

高温岩体からのエネルギー抽出

米国の開発状況と将来への展望

高島 勲 (地殻熱部)

1. ま え が き

昭和53年6月15日 米国エネルギー省と工業技術院の間で日米の地熱エネルギー研究開発協定が調印され 地熱の各分野について研究協力が推進されることとなった。そして 具体的な協力項目として高温岩体の開発が最優先の課題として選ばれ 研究者の交流を含めた広い範囲の協力が計画された。

筆者は これに基づき 昭和54年1月30日から3月25日までの間 高温岩体に関し 先進的な研究を進めているロスアラモス科学研究所 (Los Alamos Scientific Laboratory, LASL) をはじめ いくつかの機関を訪問し 米

国における高温岩体開発の現状を知るとともに その開発に対する LASL 以外の研究者の意見を聞く機会を得た。ここでは LASL の高温岩体研究の現状を紹介するとともに その問題点 将来性等について 日本への適用を念頭に置いて検討してみたい。なお 同研究所の高温岩体プロジェクトについては 山田 (1978) が本誌 281 号に紹介しているので それをも参照されたい。

2. 高温岩体とは

高温岩体 (Hot Dry Rock, HDR) とは 熱く乾燥した岩体であり これまで開発されている大岳 松川などの

第 1 表 地熱エネルギーの分類と資源としての位置づけ (分類は 角 (1979) 地質ニュース No. 295 を改変)

		温 度 (°C)	資 源*1 ベース(Q)		回収可能*2 資 源	准限界的*3 資 源	亜限界的*4 資 源	備 考
			米国	日本				
火 山 性	マ グ マ	650-1200	10 ²	10 ²				利用技術なし
	高 温 岩 体	90-150			◎*5			暖房用
		150-350	10 ²	10 ²	◎			深度 4~5 km までが回収可能? 利用技術の開発かなり困難
		>350						
熱 水 性	蒸気卓越型 高温熱水型 中温熱水型 低温熱水型	>240			○			
		>150			○			
		90-150	10	1		○		パイナリー発電・暖房
		50-90				○		暖房用
非 火 山 性	高 温 岩 体	90-150			◎			暖房用
		150-350	10 ⁴	10 ³		◎		火山性にくらべボーリング深度大 利用技術の開発かなり困難
		>350						
	熱 水 性	静水圧型 (深層熱水)	50-90			○		
90-150			1	10	○			パイナリー発電・暖房
>150						○		ボーリング深度大
岩圧水型		50-90			◎	◎		メタン等可燃性ガスを含む
		90-150	10 ²	?		◎		"
		>150				◎		"

*1 経済性 利用可能性等無視した資源総量 (地下10kmまでの評価でオーダーを示す)

*2 その時点で他の既存エネルギーと競合できる資源

*3 " の 2 倍以内で採取できる資源

*4 その時点で他の既存エネルギーの 2 倍以上で採取できる資源

*5 ◎印は近い将来の予想位置を示す

既存の地熱とは 利用しうる熱水や蒸気が伴われていないことで区別される。その定義は まだ確立されていないが一応の案として 第1表のような分類を行ってみた。この表には 各地熱種ごとにその資源ベースの概略のオーダーと資源としての一般的な位置づけをも示しているが HDR は 現時点では利用法が確立されていないため 資源ではなく 資源ベースとしてのみ評価されている。

HDR からエネルギーを抽出するというアイデアは LASL の M. C. SMITH らによって提案され 特許が取られている。その原理は至って簡単で 2本の孔を掘り その間に人工的に破碎された熱交換部を持つ循環系を形成し 熱を回収するというものである(第1図)。LASL では 1970年から地点選定を始め 同研究所の西方32 km のフェントンヒル (Fenton Hill) で そのアイデアの実現のための研究開発を進めている。第1段階の成果として 1977年秋から1978年春までの間に 数回の人工熱水系による熱の回収実験を行い 最長75日間にわたって 熱出力 4-5 MW のエネルギーを HDR から抽出することに 世界で始めて成功している。

ところで LASL は何ゆえ HDR の開発に取り組んでいるのであろうか。熱水や蒸気を伴った一般の地熱にくらべ 手間も暇もそして金もかかるであろう HDR を

開発する意義は一体何であらうか。その答えは HDR の資源ベースの大きさにある。米国の例でいえば 地下10 km までで 150°C 以上の部分の資源ベースは 同国の石炭の埋蔵量より 2-3 桁上となっており (第2図) その2%の利用で同国の全エネルギー消費の 2,000 年分にも相当する莫大なものである。このことが米国エネルギー省をして LASL に困難な HDR 開発を進めさせている最大の理由である。そして 既存の地熱より不利な経済性などの点は 技術的な進歩でのりこえられると LASL の研究者達は考えている。また 回収熱水中の溶存成分濃度は著しく低く 環境への影響も少なくなっている。さらに HDR はほとんどどこにでもあるといった普遍性が長所としてあげられる。地下深く掘りさえすれば どこにでも利用できる資源があることになりこの点が エネルギー大消費地である東部と西部に偏存する既存地熱という米国の地熱賦存状況の不利を補うものとして期待されている。

