

1 水力機械の歴史 人間及び家畜・農作物にとって、水は不可欠なものであるため、揚水や導水のために、水力機械が用いられてきた。水力機械として最も早く造られたのは、はねつるべ(図 1(a))と水揚げ車(図 1(b))である。前者はエジプト時代の家庭用井戸に広く使われ、後者は周囲に多数の容器を取付け、河水をくみ上げるようにした水車^{みづぐるま}で、B.C.1000年頃から中国、ユーフラテス、ナイル地方で使われ、ローマにおいては水道水を川からくみ上げるのにも使用された。中には直径 12 m にも及ぶものもあり、1日に 250 m³の水をくみあげたことが推測されている。水車は蒸気機関が発明されるまで、原動機として人類に寄与をなした。川のない地方においては、図 1(c)のような動物によって廻される垂直軸から、かさ歯車を用いて水平軸の車を廻すようにし、これに多数にバケツを取付けた網をかけて井戸の水をくみ上げるようにした水揚げ車が使用された。ピラミッド建設工事中に使われたと言われるカイロ市のヨセフの井戸では、図 1(d)に示すように深さ 40 m および 50 m の二段の水揚げ車が使われ、地下 90 m から水を揚げていた。図 1(e)はスクリーポンプ(B.C.250年頃)で船底の水を汲上げるためにアルキメデスが考案したものと言われ、最近までオランダで風車を利用して低地の水を汲上げる水揚げ機として使用されていた。

次に、図 1(f)~(i)の 4 図は、アレクサンドリアのヘロンが B.C.120 年に表した「空気学」という本に載っているものである。図 1(f)は、台 A の上で火を燃やすと空気の膨張によって、タンクから水がバケツ D に移り、その重さによって殿堂の扉が開き、火が消えて台が冷えると水はタンクに戻り、扉が自然に閉まる。図 1(g)は太陽熱を利用した“泉”で太陽が昇ると球 A 内の空気が温められて圧力が高まるため、弁 B を開ければ水がほとぼしり、夜、弁 B を閉めたまま弁 C を開ければ下の容器 D から水が汲上げられる。次に、図 1(h)は手押しポンプで、当時も消火用ポンプとして作られたという。図 1(i)は蒸気タービンである。ヘロンの本には風車の記事もあるが、風車が実用に供されたのは 12 世紀からである。

1~14 世紀の間、動力源は図 2 に示す水車であった。1086 年の記録によれば、当時、イギリスに 5,000 以上の水車があり、人口 400 人当たり 1 か所の製粉所があり、他の種々の工業にも利用されたという。14 世紀には、上掛け水車が出現した。近代揚水技術は 16 世紀の水道の再開に始まる。水道については、2 で述べる。1581 年にロンドン市に設立されたロンドン橋水道会社(London Bridge Water Works)では、初めてクランクが水平軸に設けられて往復ポンプを運転した。レオナルド・ダ・ビンチも種々のポンプを考案したことは、よく知られている。

次に、1705 年(1712 年の説もある)イギリスのトーマス・ニューコメンは図 1(l)に示すシリンダ内の蒸気を水で凝縮させて真空とし、大気圧によってピストンを押しさせるポンプを発明した。これが大規模揚水ポンプおよび実用蒸気エンジンの始まりで、ジェームス・ワットはこれを改良し、図 1(m)に示すように、蒸気の凝縮を別室で行い、圧力のある蒸気でピストンを押すようにし、かつ蒸気を膨張させるようにしたためにシリンダが高温に保たれ、燃料消費量が著しく減少し、効率が向上したものである。

2 上下水道の沿革 町への送水、配水の始めはエルサレムで、地下貯水池を造って雨水を貯え、石造水路で水を引いた。水路は古代ギリシャでも造られ、サモスの町に送水した水路は今でも保存され、途中、アーチによって川を渡した所もある。

古代の水道の中で、ローマの水道は規模において比類が無い。ローマ市民は主としてダイバー河の水を使用していたが、川の水が汚れてくるに水源を上流に求めるに至った。最初の水道は B.C.321 年に完成し、山にトンネルをうがち、川や谷にはアーチをかけて水路の長さは 8 km に及んだ(図 3 参照)。B.C.305

