

GUIDE  
OF  
GEOTHERMAL  
POWER  
PLANT

九電みらいエナジীর  
地熱発電所



2023, 9

八丁原発電所	／	110,000kW
大岳発電所	／	14,500kW
山川発電所	／	30,000kW
大霧発電所	／	30,000kW
滝上発電所	／	27,500kW
八丁原バイナリー発電所	／	2,000kW
菅原バイナリー発電所	／	5,000kW
山川バイナリー発電所	／	4,990kW

# 900kW

## 九電グループにおける地熱発電の歴史

九電グループにおける地熱開発の歴史は、九州電力が昭和24年から大岳・八丁原地域の開発、研究に着手したのが始まりで、その後幾多の困難を乗り越え、国内で最初の熱水型シングルフラッシュ方式の地熱発電所として、大岳発電所（12,500kW）が昭和42年8月、営業運転を開始しました。

さらに、大岳の実績を踏まえ、世界初の二相流体輸送方式、ダブルフラッシュ方式の地熱発電所として、八丁原発電所1号機（55,000kW）が昭和52年6月に、同2号機（55,000kW）が平成2年6月に営業運転を開始し、合計出力110,000kWを誇る世界有数の地熱発電所となりました。

平成7年3月には山川発電所、平成8年3月には大霧発電所、同年11月には滝上発電所が営業運転を開始しました。

その後は、平成15年度から平成17年度に八丁原発電所構内に2,000kWのバイナリー発電設備を設置し、実証試験を経て、平成18年4月から八丁原バイナリー発電所として営業運転を開始。

平成22年6月には、滝上発電所の定格出力を27,500kWに変更。

令和2年10月には、大岳発電所の設備を更新し、定格出力を14,500kWに増加し、九州電力の地熱発電設備は、214,000kWとなりました。

一方、九電みらいエナジーでは、従来の地熱発電方式で利用することができない低温の地熱資源を有効活用した国内最大級のバイナリー発電方式の地熱発電所として、平成27年6月に菅原バイナリー発電所(5,000kW)、平成30年2月に山川バイナリー発電所(4,990kW)の営業運転を開始しました。

そして、令和6年4月、九電グループの再生可能エネルギー事業の統合により、九電みらいエナジーが九州電力の地熱事業を承継しました。

九電グループは、国産エネルギーの有効活用や2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、地熱発電の開発と導入を推進しています。

# 地熱発電とは

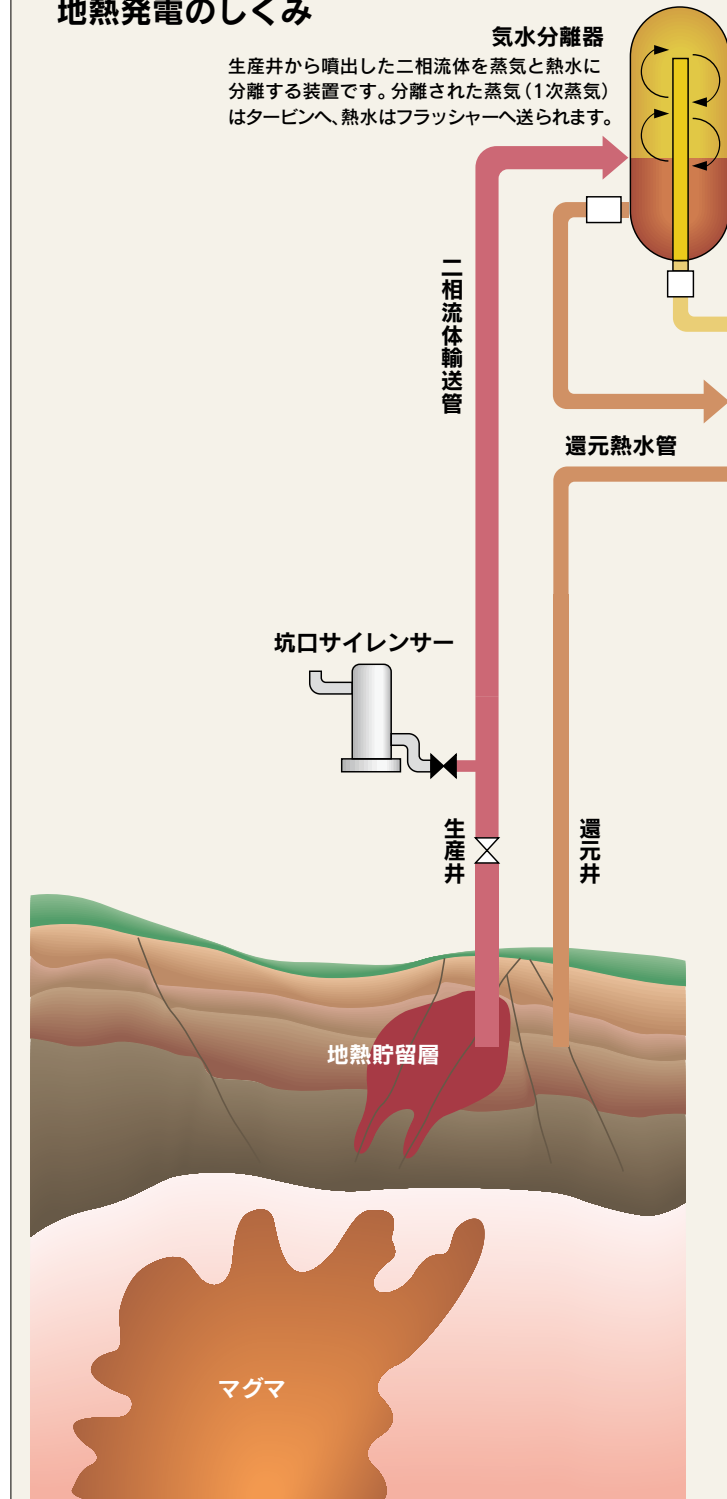
地熱発電とは、地中深くから取り出した蒸気で直接タービンを回し発電するものです。火力発電所では石炭、石油、LNGなどの燃焼による熱で蒸気を発生させるのに対し、地熱発電では地球がボイラーの役目を果たしているといえます。

一般に地球は、地中深くなるにつれて温度は上がり、深さ30～50kmで1,000℃程度と考えられており、一つの大きな熱の貯蔵庫といえます。

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、まず不可能です。

ただ、火山や天然の噴気孔、硫気孔、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り、この熱が地中に浸透した天水などを加熱し地熱貯留層を形成することがあります。このような地点において、地球内部の熱を直接エネルギー源として利用するのが地熱発電です。

## 地熱発電のしくみ



### ■地熱発電の特徴

- 純国産エネルギーの有効利用ができること
- 燃料が不要であること
- 半永久的に安定して利用できる再生可能エネルギーであること
- クリーンエネルギーであり、CO<sub>2</sub>排出抑制効果が高いこと
- 天候・昼夜を問わずに安定した発電が可能なこと

しかし

- 大容量の発電所ができにくいこと
- 自然の景観に恵まれた場所が多いため周辺環境との調和をはかること などに留意する必要があります。



八丁原発電所

## 地熱発電のあゆみ

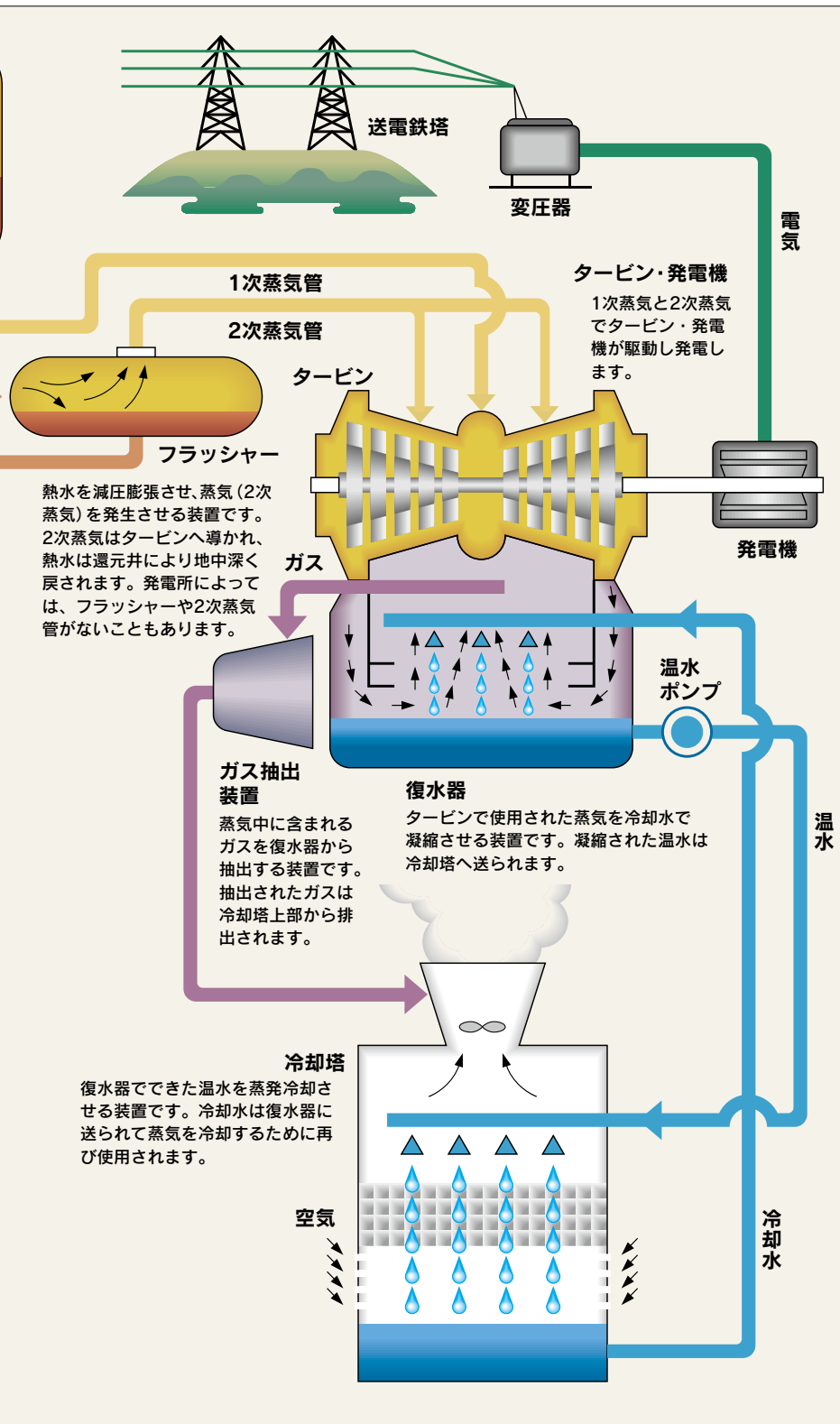
- 明治37年 (1904) イタリア・ラルデレロで、天然蒸気を利用した3/4馬力の発電に成功。(世界初の地熱利用発電)
- 大正2年 (1913) ラルデレロで250kWの地熱発電を行う。(世界初の地熱発電所)
- 大正8年 海軍中将山内万寿治、別府で噴気井の掘削に成功。
- 大正14年 太刀川平治博士、別府で1.12kWの発電に成功。(日本初の地熱利用発電)
- 昭和2年 太刀川博士、大分県大岳に噴気井を掘削。
- 昭和24年 九州配電(現九州電力)、大分県下の地熱地帯の調査・研究に着手。
- 昭和26年 九州電力が工業技術院と協力し別府で30kWの試験発電を行う。
- 昭和28年 九州電力、大岳地区で開発調査開始。
- 昭和33年 (1958) ニュージランド・ワイラケイで6,500kW発電所運転開始。  
(世界初の熱水分離型地熱発電)
- 昭和35年 (1960) 米国カリフォルニアのガイザース1号機(11,000kW)運転開始。
- 昭和41年 岩手県松川発電所(23,500kW)運転開始。  
(日本初の本格的な地熱発電開始)
- 昭和42年 九州電力大岳発電所(12,500kW)運転開始。(電力会社初の地熱発電)
- 昭和52年 八丁原1号機(55,000kW)運転開始。
- 平成2年 八丁原2号機(55,000kW)運転開始。
- 平成7年 山川発電所(30,000kW)運転開始。
- 平成8年 大霧発電所(30,000kW)運転開始。
- 平成18年 滝上発電所(25,000kW)運転開始。
- 平成18年 八丁原バイナリー発電所(2,000kW)運転開始。
- 平成22年 滝上発電所 定格出力変更。(25,000kW → 27,500kW)
- 令和2年 大岳発電所 発電設備更新。(12,500kW → 14,500kW)
- 令和6年 再エネ事業統合  
(九州電力→九電みらいエナジー)