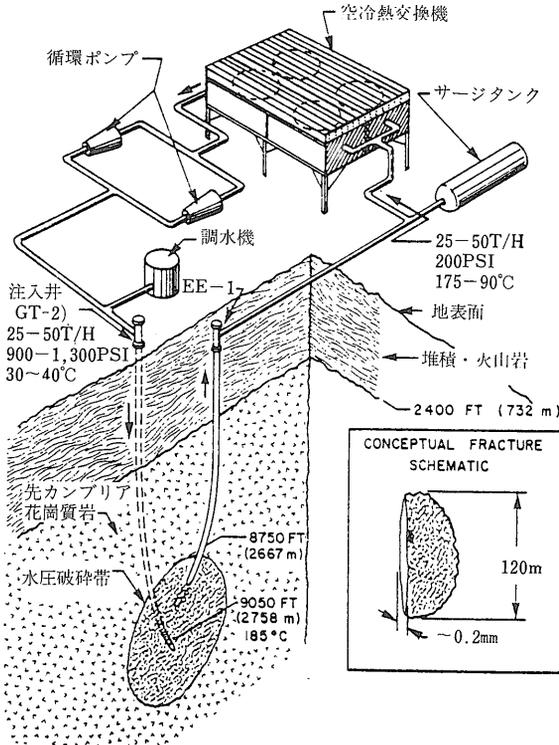
HDR の普遍性は 日本のような火山に関連する浅部高温資源を持たないヨーロッパ各国などの注目をあび多くの国が研究開発に着手している(第2表)。

3. LASL における研究開発の状況

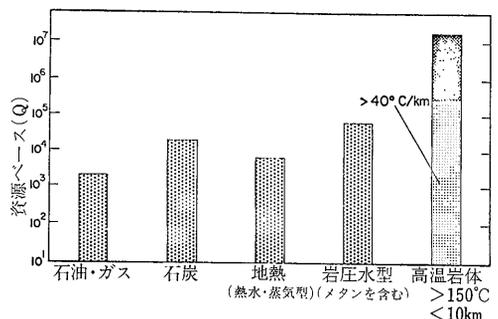
3.2 LASL とその HDR 研究組織

本題に入る前に HDR に関してアイデアを出し 実際にその研究開発を進めている LASL について簡単に紹介しておく。LASL はニューメキシコ州北部のロスアラモスにあり 第2次大戦中の1943年に原爆を作るという目的で作られた機関である。戦後もしばらくは 閉ざされた研究所として厳重な監視下におかれたが 1958年一般に公開され 医療 エネルギーなども含めた総合研究所として再出発している。

現在は エネルギー省のためにカリフォルニア大学が運営しており その人員は約7,000人である。参考までに 1978年の各分野の予算を第3図に示したが LASL



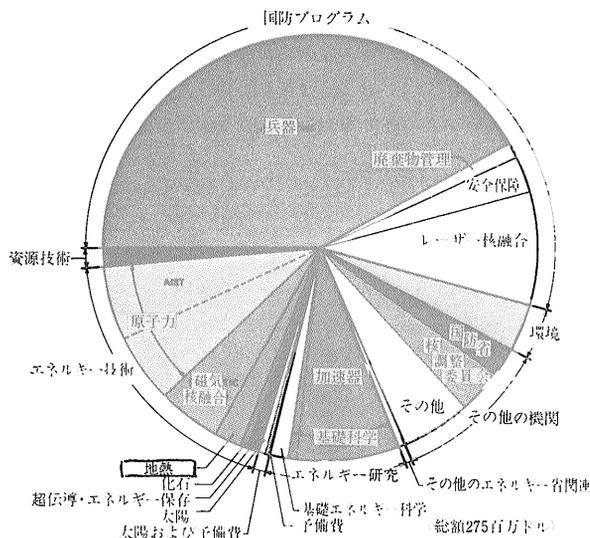
第1図 フェントンヒルを例としたHDRの概念図



第2図 米国における各種資源ベースの比較

第2表 各国におけるHDRの調査・研究の概要

国名	調査・研究項目					調査・研究の概要
	地点調査	実験室規模の 破砕実験	貯留層内の モデル計算	野外実験	経済性および フィジビリティ研究	
エジプト	○					① 紅海沿岸でHDRの探査を行った ② Wadi Ghadir の先カンブリア時代の花崗岩で 54°C/km の値を得た ③ 脱塩を目的とする
西ドイツ	○	○	○	○		① 西部 Bararia 地域の花崗岩に 300m×12本のボーリングを行い破砕の研究を実施 ② Urach に 3335m (150°C) のボーリングを行い各種試験を実施 ③ 水圧破砕に関する基礎実験を行った
フランス		○	○			① 水圧破砕の理論的研究 ② 熱破砕の室内実験
アイスランド					○	
イタリア	○			○		① イタリア中央部 Tuscany で 300°C の高温岩体を発見 ② 4000~5000m の深部のミストクォーツアイトに対する破砕を計画中 ③ 坑井刺激法として破砕を重視している
日本	○	○	○	○	○	① 硫黄島でのモデル実験 ② 焼岳での人工破砕帯形成実験 ③ 豊羽での熱構造調査 ④ モデル計算
スウェーデン	○					① 100m 深のボーリングにより熱測定を行った ② 西海岸の Bohus 花崗岩について放射性元素の分析を行い 熱源としての可能性の検討を始めた
スイス	○					① Basel 付近で結晶質基盤の深度を決定した ② 温度深度の関係を試算し スイス・アルプス地域で 150—170°C (5 km) を得た ③ 広域的な応力場を求めた
トルコ	○					① 中央 Anatolia の Cappadocia 地域 (30—40万年前のカルデラあり) について HDR の可能性を検討した
英国	○			○		① 南西端の古生代花崗岩地域で 35°C/km の値を得た
米国	○	○	○	○	○	本文参照