年には14の水道ができ、水路の延長579 km、アーチの長さだけで80 kmに及んだと言われている。

これらの水路によって送られた水は噴水、水洗便所や公共の泉に送られ、市民は泉まで水を汲みに行くのであった。市民一人、1日の使用量は130 L/dayと計算された。鉛管が用いられ水のろ過に関する記事もある。当時、水道はローマのみならず、ローマ帝国の植民地にも施設されたが、ローマ帝国の瓦解と共に水路は破壊され、水道も放棄され、これらの遺跡が何に使われたかも忘れられるに至った。

しかし、16世紀に至って、欧州にペストが大流行するに及んで、再び水道の必要が痛感され、1527年ドイツのハノーバーを皮切りに、各市に水道が復活し、1581年にはロンドン市と500年の契約で、前記のロンドン橋水道会社が設立された。1619年からは家の中までの給水が始まり、1800年頃から従来の木管に対して铸铁管が使われだし、従来は潮の干満のため、時間給水であったが、1873年から蒸気機関を用いて、終日給水が行われるようになった。

日本では、江戸で用水に欠乏をきたしたため、1590年、井の頭池及び善福寺池を水源地とする江戸川を小石川関口でせき止めて、水位を高め、水路を設けて神田、日本橋方面へ給水した。これが神田浄水である。

家光の時代に至り、さらに水に不足をきたし、1653年、多摩川上流、羽村により水を取り入れ、井の頭公園裏、新宿淀橋、大木戸を経て茅場町、丸の内、虎ノ門、赤坂、麻布及び江戸城内に給水した。これが玉川上水である。その後、江戸に4水道ができ、各藩もこれにならって水道を設けた。欧州のわずかな数都市に水道が出来たのみと当時、我が国がこれらにまさるとも劣らない水道を有していたことは、特筆すべきことである。

日本の近代水道は1874年、始めて横浜に敷設された。東京の水道は1892年、玉川上水を改良したものである。

1955年の調査によると、国内1488市町村に水道が引かれ、1人1日の使用量は都市で250 L/day、町村で120 L/dayとなっている。

工業用水の使用量は、例えば製紙工業では製品の重さの150~400倍、人絹工業では1000~1500倍、製鉄工業では約100倍、ビール・酒工業でも、約8倍の水を使用しており、1958年3月現在、川崎、新潟、清水、四日市、大阪、尼崎、和歌山、呉、宇部、徳山、下関、松山の諸市に工業用水道（滅菌しない水道）が敷設されている。

次に、下水道に関する記録によれば、バビロン時代（バビロンとは、メソポタミア地方の古代都市のこと）には既に小規模ながら下水があり、エルサレム及びアテネにも下水があった。有名なのはローマの下水で、B.C.615年に築造された下水道用のアーチ（高さ10 m、長さ150 m）は今でも使われているという。その後、下水は次第に各家とも連絡され、水洗便所もできた。ローマの植民地パリ、トリエール、ケルンもこれにならったが、ローマの滅亡とともに、衛生方向も顧みられず、水道同様暗黒時代に入ったが、19世紀に至って、コレラの流行が下水の必要を促し、1831年ロンドンを最初として欧州、アメリカその他に普及するに至った。

日本においては、19世紀の中頃より、幕府は江戸の各所に排水溝を設け、また古い溝のしゅんせつ、下水ますの修築を行ったが、近代的な下水は1872年、東京銀座の大火の後、道の両側に溝を洋風に改めたのが始まりで、ついで1875年のコレラの流行が原因となって、1882年に神田の一部に、ついで1893年に大阪に簡易水道が設けられ、正式の下水道の建設に着手したのは東京、大阪とも1912年である。1955年の調査によれば、国内で正式下水を設置した市町村数は131である。

