

揚湯された地熱水のエネルギー評価

Energy estimation of pumping geothermal water

藤本 和徳

Kazunori FUJIMOTO

まえがき

近年の地熱温泉ボーリングは、従来からの温泉地以外でも多く行われ、掘削深度ならびに揚湯深度(動水位)が深くなる傾向にある。これらは経費と大きな関わりがあり、特に揚湯深度は、得られる地熱水の量・温度、利用形態等を考慮にいれ検討する必要がある。

掘削深度は地温と地質から決定されるが、より深く掘ることにより湧出の可能性が高まることは否定できない。そこで、経済性を考慮した最深掘削深度について考えると、地熱発電や石油を目的とした3000~5000 m級になることはないが、何mになるかは、得られる地熱水の量・温度、利用目的以外に経済性、地域性、時代背景など種々の条件から決定されるものであり確定することは難しい。

1980年から1993年までに道の市町村振興補助金が助成され掘削された122坑井の掘削深度をみると、1000 m以上が80%、1500 m以上が19%であり最深が1717 mである。これらを考慮に入れると、掘削経費が1億円程度(平均掘削単価:7万円/m)にあたる1500 mが経済性を加味した最深掘削深度として、差し支えないと考えられる。

揚湯深度は、一般に、動水位と揚湯量の関係が表されている揚湯曲線から、個々の坑井の能力として決定される。揚湯の現況を上述の122坑井からみると、動水位はGL-200 m以浅がほとんどで、以深は全体の8%である。ところが、動水位は下げるほど、比湧出量は小さくなるが湧出量が増加することから、「非常に出が悪い」と称される坑井でも動水位を下げることにより揚湯が可能である。

揚湯には水中モーターポンプが多く使用されており、揚湯深度が深くなるにつれて大きな出力のモーターが必要となる。モーターの出力が大きくなると、

ランニングコストすなわち電気代が高くなり、地熱利用を進めるには課題となってくる。

本報告では、地熱水を汲み上げるために必要とする仕事量と汲み揚げた地熱水の持っている熱量、すなわち、与えたエネルギーと得られたエネルギーを比較して、揚湯された地熱水の評価する。

本論をまとめるにあたっては、当調査所和氣徹所長、資源地質部鈴木豊重主任研究員および丸石基礎工業株式会社斎藤尚志常務に原稿の校閲をわずらわせた。報告に先立ち、深く感謝の意を表する。

I 揚湯に必要なとするエネルギー

全揚程が H_a [m] で、揚湯量が Q [ℓ /min] の場合に必要とする動力 P [kW] はこれらの積で表される。

$$P = \frac{9.8}{1000} \times \frac{Q}{60} \times H_a \\ = 1.63 \times Q \times H_a \times 10^{-4} \quad [\text{kW}]$$

H_a は H (実揚程=動水位) と H_f (摩擦損失水頭等) の和であるが、ここでは式を簡略化するため、 H の5%増とする。

$$H_a = 1.05 \times H \quad [\text{m}]$$

(50 mm の揚湯管で100 m揚湯する場合、 H_f は200 ℓ /min の時で実揚程の8%、100 ℓ /min の時で2%である。)

ポンプ効率は55%とし、モーターの出力は15%の余裕をみることにする。

必要とするモーターの出力 R [kW] は以下のとおりである。

$$R = \frac{1.63}{0.55} \times 1.15 \times Q \times (1.05 \times H) \times 10^{-4} \\ = 3.58 \times Q \times H \times 10^{-4} \quad [\text{kW}]$$

このモーター出力を熱量 U [kcal/hr] に換算する。

$$U = 860 \times 3.58 \times Q \times H \times 10^{-4}$$

$$= 3079 \times Q \times H \times 10^{-4} \quad [\text{kcal/hr}]$$

ここで, 石油から電気エネルギーを取り出す場合の発電効率を 38% とし, この熱量を石油の量 $W1$ [ℓ/hr] (石油の発熱量は 8570 kcal/ℓ とする) に換算する.

$$W1 = \frac{3079}{8570 \times 0.38} \times Q \times H \times 10^{-4}$$

$$= 0.95 \times Q \times H \times 10^{-4} \quad [\text{ℓ/hr}] \quad \dots\dots(1)$$

すなわち, 式(1)は, 動水位が H [m] で Q [ℓ/min] 揚湯する場合には, 1 時間あたり $W1$ [ℓ] の石油を消費していることを表している.