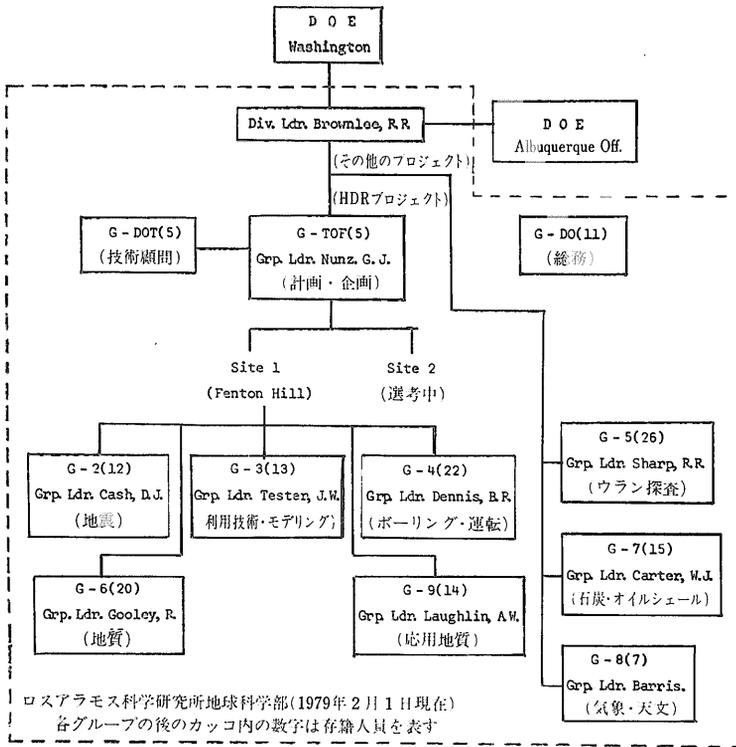
第3図 LASL の分野別研究費一覧(1978年度)

の予算の半分近くは兵器開発となっており 設立時の性格がかなり強く残されている。 それにしても軍事研究がエネルギー開発と同一の研究所で しかも大学が運営するといった形で行われるということは 日本では全く考えられず わが国との国情の違いを感じさせる。

地球科学部 (Geoscience Division) は このLASLの一部であり 第4図に示されるような組織体制でHDRプロジェクトに取り組んでいる。 研究者はLASLの本部と10kmはなれたTA-33と呼ばれるところにあり 建物はプレハブやトレーハウスなどを利用している(写真1)。

3.2 開発の歴史

LASLでは 1970年以来多くの実験を積み重ねてきているが その予算 人員 実験内容などの概要を第3表に示した。 この表で印象的なことはGT



第4図
LASL地球科学部の組織およびHDRに対する体制

-2 EE-1の掘削が終わった1975年から 実際にエネルギーを取り出すことに成功した1977年末までに 2年以上の期間があることで 新しい技術に挑んだ苦労のあとが

うかがえる。しかし大きな成果として公表するまでのものではないが 実験上のノウハウなどの多くは この時期に得られている。

第3表 LASLにおけるHDR開発の歴史

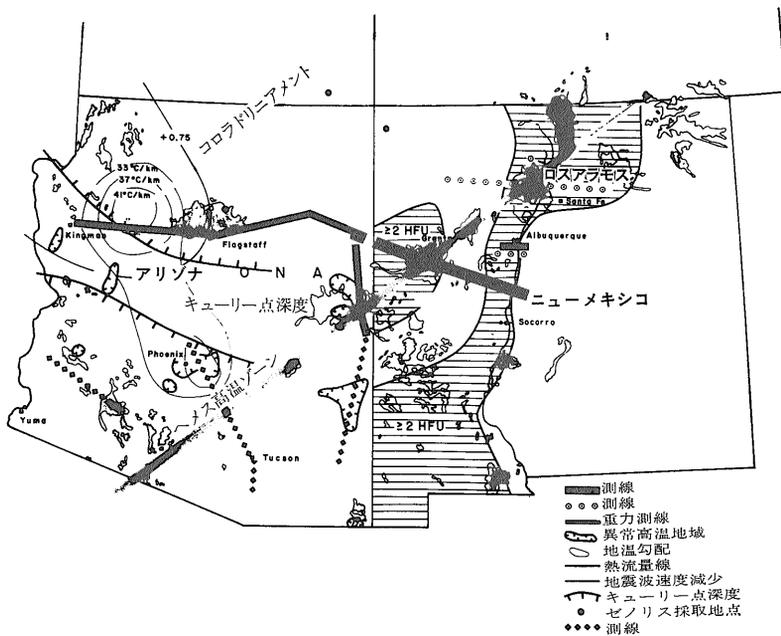
会計年度	人員	予算(1000\$)		内容
		年度	累計	
'70	~0.1	~5.	~5.	基礎研究
'71	~0.3	~130.	~135.	"
'72	5.0	278.	413.	探査井4本(150-230m) GT-1(785m)掘削
'73	3.0	164.	577.	
'74	29.5	76. } 2970. }	3623.	GT-2(2042m)掘削 フラクチャー実験 坑井内計測実験(最高温度145°C)
'75	40.1	4535.	8158.	GT-2 2932m(197°C)掘削 EE-1 3064m(206°C)掘削 坑井位置 フラクチャー位置の決定法研究
'76	39.5	5405.	13565.	
'77	51.3	5400.	18965.	GT-2A, B(GT-2の再掘削)
'78	49.1	5246.	24211.	75日間の連続循環テスト

3.3 地点選定および探査

HDRはどこにでもあるというのが一応のうたい文句ではあるが やはり実験に適した深度 温度 岩石物性などの所を探すということは 現時点では必要である。



写真1 LASL地球科学部の本拠 TA-33



第5図
ニューメキシコ・アリゾナ両州の
HDR 広域探査図

HDR 開発に必要な地層の条件としてこれまでに提案されているのは 次のようなことである。

- ① 0.01 ミリダルシー以下の透水係数であること
- ② 断層破砕帯のないこと
- ③ 地震の少ないこと
- ④ 地下温度 150~250°C 程度
- ⑤ 深度は 形成するフラクチャーの直径より深いこと

このような条件を基準に LASL では地点選定を行い

前述のフェントンヒルを選んだ。同地区を含む広域的な探査の項目 結果などをまとめて第5図に示した。フェントンヒルでは このほか150—200mのボーリングにより熱流量の調査が行われ 5 HFU 程度の高い値が得られている。

