

地熱エネルギーの 将来を探る

——地球の体温を利用する技術——

地球の内部には、
どろどろに溶けた高温の物質がつまっている。
地上のわれわれには、火山の噴火という形でしか
目にはすることはできないが、
膨大な熱エネルギーが地下に眠っていることは、
疑う余地のない事実である。
もし、このエネルギーを自在に取りだし、利用できる技術が開発できたなら。
二酸化炭素による温室効果、
資源的な枯渇、
薄氷を踏むとき国際情勢——といった不安から自由な、
自給・再生可能なエネルギーが得られるはずである。
しかし、現実には容易ではない。
地熱発電の技術は、比較的古くから開発され、実績もあるとはいえるものの、
現在、全国16カ所にある地熱発電所の総出力を合計しても
火力や原子力の大型発電所約半基分程度にすぎない。
だが地球のエネルギーとは、本当にその程度のものなのだろうか。
地熱発電の実態を再見するとともに、
その可能性を探ってみる。

写真：イメージ/
キラウエア火山の噴火

地熱はポスト化石燃料の主役になりうるか？

—炭酸ガス排出量が少ない 大出力クリーン・エネルギーへの道—

CO₂（炭酸ガス）の削減が国際的な重要課題となっている昨今、さまざまな新エネルギー開発にかけられる期待は大きい。しかし現状、それらの新エネルギーが、全需給量のなかで大きな割合を負担できる可能性は見出せていない。そうした中で、出力規模、また資源量という点で、大きなポテンシャルを秘めているといわれるのが地熱エネルギーである。比較的古くから実用化が進んできたこともあり、ハイテクイメージはむしろ稀薄な感のある地熱発電の技術だが、将来へ向けての新たなテクノロジーの芽も生れようとしている。地熱発電の現状と将来性を概観してみよう。

古い開発の歴史をもつ地熱発電

1904年、イタリア・トスカナ地方ラルデレロで、ピエロ・ジノリコンティが、この地に発生する天然の蒸気を利用して発電機を回すことに成功。これが世界初の地熱発電とされる。この時は3/4馬力の発電機を用いて5個の電灯を点したのみにとどまったが、1913年にはこの地に世界初の地熱発電所（出力250kW）が建設されることとなる。

日本では、戦前に太刀川平治博士らが別府で1.3kWの地熱発電実験を行ったのが最初とされ、1925年、すなわち大正14年のことだった。ラジオ放送が開始され、国内で最初のトーキ

ー映画の試写が行われた年である。地熱発電の歴史はそれほどに古い。とはいえ、国内で本格的な地熱利用への取組みがなされるようになっていったのは、戦後の電力不足の時代になってからだった。復興への原動力として、各地で小規模な試験発電が行われるようになり、1966年岩手県松尾村に日本重化学工業の松川地熱発電所（出力9,500kW）が完成した。

その後オイルショックを迎えると、純国産エネルギーとしての地熱発電への関心は一挙に高まった。この時期、経営多角化へのステップとしても多くの企業が地熱開発に関心を寄せた。国内で得られ、国際情勢や産油国のおもわくに左右されず、自給が可能なエネルギー源である点に期待が集まったようだ。また将来の石油資源枯渇に対する警鐘が発せられ始めたこともあり、なかばブームのように地熱発電が脚光を浴びることとなった。

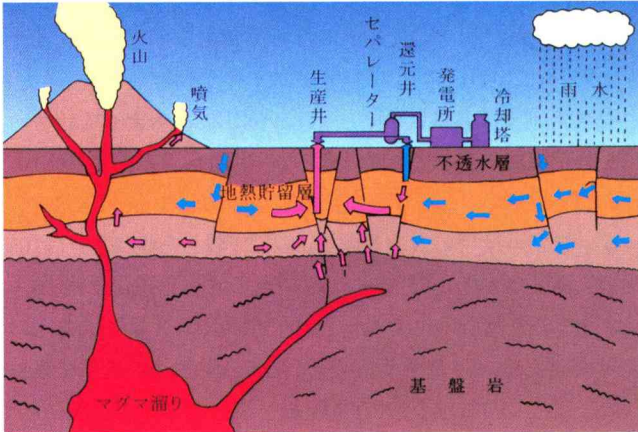
この時期、多くの地熱発電所の調査・開発が行われたが、皮肉なことにその後1980年代に入ってからのは為替の変動相場制、円高などの影響により、輸入エネルギーの原価が大きく低下してゆき、地熱のコスト競争力が、相対的に弱いものになってしまった。近年、地熱発電所が続々と完成し、平成8年に