※文献によって、年が異なることがある。

3 課題 以下の課題のいずれか一つに取り組み、輪講の発表会で発表すること。

- (1) 水車やポンプについて、動作原理やその違いについて、分かりやすくまとめること。
- (2) 「レオナルド・ダ・ビンチも種々のポンプを考案した」とあるが、どのようなポンプを考案したのかを調べ、まとめること。
- (3) 水道（上水）と下水の重要性や必要性について、コレラやペストなどの流行と関連した内容でまとめること。
- (4) ニューコメンとワットの蒸気機関の動作原理をまとめること。続いて、蒸気機関が必要とされる時代背景などについて、まとめること。
- (5) 鹿児島県内には、山川地熱発電所や野間岬ウィンドパーク発電所などの地熱発電所や風力発電所がある。発電所の規模やどのような仕組みで発電しているのかを調べ、まとめること。

出典

板谷，水力学，(1966年)，朝倉書店

門田，長谷川，熱工学がわかる，(2008年)，技術評論社

東京の水道の歴史が知りたい人は，東京都水道局ホームページ

http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/pp/rekisi/s_history_01.html

を参照して下さい。東京の水道の概要を知りたい人は，

<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/jigyo/syokai/01.html>

を参照して下さい。

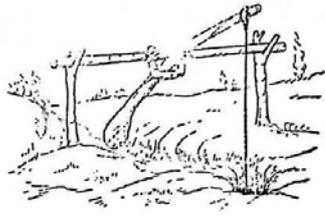
鹿児島の水道のことは，

http://www.city.kagoshima.lg.jp/suidou/index/_26628.html

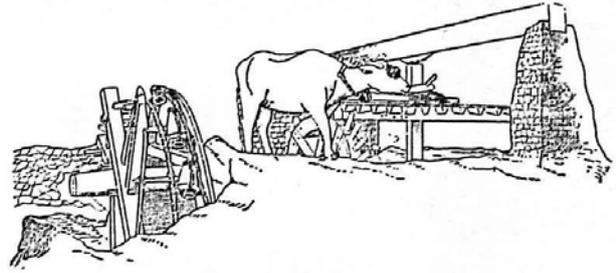
を参照して下さい。

九州電力管内の発電所の資料については，九州電力ホームページを参照して下さい。

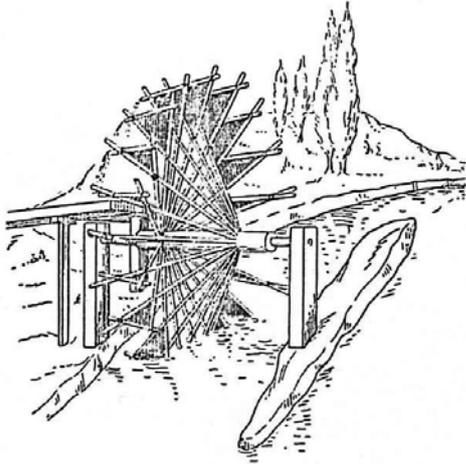
http://www.kyuden.co.jp/company_pamphlet_qbook_plant_index.html



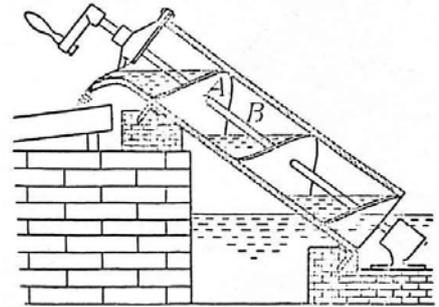
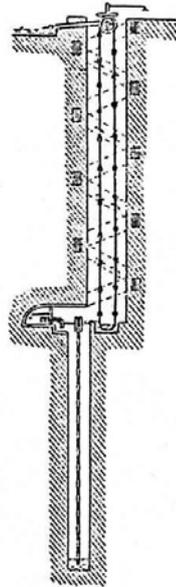
(a) はねつるべ (B. C. 15 世紀)



(c) 水揚げ車 (B. C. 10 世紀)