3.4 フェントンヒルにおける実施状況

3.4.1 実験地の状況

実験地は約14,000m²の広さを持ち 国有地を借り上げ

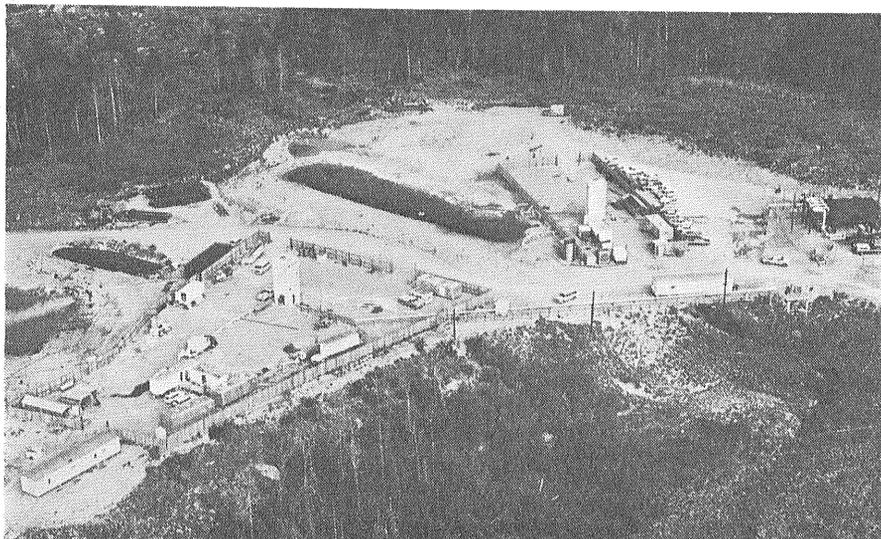
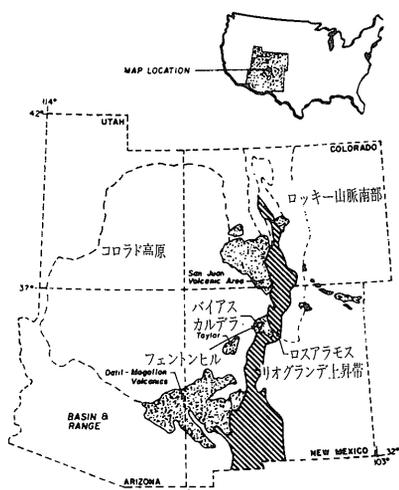
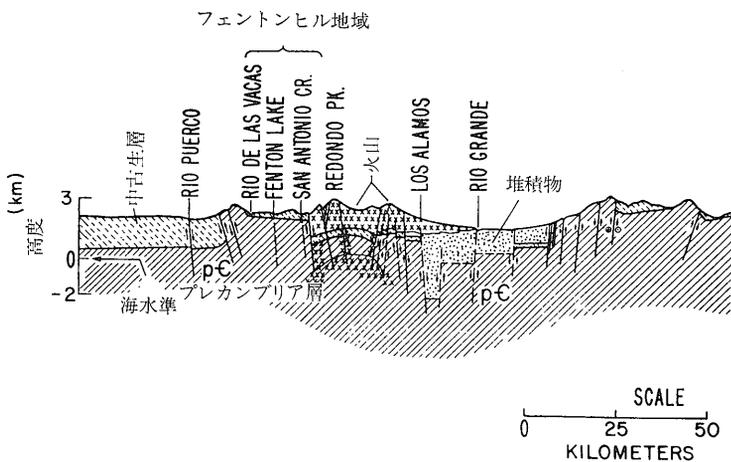


写真2
フェントンヒルの HDR実験場
(LASL提供)



(a) 広域地質



(b) 地質断面図

第6図 HDR実験地を含む広域的な地質と地質断面図

ている(写真2)。1970年の山火事の跡で植生が少なくそれゆえ借上げが比較的容易に許可されている。州道126号線に面し交通は便利であるが海拔高度2,600mと高いため冬季には数mの積雪があり大規模な実験には困難が伴う。

3.4.2 地質の状況

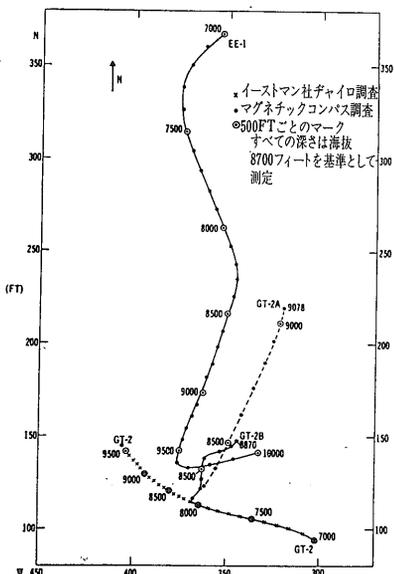
実験地は大規模な火山活動によって特徴づけられ南北にのびるリオグランデ地溝帯の中にある。約1-2百万年前に形成されたパイアスカルデラのカルデラ壁

西縁より外側約1.5kmに位置し(第6図)熱源もその火成活動によるものとみられている。人工破砕実験の対象岩は先カンブリア時代の花崗閃緑岩で岩石にはオープンクラックはないがカルサイトや石英でふさがれた脈が多く存在する。

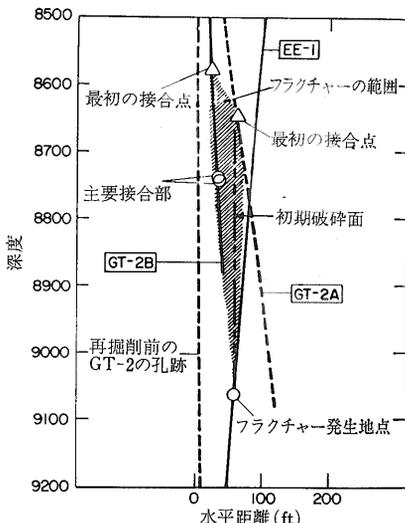
3.4.3 掘削

1977年までに探査用の浅い孔を除きGT-1(785m 100°C) GT-2(2,932m 197°C) EE-1(3,064m 205.5°C)の3孔およびGT-2の再掘削作業が行われた。

