

## <概要>

地球の内部にある地熱エネルギーを利用して発電する地熱発電には、地中の高温水蒸気や熱水を利用する熱水利用発電と地中の高温の岩を利用する高温岩体発電の二つがある。高温岩体発電は、水圧破碎によって高温岩体（Hot Dry Rock, HDR）に人工的な割れ目を作って地表から水を注入し、高温岩体による加熱で地下に熱水貯留層を造り、この熱水貯留層から蒸気や熱水を取り出して発電に利用するシステムである。高温岩体発電については、人工的に割れ目や熱水貯留層を造る技術、熱水貯留層からの循環抽熱試験などの研究が行われている。実用化までには、割れ目を設計、割れ目の延びる方向や広がり予測する方法、効率的に割れ目を作る手法、割れ目の計測方法、注入した水を貯留層に入れて抵抗なく熱水を取り出すシステムの研究、システムの長期的安定性や経済性などの評価などの課題を解決する必要がある。

## <更新年月>

2004年02月（本データは原則として更新対象外とします。）

## <本文>

### 1. 地熱エネルギー利用

日本は世界有数の火山国のひとつであり、膨大な地熱エネルギーが賦存している。地熱エネルギーは純国産のエネルギー資源であり、その開発はエネルギー資源の大部分を海外に依存するわが国のエネルギー事情の改善に大きく寄与すると期待される。

地熱エネルギーは次のような特徴を有している。

#### (1) 純国産かつ豊富なエネルギー

地熱は、資源の少ないわが国において、唯一の大きなポテンシャルを有するエネルギー資源である。地熱エネルギーの可採資源量は、旧工業技術院地質調査所の物理探査や既存資料等による地表データをもとにNEDOが推定したところによると、浅部地熱系（2000m以下）で2207万kW、深部地熱系（2000m以降）で4723万kW、計6830万kWとされている。また、これに深部地熱資源などの未利用の地熱エネルギーを加えると膨大な資源量となる。

#### (2) 低廉なエネルギー

地熱発電を行うには地熱エネルギーを採取する生産井を掘削することが不可欠であるため、プラント建設のイニシャルコストはかかるが、燃料代が不要であり、長期的にみると将来の燃料価格の変動に左右されない低廉なエネルギーである。

#### (3) 低公害のエネルギー

地熱エネルギーは、燃焼を伴わないため、二酸化炭素の発生が極めて少なく、煤煙、煤塵の発生もなく、また熱水は地下還元が行われるため、地球環境に優しいエネルギーである。これが地熱エネルギーがクリーンエネルギーと呼ばれる理由である。

#### (4) 多目的利用を含め地域社会に多くのメリットをもたらすエネルギー

発電所周辺地域に対して熱水を供給することにより、施設園芸、給湯、地域暖房などを行い、地元の福祉と産業の発展に大きな貢献ができる。

以上のような特徴をもつ地熱エネルギーは、すでに各地で実用化されており、わが国では、松川、大岳、大沼、鬼首、八丁原、葛根田、森等の18発電所が稼働している（表1）。また、世界的にはアメリカ、フィリピン、メキシコ、イタリア、ニュージーランドなど地熱資源の豊富な地帯で開発が進められている。わが国では、将来の地熱開発の促進のために、探査、掘削、生産、熱水利用発電、高温岩体発電、材料開発などの技術開発によって、対象となる地熱資源を拡大

し、それらを効率的に利用することを企画し、研究開発を進めている（図1）。

地熱発電は、利用する地球内部のエネルギー媒体によって大きく次の2つに分類される。

- 1) 熱水利用発電（地中の高温水蒸気や熱水を利用するもの）
- 2) 高温岩体発電（地中の高温の岩を利用するもの）

## 2. 要素技術開発

### (1) 地熱エネルギー探査技術

地熱資源を開発するためには、わが国における地熱資源の賦存状況を把握することが必要である。ニューサンシャイン計画（1992年度まではサンシャイン計画）では、1980年以降、地熱開発の促進を目的として「地熱探査技術など検証調査」のもとで探査技術開発を進めてきた。1980年から1988年度には、日本の代表的な地熱地域である仙岩地域（秋田県、岩手県）および栗駒地域（宮城県）の2地域において、「地熱探査技術等検証調査（仙岩・栗駒地域）」が実施された。この調査では、地熱資源探査技術の確立を目指し、熱映像法・屈折法・地磁気地電流法などの各種地表調査が行われ、これらの結果を坑井調査によって検証することにより、各種探査技術の有効性が評価され、その結果に基づき地熱探査技術の体系化が行われた。この調査の中で地熱貯留層が断裂（フラクチャー）部分に形成されていることが明らかにされ、地熱貯留層の構造の解明が進んだ。1984年度から1988年度には、地熱流体の把握に有効とみられる地磁気地電流法（MT法）の探査精度向上を目的として、「高精度地磁気地電流法（高精度MT法）」の装置と解析法の開発が行われている。貯留層を形成する断裂を精度よく把握する探査技術開発が、1988年度から「断裂型貯留層探査法開発」として実施され、現在に至っている。