日本国内で稼働している地熱発電所

	発電所名	発電部門	蒸気供給部門	認可出力 (kW)	運転開始
電気事業用	大岳	九州電力(株)	九州電力(株)	12,500	1967.8.12
	鬼首	電源開発(株)	電源開発(株)	12,500	1975.3.19
	八丁原1号、2号	九州電力(株)	九州電力(株)	55,000(1号) 55,000(2号)	1977.6.24 1990.6.22
	葛根田1号	東北電力(株)	日本重化学工業(株)	50,000	1978.5.26
	葛根田2号		東北地熱エネルギー(株)	30,000	1996.3.1
	森	北海道電力(株)	道南地熱エネルギー(株)	50,000	1982.11.26
	上の岱	東北電力(株)	秋田地熱エネルギー(株)	28,800	1994.3.4
	山川	九州電力(株)	九州地熱(株)	30,000	1995.3.1
	澄川	東北電力(株)	三菱マテリアル(株)	50,000	1995.3.2
	柳津西山	東北電力(株)	奥会津地熱(株)	65,000	1995.5.25
	大霧	九州電力(株)	日鉄鹿児島地熱(株)	30,000	1996.3.1
	滝上	九州電力(株)	出光大分地熱(株)	25,000	1996.11.1
自家用	松川	日本重化学工業(株)	日本重化学工業(株)	23,500	1966.10.8
	大沼	三菱マテリアル(株)	三菱マテリアル(株)	9,500	1974.6.17
	杉乃井	(株)杉乃井ホテル	(株)杉乃井ホテル	3,000	1981.3.6
	霧島国際ホテル	大和紡観光(株)	大和紡観光(株)	100	1984.2.23
	岳の湯地熱	廣瀬商事(株)	廣瀬商事(株)	105	1991.10.19
合計				530,005	

開発が具体化しているもの

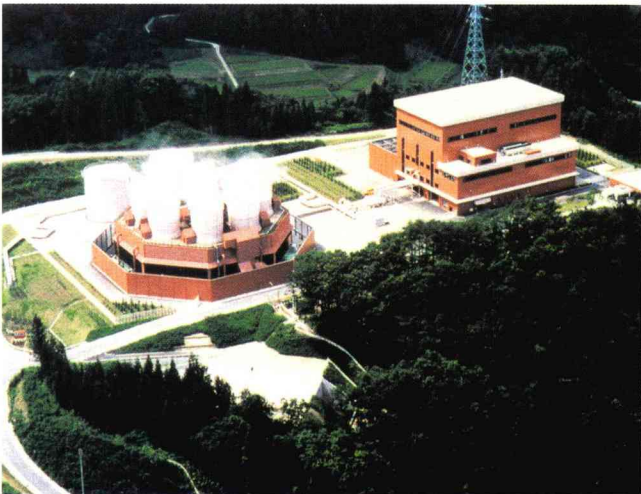
地点名	発電部門	蒸気供給部門	開発目標 (kW)	運転開始予定
八丈島	東京電力(株)	東京電力(株)	3,300	1999
小国	電源開発(株)	電源開発(株)	20,000	2000



地熱発電の概念



日本で最初の本格的地熱発電所である日本重化学工業・松川発電所。30年にわたり安定した稼働率で運転が続けられている（23,500kW）



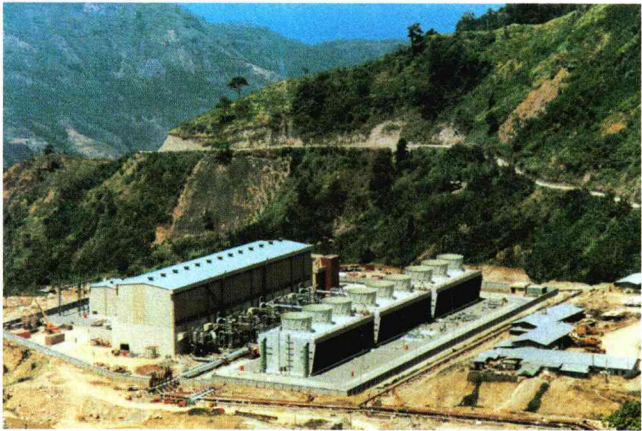
国内最大規模の出力をもつ柳津西山発電所（65,000kW）

は関係団体が「地熱発電50万kW(国内合計)達成記念事業」を開催したが、相次いで完成した地熱発電所の大半は、オイルショック後の頃に調査が始められたものだった。

現在国内では、電気事業用11、自家用5、合わせて16カ所の地熱発電所が運転されている。その出力合計は約53万kW。1発電所の最大のものでは6万5,000kWくらいの規模となっている。電気事業用の火力や原子力では1基あたりの出力は100万kW前後のものが多いから、現時点で地熱発電は全国16カ所すべての発電所の出力を合わせても、火力・原子力などの大規模発電所の半基分程度だということになる。それでも目下のところ太陽電池が数100kW級、風力が数1,000kW級であるのにくらべると、地熱はポスト化石エネルギーのポテンシ



