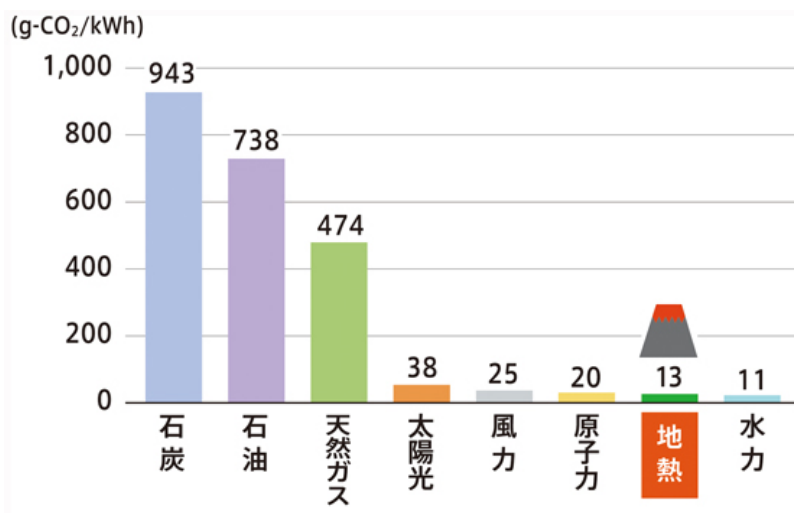


図 1-1-4 電源別の二酸化炭素排出量
出典：JOGMEC HP

1.3.3 純国産エネルギー

日本は、エネルギー資源である石油・石炭・天然ガスのほとんどを輸入に頼っている。日本の豊富な地熱資源は単純計算で大型火力・原子力の約 20 基分。これを有効に利用することは、エネルギー自給率といわれる 1 次エネルギーの国産比率を高め、輸入に頼る石油・石炭など化石燃料の節約にもつながる。

参考資料：JOGME HP「地熱一般情報」

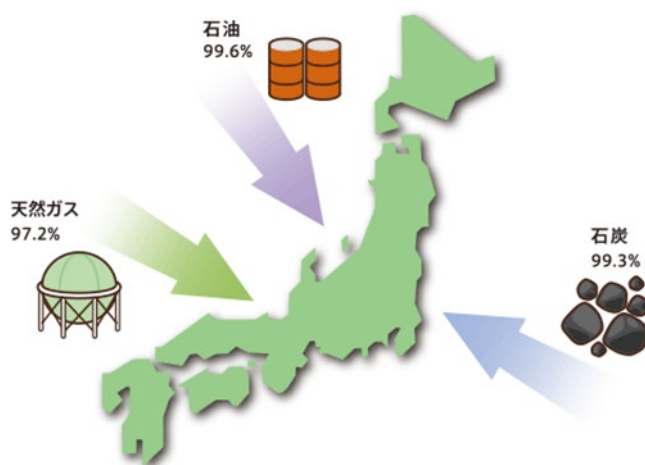


図 1-1-5 日本の資源輸入の割合
出典：JOGMEC HP

1.3.4 安定的な発電特性

風力発電や太陽光発電といった他の自然エネルギーを利用した発電方法は、発電できる時間帯が限られていたり、天候や季節によって発電量が大きく変動するという特性がある。そのため設備利用率は太陽光で約 12%、風力でも約 20%と低いものになっている。それに比べて地熱発電は一年を通じて一定量を発電できるという優れた安定性を持っているため、設備利用率も 70%と極めて高い水準にあり、ベースロード電源と位置づけられている。

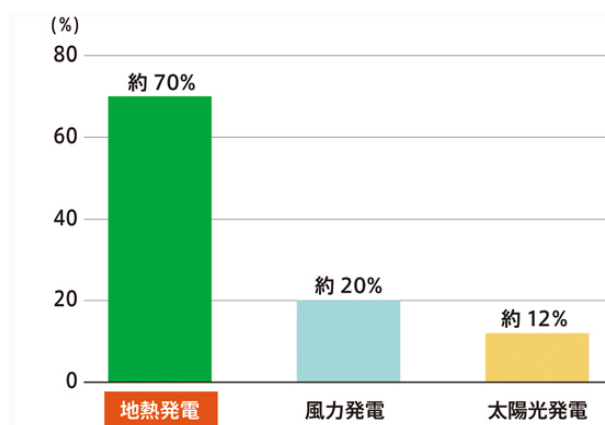


図 1-1-6 設備利用率の比較
出典：JOGMEC HP

2. 世界と日本の地熱発電

2.1 地熱開発の歴史

1904（明治37）年、イタリア・ラルデレロ地方において世界の地熱発電の歴史は始まった。日本では四国の道後温泉が、最初の温泉として『日本書紀』に記述されているが、地熱による「発電」が始まった20世紀初頭から現在までの歴史を振り返ってみる。

参考資料：JOGMEC HP「地熱一般情報」
日本地熱学界HP、「地熱とは」

2.1.1 地熱発電のはじまり

日本の地熱発電の歴史は、1919（大正8）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（大正14）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。

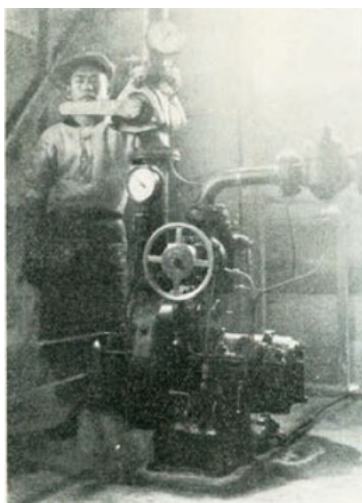


写真 1-2-1 地熱利用第一発電所内におけるタービン、ストレーナーおよび排気管
（1925年（大正14年）12月28日撮影）
出典：JOGMEC HP

2.1.2 日本初の地熱発電所

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（昭和41）年、ついに実を結び、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。

2.1.3 地熱隆盛時代

1970年代、二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、地熱資源開発は急速に拡大した。東北・九州地域を中心に発電所の建設が相次ぎ、1996（平成8）年には地熱設備の認可出力50万kWを達成する。

