

事例 22 大分県の地熱利用（大分県九重町、別府市）

概要

大分県玖珠郡久重町（このえまち）の八丁原（はっちょうばる）発電所には、わが国最大の地熱発電所（1号機と2号機）とともに、地熱バイナリー発電設備がある。地熱バイナリー発電とは、沸点の低い媒体を熱交換で加熱・蒸発させ、その媒体蒸気で発電させる方式の発電である。従来の地熱発電方式では利用できなかった低温度域の蒸気・熱水での発電が可能となる。

また、別府市では、杉乃井ホテルが地熱発電を行っているほか、地熱による冷暖房、温泉給湯プール、植物の温室栽培、料理などに温泉熱を利用している。

テーマ	地熱発電、地熱利用
主体・キーパーソン	九州電力、別府市、杉乃井ホテル
手法・技術	地熱発電、バイナリー地熱発電、地獄蒸し

背景

日本では現在 18 個所で地熱発電が行われており、その設備容量の総計は 50 万キロワットを超えている。これは世界で 5 位にあたる。

日本の地熱発電所



出典：地熱エンジニアリング(株) HP

火山も多く、地熱開発の技術水準も高い日本で地熱発電がそれほど盛んでないのは、候補地となりうる場所の多くが国立公園や国定公園に指定されていたり、温泉観光地となっていたりするため、景観を損なう発電所建設に理解を得にくいことも一因となっているという。

「プランB」の著者レスター・ブラウン氏が、「日本はなぜもっと地熱を使わないのか。日本には1万カ所も温泉があり、日本の必要量の半分賄える」と指摘しているように、二酸化炭素を排出しない地熱発電や地熱の利用の重要性はもっと再認識される必要がある。

千葉大学の千葉大学倉阪研究室とNPO 法人環境エネルギー政策研究所が行っている「永続地帯」の研究によると、再生可能エネルギーによる電力と熱の自給率が最も高い都道府県は大分県であり、市町村別で最も再生可能エネルギーによる電力自給率が高いのは大分県九重町となっている。いずれも地熱発電・地熱利用の貢献が大きい。

そこで、ここでは大分県九重町にある日本最大の地熱発電所である八丁原発電所と、日本有数の温泉地別府市の杉乃井ホテルにある杉乃井地熱発電所などについてレポートする。

取り組みの内容

1. 八丁原発電所

九州電力八丁原発電所は、わが国最大の地熱発電所で昭和52年6月に1号機が、平成2年6月には、2号機が完成した。九州では、大岳発電所（出力12,500kW、昭和42年8月完成）について2番目、全国では5番目の完成となる。

発電所の運転や計器の監視は、約2キロメートルはなれた大岳発電所から行っている。

発電所の概要

		大岳発電所	八丁原1号機	八丁原2号機
運転開始年		昭和42年8月	昭和52年6月	平成2年6月
出力		12,500kW	55,000kW	55,000kW
タービン	型式	単気筒衝動型復水タービン	単気筒複流衝動-反動型混圧復水タービン	
	蒸気圧力	0.24MPa	0.49MPa	0.59MPa
	蒸気温度	136℃	158.1℃	164.2℃
気水分離器		縦型円筒サイクロンセパレータ		
フラッシュャー		-	横置ドラム型遠心分離レイ式	
冷却塔		機械通風式向流両吸込型		

(出典: 九州電力 HP)