大岳発電所



八丁原バイナリー発電所



大岳、八丁原発電所では地熱資源調査・開発から発電所建設・運営までを合理的かつ弾力的に行う一貫開発を行っています。また、大霧、滝上発電所では地熱開発事業者が蒸気の生産供給を行い、当社がその蒸気を購入し発電を行う共同開発を実施しています。一方、山川発電所では、当初、大霧・滝上発電所と同様に共同開発でスタートしましたが、平成17年2月から、蒸気設備を引き継ぎ、地下から地上まで全てを一貫して運営しています。

# 発電方式



蒸気井



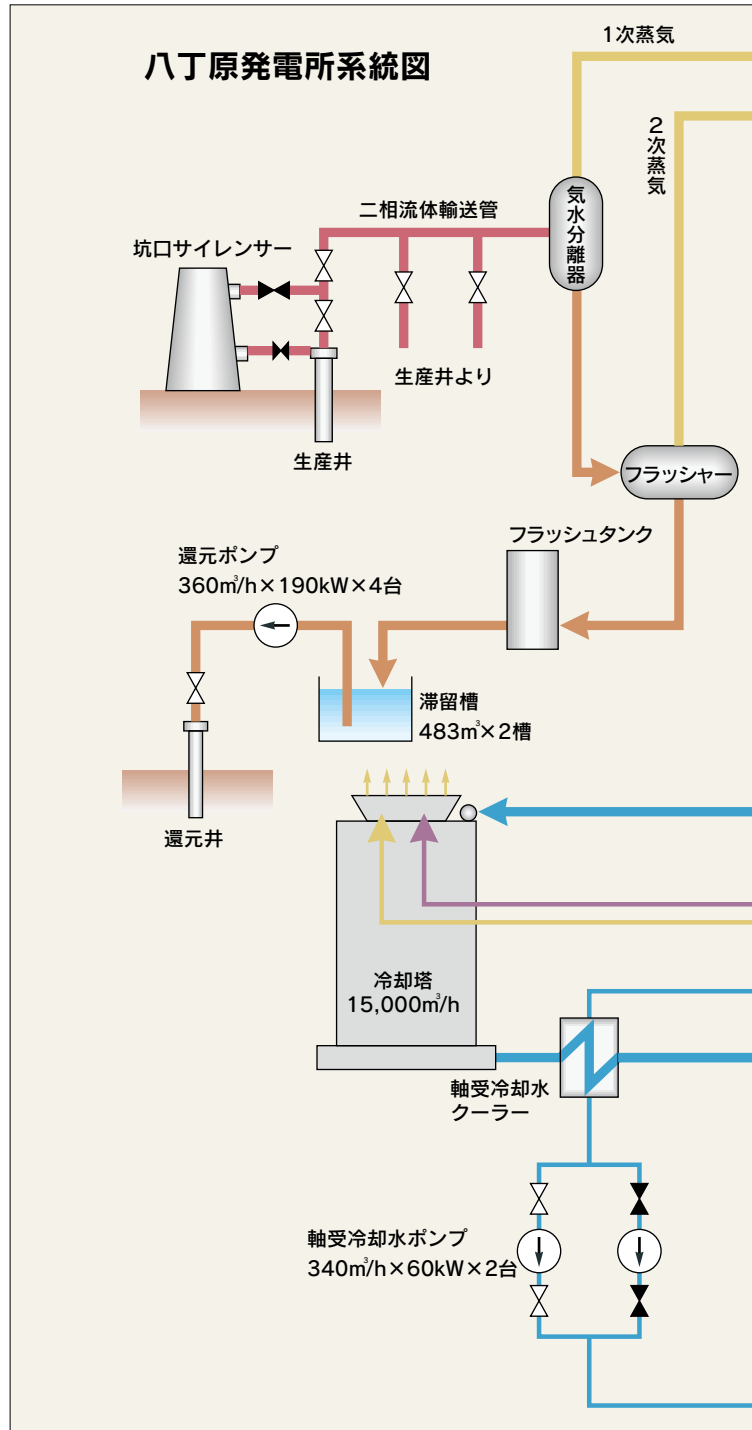
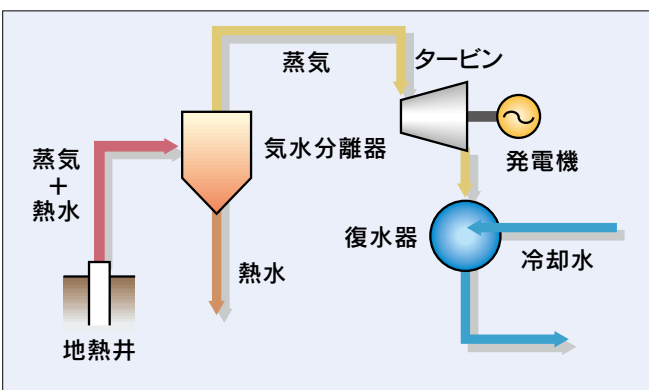
坑口サイレンサー  
蒸気タービン停止時などに、生産井から噴出する蒸気を大気へ放出する際の騒音を低減する設備。