しかし、それ以降、石油価格の安定化と日本のエネルギー政策の転換などにより、地熱発電は横ばいの時代を迎える。

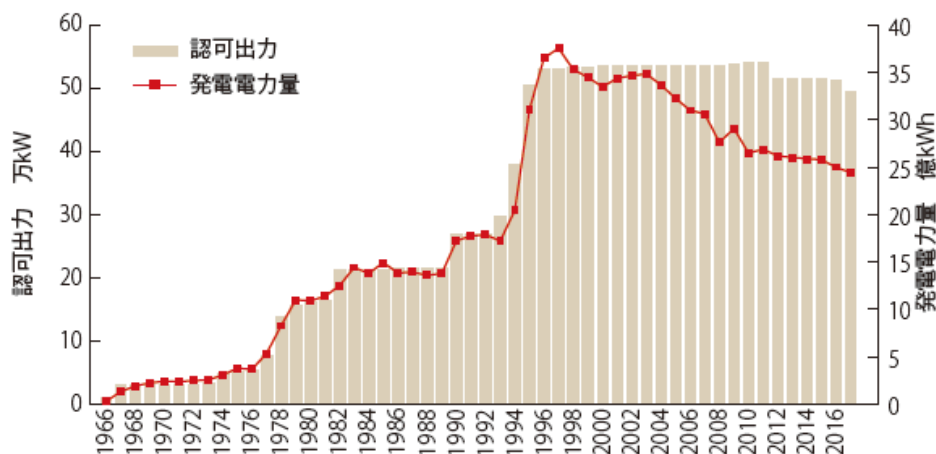


図 1-2-1 許可出力と発電電力量の年次変化

出典：JOGMEC HP

2.1.4 東日本大震災後の地熱発電

東日本大震災による深刻なエネルギー危機をきっかけに、固定価格買取制度（FIT）が開始されるなど、再生可能エネルギー導入拡大の機運が高まり、地熱資源開発を促進するための規制緩和も進んでいった。こうして地熱発電への期待が高まる中、大規模な地熱発電所としては23年ぶりとなる松尾八幡平地熱発電所（岩手県）が2019（令和元）年1月に、山葵沢地熱発電所（秋田県）が2019（令和元）年5月に運転開始した。

次項に地熱調査会パンフレット（2003年5月改訂版）および「地熱発電の現状と動向-2003年版（社団法人火力原子力発電技術協会）」の地熱開発年表をもとに、地熱開発の歴史を紹介する。

表 1-2-1 地熱開発の歴史

年	事項
1904	明治 37 イタリア・ラルデレロにおいて天然蒸気を利用した発電機を運転（出力 0.56kW）
1913	大正 2 イタリア・ラルデレロで世界初の地熱発電所が運転開始（出力 250kW）
1914~18	大正 2~7 第 1 次世界大戦
1919	大正 8 海軍中将山内万寿治氏が石油・石炭の代替熱源として地熱利用調査の結果、大分県で噴気孔掘削に成功
1925	大正 14 太刀川平治博士が、山内氏の事業を引継ぎ、日本最初の地熱発電に成功（出力 1.12kW）
1939~45	昭和 14~20 第 2 次世界大戦
1947	昭和 22 地質調査所が地熱開発地域の選定に関する調査研究開始
1949	昭和 24 九州配電（現九州電力）が大分県下で地熱地帯調査と発電の研究開始
1956	昭和 31 東化工（現日本重化学工業）が岩手県岩手郡松尾村松川地域で地熱開発調査開始
1958	昭和 33 ニュージーランド・ワイラケイで世界初の熱水分離型地熱発電所の運転を開始（出力 6,500kW）
1960	昭和 35 アメリカ・ガイザース地域で 1 号機が運転開始（出力 11,000kW）
1966	昭和 41 日本重化学工業（株）が日本で初めての地熱発電所（蒸気卓越型）の運転開始（松川発電所 出力 9,500kW）
1967	昭和 42 九州電力（株）が日本で初めての熱水分離型地熱発電所の運転開始（大岳発電所 出力 11,000kW）
1973	昭和 48 第 1 次石油ショック
1974	昭和 49 工業技術院がサンシャイン計画をスタート
1976	昭和 51 （財）日本地熱資源開発促進センター設立
1977	昭和 52 資源エネルギー庁が地熱開発基礎調査開始
1978	昭和 53 第 2 次石油ショック
1980	昭和 55 <ul style="list-style-type: none"> 「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」制定 （財）新エネルギー財団（NEF）設立 新エネルギー総合開発機構（NEDO）設立 NEDO が地熱開発促進調査開始
1985	昭和 60 NEDO が山形県最上郡大蔵村肘折地区で高温岩体発電システムの要素技術開発開始
1991	平成 3 NEDO、中小地熱バイナリー発電システム実証試験を開始
1995	平成 7 地熱発電合計出力 50 万 kW 達成
1997	平成 9 気候変動枠組条約第三回締結国会議（COP3）開催
1998	平成 10 地球温暖化対策推進大綱決定
2000	平成 12 世界地熱会議（WGC2000）を日本で開催
2003	平成 15 「電気事業者等による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」施行（RPS 制度開始） 九州電力（株）、八丁原バイナリー発電の試運転開始（出力 2,000kW）
2005	平成 17 京都議定書発効

参考資料：経済産業省資源エネルギー庁HP、「地熱のページ」

2.2 地熱発電の導入と展開

2.2.1 世界の地熱発電

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（2,800万kW）、次いで日本は世界第3位（2,300万kW）に位置しており、世界有数の地熱資源国といえる。発電設備容量で見ると、近年では、インドネシア、ニュージーランド、アイスランド、トルコ、ケニアにおける地熱開発の伸びが著しく、日本は2015（平成27）年にケニアに抜かれて世界第10位まで後退している。