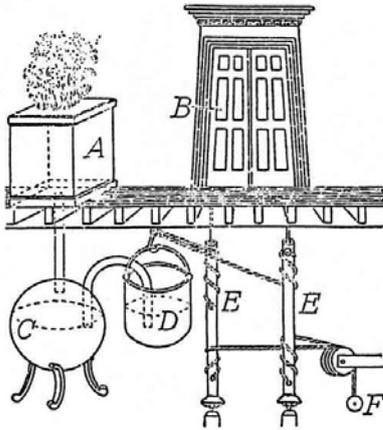
(b) 水揚げ車 (B. C. 10 世紀)



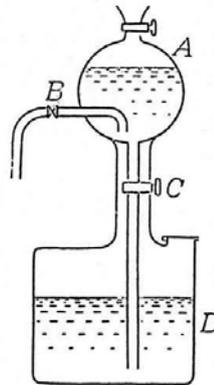
(e) アルキメデスのスクリューポンプ (B. C. 2 世紀)

←

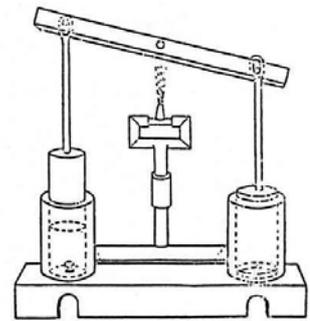
(d) Joseph の井戸ポンプ (B. C. 12 世紀)



(f) 寺院の戸の開閉装置 (B. C. 3 世紀)



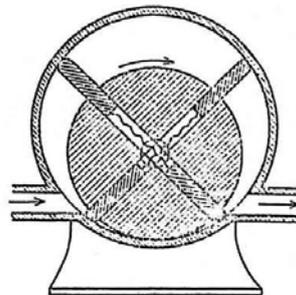
(g) 太湯ポンプ (B. C. 3 世紀)



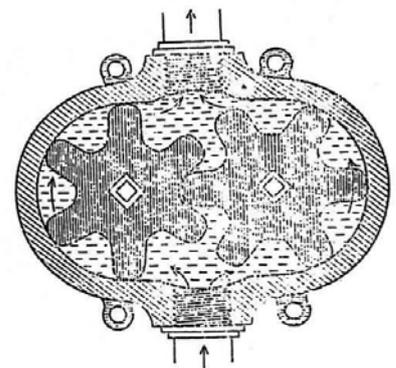
(h) 押し上げポンプ (B. C. 3 世紀)



(i) いわゆる Hero の蒸気タービン (B. C. 3 世紀)

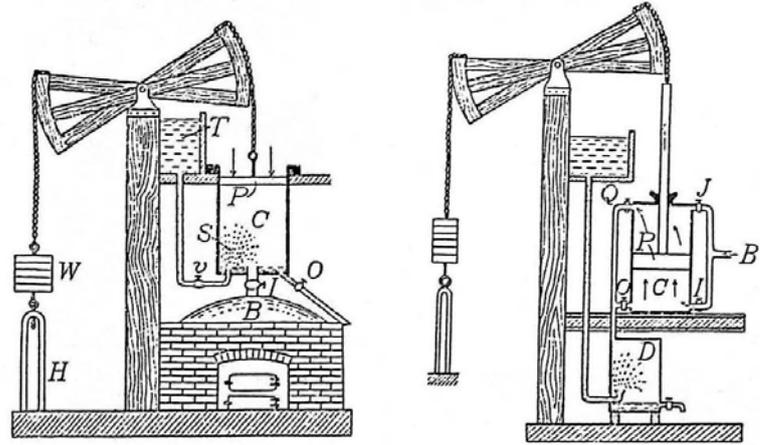


(j) Ramelli のロータリポンプ (1588)