生産井から地上に取り出された地熱エネルギーを発電に利用する場合、地下から得られる地熱流体の性状（圧力、温度、熱水量など）により、いくつかの方式が使われています。

## (1) シングルフラッシュ方式

地熱流体が蒸気と熱水の混合物である場合、地熱流体を気水分離器に導き、蒸気と熱水を分離し、分離した蒸気でタービンを回します。

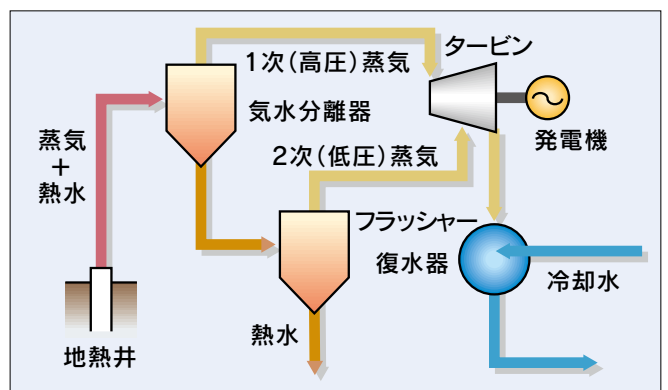
この方式は、山川、大霧、滝上発電所で採用されています。

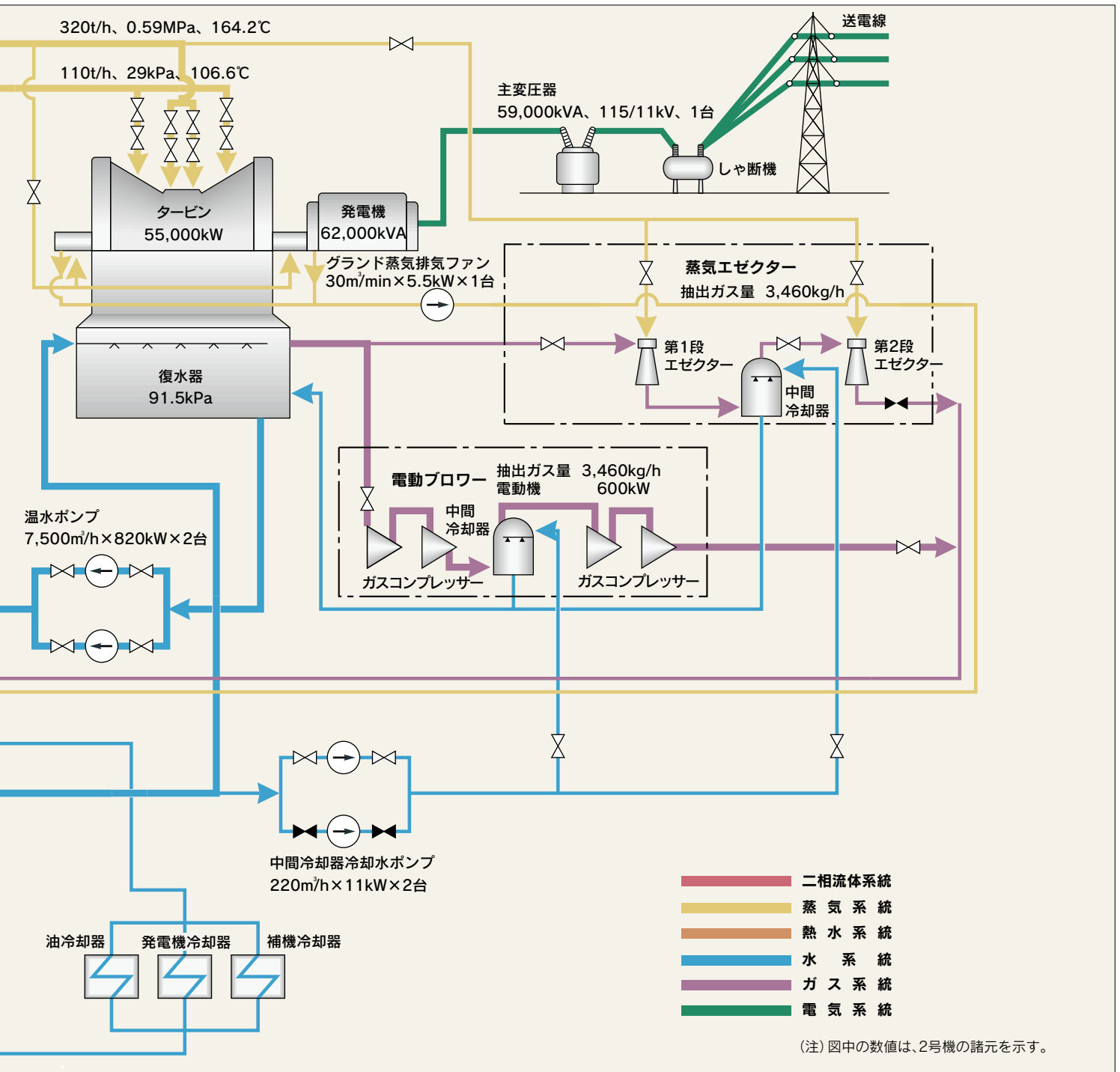


## (2) ダブルフラッシュ方式

シングルフラッシュで分離した熱水の温度が高い場合に、採用される方式で、シングルフラッシュに比べ設備費は増加しますが、出力が15~25%増加します。

この方式は、八丁原、大岳発電所で採用されています。

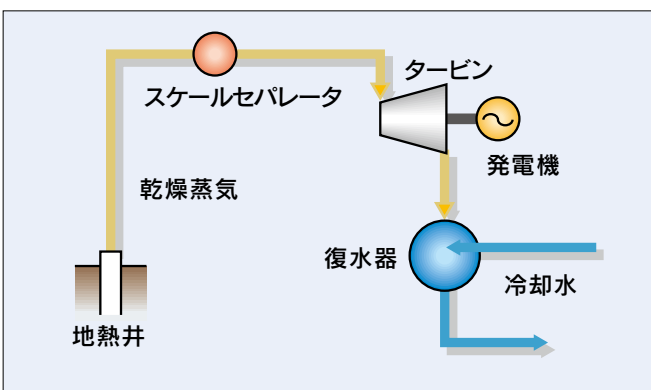




### (3) ドライスチーム方式

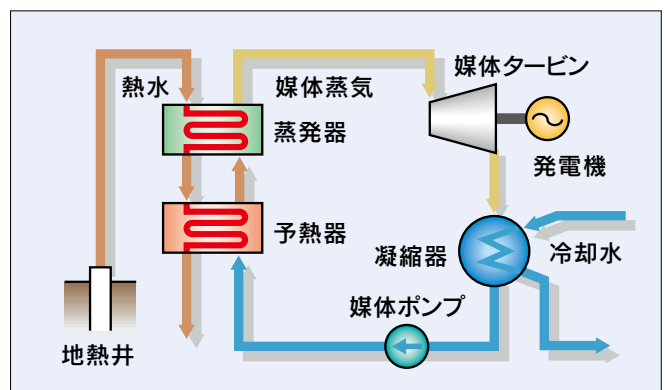
天然の乾燥蒸気で直接タービンを回し電力を発生させる方式です。

この方式は、イタリアのラルデレロ、アメリカのガイザース、日本の松川発電所などで採用されています。



### (4) バイナリーサイクル方式

地熱流体の温度が低く十分な蒸気が得られないときなど、地熱流体で沸点の低い媒体を加熱し、媒体蒸気でタービンを回す方式です。この方式は、八丁原バイナリー発電所、菅原バイナリー発電所、山川バイナリー発電所で採用されています。





八丁原発電所は、地熱発電所として国内最大110,000kWの認可出力です。

八丁原発電所では、二相流体輸送方式を用い生産井から噴出した蒸気と熱水を混合状態のまま発電設備の近くに設置した気水分離器に導きます。

導かれた混合流体はここで1次(高圧)蒸気と熱水に分離され、熱水はさらにフラッシュで減圧膨張され2次(低圧)蒸気を発生させます。

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びます。

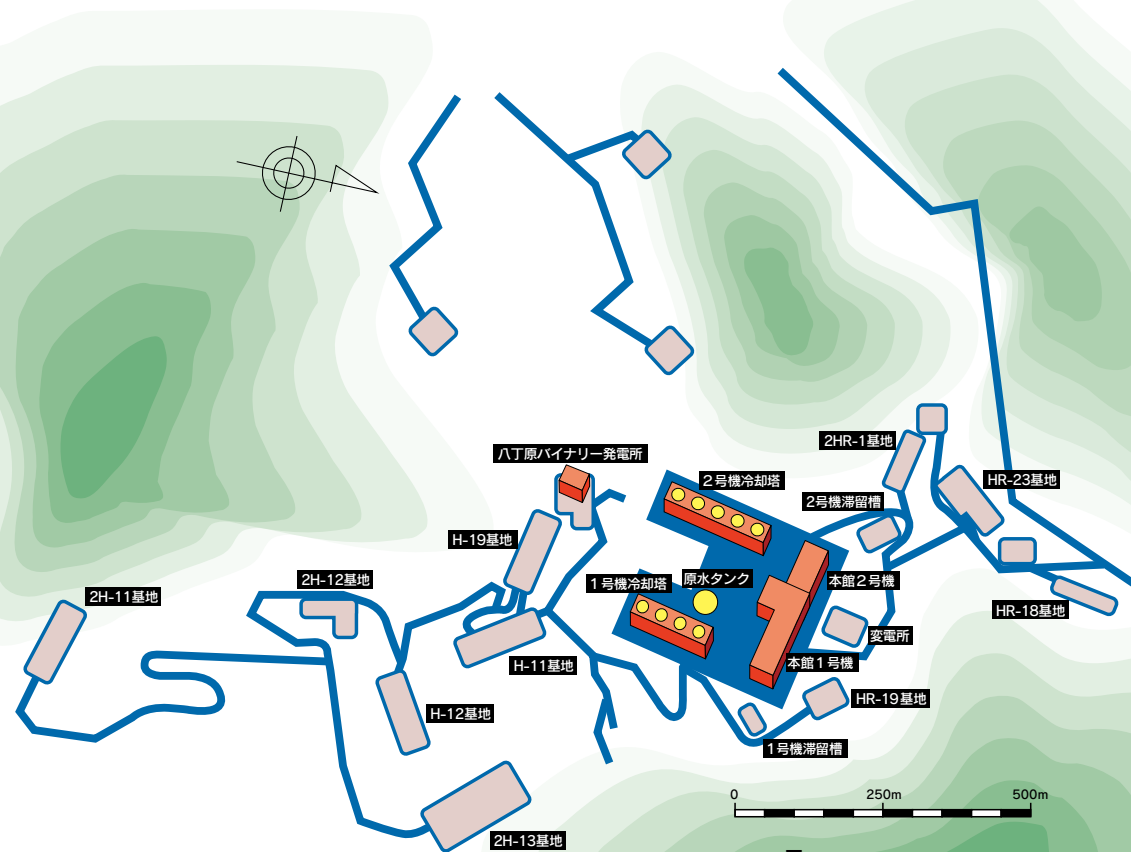
本方式は三菱重工株式会社と共同で世界に先がけ開発・実用化したもので、昭和55年度機械振興協会賞を受賞しました。

八丁原発電所は、約2km離れた大岳発電所からテレコン装置、データロガーなどを用いて、発電機出力・タービン回転数及び復水器真空度など、運転状況の監視、制御を行い無人化しています。

# 八丁原 発電所

## 開発経緯

昭和39~41年	大岳~八丁原間で調査井2本を掘削
昭和43年	蒸気井掘削開始
昭和48年7月	八丁原1号機電調審通過
昭和50年7月	八丁原1号機着工
昭和52年6月	八丁原1号機営業運転開始
昭和55年7月	八丁原2号機調査申入れ
昭和56年12月	八丁原2号機調査井掘削開始
昭和61年12月	八丁原2号機電調審通過
昭和62年12月	八丁原2号機着工
平成 2年6月	八丁原2号機営業運転開始
平成18年4月	八丁原ハイナリー発電所営業運転開始
令和6年4月	再エネ事業統合 (九州電力→九電みらいエナジー)





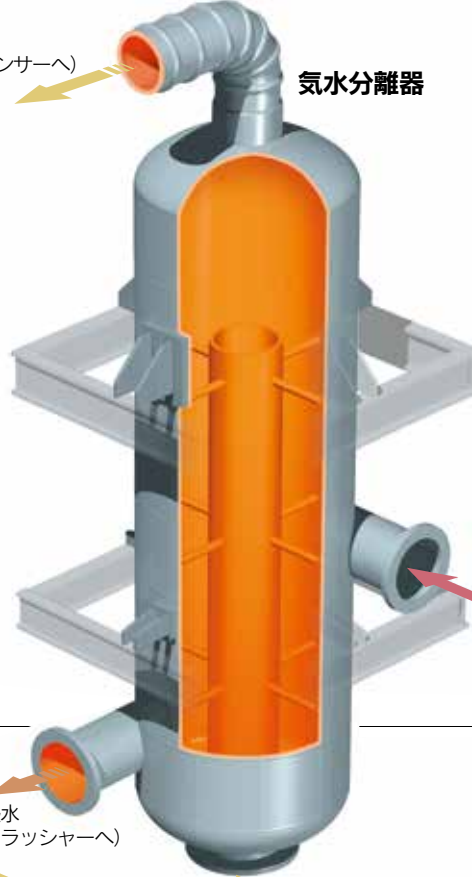
## ■特徴

●ダブルフラッシュ方式は生産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、熱の有効利用をはかることができます。また、生産井が少なくてすみ、還元熱水量が減少します。

●二相流体輸送方式は、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ます。

(サイレンサーへ)

気水分離器



二相流体輸送管

## ●気水分離器設備概要

	1号機	2号機
型式	型サイクロン式(ボトムアウトレット)	
容量	分離蒸気量	206.5t/h
	分離熱水量	455t/h
個数	2基	2基

二相流体  
(生産井から)

2次蒸気  
(タービンへ)

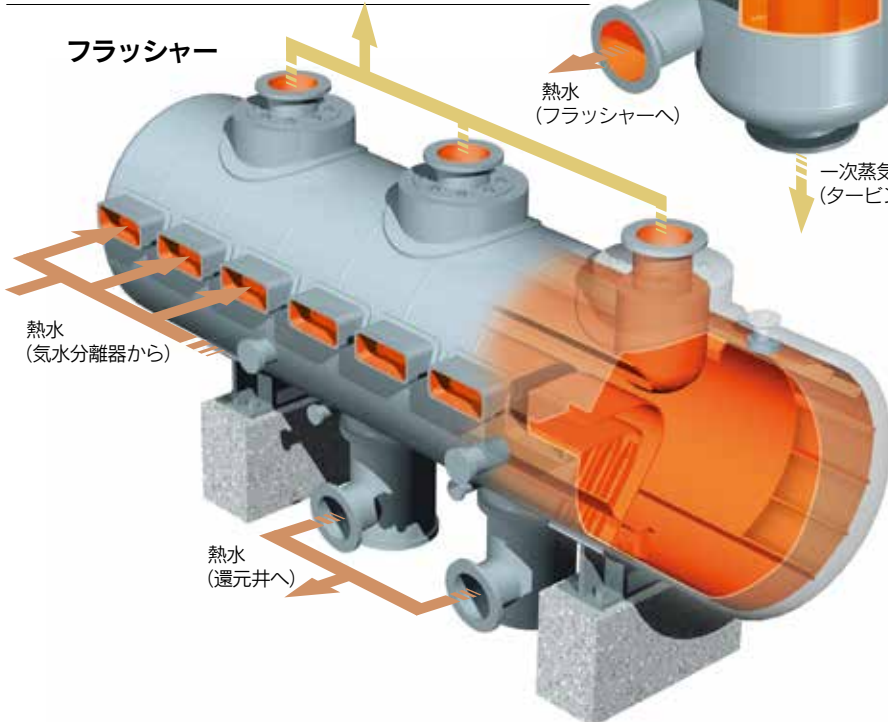
フラッシャー

熱水  
(フラッシャーへ)