参考資料：JOGMEC HP「地熱 地域と共生するエネルギー」

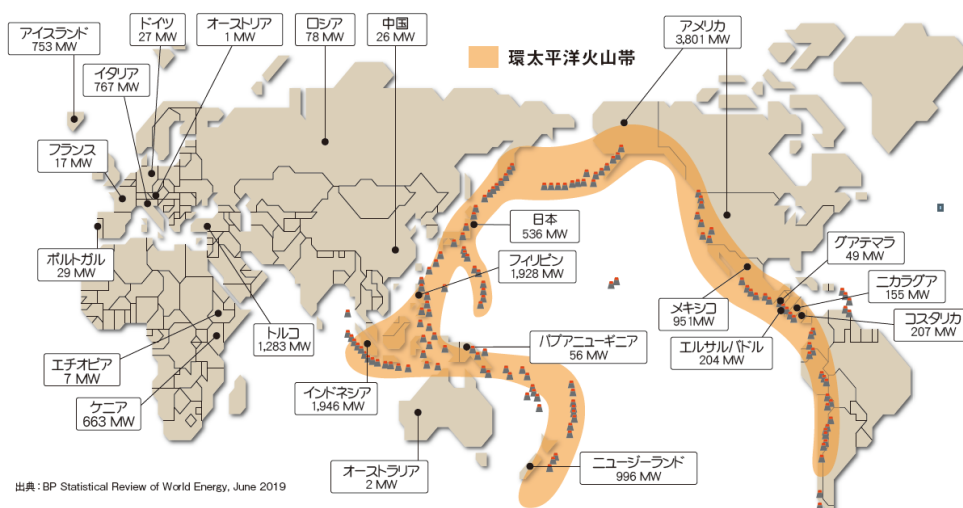


図 1-2-2 世界各国の地熱発電設備容量

出典：JOGMEC HP

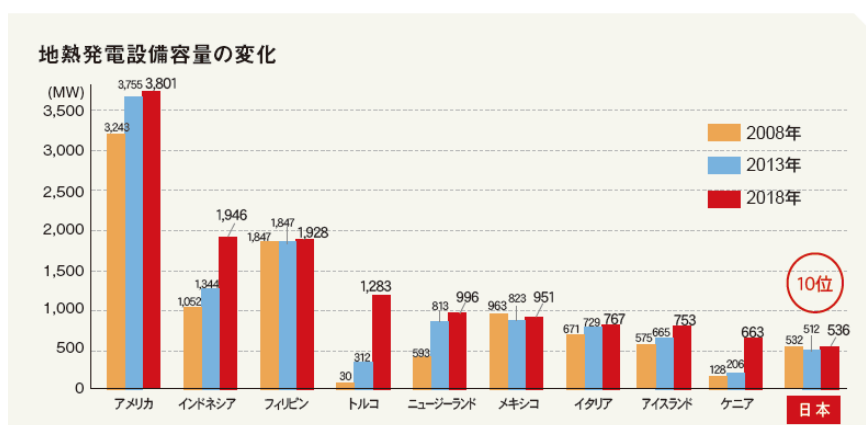


図 1-2-3 世界各国の地熱発電設備容量の変化

出典：JOGMEC HP

2.2.2 日本の地熱発電

地熱発電は、地表から地下深部に浸透した雨水などが地熱によって加熱され、高温の熱水として貯えられている地熱貯留層から、坑井により地上に熱水・蒸気を取り出し、タービンを回し電気を起こす発電方式である。

地熱発電の導入に当たっては、地下の開発に係る高いリスクやコスト、温泉事業者を始めとする地域の方々など地元の理解や、開発から発電所の稼働に至るまでに 10 年を超える期間を要するといった課題が存在している。こうした課題を解決するために、特に近年、様々な支援措置が講じられている。例えば、開発リスクが特に高い初期調査段階におけるコストを低減するため、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）を通じ、資源量の把握に向けた地表調査や掘削調査等に対する支援や、JOGMEC 自らが、新規開発地点を開拓するための先導的資源量調査を行っているほか、地域の理解促進を目的としたセミナーや見学会の開催等についても支援を行っている。

また、開発リードタイムを短縮するため、高性能の探査・掘削機材の技術開発に加え、通常は 3、4 年程度かかるとされる環境アセスメントの手術期間を半減させることを目標に、2014（平成 26）年度から、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より、実地での環境影響調査を前倒して進める場合の課題の特定・解決を図るための実証事業なども実施している。

参考資料：経済産業省「エネルギー白書」（令和 3 年版）

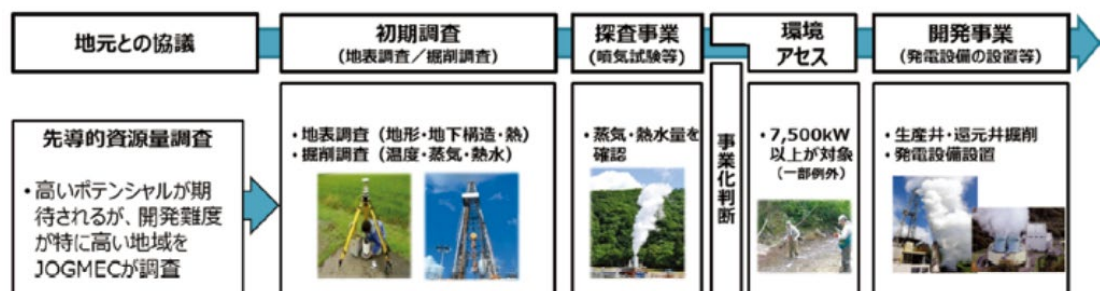
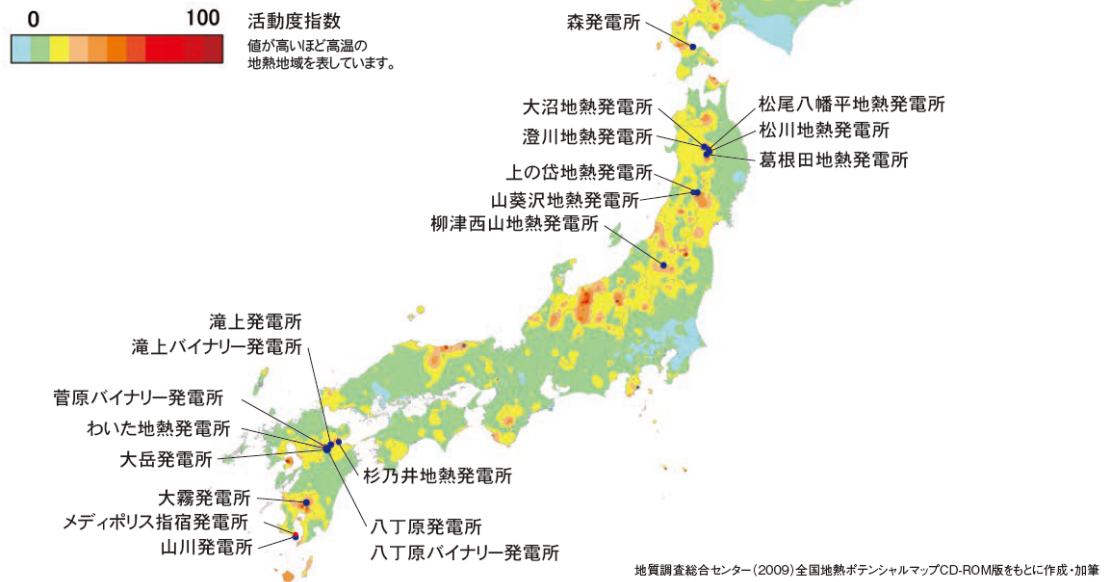


図 1-2-4 地熱発電開発のプロセス

出典：経済産業省「エネルギー白書」（令和 3 年版）、第 213-2-24

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 54 万 kW、発電電力量は 2,223GWh（2018 年度）となっており、日本の電力需要の約 0.2%を賅っている。

主な日本の地熱発電所位置図



発電所名	所在地	発電	蒸気・熱水供給	設備容量(kW)	発電方式	運転開始日	FIT制度 適用の有無
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	
松尾八幡平地地熱発電所		岩手地熱(株)		7,499	SF	2019.01.29	F
葛根田地熱発電所	岩手県 雫石町	東北電力(株)	東北自然エネルギー(株)	(1号) 50,000	SF	1978.05.26	
				(2号) 30,000	SF	1996.03.01	
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		東北電力(株)	東北自然エネルギー(株)	28,800	SF	1994.03.04	
山葵沢地熱発電所	秋田県 湯沢市	湯沢地熱(株)		46,199	DF	2019.05.20	F
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)	30,000	SF	1995.05.25
わいた地熱発電所	熊本県 小国町	(同)わいた会		2,000	SF	2015.06.16	F
杉乃井地熱発電所	熊本県 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	
				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	
山川バイナリー発電所		九電みらいエナジー(株)	九州電力(株)	4,990	B	2018.02.23	F
メディポリス指宿発電所		(株)メディポリスエナジー	1,580	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 固定価格買取制度(FIT)/F:FIT認定発電所
 設備容量1,000kW以上の地熱発電所を掲載 出典:日本地熱協会/日本で現在稼働している地熱発電所(2019年6月現在)を基に作成