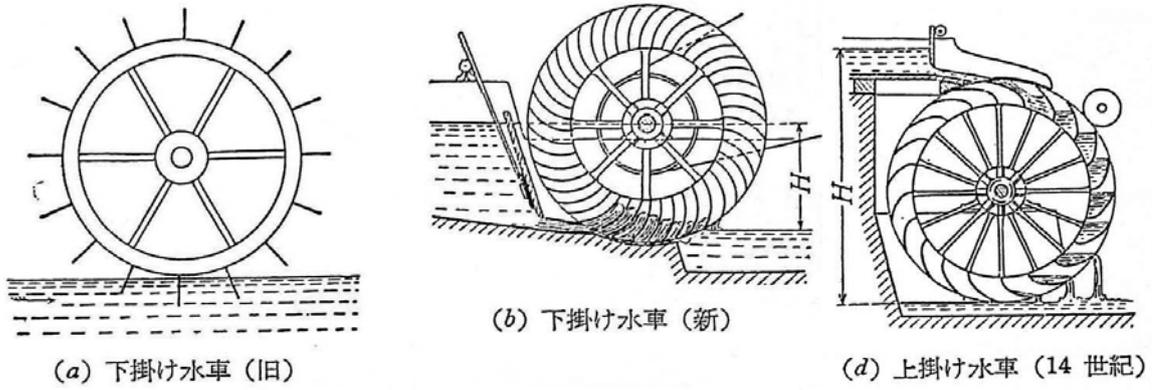
(k) Serviére の歯車ポンプ (1593)

図1 ポンプの歴史



(l) Newcomen の蒸気機関 (1705) (m) Watt の蒸気機関 (1765)

図1 ポンプの歴史 (続き)



(a) 下掛け水車 (旧)

(b) 下掛け水車 (新)

(d) 上掛け水車 (14 世紀)

図2 水車

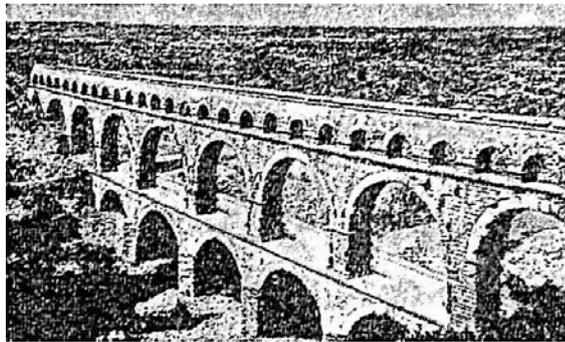
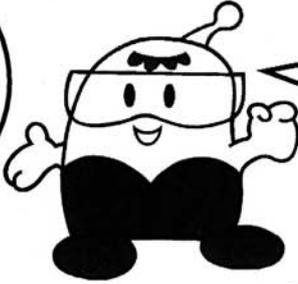
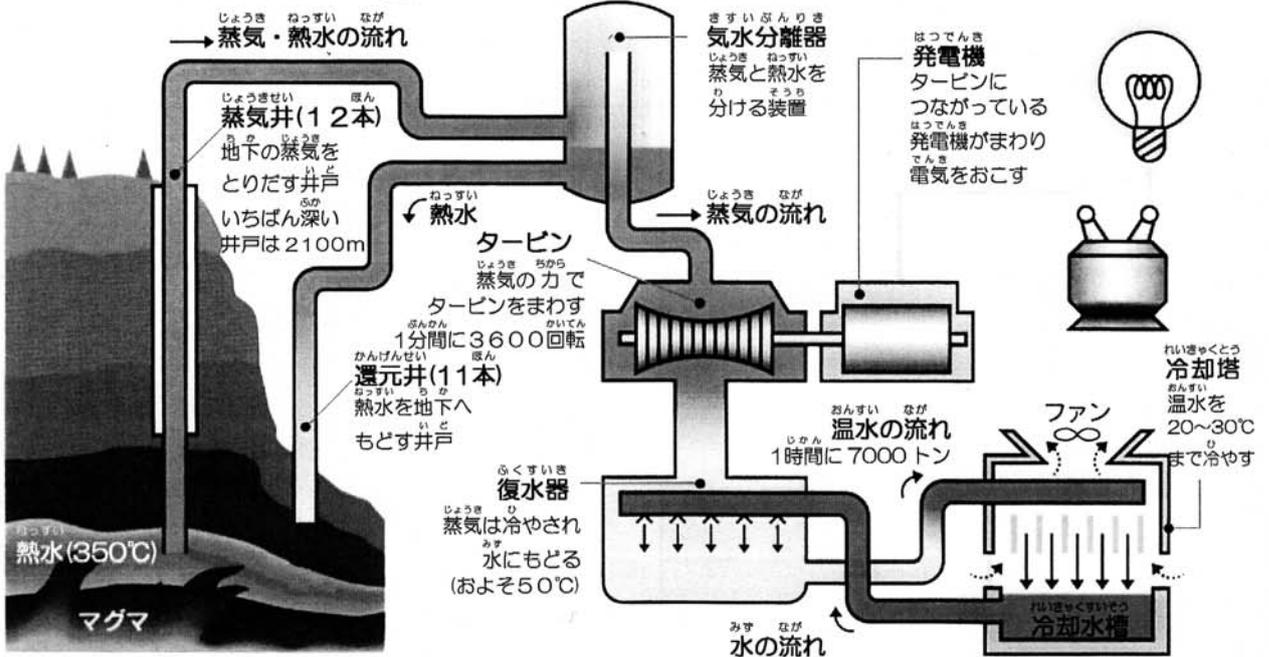