世界最大の地熱地帯ガイザースにある地熱発電所（写真提供：東芝）



フィリピンのパリンピノンにある地熱発電所（写真提供：富士電機）

平均的発電コストの比較

電源種別	建設単価 (kW当たり)	耐用年発電原価 (送電端) (kWh当たり)
一般水力	64万円	13円
石油火力	19万円	11円
石炭火力	23万円	10円
LNG火力	20万円	10円
原子力	31万円	9円
地熱	60～70万円	13～16円 (補助金付)

NEDO資料より



地熱の掘削に使われるトリコーンビット。タングステン・カーバイト製の3つの刃先を回転させることで岩盤を掘削する

ルとしては、きわめて大きな可能性を秘めているといえる。発電コストにしても、火力や原子力には劣るものの、15年間の利用を前提に割り出した地熱電力の発電コストは約13円/kWhと、水力発電にほぼ匹敵する数値となっている。しかし、いまや開発への動きは鈍く、現在建設中の設備として小規模な発電所2基があるものの、新たな地熱発電所建設への動向はない。むしろ新たな開発よりは既存発電所の容量アップを目指そうという雰囲気が強くなってきているようにも見える。

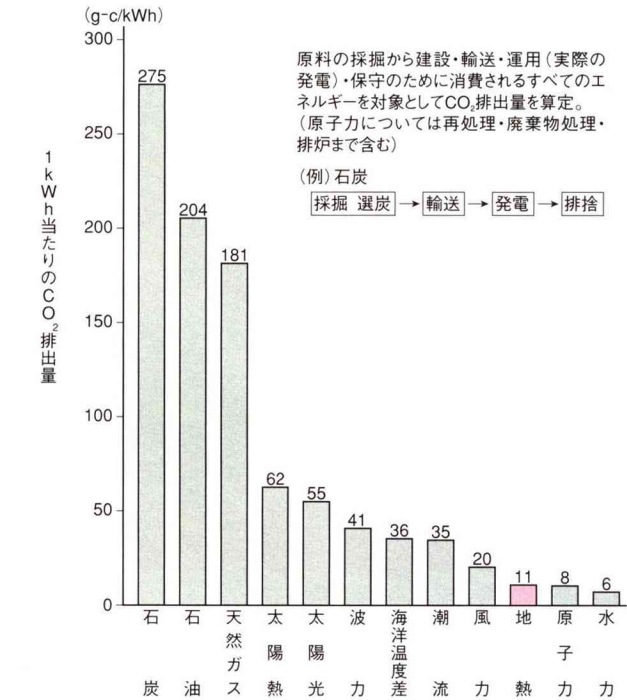
地熱発電では、蒸気が出るまでを担当するディベロッパーと、それを購入して発電を行う電力会社関わってくる。前者にとっては、当たり外れがあって開発のリスクが高いことが、また後者にとっては地元との調整などで他の発電所と同様の手間がかかるわりに発電規模が小さいということが、マイナスに働いているようだ。長期におよぶ調査・開発のリスク負担を軽減して地熱開発を促進していくために、現在はNEDOが調査の工程を受け持つ体制になっているが、開発期間、発電所運転開始までの期間の短縮は、いまだ地熱開発にあたっての重要な課題となっているようである。

海外で運転されている大出力の地熱発電所

いわば手間がかかるわりには比較的小さな出力しか得られないことが、地熱開発の足踏み状態の原因となっているわけだが、海外へ目を向けてみると、きわめて大出力の地熱発電設備も現実に存在していることがわかる。米国カリフォルニアのガイザースは、約80km²にわたる地域にいくつもの発電設備が散在する世界最大規模の地熱地帯であり、1960年に1万1000kWの発電所が建設されて以来、着々と開発が進められてきた。その発電設備容量は最大時の1989年には、200万kWに達していた。広大な地域に分散するすべての発電設備の総容量ではあるが、原発2基分に相当する電力が地熱によって得られていたことになる。その後、ガイザースでは蒸気の取り過ぎによって蒸気生産量が減衰して、1995年には110万kW程度となってしまう、発電量回復が目下の課題となっている。しかし相当量の電力を地熱から得ることが可能だということは、ガイザースの例から学ぶことができそうだ。