図 1-2-5 主な日本の地熱発電所
出典: JOGMEC HP

2.2.3 地熱発電のしくみ

地熱発電において、火力発電所のボイラーにあたるのが地熱貯留層である。そこに坑井と呼ばれる井戸（生産井）を掘り、地熱流体を取り出し、気水分離器で蒸気と熱水に分離する。蒸気はタービンを回して発電し、熱水は還元井を通して再び地中深くに戻される。仕事を終えた蒸気はタービン出口の復水器で冷却され、凝縮して圧力が急減し、タービンを回す蒸気の効率を高める。凝縮して復水器に溜まった温水は、冷却塔を通りさらに温度が下げられ、冷却水として蒸気の凝縮に再利用される。

参考資料：JOGMEC HP「地熱発電のしくみ」

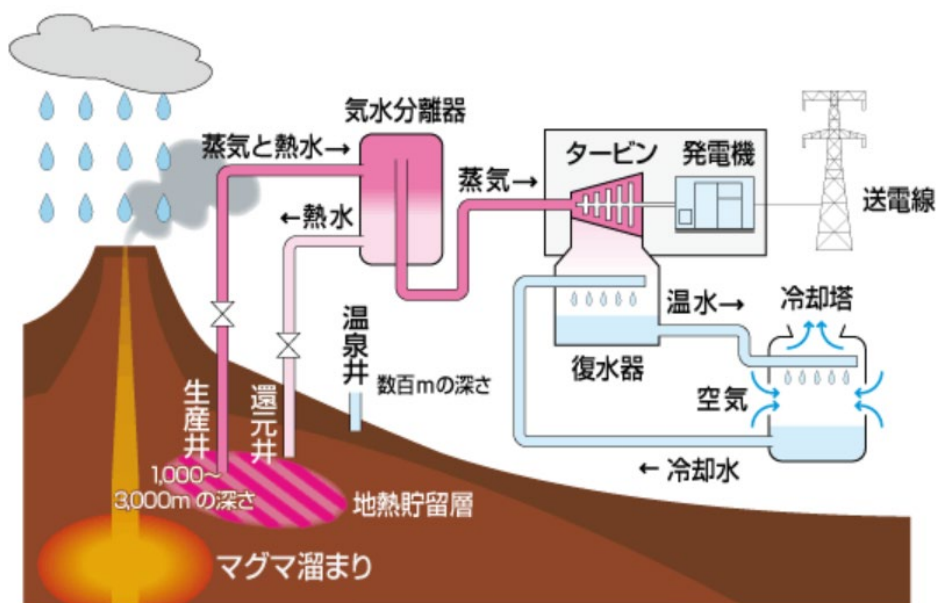


図 1-2-6 地熱発電のしくみ

出典：JOGMEC HP

火山の近くでは、地下数 km～20km くらいの深さに 1000℃ くらいのマグマだまりがあって、まわりの岩石を熱している。

地熱発電とは、地中深くから得られた蒸気で直接タービンを回し発電するものである。地球は、地中深くなるにつれて温度が上がり、一般に深さ 30～50km で 1 千度程度と考えられている。いわばひとつの大きな熱の貯蔵庫といえる。しかし、この熱源はあまりにも深部に存在するため、現在の技術でこれをエネルギー資源として利用することはまず不可能である。ただ、火山や天然の噴気孔、温泉、変質岩などがある、いわゆる地熱地帯と呼ばれる地域では、深さ数 km の比較的浅いところに 1,000℃ 前後のマグマ溜りがある。そして地中に浸透した雨水などがマグマ溜りによって加熱されて、地熱貯留層を形成することがある。このような地点に貯えられた熱を直接、エネルギー源として利用するのが地熱発電なのである。

参考資料：日本地熱学会HP「地熱発電のしくみ」

火山の周りには、深さ 1~3km くらいのところに地熱貯留層がある。この地熱貯留層は、たとえば言えば、石の詰まったヤカンの中に熱水や蒸気が溜まっているような場合もあるが、実際には断層のような地下の岩石の薄い割れ目に熱水や蒸気が溜まっていることが多い。

そして、温められた熱水が地熱貯留層に蓄えられているので、圧力は静水圧（普通の地域の地下水のもっている圧力。普通の地域では、深いほど圧力は大きくなり、同じ深さなら同じ圧力になる）より高くなっている。従って、この地熱貯留層にボーリング坑を掘ると、高圧の熱水はボーリング坑中を自然に上昇する。上昇すると圧力が下がるので、はじめは液体であって高温のため、ある程度上昇すると沸騰する。すなわち、液体であったものが、蒸気と熱水の混合物になる。それが上昇を続けると、熱水がさらに蒸気になり、蒸気の量が次第に多くなる。

ボーリング坑の出口では蒸気と熱水の混合物が勢いよく噴出する。秒速 200m を超えることも珍しくない。このような井戸を生産井という。多くの場合、発電に使えるのは蒸気だけなので、セパレータ（蒸気熱水分離器）によって、蒸気と熱水を分離し、蒸気はタービンに送られ発電に使われる。タービンに送られた蒸気を使って発電するシステムは火力発電と同じである。なお、熱水は還元井を使って、地下に戻される。

参考文献：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012 年

2.2.4 地熱発電の方法

日本は世界でも有数の地熱資源に恵まれた国であるが、火山があればどこでも地熱発電が可能というわけではない。

(1) マグマの熱を電気に変える地熱発電

地熱発電は、火山の下の「マグマ溜まり」の熱を利用して発電を行う方法である。地熱発電が成立するためには、次の4つの条件がそろっている必要がある。

- ①マグマ溜まり：周囲の岩盤を熱します。
- ②雨や河川の水の供給：雨水や河川水が地下に入り込み、マグマ溜まりの周囲にある岩盤の熱によって高温の蒸気や熱水になります。
- ③キャップロック：高温の蒸気や熱水を閉じ込めておくための蓋の役割をします。
- ④地熱貯留層：高温の蒸気や熱水は、キャップロックの下に溜まり、「地熱貯留層」を形成します。ここから「生産井」を通じて蒸気を取り出し、タービンを回して発電します。