一般的な掘削に関しては固い花崗岩質岩を掘るため

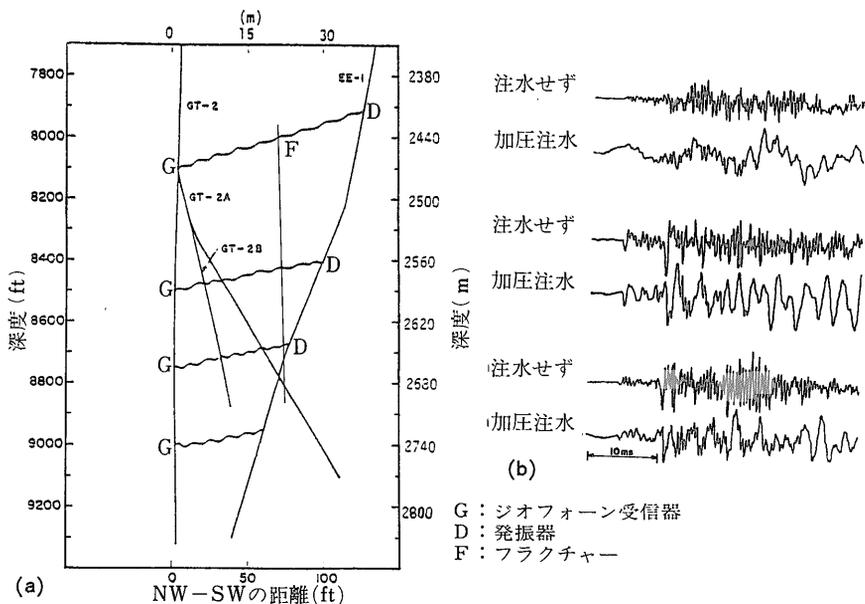


(a) 平面図



第7図 GT-2再掘削の軌跡と接合の様子

(b) 断面図



第8図
 ジオフォンによるフラクチャー検出
 (a) 設置模式図
 (b) 受信波形例

にビットの選択に苦心したが 掘削そのものは清水掘りで良くトラブルは少なかった。

HDRに関連する問題では フラクチャー形成後の再掘削の技術があげられる。現在のところ 注入 抽出の各井戸を掘った後で その孔を使ってフラクチャーの形態 位置を検出し 一方の井戸をそのフラクチャーに向けて掘削し直すという方法で二孔を連絡している。このため 適当な深度から孔を分岐させる必要がある。フェントンヒルの例ではGT-2孔の約2,000mのところから再掘削が進められた。これは 通常の石油井掘削で行われる傾斜掘削と同じ方法である。硬い岩石のため最初は難行したが 再掘削開始のところを大きくリーミ

ングし 引っかかりをつけるという手段で解決している。第7図は EE-1のフラクチャーに向けてGT-2を掘り直したGT-2 A Bの孔の軌跡と それによるフラクチャーへの接続の様子を示したものである。

3.4.4 フラクチャリング

GT-2の掘削過程において 何回かの水圧破碎実験が行われた。これらの実験により いろいろなフラクチャーが形成されたが それらのうち最大のもは 半径130m 透水係数0.1—1マイクロダルシー程度のもであった。パッカーは上下各2個づつ使用したが 内側のものは破壊されるなど信頼性に問題があった。このため EE-1のフラクチャー実験ではパッカーを使用せず孔底部分をケーシングなしに仕上げ 圧力110kg/cm² 流量160—800l/min で破碎を行った。後述の連続運転はこのフラクチャーを利用している。これらの実験では形成された破碎面を保持するため 充てん剤として砂粒を入れているが 一部では破碎時の破片が詰まってその役割りを果すこともある。

このほか 補助的な手段ではあるが 化学的な高圧発生を利用した破碎も実験されている(写真3)。

3.4.5 坑井内測定

掘削された孔の各種特性の試験および孔の位置 フラクチャー形態の決定のため さまざまな検層が行われた。一般の坑井内測定のほか HDR 開発に特に必要な測定は 孔の位置およびフラクチャーの位置・形態の決定である。

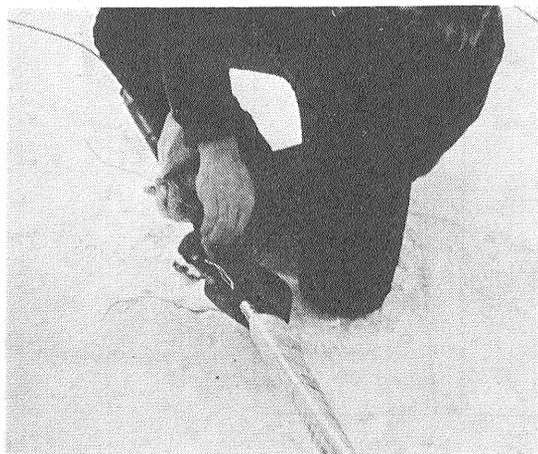


写真3 化学フラクチャリングの準備

前者のためには

- ① ジャイロコンパス・マグネコンパス法
- ② 誘導磁場測定法
- ③ 誘導電場測定法
- ④ 音波反射法

などがある。

後者については

- ① 音波検層
- ② 流量計法
- ③ Br⁸⁷によるトレーサー法
- ④ バッカーイメージ法
- ⑤ テレビカメラ法
- ⑥ テレビュアー法
- ⑦ 低周波レーダー走査法
- ⑧ ストレス測定法

などがある。

孔の位置 フラクチャーの位置の決定のための上記の方法はいずれも決定的なものでなく いろいろな測定結果を総合して解析を行っている。例えば フラクチャーの位置・形態は音波検層法で孔の間のフラクチャーを確める(第8図)とともに 誘導極微小地震の震源を求めることにより補うといったことが行われる。