アメリカはガイザースを中心に全国で約285万kW（1996年現在）の地熱発電の設備容量を持っている。それに次ぐのはフィリピンで、総計140万kWに達する。フィリピンの場合、驚くべきは地熱発電の比率が国内全電力設備の20%以上を占めていることだ（日本は0.3%程度）。米国や日本とは電力需要量自体が違うとはいえ、地熱が現時点で1国の電力エネルギーの2割を負担しているという事実には着目してもよさそうだ。フィリピン最大級の地熱発電所パリンピノンIIは、合計出力80万kWに達する。いくつかの発電設備の合計とはいえ、この出力は、火力や原子力の100万kWという数字と比べても、見劣りするものではないだろう。

総出力ではフィリピンに次いでさらにメキシコ、イタリアと続き、日本は現状、地熱発電を行っている22カ国中5番目の位置につけている。日本は世界有数の火山帯であり、世界の活火山の7.8%がこの狭い日本に集中しているといわれる。至るところに散在する温泉も、日本が地熱資源に恵まれた国であることを示唆している。にもかかわらず、日本には大出力の地熱発電所が建設できないのだろうか。



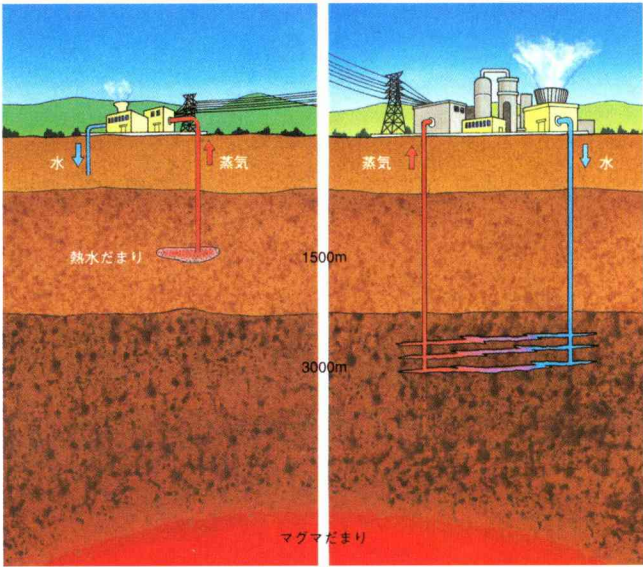
各種電源のCO₂排出量（電力経済研究No.29より）

これは現状、地熱資源というものが、①熱源②地下水脈③貯留構造の3つの要素が揃っていることで初めて成立することに関連している。3拍子揃ったポイントを探し、長期間の調査を行ったうえで先述したような立地的な調整という問題に当たらねばならないのである。

使える可能性のある地熱エネルギーそのものは、日本にはどのくらいあるのだろうか。資源量評価については、NEDO（新エネルギー・産業技術開発機構）が、①地上調査にもとづくものと、②坑井での計測数値をもとに絞り込んだものと、2とおりの数値を算出している。前者の地上調査にもとづく評価では全国204地域の地下3kmまでを対象とした場合、6,930万kWの発電が可能な高温熱水資源（150℃以上）が日本国内に眠っているという推定値が出された（1989年）。現在の日本の総発電設備量は約1億7,000万kW（電力10社／平成7年度）とされているから、この値によれば国内で使われる電力の約40%以上に匹敵する地熱資源が、開発可能かどうかは別として、存在はしていると考えられる。

また坑井調査結果をもとにさらに具体的な数字として試算した例では、地熱調査のための坑井がすでに3本以上ある全国34地域を対象に行ったが、この結果では2,459万kWだという（1990年）。調査のための坑井がある地域に絞っているため、地上調査の時に比べると数値は半分以下になっている。

これとてかなり豊富な資源であるには違いないが、地熱エネルギーとは、ほんとうにこの程度のものなのだろうか。地下に人為を圧倒するような巨大なエネルギーが閉じ込められている



既存の浅部地熱発電（左）と高温岩体発電（右）



NEDO 肘折実験場での高温岩体発電の実験風景。蒸気が盛んに噴出している

ことは、三原山や雲仙でも見せつけられているはずだが、それを利用するすべは21世紀を迎える現在もなお存在していないのだろうか。

資源量4億1000万kW！高温岩体発電への道

こうした疑問に応えるものとして、高温岩体発電なる技術の研究が進められている。先にあげたように、現在の地熱開発は、熱源、地下水脈、貯留構造の3要素を必要とする。自然のうちに3拍子揃った土地を探すことは難しい。だが熱だけを探すとすれば、対象地は広がる。そこで熱源だけを探し、貯留構造は人工的につくり出し、水を流し込んでやろうというのが、高温岩体発電の発想である。地下で熱せられた岩盤を利用することから、この名称がある。貯留層を人工的につくるため、設計次第で1基20万kW相当という大出力の地熱発電所が建設可能になるという。