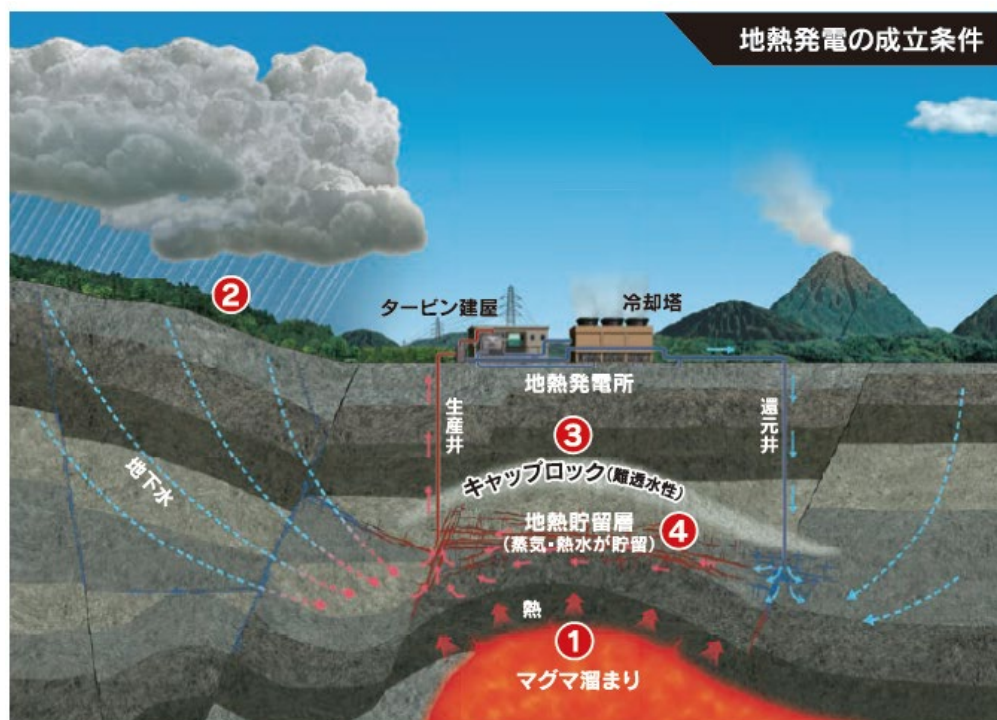


図 1-2-7 地熱発電のための4要素
出典：JOGMEC HP

(2) 二つの発電方法

地熱発電には、大きくは蒸気発電とバイナリー発電の二つの発電方法がある。

表 1-2-2 地熱発電の方法

蒸気発電	バイナリー発電
<p>蒸気発電は、地熱貯留層から取り出した蒸気を直接タービンに送って発電する方法である。一般に、地熱貯留層からは生産井を通過して蒸気と熱水が混合し噴出するが、温度や圧力が高く蒸気量が多い場合はこの発電方法が採られる。熱水は還元成井で地中に戻される。</p>	<p>バイナリー発電は、生産井からの蒸気や熱水で水より沸点の低い媒体を沸騰させてタービンに送り発電する方法である。地熱貯留層から取り出せる蒸気が少なく熱水が多い場合は、蒸気発電に適さず、この方法が採られる。タービンを回した後の媒体は、凝縮器で再び液体に戻される。</p>
<p>■ 蒸気発電設備のイメージ図</p>	<p>■ バイナリー発電設備のイメージ図</p>
<p>【事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・森発電所 (DF) 北海道森町 ・松川地熱発電所 (DS) 岩手県八幡平市 ・松尾八幡平地熱発電所 (SF) 岩手県八幡平市 ・葛根田地熱発電所 (SF) 岩手県雫石町 ・大沼地熱発電所 (SF) 秋田県鹿角市 ・澄川地熱発電所 (SF) 秋田県鹿角市 ・上の岱地熱発電所 (SF) 秋田県湯沢市 ・山葵沢地熱発電所 (DF) 秋田県湯沢市 ・柳津西山地熱発電所 (SF) 福島県柳津町 ・わいた地熱発電所 (SF) 熊本県小国町 ・杉乃井地熱発電所 (SF) 大分県別府市 ・滝上発電所 (SF) 大分県九重市 ・大岳発電所 (SF) 大分県九重市 ・八丁原発電所 (DF) 大分県九重市 ・大霧発電所 (SF) 鹿児島県霧島市 ・山川発電所 (SF) 鹿児島県指宿市 	<p>【事例】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・滝上バイナリー発電所 (B) 大分県九重市 ・八丁原発電所 (B) 大分県九重市 ・菅原バイナリー発電所 (B) 大分県九重市 ・山川バイナリー発電所 (B) 鹿児島県指宿市 ・メディポリス指宿発電所 (B) 鹿児島県指宿市

(注) 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
 出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)「地熱 地域と共生するエネルギー」

2.3 地熱の利用

2.3.1 多様な地熱エネルギーの利用

地熱は、「発電」に使用されるだけでなく、さまざまな用途に利用できる。200～300℃の熱水・蒸気を発電に利用後、温度変化に応じて段階的に2次利用、3次利用していく方法（カスケード利用）もあり、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く地域の産業を支えることから、地域活性化の要素として有望であり地熱資源を中心にしたエコタウン構想や観光資源としての地熱利用なども計画されるなど地域での取り組みが活発になっている。

この直接利用は、地熱発電よりもはるかに長い歴史をもっている。世界を見渡すと、古くから古代ローマで温泉利用が好まれたことが知られており、わが国でも8世紀に編纂された日本書記に四国愛媛県の道後温泉のことが記されている。

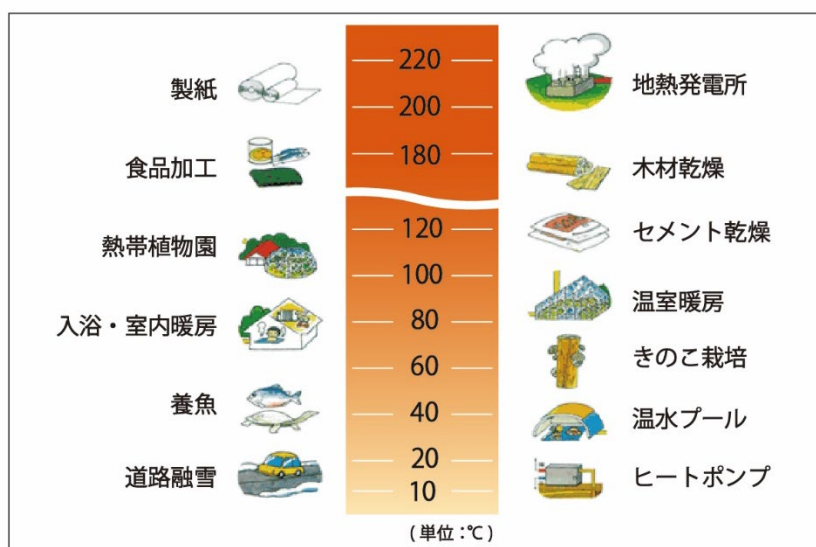


図 1-2-8 温度域による地熱直接利用の用途

出典：JOGMEC HP より作成

高温利用の例として、まず製紙や木材乾燥が挙げられる。ニュージーランドのカウエラウ地熱発電所では、地熱発電が行われるとともに、製紙用に熱水が使われている。もう少し温度が下がると、食品加工やセメント乾燥、熱帯植物園での加熱などに使われる。これらはおよそ50℃以上で、通常の農業用などの温室でも40℃以上である。