3.4.6 貯溜層評価および室内実験

フェントンヒルで行われている実験と平行して 岩石物性試験(写真4) 岩石と溶液の反応実験などが続けられ 両方の結果を総合した貯溜層のモデル化が広く行われている。

フラクチャー表面積・間隙の算出 熱出力の推移 熱水成分の変化などは このようなモデリングにより実際の実験期間をこえた長期の予測が立てられている。

貯溜層評価と関連して HDRの経済性の評価も行われており その結果については後に述べる。

第4表 人工熱水系連続運転実験の概要

項目	概要
位置	米国ニューメキシコ州北西部 Fenton Hill バイアスカルデラ(100万年前)のカルデラ壁西縁外側
ボーリング孔	GT-2 EE-1 深度各3km 温度約185°C 地上における井戸間隔77m
地質	人工熱水系部は先カンブリア時代の花崗閃緑岩
実験期間	75日間連続(1978. 1. 29-4.13)
循環水量	25-50 T/H(注入孔口圧力1300-900 PSI)
熱出力	4-5 MW _t
有効表面積	8000m ²
漏水率	0.5-1%
回収流体性状	TSM 1000-2000 ppm PH 7-8
回収流体温度	175°C(実験直後)→90°C(75日後)
フラクチャー半径	60 m(破砕面間隔≒0.2 mm)
熱ストレスクラック	発生せず
有感地震	なし

3.4.7 運転実験

破砕および2孔連絡の成功により これまでに次の3回の連続運転実験が行われている。

- (1) 1977年 9月26日-30日 4日間
- (2) 1978年 1月29日-4月13日 75日間
- (3) 1978年 9月5日-10月27日 45日間

このうち(2)についてその概要を第4表に示した。運転システム概念は第1図のとおりであり 発電はせずに回収熱量は10MWの熱交換機を通じて大気中に放出

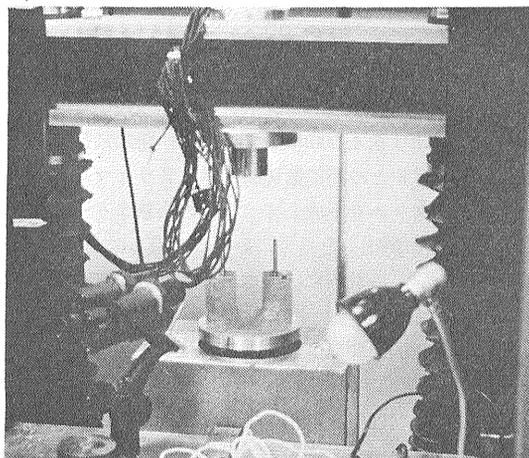


写真4 室内における岩石物性試験装置

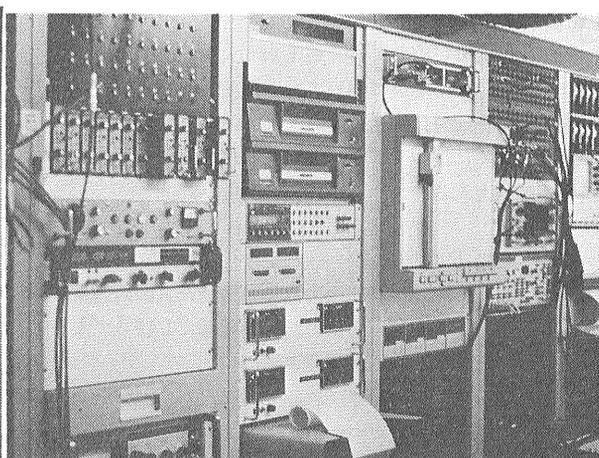
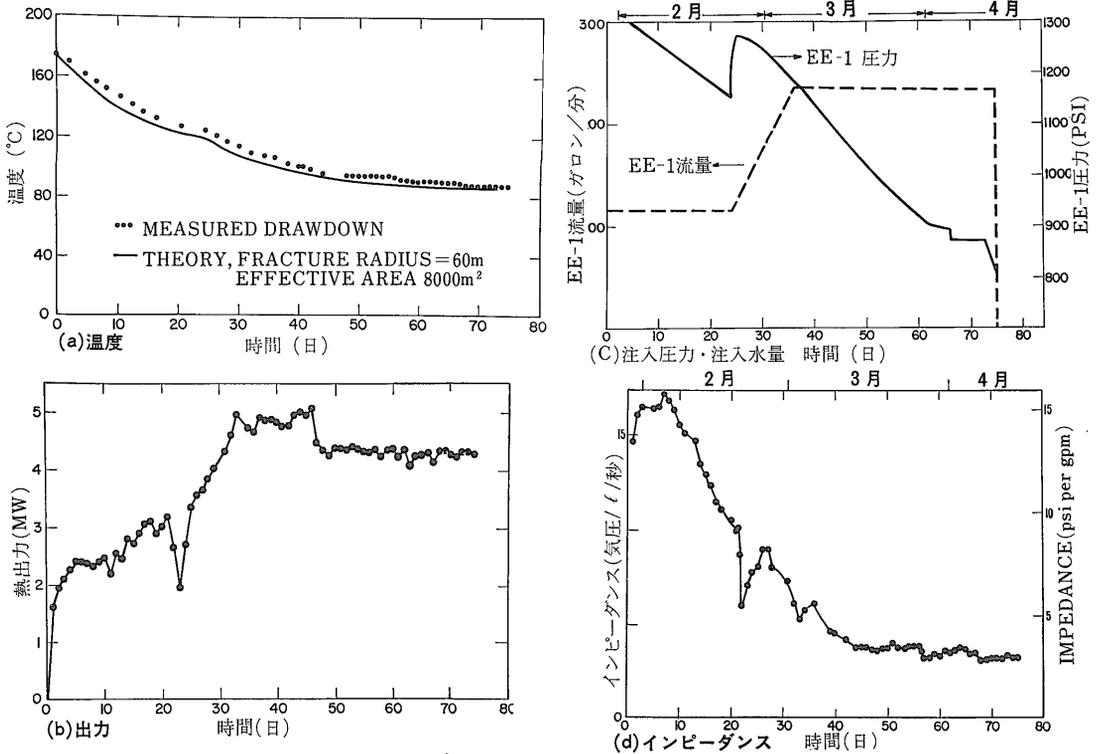