式(1)を第 1 図に示した.

II 揚湯された地熱水の持つエネルギー

揚湯された地熱水の温度が T [°C] で, 揚湯量が Q [ℓ/min] の場合の利用可能な熱量を評価する. この場合, 利用下限温度を何°C に設定するかが問題

となる. 地熱の直接利用で最も普及している暖房で床暖房にした場合, 下限温度は 35°C 程度である. プール利用やハウスにおける温風式の場合で 30°C 程度, 水産養殖では 20~30°C 程度, 融雪利用ではそれ以下である. ここでは, 利用下限温度を 20°C に設定する.

地熱水から得られる熱量 V [kcal/hr] は以下のとおりである.

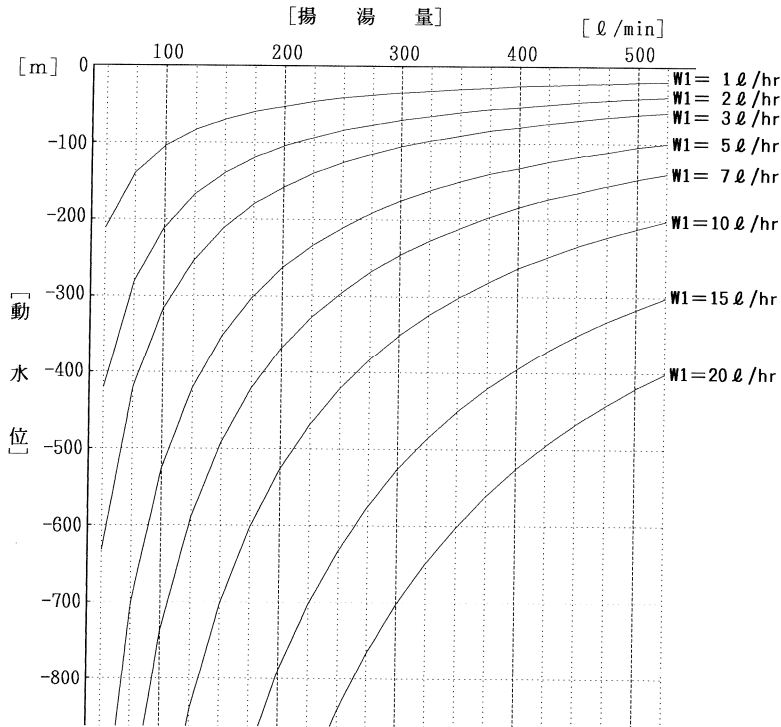
$$V = 60 \times Q \times (T - 20) \quad [\text{kcal/hr}]$$

この熱量をボイラーから得たものとして石油の量 $W2$ [ℓ/hr] に換算する. ただし, ボイラー効率を 75% とする.

$$W2 = \frac{60}{8570 \times 0.75} \times Q \times (T - 20)$$

$$= 93.3 \times Q \times (T - 20) \times 10^{-4} \quad [\text{ℓ/hr}] \quad \dots(2)$$

式(2)は揚湯された T [°C], Q [ℓ/min] の地熱水は $W2$ [ℓ/hr] の石油に相当することを表している.



第 1 図 揚湯に必要とする電力の石油換算量

Fig.1 This graph showing oil liter which is convertible from consuming electric power of pumping geothermal water.