一次蒸気  
(タービンへ)

熱水  
(気水分離器から)

熱水  
(還元井へ)



気水分離器



フラッシャー

## ●フラッシャー設備概要

	1号機	2号機
型式	横置ドラム型遠心分離トレイ式	
容量	分離蒸気量	107t/h
	分離熱水量	803t/h
個数	1基	1基

## ●大岳・八丁原発電所設備概要

(2021年11月現在)

	大岳発電所	八丁原1号機	八丁原2号機
所在地	大分県玖珠郡九重町大字湯坪字大嶽	大分県玖珠郡九重町大字湯坪字八丁原	
出力	14,500kW	55,000kW	55,000kW
営業運転開始年月日	2020年10月5日	昭和52年6月24日	平成2年6月22日
敷地面積	12,239m <sup>2</sup>	1,948,109m <sup>2</sup>	
タービン	蒸気圧力	0.239MPa/0.114Pa	0.49MPa/52kPa (5.0kg/cm <sup>2</sup> / 0.53kg/cm <sup>2</sup> )
	蒸気温度	136.8℃/121℃	158.1℃ / 111.4℃
	蒸気流量	77,700kg/h/61,812kg/h	約372t/h / 約91t/h
発電機	型式	単流衝動-反動型混気復水タービン	単気筒複流衝動-反動型混圧復水タービン
	容量	16,112kVA	62,000kVA
	圧力	6,600V	11,000V
冷却塔	型式	横置円筒回転界磁形	横置円筒回転界磁形 (水素冷却)
	セル数	2セル	4セル
	容量	5,050m <sup>3</sup> /h	13,140m <sup>3</sup> /h
復水器	型式	強制通風吸込式 向流型	機械通風式 向流両吸込型
	真空度	10kPa abs (685mmHg)	91.6kPa (687mmHg)
ガス復水器	型式	ジェットコンテナ (直接接触式復水器)	台座一体ジェット式 (直接接触式)
	容量	959kg/h	2,320kg/h
抽出器	種類	エゼクター + 真空ポンプ	
	容量	坑井毎に異なる	413t/h (処理蒸気量計)
蒸気設備	個数	4基	2基
	型式	縦型円筒サイクロンセパレータ	



# 山川発電所

YAMAGAWA



# 大霧発電所

OGIRI



# 滝上発電所

TAKIGAMI



●開発経緯

昭和52年	石油資源開発(株)が地熱資源の調査を開始
昭和63年10月	九州電力(株)と石油資源開発(株)が地熱発電事業に関する基本協定を締結
昭和63年12月	石油資源開発(株)が九州地熱(株)を設立、同社が地熱開発事業を引き継ぐ
平成 4年12月	電源開発調整審議会通過
平成 5年 9月	着工
平成 7年 3月	営業運転開始
平成17年 2月	蒸気生産設備を九州電力(株)が引き継ぐ
令和 6年 4月	再エネ事業統合 (九州電力→九電みらいエナジー)

山川発電所は、周囲を畑地に囲まれた平坦地に位置しており、山間地に多い国内の地熱発電所の中では特色のある発電所となっています。

山川は貯留層温度が高く、タービン入口圧力を0.98MPaと高くしています。

●開発経緯

昭和48年	日鉄鉱業(株)が地熱資源の調査を開始
昭和54年	新日本製鐵(株)が地熱開発事業に参入
平成元年 7月	九州電力(株)と新日本製鐵(株)及び日鉄鉱業(株)が基本協定を締結
平成 2年 2月	新日本製鐵(株)と日鉄鉱業(株)が共同出資をして日鉄鹿兒島地熱(株)を設立、同社が地熱開発事業を引き継ぐ
平成 5年12月	電源開発調整審議会通過
平成 6年11月	着工
平成 8年 3月	営業運転開始
平成25年 4月	日鉄鉱業(株)が日鉄鹿兒島地熱(株)の事業を引き継ぐ(吸収合併)
令和 6年 4月	再エネ事業統合 (九州電力→九電みらいエナジー)

大霧発電所は、霧島連山の西部に位置し、北東から西南へ下る緩斜面に坑井基地を配したレイアウトをとっています。

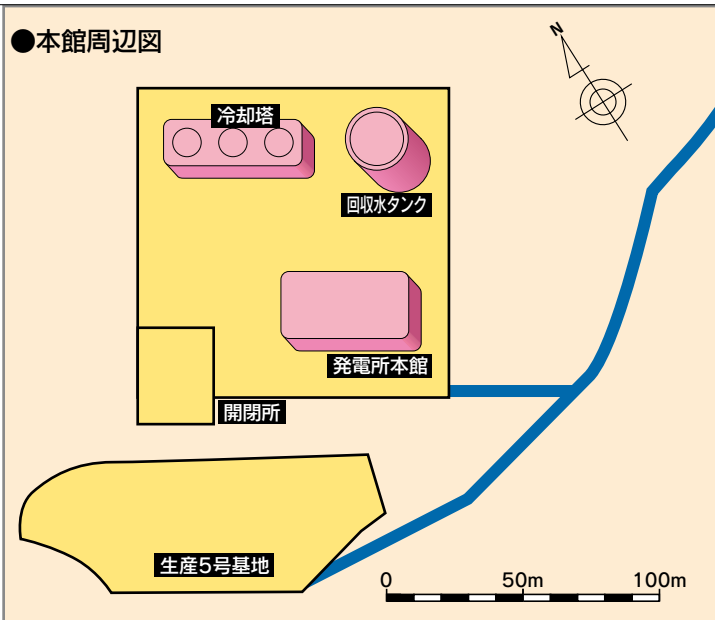
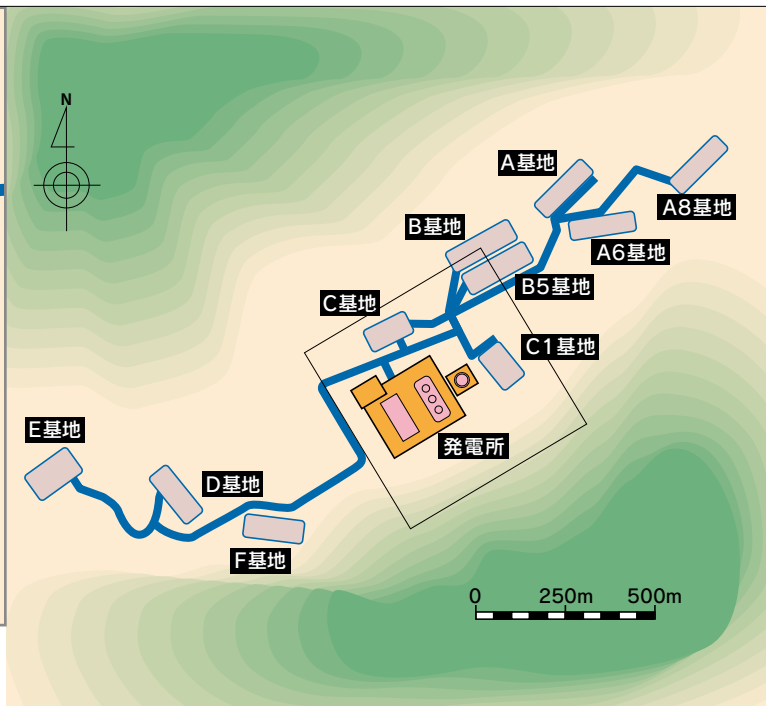
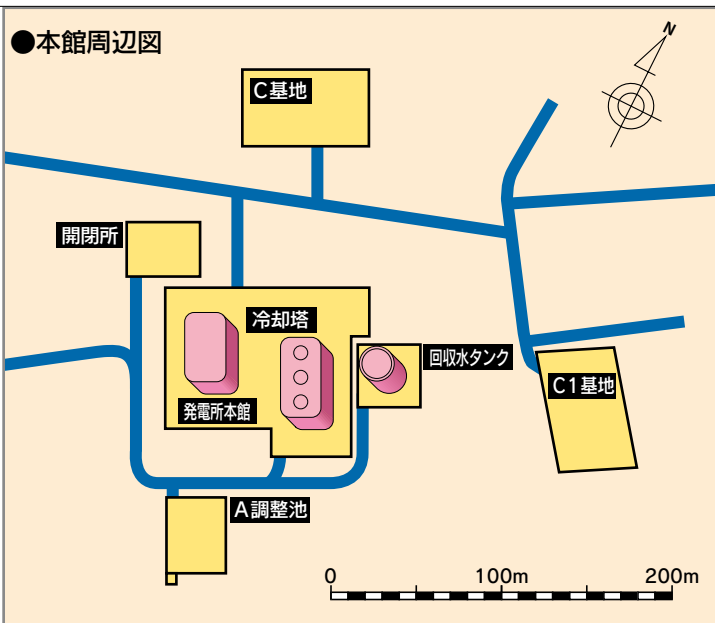
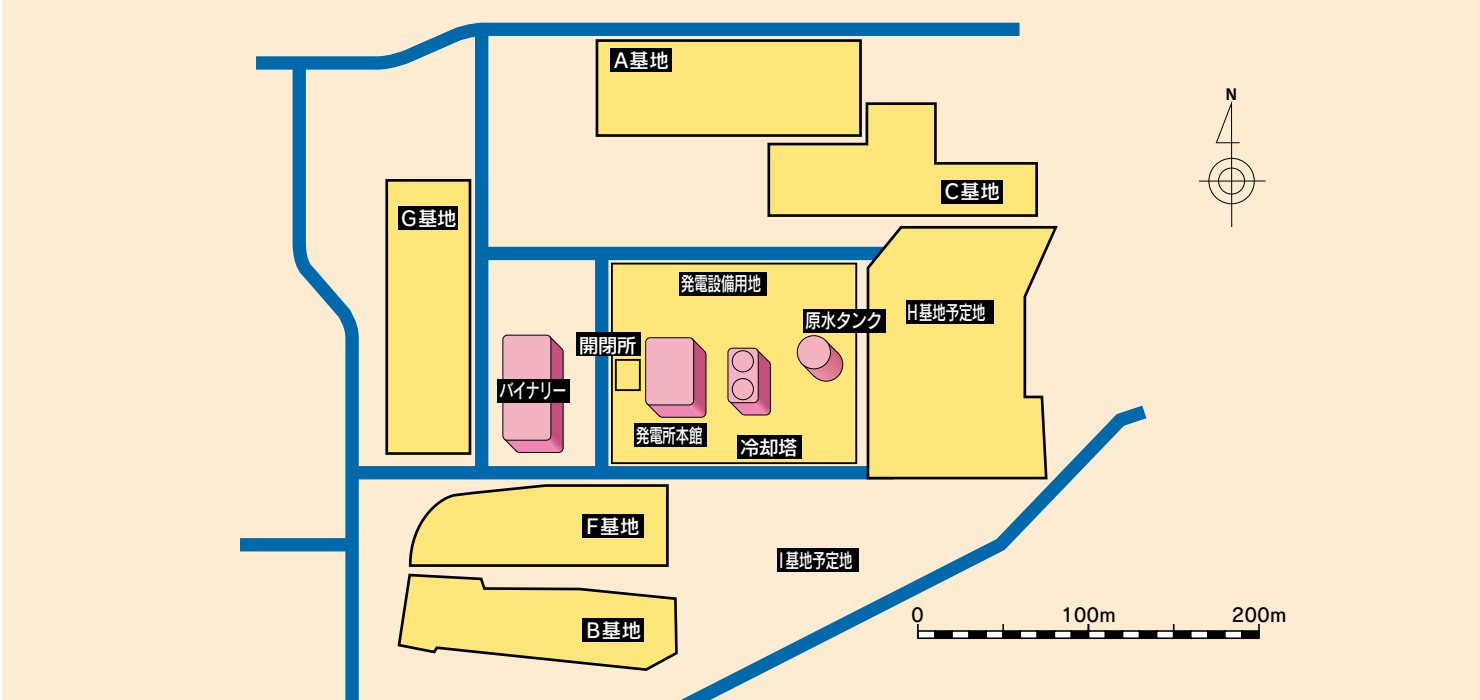
周囲は牧草と森林で、発電所構内は植栽を行うとともに、建物の色彩を環境と調和するように茶とクリーム色で統一しています。