写真5 フェントンヒルにおけるデータ収録システム



第9図 フェントンヒルにおける75日間連続運転の記録

させている。運転時の出力・温度などの変動の様子は第9図に示すとおりであるが約4MWの熱出力を連続して得ている。これらのデータは写真5に示すようなコンピューターシステムで迅速に処理されている。

このシステムはその後(3)の実験中にケーシングのセメント部分が破損し漏水したため運転不能となっている。

3.4.8 環境変化

前記運転実験に際しては地下水 大気等の環境条件は全く変化せず地震についても実験前と同様であった。熱水中の溶存成分は全量で最大2,000ppm程度と既存の熱水型地熱に比べて著しく低く環境面からより良い結果が期待される。

3.4.9 実験上の問題点

フェントンヒルでは前述のように最長75日間の連続運転に成功しているが当面の具体的問題にしばっても以下のような点の改良が必要である。

- (1) フラクチャリングについてはパッカーの信頼性に問題があり EE-1では孔底裸孔部にフラクチャーを形成し

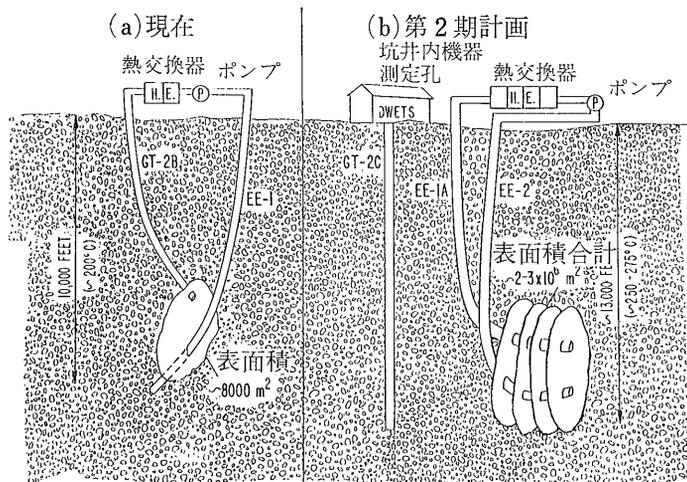
ている。任意の位置にフラクチャーを形成するためにはパッカーの開発が必要である。

- (2) 高压で水を注入する関係でセメント部分の強度が要求される。セメント自身の開発とセメンティング技術の開発が必要である。
- (3) 坑井内測定装置は200°Cまでしか使用できずこれからの深部・高温開発に対応できない。耐熱装置の開発が必要である。

4. HDR 開発の将来計画

LASLの計画ではフェントンヒルについてはこのあとGT-2 EE-1を4,000mまで増掘し新たに掘削する4,000mのEE-2との間に第10図に示すようなマルチフラクチャーシステムを形成して前述の実験より一桁上の50MW程度の熱出力を長期にわたって得ることをめざしている。この計画には日本および西独が参加するよう求められている。

一方全米的な開発プランとしてはフェントンヒル(地点1)で国が主体となる研究開発を進めるとともにそこで得られた成果を利用して他の地点(地点2 3...)で民間を含めた開発を進める方針が立てられている。



第10図 現在および将来計画のフラクチャー模式図
これにより 民間への技術移転を進めるとともに HDR
の企業化への道を開くことを期待している。

5. HDRの問題点および将来

HDR が実際にエネルギーとして利用されるためには
さまざまな問題を解決しなければならない。

第1に HDR からの熱の抽出というエンジニアリングの
問題では フラクチャリングの形成が最も重要であら
う。 前述のようにLASLでは一定の条件の下では希望
する方向への掘削や 孔の位置 フラクチャーの位置
形態などの検知が可能な技術を確立している。 しかし
フラクチャーを形成する技術は 対象となる岩盤しだい
という域を出ていない。 したがって これからの開発
で出会うであろう多種多様の岩石に対し 希望する形態
熱交換容量のフラクチャーを形成できるという保証は今
のところほとんどない。 HDRの開発には この技術
の確立が最も重要であり そのための野外実験を花崗岩
だけでなく 日本での開発で多くなると予想される火山
岩 堆積岩などについても進める必要があろう。

第2に 実際にどのような条件にあるものが当面利用可
能であるかを見極め それに合った資源の探査 評価
を進める必要がある。 例えば 温度 破砕度 ストレ
スの強さがどの程度であれば使えるのか 岩石種は何が
利用可能なのかといったことを確かめ 資源としての位
置づけをより明確にする必要があろう。 米国とは異なり
造山帯という地質条件にある日本で どの程度の破
砕度まで水の回収が可能かといったことを知ることは重
要であらう。