図3 水道遺跡

やまがわちねつ
山川地熱
はつでんしよ
発電所



やまがわはつでんしよ
山川発電所では、3万キロワット
の電気を、作っているんだよ。
ここで作られた電気は、指宿市内
のおよそ1万軒のお家に送られ
ているよ！



ちねつはつでん
地熱発電のしくみ

日本は、世界でも有数の火山国で、火山の多い所では地中から蒸気やお湯が吹きあがっている場所があります。これは、地下水がマグマの熱で高温の蒸気になって、地上にふきだしてくるからです。
地熱発電所は、地下深くにたまっている蒸気を取りだし、タービンをまわして電気をつくります。
世界の火山国でも地熱発電はさかんです。自然のエネルギーだから、環境にもやさしく、燃料もいりません。

ちねつはつでん とくちょう
地熱発電の特徴

- 😊 **長所**
 - 発電時に二酸化炭素を出さない。
 - 燃料がいらない。
- 😞 **短所**
 - 大きな発電所が作れない。

きゅうしゅう
九州には、
10ヶ所の地熱発電所
があります。



ちねつはつでんしよ くふう
地熱発電所の工夫

いちにちと
一日も止めることなく、電気を作れるように、
機械の調子はどうか、悪いところがないか、毎日
点検して、事故や故障が起こらないように努力
しています。

図4 山川地熱発電所 資料 (九州電力 山川地熱発電所資料より引用)