### (2) 地熱エネルギー採取技術

地熱開発を促進するためには、高温、高圧の環境下で、探査によって確認された貯留層へ向けて確実に坑井を掘削する技術や、貯留層の能力を十分に引き出す地熱流体の採取技術が重要となってくる。ボーリングの際の刃先として多結晶人造ダイヤモンドビット（PDCビット）などが開発されている。また、1991年度より、地熱井掘削時坑底情報検地システムの開発、1992年度より深部地熱資源採取技術の開発を実施している。深部地熱資源採取技術の開発では、耐熱温度350℃を目標としたビット、泥水材料、セメントスラリー等を開発しており、実証試験を行っている。

### (3) 地熱用材料の開発

地熱エネルギー開発に使用される材料の用途は、掘削、坑井、坑口および発電設備などである。いずれにおいても、高温、高圧、腐食性環境といった苛酷な環境で使用されるため、これらの条件に耐えられるものが必要となる。そのために、1974年度から地熱用材料の開発を進めてきた。1994年度からは、深部地熱用金属材料の解析・評価を行っている。また、掘削機のシールド材やビット用の高分子材料の耐熱性能の向上と最適材料の評価をめざした深部地熱用高分子材料の解析・評価を行っている。

## 3. 高温岩体発電システム

### (1) 高温岩体発電のしくみ

高温岩体とは、高温にもかかわらず熱水や蒸気を貯える天然の亀裂や間隙が少なく、熱水の循環系の発達が十分でない岩盤を言う。高温岩体の持つ熱エネルギーを発電に利用するアイデアは1970年代初め、アメリカのロスアラモス国立研究所で提案された。このアイデアは

- 1) 高温岩体に向け坑井を掘削し、この坑井から人工的に岩盤に割れ目をつくる。
- 2) この割れ目に向け、もう1本の坑井を掘削し導通させる。
- 3) 1本の坑井から水を注入し、人工の割れ目で熱交換を行い、もう1本の坑井から熱や蒸気として回収し、発電などに利用しようというものである（図2、図3参照）。

### (2) 開発の現状

現在行われている地熱開発は、熱源、熱の運搬媒体である熱水、熱水の通路となる割れ目が自然状態で整った状態（いわゆる地熱貯留層）を対象に行われている。この地熱開発地域のほかに、大量の熱エネルギーを有しながら、熱水および割れ目がないため地上にそのエネルギーを取り出すことができず未利用となっている地域が多数存在する。高温岩体発電は、そのような場所を対象にして、水圧破碎によって人工的に割れ目を作り、地上から水を注水して割れ目を循環させ、熱水や蒸気となった水を回収し発電を行うものである。

高温岩体発電は、天然の地熱貯留層がなくとも開発対象となり得るため、利用可能な地熱エネルギーの範囲が飛躍的に拡大されることが期待される。また、このシステムの開発によって確立される新技術は、地熱貯留層にあたらなかった坑井の有効利用および地熱開発における生産性向上に適用されることが期待される。このような高温岩体システムを確立するために、地下深部の地層中に人工貯留層を造成する技術、およびその人工貯留層を用いた熱抽出を評価する技術の開発が進められている。

1980年度から1986年度まで日・米・（旧）西独の3国共同研究を米国ロスアラモス研究所で実施し、ある程度の人工貯留層の生成・抽熱に成功し、高温岩体発電システムの開発研究に対する見通しが立てられた。共同研究で得られた成果を踏まえ、1985年度から、国内において実験を開始し、1991年度までに深度1800mでの人工貯留層の造成、人工貯留層の位置、挙動などを地上から把握するためのAE（acoustic emission）観測システムや坑井内レーダーの開発を行ってきた。また、人工貯留層から熱抽出を行うための循環抽熱試験などを約3カ月行い、安定的な熱回収（回収率約80%）に成功し、抽熱に必要な要素技術の開発を行った。1992年度からは、地下2200m付近に、より高温かつ広域な人工貯留層を造成するため、熱抽出に必要な生産井の増掘を行い、深部人工貯留層の形成を図った。1995年度からその深部人工貯留層に対して予備循環試験等、1996年度には導通改善循環試験等を行い、貯留層の特性把握、長期循環試験のための情報収集を行った。1998年度には、前年度に引き続いて長期循環試験のための地上設備等の設計・製作・工事等を行っている。