●開発経緯

昭和54年	出光地熱開発(株)が地熱資源の調査を開始
平成 3年 8月	九州電力(株)と出光地熱開発(株)が基本協定を締結
平成 5年10月	出光興産(株)が出光大分地熱(株)を設立、同社が地熱開発事業を引き継ぐ
平成 6年 7月	電源開発調整審議会通過
平成 7年 6月	着工
平成 8年11月	営業運転開始
平成22年 6月	定格出力変更 (25,000kW → 27,500kW)
令和 6年 4月	再エネ事業統合 (九州電力→九電みらいエナジー)

滝上発電所は九重連山の北側、標高700~800mの緩やかな傾斜をもつ丘陵地に位置しています。

生産井の基地は5か所あり、蒸気を各生産基地で熱水と分離し、発電所へ導いています。





復水器



蒸気輸送管

### 冷却塔

冷却塔は循環水の冷却の他に抽出ガスの排出拡散の機能を持ち、大気への風向風速の気象データなどを基に拡散状況を考慮した配置とするとともに、経済性を考慮し塔数を決定しています。



冷却塔

### 復水器

タービン建屋のコンパクト化を図るため、復水器は屋外設置としています。表面式に比べ冷却水量が少なく、不凝結ガスの影響を受けにくいスプレージェット式復水器を採用しています。

材質については、地熱特有である腐食性のガス及び蒸気凝縮水を考慮してステンレスのクラッド鋼板を使用しています。

## ●発電所設備概要

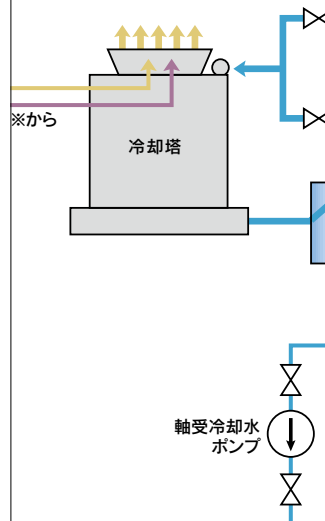
(平成28年8月現在)

		山川発電所	大霧発電所	滝上発電所
所在地		鹿児島県指宿市山川	鹿児島県霧島市牧園町及び始良郡湧水町	大分県玖珠郡九重町大字野上
出力		30,000kW	30,000kW	27,500kW
営業運転開始年月日		平成7年3月1日	平成8年3月1日	平成8年11月1日
敷地面積		157,800m <sup>2</sup>	297,600m <sup>2</sup>	418,400m <sup>2</sup>
蒸気供給会社 (テベロッパー)		九電みらいエネルギー(株)	日鉄鉱業(株)	出光大分地熱(株)
発電機	タービン	蒸気圧力 0.98MPa (10.0kg/cm <sup>2</sup> )	0.196MPa (2.0kg/cm <sup>2</sup> )	0.147MPa (1.5kg/cm <sup>2</sup> )
		蒸気温度 183.2℃	132.9℃	126.8℃
		蒸気流量 約225t/h	約290t/h	約260t/h
		型式 単気筒単流衝動一反動型復水タービン		
発電機	容量	34,000kVA	34,000kVA	28,000kVA
	電圧	11kV	11kV	11kV
冷却塔	型式	横置円筒回転界磁形 (空気冷却)		
	セル数	2セル	3セル	3セル
	容量	7,000m <sup>3</sup> /h	9,800m <sup>3</sup> /h	10,500m <sup>3</sup> /h
復水器	型式	機械通風式向流両吸込型		
	真空度	88.1kPa (661mmHg)	90.5kPa (679mmHg)	90.5kPa (679mmHg)
ガス抽出器	型式	スプレージェット式+トレイ式ガスクーラー (直接接触式)		
	容量	1,650kg/h	798kg/h	1,605kg/h
蒸気分離器	種類	1連2段エゼクター	エゼクター+真空ポンプ	
	容量	275t/h(処理蒸気量計)×2系列	440t/h(処理蒸気量計)	325t/h(処理蒸気量計)
水	個数	2基×2系列	4基	6基
	型式	縦型円筒サイクロンセパレータ		

## ●山川/大霧/滝上

生産井から

- 蒸気系統
- 熱水系統
- 水系統
- ガス系統
- 電気系統





タービン・発電機

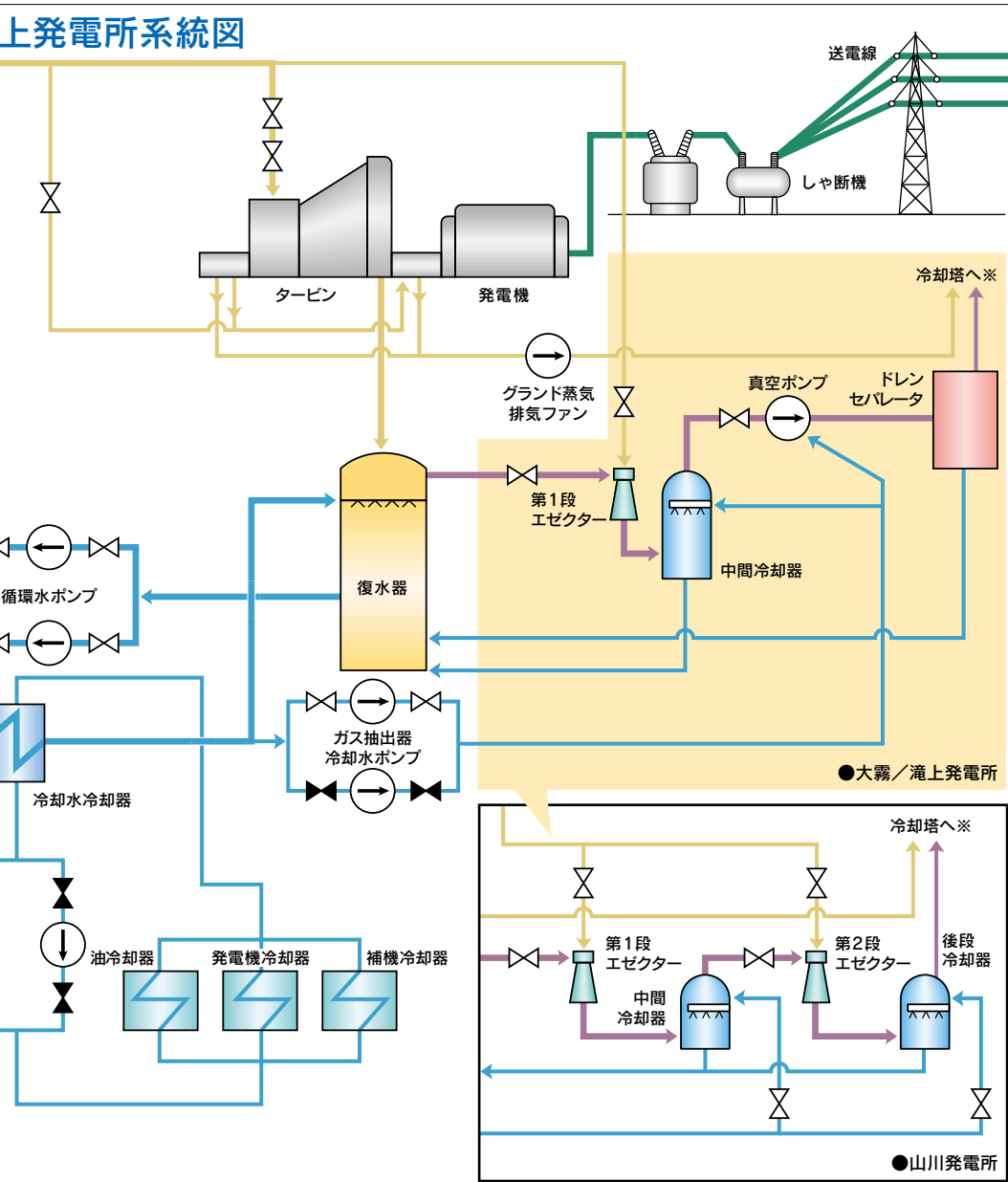
### 蒸気タービン

多数の実績を有する単気筒単流型モジュールタービンを採用しています。タービン排気を上向きとすることによりタービンを建屋1階床面に直接据え付け高床タービン台座を不要としています。

### 発電機

発電機は、このクラスの標準である空気冷却方式を採用しています。機内の圧力を外気圧よりも高くした、内圧印加装置を設け、H<sub>2</sub>Sガスの侵入を防止しています。励磁装置については、保守面、省スペースの面で有利となるブラシレス励磁方式を採用しています。

### 上発電所系統図



ガス抽出器

### ガス抽出器

ガス抽出器はタービン建屋のコンパクト化を図るため、屋外に設置しています。山川では信頼性の高い1連2段蒸気エゼクター方式を、大霧、滝上では、蒸気圧力が低いため、蒸気エゼクターと真空ポンプを直列に配置したハイブリッド方式を採用しています。