低温利用の例としては、きのこ栽培などのビニールハウス、テラピアやうなぎ等の養魚、あるいは温泉プールへの利用等が挙げられる。さらに低温の直接利用の場合、雪国では融雪などに利用されている。北海道や東北・北陸地域では、国あるいは地方公共団体が地中熱を利用した融雪システムの導入に努めている。

2.3.2 地熱のカスケード利用

地熱エネルギーのカスケード利用とは、賢い地熱エネルギーの利用の一方法である。より広い領域の温度範囲にわたって熱を利用することがカスケード利用である。

ここで地熱発電所から出てきた 150℃の熱水のカスケード利用の例を示す。この例では、発電所から送られてきた熱水は、食品加工あるいは冷蔵プラント用に使われ、温度は 150℃から 100℃に低下する。そして、この 100℃の熱水は、団地や温室の暖房に使用されている。その結果、温度は 100℃から 50℃低下する。そして、さらに魚介養殖に使われ、50℃から 20℃に低下後、排水されている。仮に、途中で熱のロスがないと仮定した場合、発電所からの熱水がそのまま排水として処理された場合に比べ、食品加工・冷蔵プラント、団地および温室の暖房、さらに魚介養殖に使われた場合は、もともとあった熱量の 87%が利用されるが、熱水を何も利用せず排水として戻すと、熱水の持っていたすべての熱を無駄にしてしまうことになる。

このように、エネルギーの有効利用という観点からもカスケード利用は大変重要な方法である。分離後の熱水を有効に利用することは、地熱発電所の立地地域に、電力以外の貢献の可能性を秘めているわけで、地域に応じた有効利用法を考えていくことはとても大切なことである。

参考文献：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012年

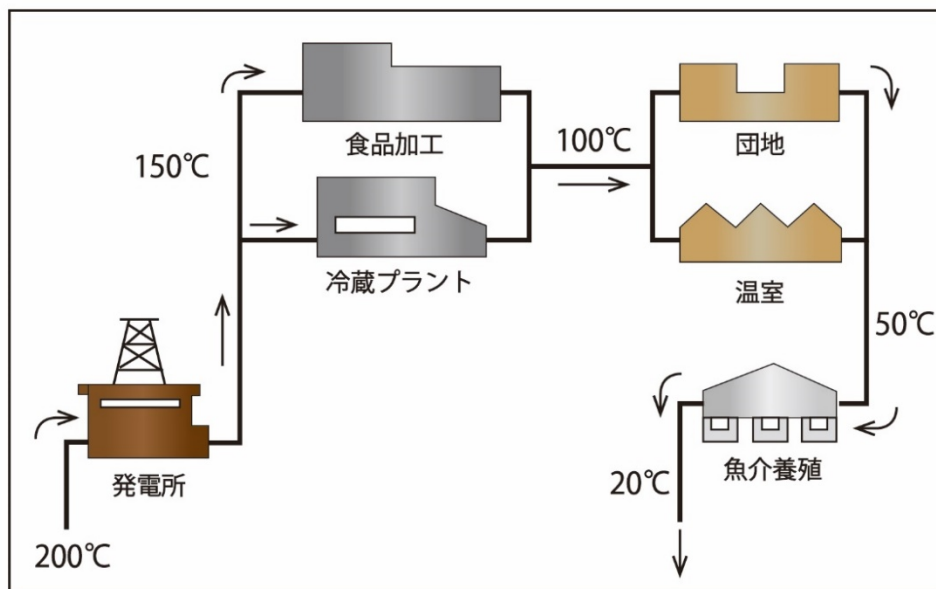


図 1-2-9 地熱のカスケード利用

出典：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012年より作成

2.3.3 地中熱の利用

地中熱とは、火山地域や温泉地域のように、マグマなどの特別の熱源によって地下浅部が暖められている地域ではない、普通の地域の地下浅層（通常地下数mから 100m程度）に蓄えられている熱のことである。特定の熱源により、特別の熱が蓄えられているわけではなく、暖房等に利用できる特別な熱があらかじめ溜まっているわけではない。

日本のような中緯度地域では、おおよそ地下 20mより深いところの温度は年間を通じてほぼ一定である。従って、地表の気温と地中の温度には一定の差が生じる。これは、昔から、井戸水の温度は年間を通じて変わらないが、夏は涼しく感じ、冬は暖かく感じると言われてきたことと同じである。

この温度を利用して、冷房や暖房あるいは温水造成、道路融雪、さらには農業用のビニールハウスの暖房に利用するのが地中熱利用である。利用する温度が地中の温度とあまり変わらなければ、地下から取り出した熱をそのまま利用し、それだけでは不十分な場合は、ヒートポンプとって、熱を上げたり、捨てたりする機能を持つ熱交換装置を利用する。