2000年度から2002年度にかけて、約19カ月にわたる循環抽熱試験（長期循環試験）を行い、約550日において蒸気・熱水を安定的に回収することに成功し、実用化に向けてデータを取得している。

### （3）開発の課題

高温岩体発電システムは、その貯留層の熱的ポテンシャルの評価、長期的なシステムの安定性など未知の部分が多い。今後、深部の人工貯留層において長期の循環抽熱試験を実施し、抽熱システムの長期的な熱特性および貯留層の規模拡大の効果を評価し、当該システムの技術的、経済的可能性を確認することとしている。また、米国、英国などの海外の実験結果とつぎあわせることにより、実験サイトに限られることのない、より普遍的なシステムの評価を行うこととしている。

---

## ＜関連タイトル＞

[熱水利用発電プラント \(01-03-06-01\)](#)

[省エネルギー技術の開発推進 \(01-06-03-01\)](#)

---

## ＜参考文献＞

（1）資源エネルギー庁（監修）：1999/2000資源エネルギー年鑑、通産資料調査会（1999年1月）、p.666-673

（2）山中 唯義（編）：CO<sub>2</sub>・リサイクル対策総覧「技術編」、通産資料調査会（1998年6月13日）、p.882-891

（3）科学技術庁政策技術局（監修）：日本のエネルギー開発 新世紀のエネルギー利用社会を目指して 日本科学技術振興協会出版部（1997年10月1日）、p.92-93

（4）岩切 俊一：地熱エネルギー、火力原子力発電、49（10）、p.1256-1263（1998）

（5）唐澤 廣和、江川 裕二：高温岩体発電システムの技術開発、エネルギー、p.83-85、1999年9月

（6）資源エネルギー年鑑編集委員会（編）：2003/2004資源エネルギー年鑑、通産資料出版会（2003年1月）、pp.193-201

（7）新エネルギー・産業技術総合開発機構：データベース、新エネデータ、fy14、地熱

---

# 表1 わが国の地熱発電所

日本の地熱発電所一覧

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	ユニット数 (台)	設備容量 (kW)	認可出力 (kW)	運転開始 年月日	発電方式 <sup>1)</sup>
森	北海道森町	北海道電力㈱ 道南地熱エネルギー	1	50,000	50,000	1982.11.26	D F
澄川	秋田県鹿角市	東北電力㈱ 三菱マテリアル㈱	1	50,000	50,000	1995. 3. 2	S F
葛根田	岩手県雫石町	東北電力㈱ 日本重化学工業㈱	1 (1号)	50,000	50,000	1978. 5.26	S F
		東北電力㈱ 東北地熱エネルギー	1 (2号)	30,000	30,000	1996. 3. 1	S F
上の岱	秋田県湯沢市	東北電力㈱ 秋田地熱エネルギー	1	28,800 <sup>2)</sup>	28,800	1994. 3. 4	S F
鬼首	宮城県鳴子町	電源開発㈱	1	25,000	12,500	1975. 3.19	S F
柳津西山	福島県河沼郡 柳津町	東北電力㈱ 奥会津地熱㈱	1	65,000	65,000	1995. 5.25	S F
八丈島	東京都八丈町	東京電力㈱	1	3,300	3,300	1999. 3.25	S F
大岳	大分県九重町	九州電力㈱	1	13,000	12,500	1967. 8.12	S F
八丁原	大分県九重町	九州電力㈱	2 (1,2号)	55,000	55,000	1977. 6.24	D F
				55,000	55,000	1990. 6.22	D F
山川	鹿児島県 山川町	九州電力㈱ 九州地熱㈱	1	30,000	30,000	1995. 3. 1	S F
大霧	鹿児島県 牧園町	九州電力㈱ 日鉄鹿児島地熱㈱	1	30,000	30,000	1996. 3. 1	S F
滝上	大分県九重町	九州電力㈱ 出光大分地熱㈱	1	25,000	25,000	1996.11. 1	S F
事業用計			14	510,100	497,100		
大沼	秋田県鹿角市	三菱マテリアル㈱	1	10,000	9,500	1974. 6.17	S F
松川	岩手県松尾村	日本重化学工業㈱	1	23,500 <sup>1)</sup>	23,500	1966.10. 8	D S
杉乃井	大分県別府市	㈱杉の井ホテル	1	3,000	3,000	1981. 3. 6	S F
霧島国際ホテル	鹿児島県 牧園町	大和紡観光㈱	1	100	100	1984. 2.23	S F
岳の湯	熊本県小国町	廣瀬商事㈱	1	200	50	1991.10.19	D S
九重	大分県九重町	(合)九重観光 ホテル	1	2000	2000	2000.21.1	S F
自家用計			6	38,800	38,150		
合 計			20	548,900	535,250		