### 循環水ポンプ

循環水ポンプは八丁原発所の運転実績を考慮して、据付け面積がコンパクトで、騒音対策が容易である壱型キャンピット式ポンプを採用しています。

# 設備の特徴

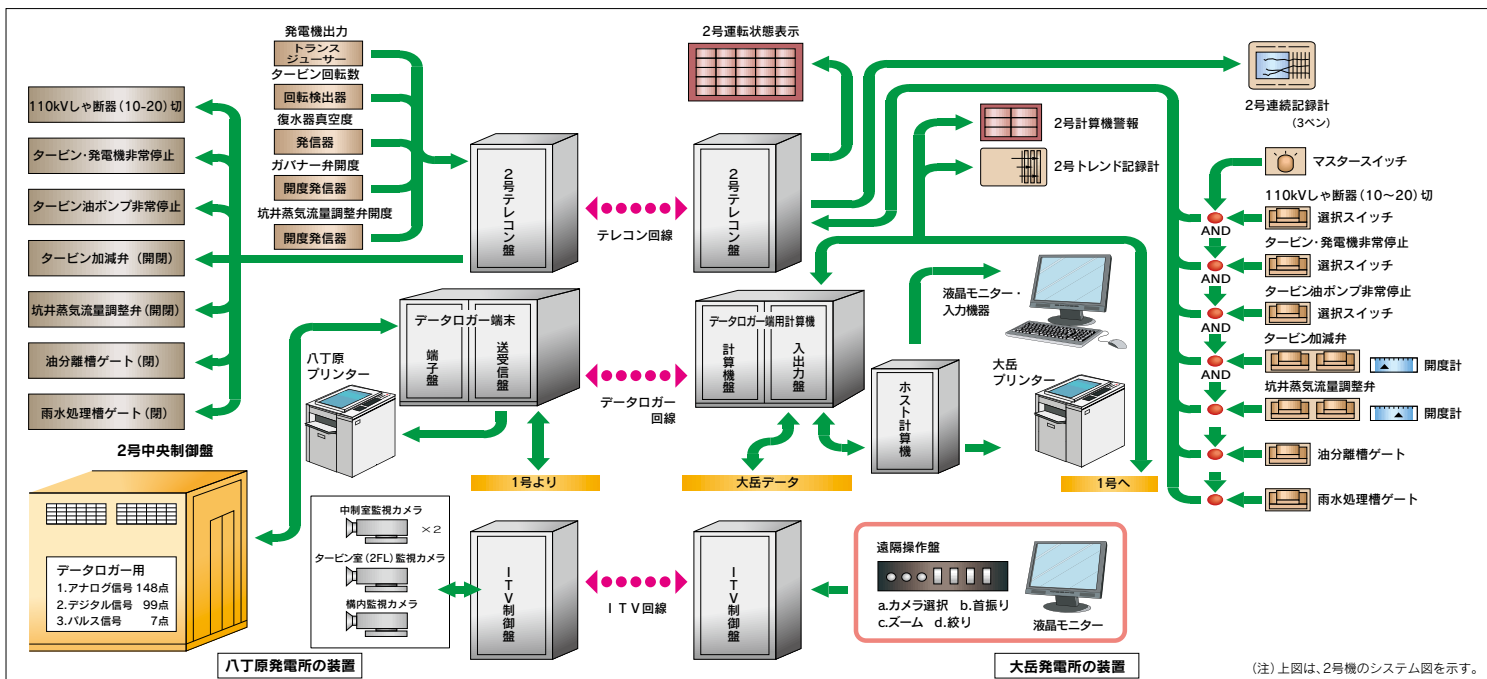
## ■冷却塔

地熱発電所は一般に山間部に位置し、大量の冷却水の入手が困難なため復水器を通過後の温水は、冷却塔で冷却後、循環再使用します。温水が大気中に蒸発する際の蒸発潜熱によって冷却されるため、冷却塔の性能は大気の湿球温度に影響を受けます。



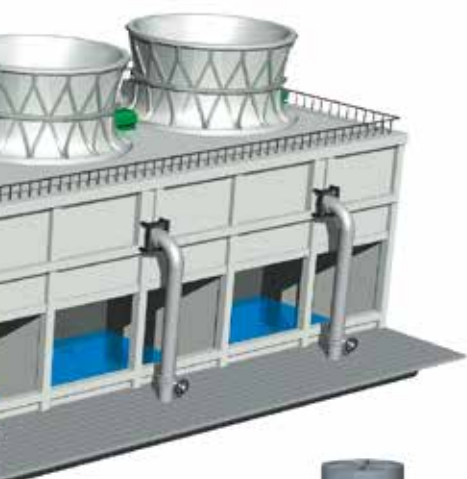
## ■随時監視

地熱発電所は、定格負荷連続運転として運用するため常時操作の必要がないことから、夜間・休日は無人で、必要に応じて対応する随時監視を行っています。

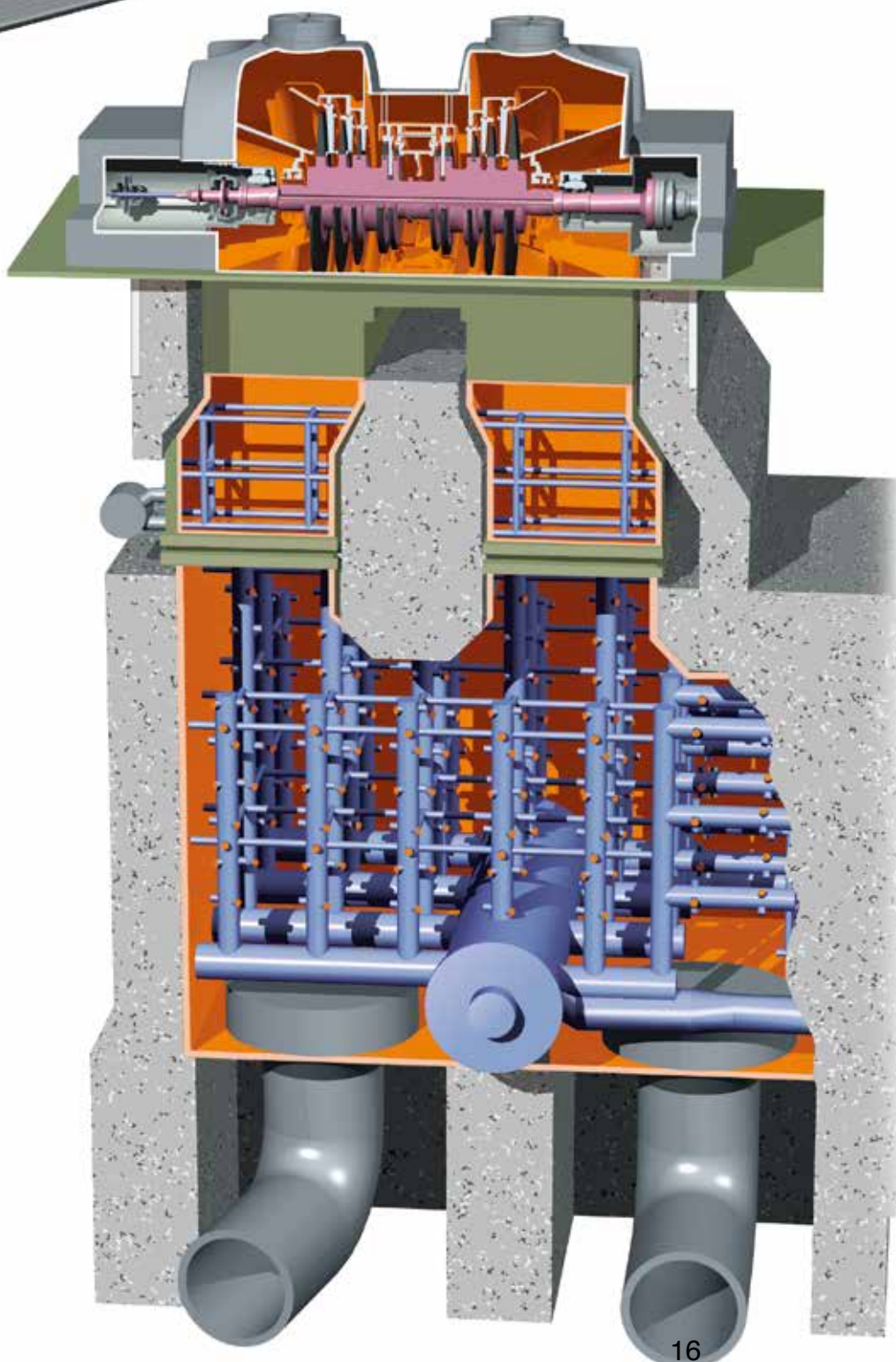


(注) 上図は、2号機のシステム図を示す。





タービン・発電機



## ■タービン

タービンは低圧の蒸気を使用するため、出力が小さいわりには容積流量が大きくなり、これを効率良く膨張通過させるようにしています。したがって、その大きさは八丁原発では156,000kW級の火力発電所の低圧タービン部に相当します。

## ■特徴

- 地熱蒸気中には、ガスや不純物が多く含まれているため、耐食性材料を使用するとともに、スケール対策を施した構造としています。
- 火力タービンに比べて、排気の湿り度が高いため、ドレンの分離除去及び耐エロージョン対策を実施しています。



# 菅原バイナリー発電所



SUGAWARA

# 山川バイナリー発電所



YAMAGAWA

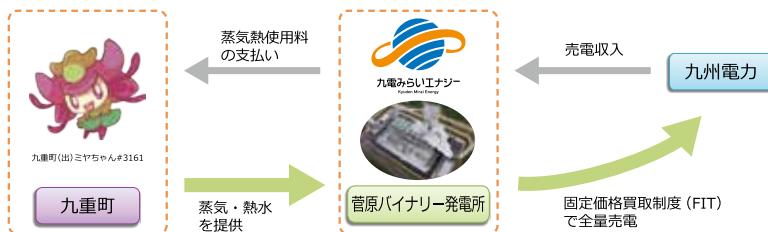
# 菅原バイナリー発電所

## ■特徴

日本初の5,000kW級の地熱バイナリー発電所であり、地元自治体の九重町と当社が協働して行う地熱発電事業です。

九重町が所有する地熱井から蒸気・熱水の提供を受け、当社が発電します。発電した電気は当社が九州電力へ売電し、売電で得た収入から九重町に熱使用料をお支払いすることで、当社も九重町も安定した収入を得ながら、純国産エネルギーの有効活用に貢献しています。

また、九重町のご協力を得ながら温泉モニタリングの実施や地元への説明を行うなど、地域との共生にも取り組んでいます。



## ●開発経緯

- 1988年 NEDO ※ 1 が九重町で地熱技術の実証試験のために地熱井を掘削
  - 2003年 NEDO が九重町に井戸を無償譲渡
  - 2010年 九重町は所有する地熱井の有効活用を検討し、九州電力へ地熱開発を相談
  - 2012年 噴出試験開始 (約3ヶ月間)、周辺温泉等への影響調査を実施
  - 2013年 九重町、九州電力、西日本環境エネルギーは大分県知事立会いのもと「菅原地区における地熱発電事業に関する基本協定」を締結 (11月22日)
  - 2014年 JOGMEC ※ 2 による初めての地熱資源開発債務保証案件として採択 (九重町菅原と福島県土湯温泉の2件)、起工式を実施 (4月10日)、西日本環境エネルギーが建設工事を開始 (4月21日)、九電みらいエナジー設立 (7月1日) に伴い建設を移譲
  - 2015年 試運転: 4月1日 (受電) ~ 6月29日、運転開始: 6月29日、竣工式: 8月5日
- ※ 1: 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
 ※ 2: 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構

# 山川バイナリー発電所

## ■特徴

山川バイナリー発電所は、山川発電所で発電に利用できずに地下に戻す熱水の未利用エネルギーを有効活用し、その熱で発電しています。

高温かつ腐食成分を高濃度を含む還元熱水に対する腐食対策やスケール付着対策などの技術課題を解決し、今後の地熱発電の導入拡大が期待できる取組みである点が高く評価され2019年度新エネ大賞「新エネルギー財団会長賞」を受賞しました。