地中熱利用冷暖房システムは、電気代が安く、運転費用は少なくなっているが、初期投資が高く、現在、初期投資を取り戻すには 10 年前後が必要といわれている。

参考文献：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012 年

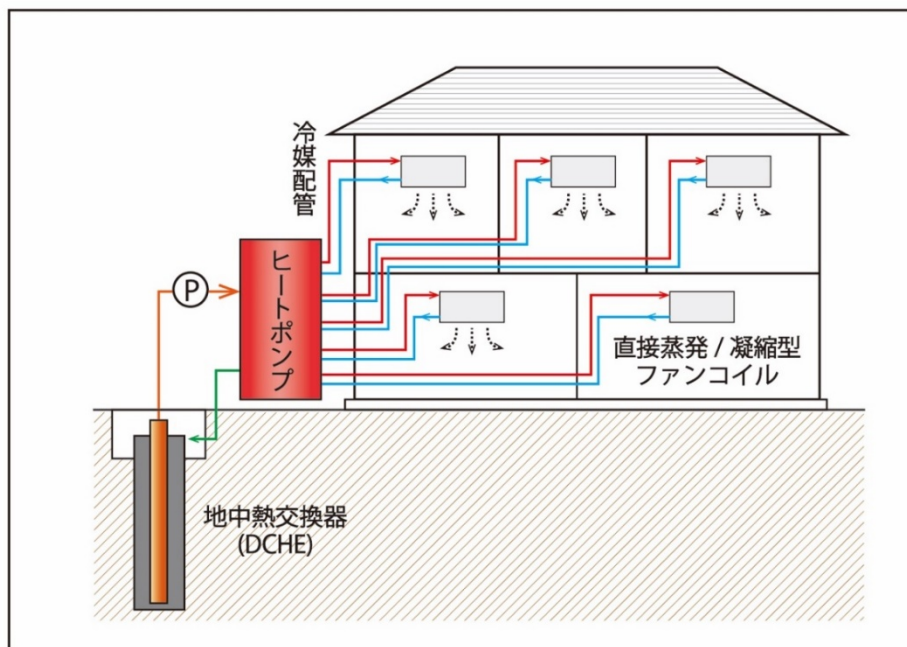


図 1-2-10 地中熱の利用

出典：江原幸雄『地熱エネルギー』オーム社、2012 年より作成

2.4 地域のための地熱開発

2.4.1 従来型地熱開発と EIMY型地熱開発

従来は、最初に発電所をつくるための想定システムがある。そしてそれをやるのにどう
いう地域があるのかといった地域の選定があり、調査・探査、調査井掘削・評価が行われ、
想定に合っただけでも経済的なメリットがあれば開発となるし、想定から外れていっただけでも中
止ということになる。ただ、地域に入っているいろいろなことを見て回ると、地域にとってどう
いう意味があるのかが重要である。どこからともなく開発事業者がやってきて、井戸を掘
らせてくれとあって、それでダメだったらその地域から去っていく、このような従来型地
熱開発には疑問をもたなければならない。

そこで考えられることは、最初に想定のあるシステムではなくて、その地域の中に
どんな宝物があるのかということ調べて、そして当然井戸も掘り、そこからエネルギー
を採れるようなシステムにする。その時に地域の需要とか社会的な条件を入れて、あるい
は地域のエネルギーは地熱だけではないので、水力もあれば風力もあれば太陽もあり、他
の再生可能エネルギーのことまで、全てを考えてシステムを開発すべきである。それを
EIMY(Energy In My Yard)型地熱開発といている。

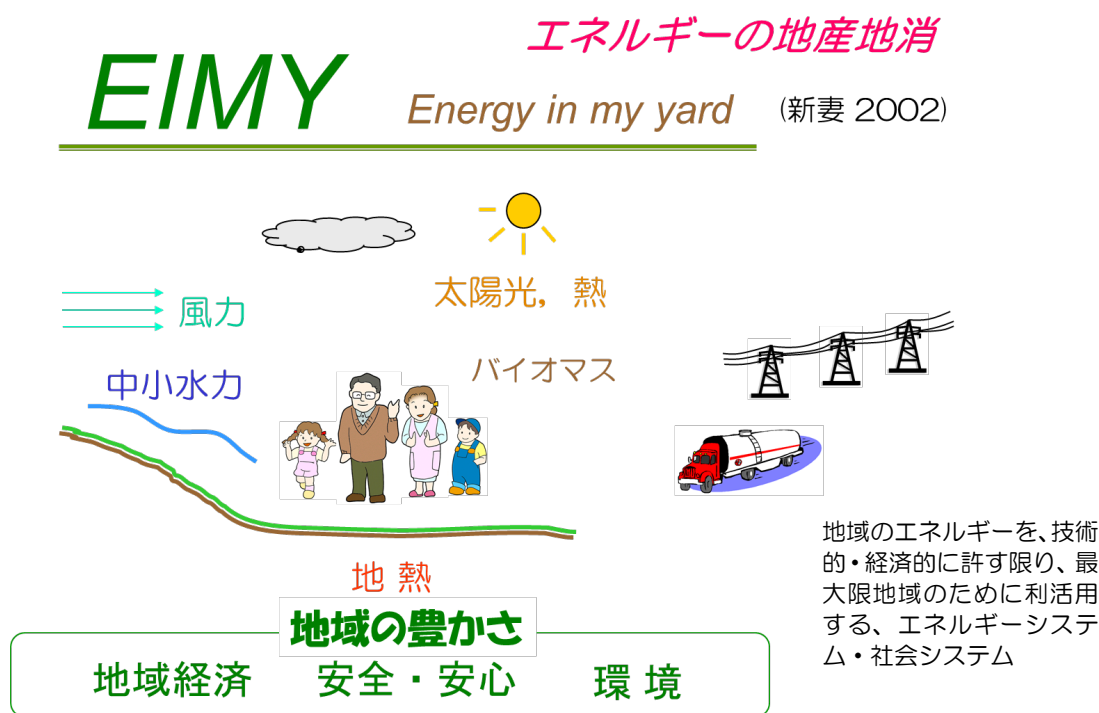


図 1-2-11 EIMY 型地熱開発

出典：新妻弘明「八幡平沸騰地熱塾」講演資料 2022 年.日本 EIMY 研究所 HP

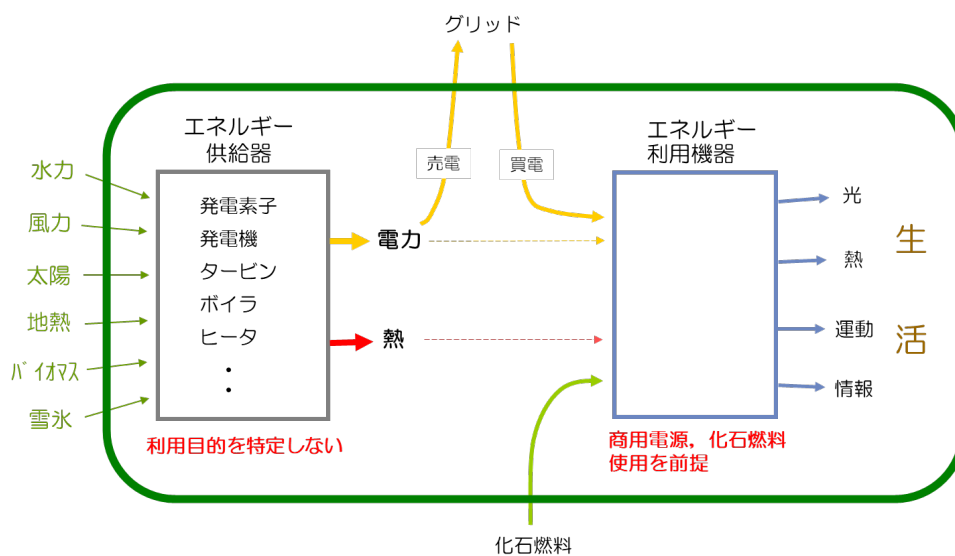
2.4.2 エネルギーの地産地消

(1) 切り身社会

鬼頭秀一氏は、現代社会は、自然と人間との関わりがスーパーで売っている肉の切り身のように、とぎれとぎれになっており、それが今日の環境問題の本源になっていると指摘している。資源やエネルギーについても、その源と消費者の間はとぎれとぎれになっており、それらの要素の間はお金を通してのみつながっている。