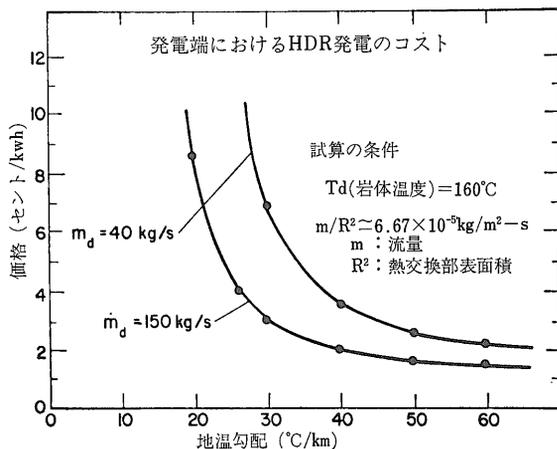
第3に 実用化のためには 経済性ということが避けて

通れない関門となる。 一応の試算では 第
11図のような結果が得られている。 この図
の条件 (40kg/s の場合) は前述のフェントン
ヒルでの75日間運転の結果より流量で3~4
倍 フラクチャー表面積で80倍とそれほど無
理のない数値になっているが パイナリー発
電により 26°C の低温まで利用することや
米国の諸条件に基づく試算であることから
日本独自の試算が必要であらう。

以上述べてきたように HDRには多くの
問題があり その解決には多くの基礎的な実
験 研究が必要とされるいわば初歩的段階で
あるにもかかわらず LASLにおいていきなり
人工熱水系形成実験が行われたことに対し
ては LASL 以外の研究者から批判も聞かれ
た。 HDR プロジェクトは 金を地中に捨てているよ
うなものだといった極端な意見の人もおり— そこま
では言わないまでも HDRは優先順位は下であり 限
られた予算の中ではすぐ実用化し得る既存地熱資源の研
究に多くを割くべきであるという意見の人も多かった。

日本においては HDR そのものがそれほど広く研究
されていないこともあり 表だった議論はなされていな
いが 一般的には通常の熱水系資源を優先すべきである
との雰囲気強いように思われる。

しかし HDR の利用技術が確立されたとすれば 資
源の存在する範囲は 既存の地熱資源よりは格段に広く
かつ莫大なるものであることが予想される。 日本につ
いては公表されたデータは無いが 第5表に示した米国の
資源評価における火山の数や地殻熱流量の値からみて
浅くても高温という経済的に有利な HDRは相当多いも



第11図 HDR の 経 済 性 の 試 算 (1978年ベース)

第 5 表 米国の HDR 資源ベースの試算例 (単位 Q=10²¹ J=0.24×10²¹cal)

		HDR 資源ベース d<10 km T>15°C		HDR 資源ベースの分帯 T>150°C			面積 (%)
		U. S. G. S. Circular 726	ERDA レポート 77-74	d<10 km	d<6 km	d<3 km	
火山性		105 注 1)	77 注 2)	74	24	3.5	0.093
熱 (非 山 性) 系	Basin Range 型 (HFU≒1.4)	8,230	8,305	6,302	987	0	23.8
	Eastern 型 (HFU≒0.8)	15,446	14,803	3,573	0	0	75.3
	Sierra Nevada 型 (HFU≒0.4)	130	120	0	0	0	0.87
合計		23,911	23,305	9,949	1,011	3.5	(100)

注 1) 合計はハワイ アラスカを含む48火山の個別の火成岩系の累計で 熔融 (55 Q) 及び結晶 (固化 50 Q) の双方を含む

注 2) 合計は火成岩源平均地温を使用して単純計算したもので マグマの熱は含んでいない

のと思われる。

また HDR は企業が地熱に手を出さないでいる最も大きな理由の一つである資源の不確かさを解消できる可能性がある。トンネルを掘ると同じように地熱が開発できるとすれば その持つ意味は非常に大きいであろう。さらに九州 東北 北海道に偏存し 大消費地の関東 関西に少ないといわれた既存地熱資源のアンバランス 公園問題など地熱エネルギーの企業化を阻んでいた要素のうちかなりの部分が解決されることにより大きな産業を形成できる可能性もある。

以上かなり楽観的な HDR の将来見通しを示したがこの夢を実現させるためには 人工熱水系実験といった大規模実験ばかりでなく 岩石物性 熱水反応 経済性評価などの基礎的な項目について 日本の特性に合った条件の下で地道に研究を進める必要がある。

6. おわりに

短い滞在ではあったが LASL の高温岩体プロジェクトに参加し 多くの技術的情報を得た以外に 研究開発に対する取組み体制が目的指向型で非常に能率よく運営されていることなど 日米の差が強く印象づけられた。そして 訪問前の予想と異なり LASL が地球科学部に限る限り非常に開かれており 各国の研究者が多数出入りしているのにも驚かされた。それにしても 世界で初の 困難な仕事をしているにもかかわらず 気負いもなく 淡々と しかし自信を持って HDR に挑戦しているように思われた。

最後に 本協同研究でお世話になったロスアラモス科

学研究所やその他の研究所の関係者および日本の関係者に厚くお礼申し上げます。

(追記)

本文中にもふれたが この HDR プロジェクトには 西独と日本の参加が求められている。西独は 1979年9月研究協力協定に調印し 参加が本決まりとなった。日本においても参加の方向で細部の検討が行われており 近い将来 より強力な体制で 研究開発が進められるものと思われる。

参 考 文 献

Energy Research and Development Administration (1977): Hot Dry Rock Geothermal Energy: Status of Exploration and Assessment. 206p.
 Gummings, R. G. et al, (1978): Electricity from Hot Dry Rock Geothermal Energy: Technical and Economic Issues. 41p
 LASL (1978): Preliminary Results of Hot Dry Rock Geothermal Heat Extraction Experiments at the Fenton Hill Site, New Mexico. 20 p.
 LASL HDR Project Staff (1978): Hot Dry Rock Geothermal Energy Development Project Annual Report Fiscal Year 1977. 294p.
 Mortensen J. J. (1977): Proceedings of the Second NATO-CMMS Information Meeting on Dry Hot Rock Geothermal Energy. 75p.
 Pettitt, R. A. (1978): Testing, Planning, and Redrilling of Geothermal Test Hole GT-2, Phases IV and V. 60p.
 U. S. Department of Energy (1978): Hot Dry rock Geothermal Energy. Development Plan (Draft)
 山田 啓三 (1978): 最近の米国における地熱研究 地質ニュース No. 281