高温岩体発電を行うためには、まず地下数kmまで岩盤を掘削し、高温な岩盤の部分に約1km四方ものスリット状の亀

裂を何層かにわたって設けてやる必要がある。数mmという薄い亀裂だが、この層が人工貯留層となり、いわば「釜」の役割を果たす。とんでもなく大きいか横に平べったく薄い「釜」が何層か重ねられてマグマの「かまど」にかけられた状態—をつくりだすわけだ。ここに地上から水を注ぎ込むと、高温高压になった熱水と蒸気が吹き上がってくる。この蒸気圧や熱を発電に使う。

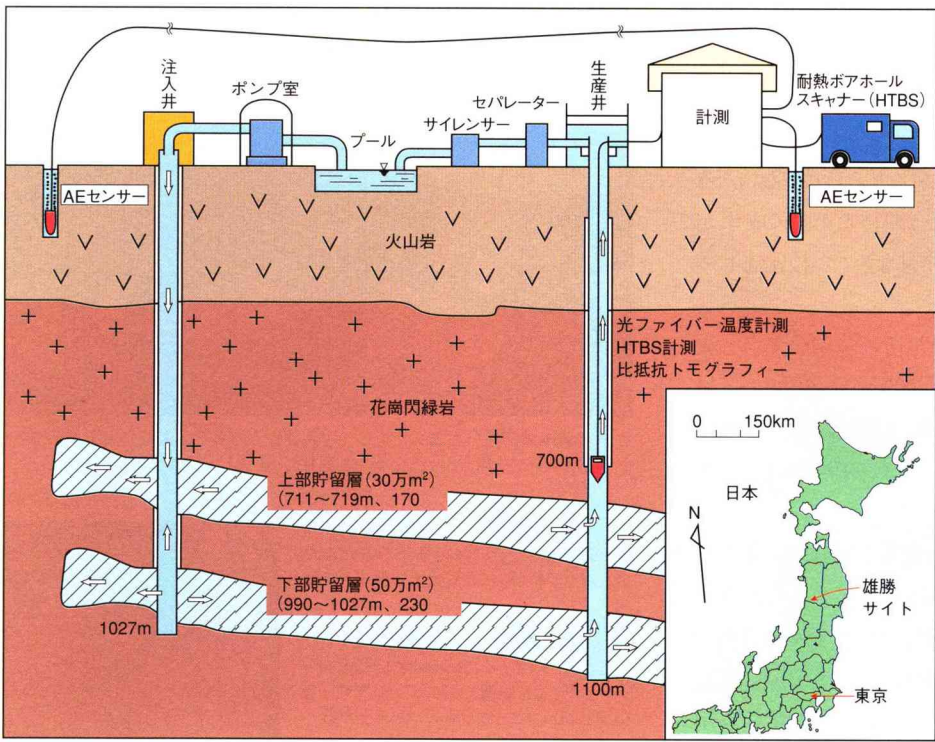
高温岩体発電を対象にした場合、地熱資源量は格段に大きく見積もることができる。(財)電力中央研究所の試算によると、深度3kmまで掘削し(岩盤温度300℃)、その下部の約1kmの岩盤にスリットを入れて発電に利用するという条件では、日本全国で約1億5,000万kWに相当する資源量が期待できるという。これは先述した日本全土の発電設備量にほとんど匹敵する数値である。さらに深度を下げて地下4kmまで掘削し(岩盤温度400℃)、その下部の2kmの岩盤を発電に利用することを前提に試算すると、約4億1,000万kWの電力が得られるという。

高温岩体発電ではコストに見合った掘削ノウハウさえ得られれば、深部のよりホットな岩盤を自在に選択して利用することが可能になる。もちろん資源量と開発可能量とは別のものであるが、仮に数パーセントが開発できたとしても、相当の資源であると考えられるだろう。アメリカでもエネルギー省が高温岩体発電資源量を試算しているが、全対象地で深さ4kmまでを利用した場合、その資源量は54億kWにのぼるという。