地熱発電の現状

(注)黒字は事業用、青字は自家用を示す。

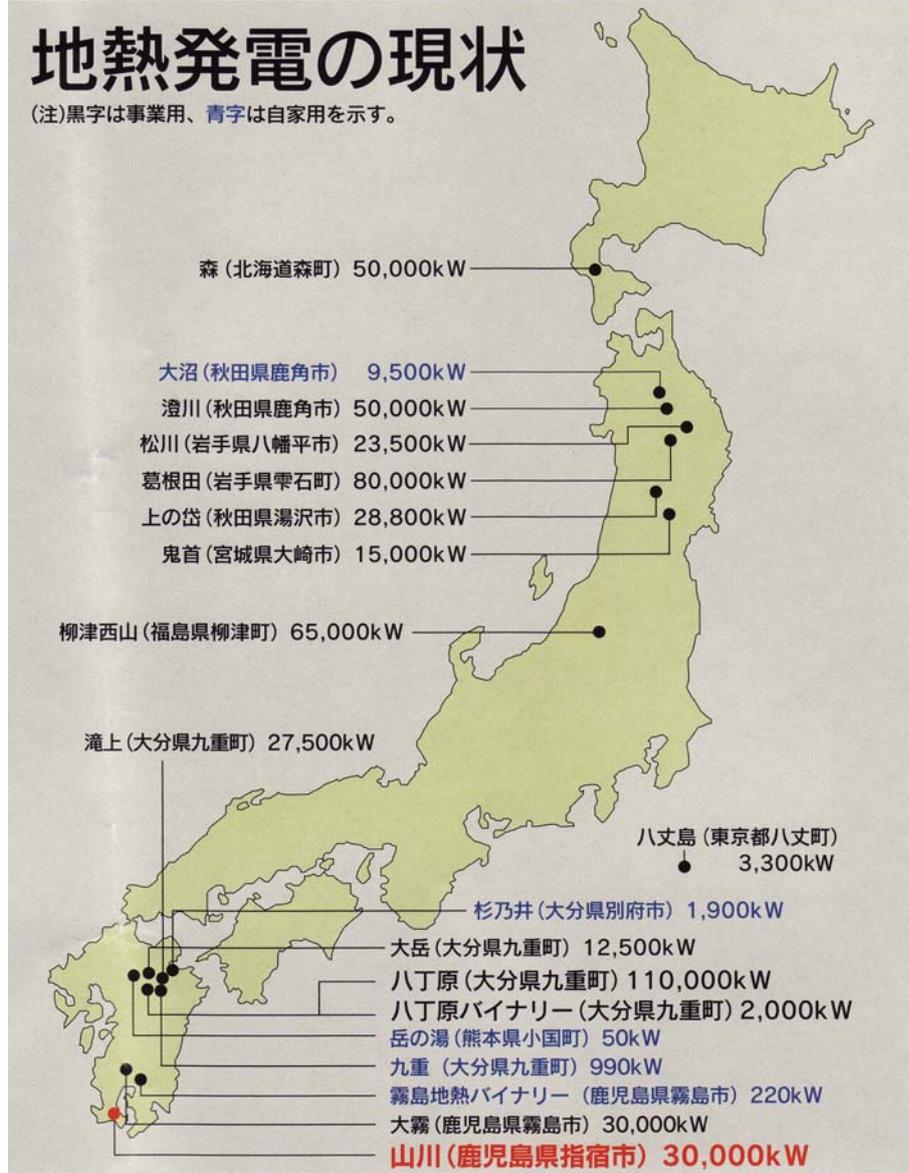


図5 地熱発電の現状 (九州電力 山川地熱発電所資料より引用)

表1 山川発電所概要（九州電力 山川地熱発電所資料より引用）

山 川 発 電 所 概 要		
出 力	30,000kW	
タービン	型 式	単気筒単流衝動反動型復水タービン
	蒸気条件	0.98MPa / 183.2℃
気水分離器	縦型サイクロン式	
冷 却 塔	機械通風式向流両吸込型	
発 電 機	型 式	横置円筒回転界磁形同期発電機
	容 量	34,000kVA
	電圧/回転数	11,000V/3,600min ⁻¹
坑 井	蒸 気 井	12本（深度約1,800~2,100m）
	還 元 井	11本（深度約1,000~2,500m）
営業運転開始	平成7年3月	

(注) 蒸気井・還元井の本数は、平成23年1月現在使用中の本数

表2 野間岬ウィンドパーク発電所概要（九州電力 野間岬発電所資料より引用）

風 力 発 電 所		概 要	
発 電 所	1・2号機	3・4・5号機	6~10号機
運 転 開 始	平成10年3月	平成11年3月	平成15年3月
出 力	3,000kW (300kW×10基)		
風況条件	起 動 風 速	3.5メートル/秒	2.5メートル/秒
	定 格 風 速	14.4メートル/秒	14.0メートル/秒
	停 止 風 速	24.0メートル/秒	25.0メートル/秒
ロータ	配置方式	アップウインド	
	プロペラ枚数	3枚	
	直 径	29m (2号機のみ30m)	30m
	定格回転数	43回転/分 (弱風時28.6回転/分)	16~46回転/分 (可変速)
発電機	方 式	3相誘導発電機	3相同期発電機
	電 圧	480V	400V
	回 転 数	1,815回転/分 (弱風時1,215回転/分)	16~46回転/分 (可変速)
	周 波 数	60Hz	60Hz (インバータ出力)
タワー	構造形式	モノポール	
	タワー高さ	30m (4号機、6号機は45m)	
運転制御	対風速制御	ピッチ制御[油圧でプロペラ角度(ピッチ)を変える]	
	対風向制御	ヨー制御[電動でプロペラ向き(ヨー)を変える]	