III エネルギー量の評価

地熱水を採取して熱利用を図る場合のイニシャルコストは、ボイラーを用いる場合に比較して大きくなる。前者では、特に掘削費が大きな割合を占め、深度によって異なるが1500 m級のボーリングを実施した場合、イニシャルコストの差は概ね1億円程度となる。

このことを考慮した経済的エネルギー量を設定する。イニシャルコストの差を仮に10年間で償還するとし、金利を考慮しないと1年間に地熱水から1千万円分のエネルギーを得なくてはならない。ここで、地熱利用の稼働率を60%、石油(A重油)の値段を50円/ℓと仮定して、年間1千万円分のエネルギーを石油の量W3 [ℓ/hr] に換算する。

$$W3 = \frac{10,000,000}{50 \times (365 \times 24) \times 0.6} = 38 \quad [\ell/hr]$$

ポンプのランニングコストを無視した場合は、地

熱水から得られるエネルギー量が経済的エネルギー量以上でなくてはならない。

$$W2 > W3$$

$$93.3 \times Q \times (T-20) \times 10^{-4} > 38$$

$$Q > \frac{4073}{T-20}$$

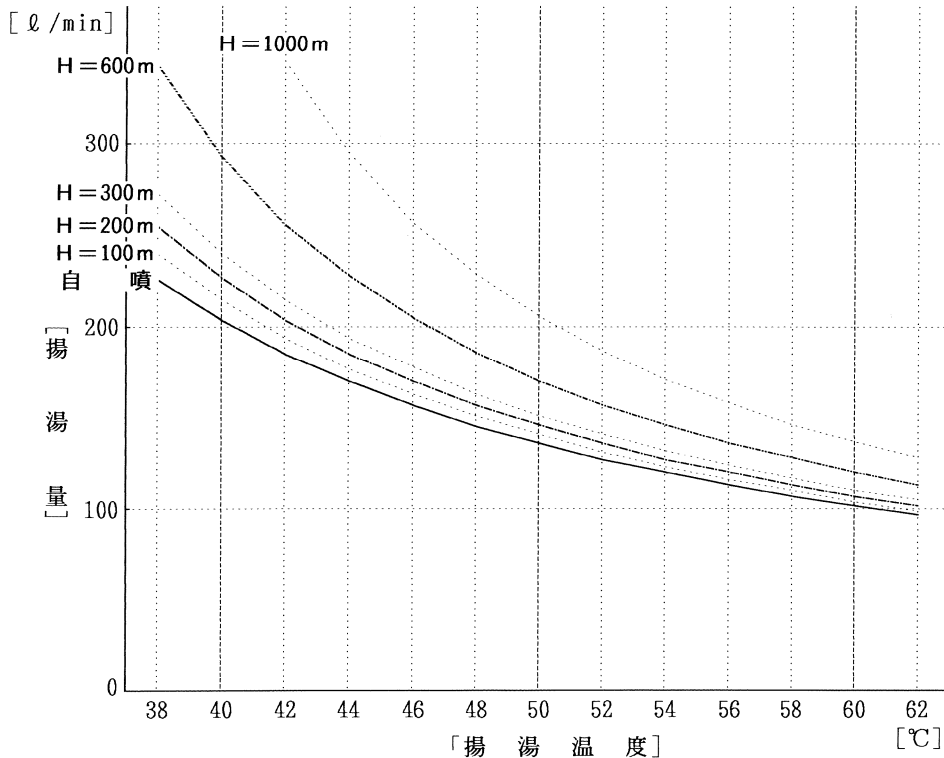
ポンプのランニングコストを考慮した場合は、地熱水から得られるエネルギー量から揚湯に必要とするエネルギー量を差し引いた量が経済的エネルギー量以上でなくてはならない。

$$W2 - W1 > W3$$

$$(93.3 \times Q \times (T-20) \times 10^{-4}) - (0.95 \times Q \times H \times 10^{-4}) > 38$$

$$Q > \frac{380000}{93.3 \times (T-20) - 0.95 \times H}$$

上記の結果を第2図にグラフとして表した。これは、石油代替量が年間200 kℓ (約1千万円分)以上を条件とし、これを満足する地熱水の温度と量を表している。それぞれの線分より揚湯量の多い領域(上側)が条件を満足している。自噴とした線分はポンプのランニングコストを必要としない場合であり、



第2図 経済性を考慮した動水位毎の揚湯量と揚湯温度

Fig.2 Economic graph showing pumping volume and temperature of each running water level.