このようなシステムには二つの怖さがある。一つはエネルギーや資源の源と我々が、直接つながっていない怖さである。東日本大震災で経験したように、供給が止まると自分たちだけではどうすることもできず、事態は深刻になってしまう。また、普段、エネルギーを使っている、そのエネルギーの源を考えることも、生産の現場で何がおきているかに思い馳せることもない。つまり、エネルギー生産に対して当事者意識が無くなっているということである。

もう一つは、とぎれとぎれになっているシステムの各要素がそれぞれの論理で発達している怖さである。現代社会では各要素は事業として経営されている。そこではコストと効率が重要視され、事業として成り立たないエネルギーは使われなくなる。その一方で、経営に有利なシステムはどんどん巨大化していく。このため短期的経済合理性に沿ったエネルギーだけに頼る脆弱な社会になっていくことになる。



切り身社会
(鬼頭1996)

自分ではどうすることもできない社会
当事者性の欠如

図 1-2-12 切り身社会とエネルギー

出典：新妻弘明「八幡平沸騰地熱塾」講演資料、2022年、日本 EIMY 研究所 HP

(2) 震災で気付かされた点滴社会

「何が地域のためなのか」というのは本質的な問題である。地域の人が望めばそれは地域のためなのか、それは必ずしもそうとはいえない。かといって、他の人が地域のためだといって、地域の人を説得して地熱開発をするのも地域のためではない。

東日本大震災がおきて気付かされたことは、人間が生きるためには、とにかく、食べ物と水と熱が必要なことであり、そしてお金はあまり役に立たなかったことである。

経験からいえるのは、今の世の中は点滴社会ではないかということである。なんにも苦労しないで、生きるためのものが、お金さえ払っていけば送られて点滴を受けるようなものだからである。ところが、震災になって、その点滴が閉じたときの恐ろしさを私たちは身を持って感じた。

(3) デュアル・エネルギー・パス

デュアル・エネルギー・パス（DEP）というのは、我々の生活に必要な不可欠な分だけでも、価値基準を異にした「自給エネルギー」で最大限まかなうよう、エネルギーの筋道を二つにしようというものである。そこでは効率やコストではなく、「自給エネルギー」による安全・安心と豊かさの創出に重点が置かれる。

このような自給エネルギー・パスの存在により、地域と地域の人々に、エネルギーに関する「当事者性」が生まれることになる。このことにより、エネルギー多消費型のライフスタイルや社会システムからの転換の筋道が、地域の実体として見えてくる。

デュアル・エネルギー・パス (新妻 2011)

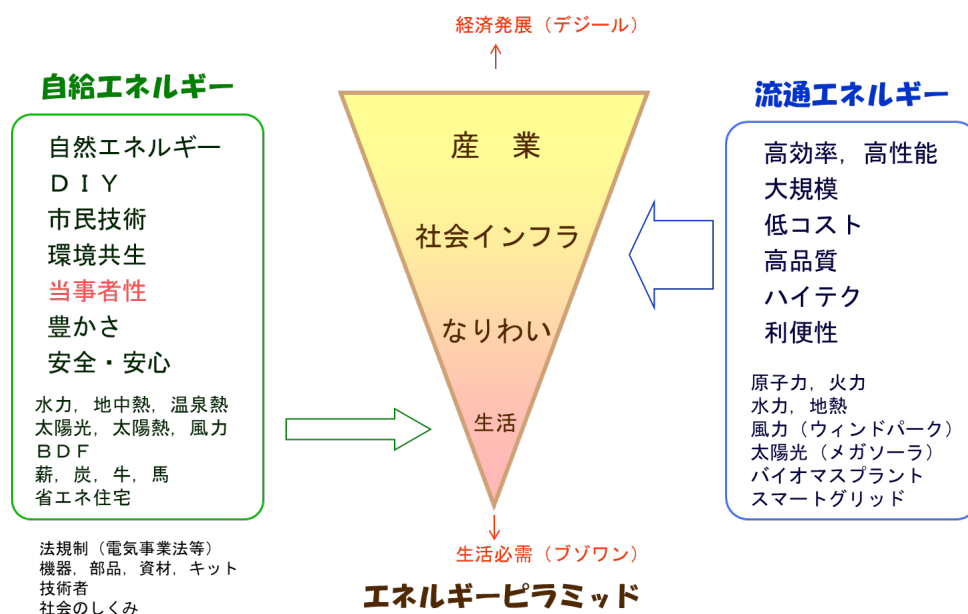


図 1-2-13 デュアル・エネルギー・パス(DEP)という概念

出典：新妻弘明「八幡平沸騰地熱塾」資料、2022年、日本 EIMY 研究所 HP

2.4.3 地域エネルギーの利活用

(1) 地域依存的な要素

エネルギーは気候・風土、伝統・文化、人々の気質、地域の暮らし、地域の生業・産業、地域の課題・事情などと不可分であり、これらの要素を通してエネルギーを考える必要がある。それには地域を活かす技術が大事である。昔のように地域を技術に合わせるのではなく、技術を地域に合わせるという考え方が重要である。だから、地域協働の重要性や地域の業者、中小企業の役割が非常に大きくなっていく。

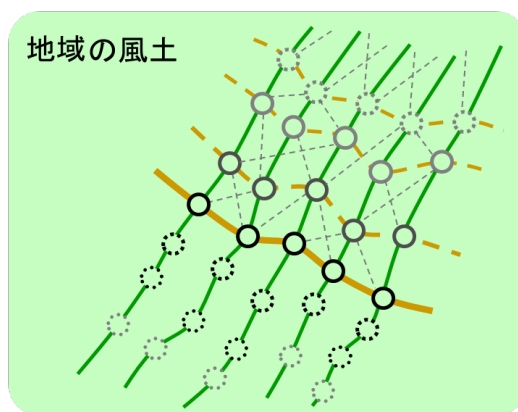
(2) 地域の文化が受け継がれる東北

東北は環境共生社会（SDGs）が現存する、あるいは失われて間もなくその社会の実体が残っている。その担い手も生存している。つまり、東北はその多様な自然を含めて持続可能な社会というもののお手本になる地域である。そこには生活を持続させる算段と覚悟が自分たちに必要である。そして、地域の伝統・文化、在来知、風土、その時代時代の魂を入れて、注ぎ込んでいる時に地域の文化は受け継がれる。

地域に暮らすということ

失ってはならない日本人のこころの原点・文明の基盤

自然と向き合い、死と向き合っている人々のすごさ



↑
被災者への賞賛

家族の集まり

つくる暮らし

持続可能な暮らし

生活を持続させる算段と覚悟
自分の代で何が出来るか

“恩送り”

地域を生きる人々のこころとは何なのか？

図 1-2-14 地域に暮らすということ

出典：新妻弘明「八幡平沸騰地熱塾」講演資料、2022年