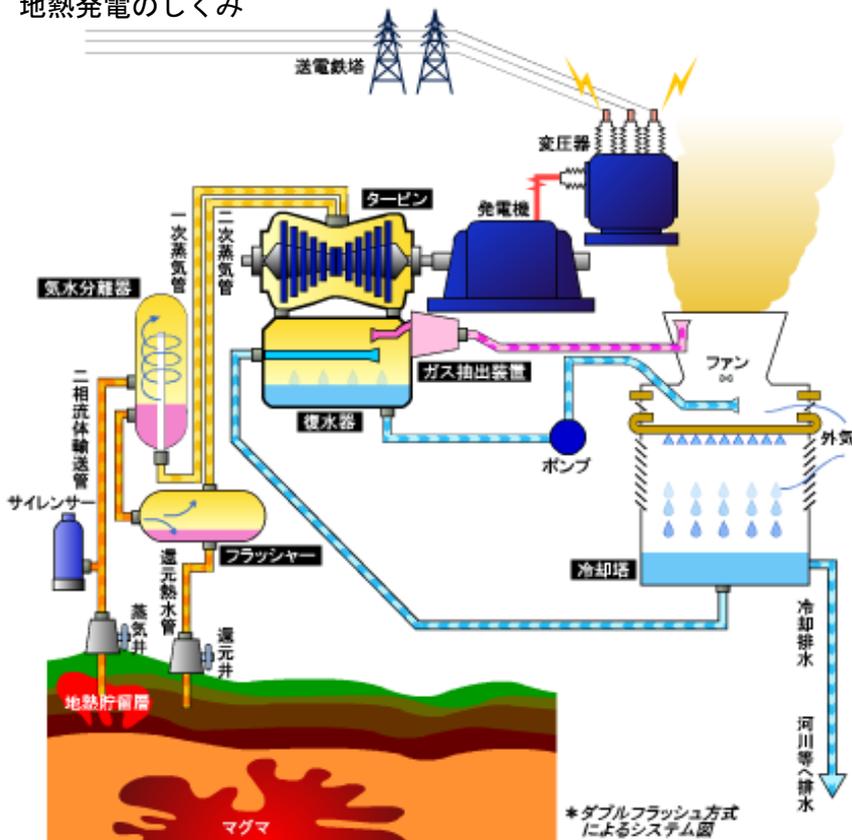


八丁原地熱発電所全景

(出典: 九州電力の地熱発電所パンフレット)

八丁原発電所は、地熱発電所として国内最大の 110,00kW の出力を誇っている。地下のマグマによって熱せられた蒸気や熱水の貯まった地熱貯留層に蒸気井を掘り、蒸気と熱を混合状態のまま二層流体輸送管で発電機近くの「気水分離器」に導く。

地熱発電のしくみ



出典: 日本地熱学会「日本の地熱エネルギー」 HP

導かれた混合流体は気水分離器で1次（高圧）蒸気と熱水に分離され、熱水はさらに「フラッシャー」で減圧膨張され2次（低圧）蒸気を発生させる。このようにして取り出された1次蒸気と2次蒸気でタービン・発電機を駆動して発電する方式をダブルフラッシュ方式と呼ぶ。

この方式は九州電力と三菱重工が共同で世界に先がけ開発・実用化したもので、昭和55年度機械振興協会賞を受賞している。

二層流体輸送方式は、蒸気と熱水を同一配管で輸送できるため、配管がコンパクト化でき、建設費の削減がはかられる。

ダブルフラッシュ方式は、蒸気井からの蒸気のみを使用するシングルフラッシュ方式に比べ、発生電力が約20%増加するので、熱の有効利用がはかられ、蒸気井が少なく済み、還元熱水量も減少する。

八丁原発電所は、阿蘇くじゅう国立公園特別地域の一面にあり、九重連山のふところにいだかれ自然に恵まれた標高約1,100メートルの地にある。約30本の蒸気井があり、それぞれ深さが違うが、浅いもので760メートル、最も深いものでは3,000メートルある。各々の蒸気井から出る蒸気は、地下の状態、深度、井戸の大きさに変わるが、発電所全体としては毎時890トン。年間の発電電力量は約8億7千万キロワット時で、ほぼ20万キロリットの石油に相当する。



気水分離機



フラッシャー



冷却塔



変圧器

2. 八丁原地熱バイナリー発電設備

八丁原発所構内に地熱バイナリー発電方式を採用した八丁原バイナリー発電設備がある。イスラエルのオーマット社製の設備で出力は 2,000 キロワット。沸点が低いペントンを媒体として利用し、比較的低温の蒸気や熱水を利用して発電を行っている。

このバイナリー発電設備で使われるのは、沸点 36℃ の炭化水素系物質「ペンタン」。地下から取り出した蒸気と熱水で加熱し、気化した高圧のペンタンでタービンを回して発電する。水に比べ沸点が低い物質をタービンの作動媒体にするため、比較的低温の蒸気と熱水で高い圧力が得られ発電効率が高くなる。

地熱発電では井戸が古くなると発電に使える高圧の蒸気が減少し、新たに井戸を発掘する必要がある。バイナリー発電では古い井戸から出る圧力の低い熱水あるいは蒸気を使って低沸点媒体の高圧蒸気を作り、これでタービンを回すことができる。井戸の掘削費は1本当たり5～7億円するため、コスト低減効果も大きい。本発電設備は2003年末に完成した。



八丁原地熱バイナリー発電設備

(出典: 新エネルギー財団 HP)