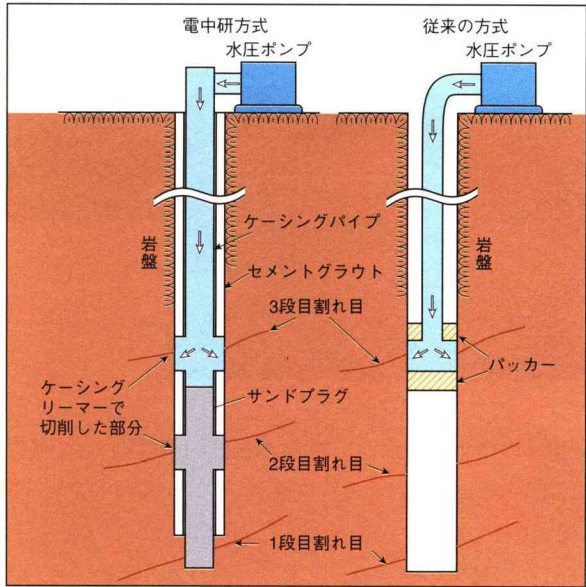
日本で考案された「われ目」づくりの技術

高温岩体発電のコンセプトは、1972年にアメリカ・ロスアラモス国立研究所で生まれ、1974年からニューメキシコ州のフェントンヒルで初期の実験が開始された。この頃から国内でも「火山発電方式」として研究が開始され、1978年には岐阜県焼浜で小規模な実験が行われている。1981年からはフェントンヒルで行われた共同研究(日米独)に参加した。1985年からは山形県大蔵村の肘折地区にNEDOの高温岩体発電用実験設備が設けられ、地下約1.8kmの人工貯留層に水を注入して蒸気・熱水の回収実験(循環試験)が行われた。1995年～1996年には、さらに深部(地下2.2km)での循環試験が行われている。

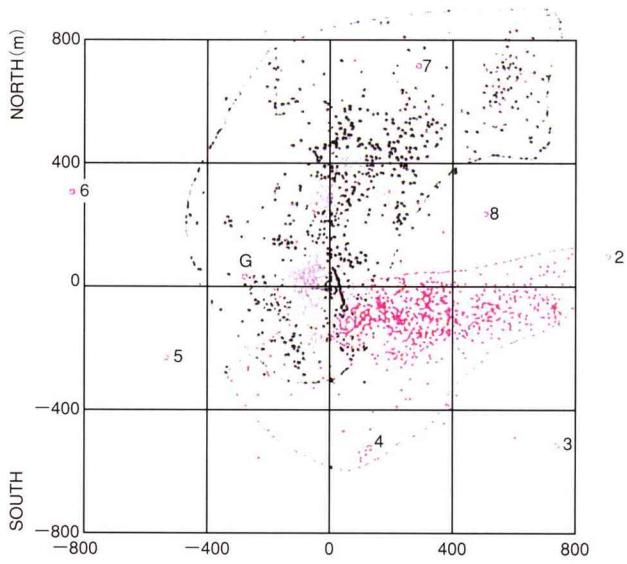
高温岩体発電の実用化にあたって鍵となるのは、岩のわれ目を複数層にわたってつくる技術である。深部で岩を割るには、水圧を利用するが、当初アメリカなどでは、掘削した穴に注水パイプを下ろし、その周りをゴム製のパッキング部品で覆い、掘削穴の口を密閉して水圧をかけるという方法をとっていた。しかしゴム製パッカーは、強度が弱く、耐熱性の点でも問題があり、深さを変えながらいくつもの層を重ねてつくっていくには難点が多かった。



電力中央研究所の高温岩体発電・雄勝実験場概念図。世界で初めて複数層の貯留層造成に成功した



高温岩体発電のための岩体への亀裂造成法。右が米国で考案された方法だが、パッカーの耐熱性に問題があった。左のCRSP方式が開発されたことで、複数の亀裂造成が実現した。



AE法図面の例。音の発生地点をマッピングしていくことで、できた亀裂の広がりが見視化される。赤点が上部亀裂、黒点が下部亀裂によるもの。上下方向の分布を立体的に見ることもできる。散在する数字は観測地点

1970年代中頃から高温岩体発電の研究を進めてきた電力中央研究所の堀義直氏（現・特別研究員）は、10年前に複層の人工貯留層をつくるシンプルで画期的なノウハウを考案し、高温岩体発電への道を拓いた。CRSP法（Casing Reamer Sand Plug／電中研式多重岩盤破碎法）といわれるこの独自のノウハウは、銅管と砂を利用して岩に何段ものスリットを入れていくというもの。堀氏は1991年から実際にこのCRSP法を適用し、秋田県雄勝で世界で初めて、深さの違う2層の人工貯留層をつくることに成功した。