これ以外はランニングコストを動水位ごとに考慮してある。

これらの線分をみると、動水位が低いほど（Hが大きいほど）、汲み揚げるためにエネルギーを多く必要とすることから、同一のエネルギーを得るためには、揚湯量を多くする必要があることが解る。さらに、その増加量は揚湯温度が低いほど大きくなることが解る。

たとえば、経済的エネルギーを得るために「H=600 m」が「H=200 m」に比較して増加しなければならぬ揚湯量は、揚湯温度が60°Cの場合13 l/min、揚湯温度が50°Cの場合24 l/min、揚湯温度が40°Cの場合66 l/minである。揚湯温度が概ね60°C以上の場合には揚湯増加量は10%程度であるが、40°C以下の場合には30%以上揚湯量を増加させなくてはならない。すなわち、揚湯温度が低いほど単位揚湯量に対する潜在熱エネルギー量が小さいため、多量に揚湯しなければならない。

ところが、一般に動水位の低い坑井は揚湯量が少ないことが多い。このため、揚湯温度が低い場合には、地熱の直接利用における石油代替効果について、充分に検討する必要があるといえる。

あとがき

地熱水の熱利用における、経済性を考慮した揚湯量と揚湯温度を動水位も加味して検討した。ただし、石油代替量を年間200 k lとした場合の結果である。

年間200 k lの石油を消費する施設の規模は、暖房で約4000 m²といえる。従って、地熱の直接利用のなかでもっとも普及している暖房で経済性を満足させるためには、大規模な利用を図る必要があることが解る。

ところが、地熱水の浴用利用では、これらの経済性だけで論ずる訳にはいかない。温泉浴用は単に身体を汚れを落とすだけの浴用とは異なり、地熱水のもつ成分や浴室の設置場所・雰囲気などにより心身共に健康にする働きがある。このため、地熱水を採取するための費用、すなわちボーリング経費や揚湯経費と、得られた地熱水を水道水を沸かした熱水と仮

定し、このために必要とする経費とで比較することは出来ない。特に、市町村などの公営温泉の場合、施設を設置することにより、近隣から訪れる人たちのもたらす経済効果は大きなものと考えられる。

ちなみに、年間200 k lの石油を消費する浴槽の大きさは、面積で約700 m²（1週間に6日、1日に12時間利用し、浴槽からの熱損出は500 kcal/m²・hrとした。）と、非常に大きなものとなる。

本論では、ボーリング経費を地熱水の熱利用で償還しようという考え方で進めた。このため、これに見合う施設の規模は大きくせざるを得ないという結論になった。

しかし、脱石油あるいは地球環境問題の観点から考えると、ボーリング経費ではなく、ボーリングを行うために使用された石油の量（原動機の燃料使用量だけでなく、ボーリングマシン等の製作、運搬、設置にも使用された石油等も合計した量）と比較する方法もある。この量の推定は非常に難しいが、ボーリング経費から設定した石油の量よりは、相当少なくなると思われ、規模の小さな熱利用でも意義もたれてくる。

揚湯に関しては、ポンプの電気代ではなく仕事量から、石油に換算したものであるため、エネルギーとして評価したものである。経済性からみると、地熱水の直接利用あるいは浴用利用にかかわらず、揚湯する場合に、ランニングコストが必要となることは言うまでもない。揚湯量が同一の場合、揚程と電力消費量は比例する。たとえば、動水位が200 mと600 mでは電気代に3倍の差がでてくる。このため、水位の低い坑井では、熱利用を計画する段階でこれらを考慮する必要がある。

文 献

- 北海道立地下資源調査所(1995):北海道市町村の地熱・温泉ボーリングー地域エネルギー開発利用施設整備事業-(昭和55年度~平成5年度). 258 p
- 資源エネルギー庁(1995):1995/96年版資源エネルギー年鑑. 515-516