3. 杉乃井地熱発電所

日本一の湧出量を誇る湯どころ大分県別府市。その別府温泉最大の宿泊施設が「杉乃井ホテル」が所有しているのが杉乃井地熱発電所である。

杉乃井ホテルの地熱利用の経緯は、大気中に放出している蒸気、熱水の有効利用として、昭和 40 年代初めに熱交換による給湯を開始したのが最初。続いて 40 年代後半に暖房、50 年代初めにホテル内の冷房を重油から地熱利用に切り替えることに成功し、昭和 54 年 3,000kW の地熱発電所の建設に着手し、55 年 11 月にわが国のホテル業界として初めて本格的な地熱発電所として運転を開始した。

当発電所で発電した電力はホテルの照明、冷暖房、エレベーター、エスカレーター、厨房、娯楽施設、その他の設備に使われている。

常時、電力会社と並列運転をしており、地熱発電がホテル内使用電力より多くなる深夜などは電力会社に売電し、不足する昼間から夕方にかけては電力会社から受電する。

当初 3,000kW の発電ができていた頃には、年間を通すとホテル内の使用量を発電量が上回っていたこともあったが、現在は地下 400 メートルの 6 本の蒸気井の温度も 135℃まで下がり、出力は 1,900kW にまで下がり、ホテル需要の 3 割～7 割程度をまかなうだけになってきているという。



発電設備



監視制御装置



蒸気井から蒸気と熱水が気水分離器へ



シャーリング（階段式冷却器）



杉乃井発電所全景



杉乃井ホテル

地熱発電は、国産の資源の有効利用であり、燃料をまったく使わず、二酸化炭素も出さないクリーンなエネルギーで、運転操作が簡単で、稼働率が高く、発電原価も安いという特長がある。しかし一方、蒸気中に含まれる腐食ガスのために機器類が腐食して寿命が短い。蒸気井にはスケールがたまりやすく、掃除や掘り替えを要する。

4. 地獄蒸し工房 鉄輪（かんなわ）

2010年3月、別府市鉄輪地区に伝わる地獄蒸し料理を気軽に体験できる施設「地獄蒸し工房鉄輪」が同地区内に完成した。

同施設は、市が国の「鉄輪温泉地区まちづくり交付金事業」（2005～09年度）を活用し、まちおこしセンターとして最後に整備した。木造2階建てで延べ床面積は約320平方メートル。総事業費は約2億8千万円。

目玉の地獄蒸し釜は、15基を設置。好きな食材を持ち込み、噴き上がる高温の温泉蒸気を利用して調理することができる。基本使用料（30分以内）は500円。追加料金で延長も可能。



「地獄蒸し工房 鉄輪」の整備イメージ



地獄蒸しの実演

（出典：oita-press HP）

1階にはほかに食堂スペースや観光案内所、鉄輪の資料展示コーナーなどがある。2階は休憩所や会議室として利用できる。屋外には約100度の源泉を冷やす冷却装置のモニュメントや飲泉場も。車いすでも利用できる足湯や、足蒸し湯を設置したポケットパークも隣に整備した。施設の入館や足湯、足蒸し湯の利用は無料である。

成果と成功要因

大分県は、再生可能エネルギー供給量と自給率が全国1位で、供給密度は全国2位と、再生可能エネルギーの開発・利用が進んでいる。そのうち地熱発電が約54%、地熱利用が約18%、小水力発電が約17%を占めている。エネルギー種別では、地熱発電と地熱利用の供給量とともに全国1位、バイオマス発電供給量が全国5位である。

地熱資源の豊富さもさることながら、九州電力や杉乃井ホテルなど民間の積極的な地熱発電に関する技術開発や先駆的な導入意欲が成果に結びついている。

地熱発電は温泉地との競合が問題となるが、沸点の低いペンタンやアンモニアなどの物質を気化させ、それでタービンを回して発電する地熱バイナリー発電は50～60度以上の湯があれば発電できる。「2系統」の流れを使うのが名前の由来。温泉発電とも呼ばれる。現在はイスラエルなど海外製では設備の維持管理にコストがかかる。国内メーカーや国の支援があれば、温泉地などでの開発余地は大きいとされている。地熱バイナリー発電で原発8基分、通常地熱発電を合わせると原発12基分以上の開発余地が国内にあるとの試算もある。官民あげての導入推進が期待される。

また、発電でなくても、温泉地の地熱の利用は積極的に進められるべきであり、「地獄蒸し」という調理への利用は、熱の有効利用ということでは実用もさることながら啓発的な意味も大きい。地中熱ヒートポンプをはじめ、熱エネルギーのカスケード利用は、省エネルギーや低炭素化に大きな効果を発揮することが期待される。