雄勝実験場で造成された「岩のわれめ」は、それぞれ上が30万m²下が50万m²もの広がりをもつ。東京ドーム10個分の底面積を持つ釜が2枚重ねでできたことになる。この「われ目」がどう入っているかを測定する方法として、地表ネットAE法と呼ばれる方法が開発された。「われ目」をつくる際に発生する小さな音を数箇所の観測点で測定し、音の発生地点をマップ上にポイントしていくと、その集合状態によって「われ目」の平面的・立体的広がりが視覚化できるという方法である。「原理としては地震計を精妙にしたものと考えれば分かりやす

いでしょう」(電中研主任研究員・海江田秀志氏)

「最初は方々で笑われましてね」堀氏はCRSP法を手を実験を後押ししてくれるコンサルタント会社や研究所などを探してまわった10年前をふりかえる。「そんな方法じゃ、坑井の口のところから吹き上がってしまって、岩を割るどころじゃないだろう、と……」。しかしやってみると、ほぼ期待どおりの成果が得られ、いまや高温岩体発電にはなくてはならない技術として国際的にも認められるようになった。

現在、雄勝実験場では、2層の人工貯留層を用いて、さまざまなデータ収集を行っている。注水した冷水は160℃の蒸気と熱水となって1生産井で約24%が回収されている。今後は生産井を4本に増やすことで、80%の回収率が得られることを実証していく段階にあるという。

「シミュレーション上では、高温岩体発電によって安定した電力が得られることは、十分に分かっています。しかし、長期間運転して温度が下がらないことを現実に行って見せなければなりません」(前出・堀氏)。雄勝実験場ではこれまでに最長で5カ月間の循環実験を行っており、今後は加速実験(実用



雄勝実験場の全景。左奥のやぐら(注入井)から水を注入し、右手前のやぐらから熱水と蒸気を取り出している(生産井)。中央に見える小屋はポンプ室

CRSP法の考案者である電力中央研究所・堀義直氏。うしろに見えているのは吹き上がってきた熱水と蒸気を分離する装置

蒸気は高温高压のため、吹き上がるときに大きな音が出る。それを緩和するためにサイレンサー(消音装置)が設けられている。循環実験時にはここから蒸気が吹き上がる。



COLUMN

中低温熱水を利用した発電を可能に —バイナリー発電システム—

現在の地熱発電は、フラッシュ方式といわれ、沸騰した水蒸気を利用してタービンを回転させている。この方式だと地下の熱水はかなりの高温高压でなければ発電に利用できない。だが熱水資源にはもう少し温度の低い、中低温(80~150℃)のものも存在している。それらを利用する発電法として注目されているのが「バイナリー発電」システムである。

原理としては、熱水でフロンやアンモニアなどの沸点が低い媒体を沸騰させ、その圧力でタービンを回す。比較的小規模な発電システムとして有望だと考えられているようだ。温泉旅館などでの自家発電システムといったイメージだろうか。現在、NEDOによって100kW級、500kW級のそれぞれのシステムが実証運転に入っている。出力が小さいため、設備費用を十分に償却していけるだけのコストダウンが実用化への鍵になると考えられる。



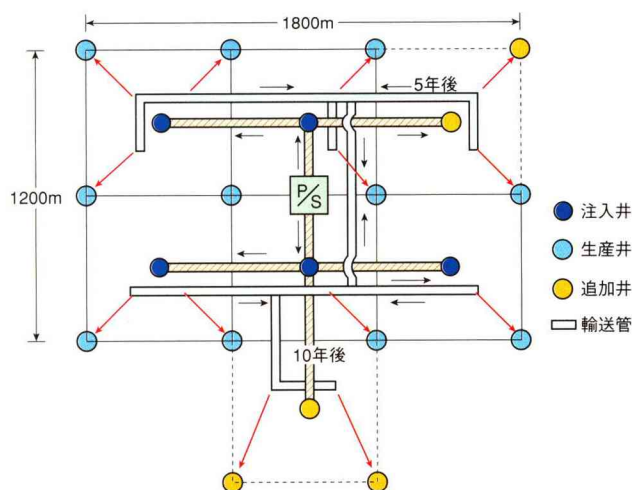
実証運転中の500kW級バイナリー発電システム

の何倍かの冷水を注入し、冷却されやすい状況にして長期運転に相当する条件を与える)を重ねつつ、実現性をアピールしていきたいという。

高温岩体発電の研究は、アメリカ、日本のほかにも、イギリス、フランス、ドイツ、ロシアがそれぞれに取り組んでおり、過去3回にわたる国際フォーラム開催など、研究者どうしの国際的な交流も活発なようである。研究者間の認識によれば、現在、高温岩体発電に必要な最低限の要素技術は揃ってきており、今後は実用化の際のコストをどこまで低減できるかが課題になるという。また各国ともにモデル発電実験をいつどのような規模で行うかが注目されている。アメリカでは民間企業の実験にエネルギー省が50%の補助を考慮しており、欧州では欧州連合への共同研究案が提出されている。

火力に競合しうる発電コスト低減も可能?