注：1) D S：ドライスチーム，S F：シングルフラッシュ，D F：ダブルフラッシュ

2) 22,000kWから23,500kWに出力変更，1993年6月

3) 27,500kWから28,800kWに出力変更，1997年2月

出所：「わが国の地熱発電の動向 2002年版」、社団法人日本地熱調査会

下記の出所から作成した。

【出所】新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネデータ 平成14年度、地熱導入事例、<http://www.nedo.go.jp/nedata/14fy/09/d/0009d002.htm>





1. 1本目の坑井掘削

2. 水圧をかけて岩体に割れ目を入れる

発生する微小な振動を観測し割れ目の位置を確認する

3. 割れ目に2本目の坑井を掘削

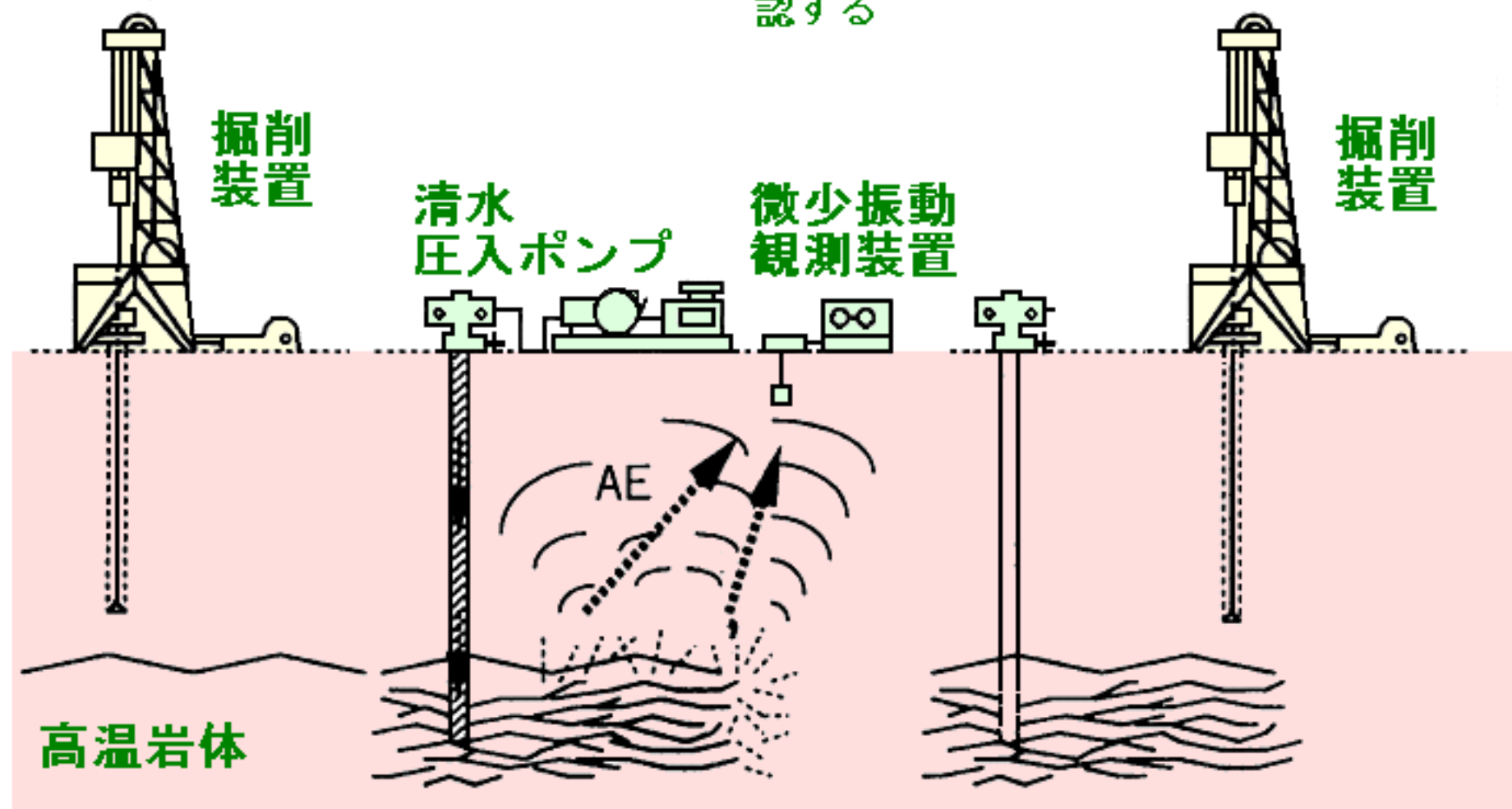
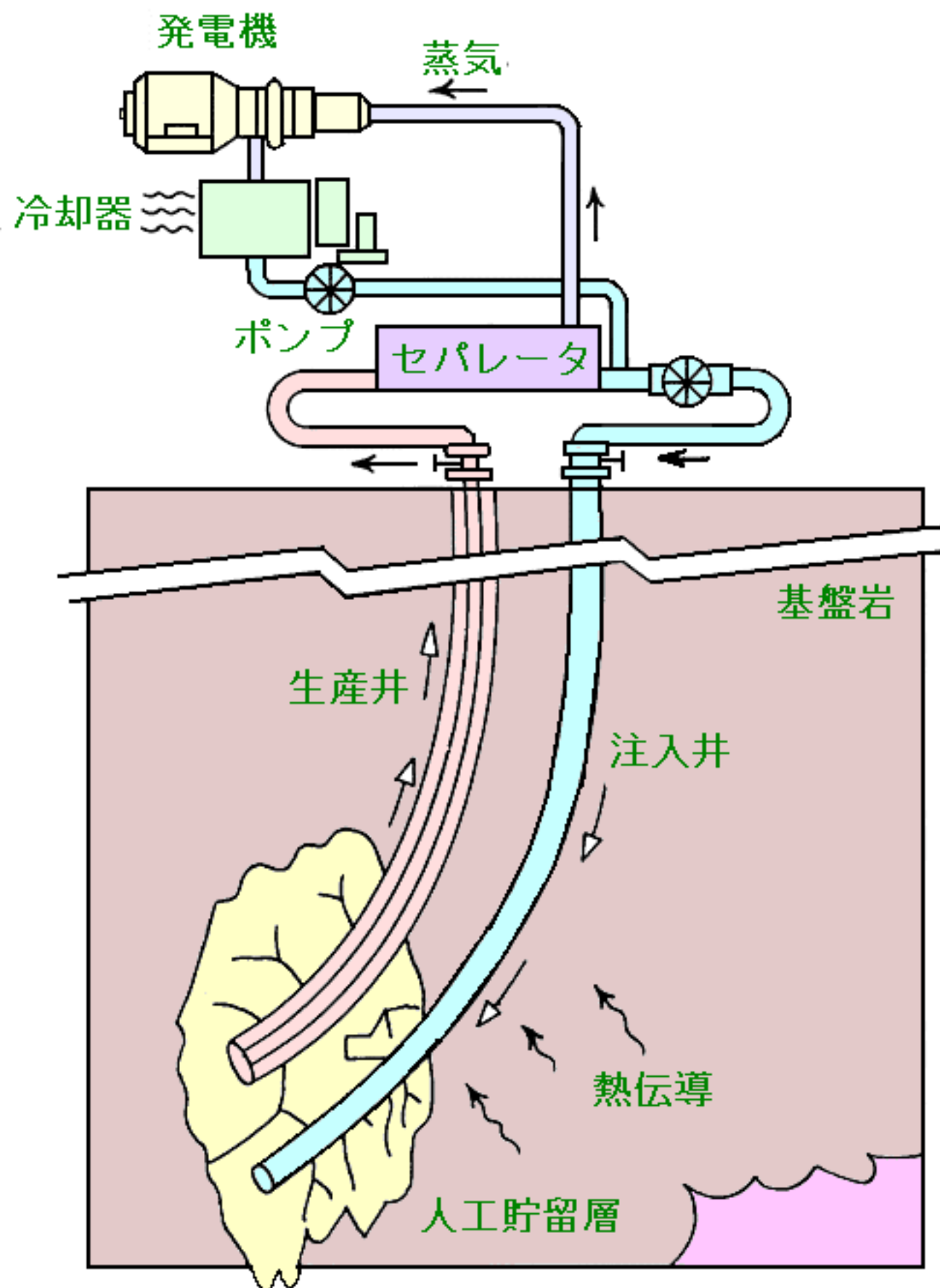


図2 高温岩体の掘削手順



**図 3 高温岩体発電システム概念図**

〔出典〕 岩切 俊一：地熱エネルギー、火力原子力発電、  
No.505 vol.49, p.26(1998年10月)