## ●開発経緯

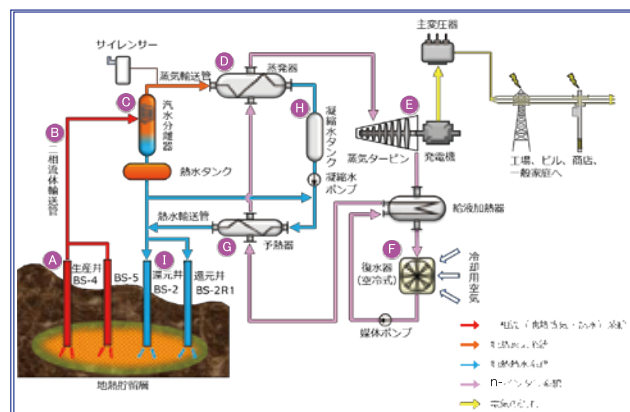
- 2016年8月 土木工事を開始
- 2017年5月 発電設備工事開始
- 10月 試験・試運転開始
- 11月 系統受電開始
- 2018年2月 営業運転開始



## ●発電所設備概要

所在地	大分玖珠郡九重町大字菅原 554-13	
定格出力	5,000kW	
営業運転開始年月日	2015年6月29日	
事業者	地熱井の所有者：九重町（生産井：2本、還元井：2本） 発電所の所有者：九電みらいエナジー（株）	
主機メーカー	三菱日立パワーシステムズ（イタリア TURBODEN 社）	
蒸気・熱水 (汽水分離器出口)	圧力 / 温度	0.286MPaG/142.4℃
	蒸気流量	40.1t/h
	熱水流量	261.8t/h
媒体蒸気 (タービン入口)	圧力 / 温度	0.953MPaG/137.5℃
	流量	298t/h
	作動媒体	n-ペンタン（沸点 36℃）
発電機	型式	横置円筒回転界磁形同期発電機
	回転数	1,800min <sup>-1</sup>
汽水分離器	種類	縦型円筒サイクロンセパレーター
	最高使用圧力 / 温度	0.55MPaG/162℃
復水器	型式	強制通風空冷式
	ファン台数	27台（3台×9列）
	大気入口温度 / 媒体入口温度 / 出口温度	20℃ / 58.8℃ / 37℃
熱交換器類	蒸発器	横置直管式（1台）
	予熱器	横置直管式（1台）
	給液加熱器	横置U字管式（1台）
生産井	蒸気温度、蒸気量、掘削深度	BS-4：142℃，18.7t/h,811m
		BS-5：159℃，28.5t/h,870m
還元井	蒸気温度、蒸気量、掘削深度	BS-2：552m
BS-2R1：589m		
発電設備本体設置範囲		約 47mx74m
送電線系統		約 20km
発電所運転管理	方式	随時監視方式（現地監視事務所から遠隔監視）

## ●発電所系統図

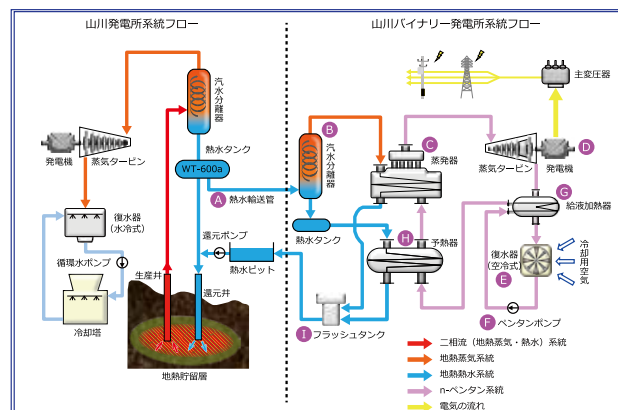


菅原バイナリー発電所では、水より沸点が低い液体（媒体：n-ペンタン）を生産井から供給される地熱流体で加熱・蒸発させ、媒体蒸気でタービンを回す「バイナリー発電」方式を採用しています。また、熱源となる地熱流体は九重町所有の井戸から供給され、n-ペンタンの冷却・液化には空冷式を採用しています。

## ●発電所設備概要

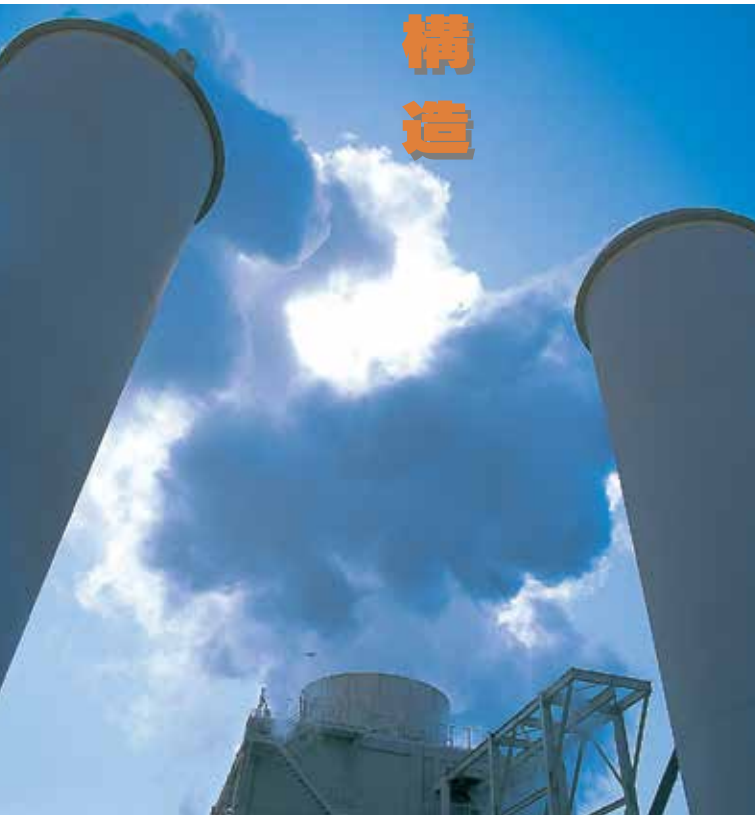
所在地	鹿児島県指宿市山川小川 2303 番地	
定格出力	4,990kW	
営業運転開始年月日	2018年2月23日	
事業者	九電みらいエナジー（株）	
主機メーカー	富士電機（株）	
地熱流体 (汽水分離器入口)	圧力 / 温度	0.97MPaA/178.6℃
	熱水流量	584.7t/h
	蒸気(蒸発器入口) 熱水(熱水タンク入口)	圧力 / 温度 / 流量
0.40MPaA/143.6℃ / 543.0t/h		
媒体蒸気 (タービン入口)	圧力 / 温度	0.92MPaA/122.1℃
	流量	330t/h
	作動媒体	n-ペンタン（沸点 36.1℃）
発電機	型式	三相交流同期発電機
	回転数	1,800min <sup>-1</sup>
汽水分離器	種類	縦型遠心式ボトムアウトレット式
	最高使用圧力 / 温度	0.48MPaA/160℃
復水器	型式	強制空冷式
	ファン台数	24台（3台×8列）
	媒体入口温度 / 出口温度	60.6℃ / 44.5℃
熱交換器類	蒸発器	横型固定管板ケトル式（1台）
	予熱器	横型シェルアンドチューブ式（1台）
	給液加熱器	横型シェルアンドチューブ式（1台）
発電設備本体設置範囲		約 63mx88m
送電線系統		山川地熱線に山川発電所構内で接続
発電所運転管理	方式	随時監視制御方式

## ●発電所系統図



山川バイナリー発電所では、水より沸点が低い液体（媒体：n-ペンタン）を還元熱水の熱で加熱・蒸発させ、媒体蒸気でタービンを回す「バイナリー発電」方式を採用しています。また、熱源となる地熱流体は山川発電所が地下に還元する熱水を加熱源として利用し、n-ペンタンの冷却・液化には空冷式を採用しています。

# 地熱構造



地熱エネルギーの熱源はプレートの移動による摩擦熱などで生じたマグマ溜りです。

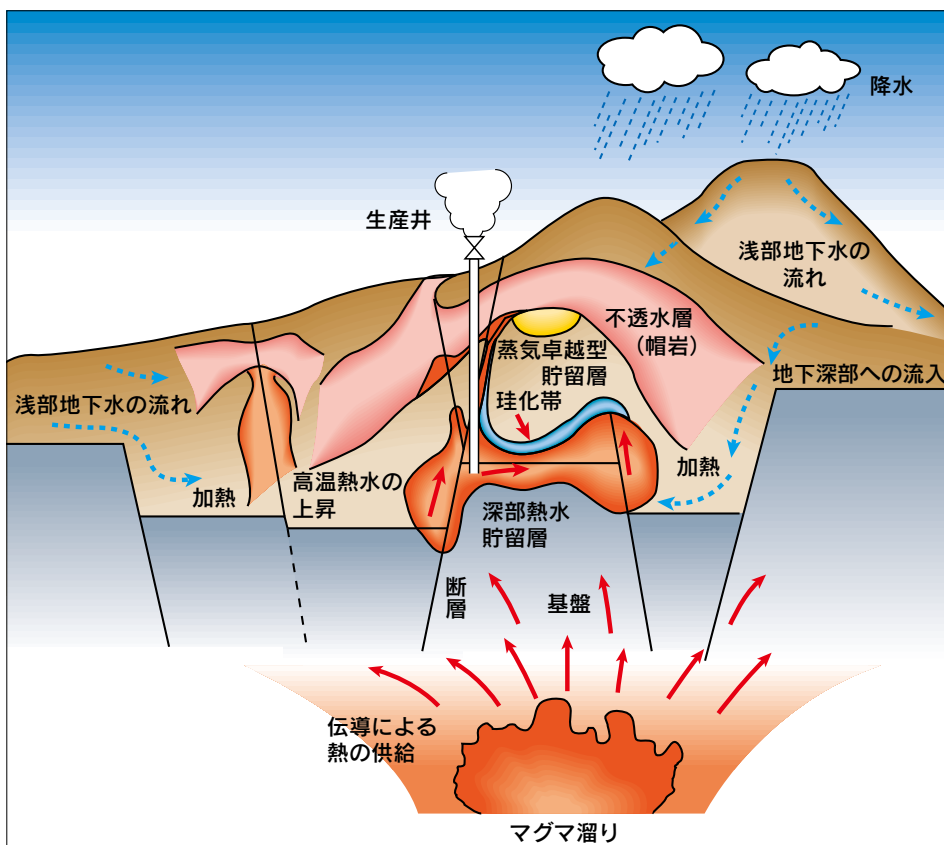
八丁原地域ではこのマグマ溜りによる火山活動が約20万年前に起きたといわれており、その熱源で現在の地熱貯留層が形成されています。