問題となる高温岩体の発電コストだが、NEDOと電力中央



高温岩体発電による24万kW級発電所の平面概念図。最初は実線部分に配置された生産井を用い、5年後、10年後に生産井を増やしていく。この仕様で15年間使用した場合を想定して発電コスト試算が行われ、ダブルフラッシュ方式（蒸気を2段階に利用する）なら12.7円/kWhにできるとの結果が出された。

高温岩体発電のコスト試算

発電出力 [万kW]	利用深度 [km]	発電単価 [円/kWh]	建設単価 [万円/kW]	備考
1	2	28.3	118.0	NEDO (1994)
3	2	22.0	90.0	NEDO (1994)
7.5	3	18.0	64.4	電中研 (1986)
24	4	12.7	53.4	電中研 (1990)

研究所が出力や深度など、いくつかの異なる条件で試算している。そのデータからは大出力にするほど、1kWhあたりの単価は抑えられることが分かった。電力中央研究所では1990年に試算研究会を結成して検討した結果、深さ4kmまで掘削し、段階的に建設を進めて24万kWの規模にしていくという条件では、12.7円/kWhまで下げることができるという結論を得た。既存の水力発電よりも低い数値である。「アメリカでの試算結果では、もう少し安くできるとされています。なぜかというので調べてみたんですが、どうやら掘削機械などの稼働率が大幅に違う。アメリカでは同じ機械が石油の掘削にも使われ、それも含めて償却されているからなんです。日本でも地熱開発の件数が増えれば、掘削費が下がる可能性もあるのかもしれない」（前出・海江田氏）。国の補助金などが導入されれば、さらに11円/kWh前後にまで下げることが可能だという。

「将来、石油やガスなどの価格が上昇していくと、どこかで交差するポイントが出てくるかもしれません。しかし地熱開発の場合、調査から初めて10年かかりますから、10年前にその分岐点を予測しておかないと対処が遅れるかもしれませんね。かなり難しいことでしょうが……」（前出・海江田氏）

石油資源の将来的な枯渇や環境対策といった視点から、さまざまな新エネルギーが研究されているが、高温岩体発電を含

めた地熱の開発は、その中でもとりわけ実現可能性が高く、大きな出力が期待できるものと見る事ができるだろう。

C O L U M N

地熱発電所建設は、地域振興プロジェクトとタイアップして……

—地熱を用いた理想郷・ジオサーモピア構想—

地熱発電では、発電に使用した後の熱水が大量に発生する。この熱水は通常、還元水として地下へ戻すが、その温度は70～100℃とかなりの高温を保っている。かりに高温岩体発電の成功によって24万kWの地熱発電所が建設された場合、1時間に約3,000tもの大量の熱水が発生することになる。これをそのまま地下に戻す法はない。

近年、山村などでは過疎化が進み林業分野では後継者不足に悩んでいるが、地熱資源はこうした山間部や島しょにも多い。そこで地熱発電所建設をその熱水を利用した村おこし、街おこしのプロジェクトに結び付けていこうというアイデアが出されている。

本文中に登場する電力中央研究所の堀氏は熱水利用の地域振興策を、「ジオサーモピア構想」として提案し、検討会を結成して詳細なビジョンをまとめた。

近頃の野菜は石油でできているといわれるように、昨今では農業にも大量のエネルギーが投下されている。地熱発電による熱水を利用すれば、野菜づくりに石油はいらなくなるだろう。そのほか魚介類の養殖、熱水のエネルギーを利用した工場経営、研究施設誘致など、多角的な利用が考えられる。暖房・給湯設備やコミュニティ施設への利用はいうまでもない。電気を起こしたうえで、人工温泉を利用できれば、地域にとってのメリットも大きいだろう。

発電に限定せずに熱水を2重にも3重にも利用できるという意味で、こうした利用法は、地熱の利用効率を引き上げる効果がある。また地域振興というその副次効果への期待から、地熱発電所建設に対する歓迎ムードをつくっていくうえでもプラスになりそうだ。

ある産油国の資産家が、日本は石油のかわりに温泉が出るというて、うらやましがったとか。地熱エネルギーは石油にたよらない新たな文明創造の動力源となりうる——？



〔取材協力・写真提供：新エネルギー・産業技術総合開発機構、
(財)電力中央研究所、(株)東芝、富士電機株〕