地中深く浸透した天水が、このマグマ溜りからの熱で230℃～280℃に加熱され、熱水貯留層をつくります。

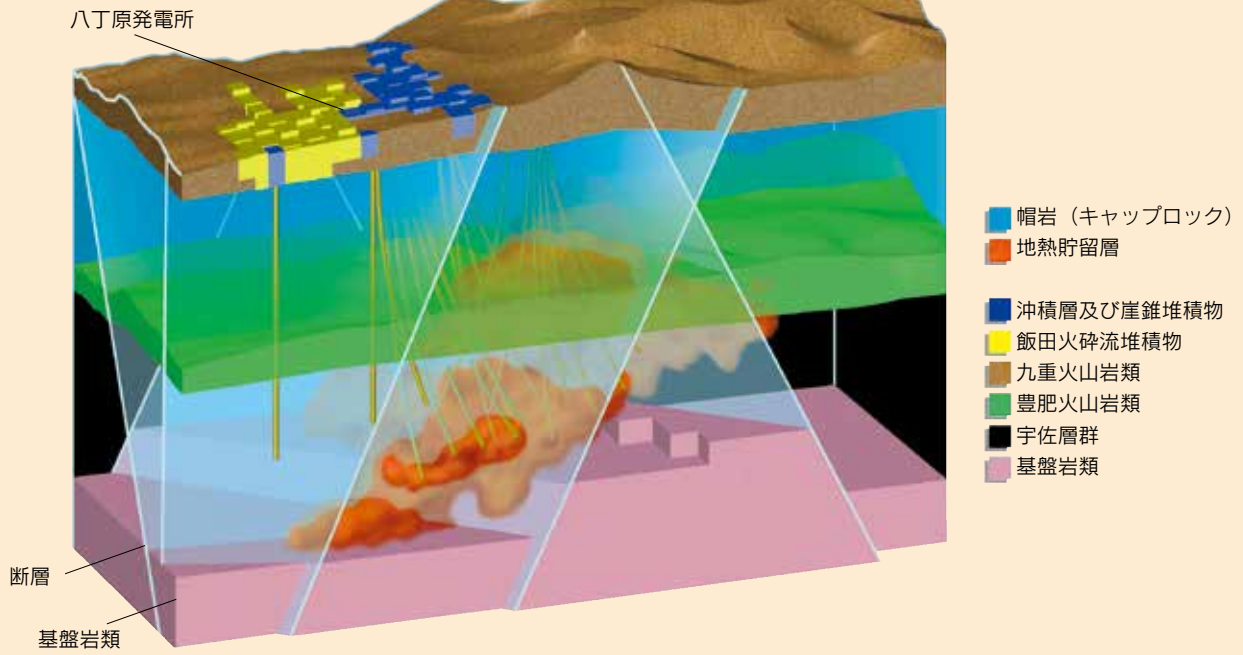
この貯留層ができる条件として、浅部に粘土質（酸性変質帯）の帽岩（キャップロック）が必要で、これも長年の地熱活動で生じたものです。帽岩は、水の通りにくい不透水性の地層で、地熱貯留層の蓋の役目を果たしています。地下深部から上昇した高温の熱水や蒸気は帽岩にさえぎられて地熱貯留層を形成し、帽岩はこの地熱貯留層の熱水や蒸気が地表近くの低温の地下水や温泉水等と混ざり合うことを防いでいます。

八丁原地域ではこの地熱貯留層を地表の探査や調査井の掘削等で確認し、生産井より蒸気を取り出し発電に利用しているものです。

■地熱構造概念図



■地熱構造図（八丁原地域）



3次元コンピュータ・グラフィックによる地熱構造図（断面図）

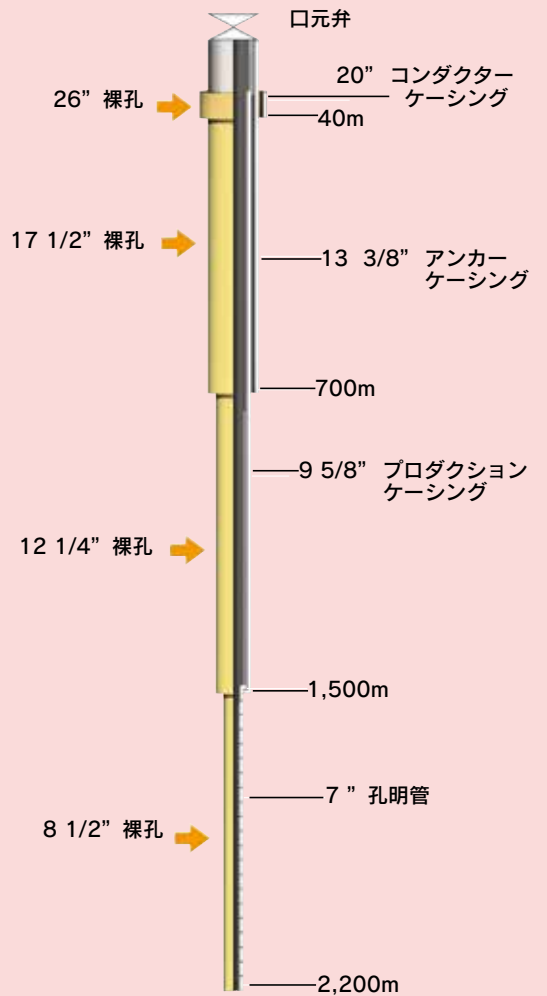
■生産井掘削状況（八丁原発電所）



■掘削先端の想像図



■坑井断面図（生産井の標準図）



# 地熱発電の現状



わが国で運転されている地熱発電所の設備容量は約54万kWであり、この内、九電みらいエナジーでは6箇所9ユニット22.4万kWを有し、全体の約41%を占めています。

原子力につぐ第4の火といわれる地熱発電は、わが国のエネルギー供給量に占める割合は小さいですが、燃料の備蓄に対する不安がなく、設備利用率も高い水準を達成しており、極めて安定した電源となっています。

また、地球温暖化防止の観点からもCO<sub>2</sub>排出抑制効果の高い自然エネルギーとして、地熱開発の促進が期待されます。



大霧発電所





●日本の地熱発電所一覧表

発電所名	所在地	企業名 (上段:発電部門) (下段:蒸気供給部門)	認可/認定出力 (kW)	運転開始年月日
森	北海道森町	北海道電力(株)	25,000	1982.11.26
松川	岩手県八幡平市	東北自然エネルギー(株)	23,500	1966.10.8
松尾八幡平	岩手県八幡平市	岩手地熱(株)	7,499	2019.1.29
葛根田	岩手県雫石町	東北電力(株) 東北自然エネルギー(株)	30,000	1996.3.1
大沼	秋田県鹿角市	三菱マテリアル(株)	10,000	1974.6.17
澄川	秋田県鹿角市	東北電力(株) 三菱マテリアル(株)	50,000	1995.3.2
上の岱	秋田県湯沢市	東北電力(株) 東北自然エネルギー(株)	28,800	1994.3.4
山葵沢	秋田県湯沢市	湯沢地熱(株)	46,199	2019.5.20
鬼首	宮城県大崎市	電源開発(株)	14,900	2023.4.2
柳津西山	福島県柳津町	東北電力(株) 東奥会津地熱(株)	30,000	1995.5.25
奥飛騨温泉郷中尾	岐阜県高山市	中尾地熱発電(株)	1,998	2022.12.1
わいた	熊本県小国町	(同)わいた会	1,995	2015.6.16
南阿蘇湯の谷	熊本県南阿蘇村	(株)南阿蘇湯の谷地熱	2,168	2023.3.3
杉乃井	大分県別府市	(株)杉乃井ホテル	1,900	2006.4.1
滝上	大分県九重町	九電みらいエナジー(株) 出光大分地熱(株)	27,500	1996.11.1
滝上バイナリー	大分県九重町	出光大分地熱(株)	5,050	2017.3.1
大岳	大分県九重町	九電みらいエナジー(株)	14,500	2020.10.5
八丁原	大分県九重町	九電みらいエナジー(株)	55,000 55,000 2,000	1977.6.24 1990.6.22 2006.4.1
菅原バイナリー	大分県九重町	九電みらいエナジー(株) 九重町	5,000	2015.6.29
大霧	鹿児島県霧島市	九電みらいエナジー(株) 日鉄鉱業(株)	30,000	1996.3.1
山川	鹿児島県指宿市	九電みらいエナジー(株)	30,000 4,990	1995.3.1 2018.2.23
メティポリス指宿	鹿児島県指宿市	(株)メティポリスエナジー	1,580	2015.2.18

出典：一般社団法人 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向2020」を基に作成・加筆  
設備容量1,000kW以上の地熱発電所を記載

●世界の地熱発電設備

単位：MW

国名	設備容量(MW)
米国	3,700.0
インドネシア	2,289.0
フィリピン	1,918.0
トルコ	1,549.0
ケニア	1,193.0
ニュージーランド	1,064.0
メキシコ	1,005.8
イタリア	916.0
アイスランド	755.0
日本	550.0
コスタリカ	262.0
エルサルバドル	204.0
ニカラグア	159.0
ロシア	82.0
グアテマラ	52.0
チリ	48.0
ドイツ	43.0
ホンジュラス	35.0
中国	34.9
ポルトガル	33.0
フランス	17.0
クロアチア	16.5
バブアニューギニア	11.0
エチオピア	7.3
ハンガリー	3.0
オーストリア	1.3
ベルギー	0.8
オーストラリア	0.6
台湾	0.3
合計	15,950

出典：火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向2020」による



# 環境にやさしい発電所

地下の熱資源を利用する地熱発電は、燃料が不要で大気を汚さずクリーンな、地球の恵みのエネルギーです。また地熱発電所は豊かな自然環境のなかに建設されていますが、発電設備と蒸気設備の集中化を図り、土地の改変の面積を最小限に抑えています。

地熱発電所はこのような点で、環境にやさしい発電所といえるでしょう。私たち九電グループは、この特徴を最大限に活かすよう、地上施設をできるだけ少なく、またその色彩にも気を配り、さらに植栽などで周辺環境との調和に努めています。



飯田高原より九重連山を望む



カッコウ

### ■くじゅう

九重町には八丁原・大岳・滝上・菅原バイナリーと4つの地熱発電所が設置されており、その近隣の九重連山は、標高1700m級の火山群がその秀峰ぶりと美しさを競う、九州屈指の景勝地で阿蘇くじゅう国立公園となっています。この周辺を横断する「やまなみハイウェイ」は、自然景観に恵まれ快適なドライブコースとして知られています。飯田・久住を代表とする高原には四季折々に花が咲き、鳥や虫たちが訪れる人をやさしく迎えます。また、筋湯・牧の戸・長者原など全国にも名を知られた温泉も多数あります。



ミヤマキリシマと高千穂峰

### ■霧島

鹿児島県の北東部にそびえる韓国岳からくにだけと、その連峰を含む一帯は霧島と総称され、霧島屋久国立公園きりしまやくとなっています。この地方には霧島温泉郷といわれる多くの温泉があり、約130の源泉が浴用・飲用などに利用されています。大霧発電所は、この霧島地方の牧園町と湧水町にまたがって設置されています。

春の新緑、初夏のミヤマキリシマ、秋の紅葉、冬の樹氷と季節ごとに美しい自然美が楽しめるこの地域は、まさしく九州の別天地というにふさわしい景観を誇っています。また周辺には天孫降臨の神話で有名な高千穂峰たかちほのみねなど観光地も枚挙にいとまがありません。



山川の砂蒸し温泉かいもんと開聞岳

### ■指宿

山川発電所は薩摩半島の南突端、鹿児島湾に面した指宿地域にあり、この地域は大部分が霧島屋久国立公園に含まれる、美しい海岸と温泉の里です。指宿温泉を始めとする温泉郷は、海岸の砂の中にすっぽりとする砂蒸しという入浴方法で知られています。また、新鮮な魚介類のおいしさも定評のあるところです。

GUIDE  
OF  
GEOTHERMAL  
POWER  
PLANT



ずっと先まで、明るくしたい。