

新しい地熱発電の可能性

馬場 健三

地熱発電がわが国でも企業化されて以来かなりの時がたった。その発電施設の総出力は初期の数値に対してそれほど大きな増加をみせていないのが偽らざるわが国の地熱発電の現況であろう。しかし世界的にみればことにアメリカにおける最近の発展がめざましい。そしてごく近い将来において出力のさらに飛躍的増加が見込まれ地熱発電そのものが世界的に再脚光を浴びる可能性もある。わが国においても大分県の八丁原地熱地域や岩手県の滝の上地熱地域における開発がすすみごく近い将来に飛躍の時が来ると予想されている。しかしこのような現況についての紹介は別の機会にゆずるとしてここでは標題にかかげたように地熱発電に関する別の話題をとり上げる。

以上で述べた地熱発電の意味は地下深処にうまい工合に自然のまま貯溜されている天然蒸気・熱水を坑井によって取り出し坑口でえられる蒸気を利用して発電を行なうことである。

地球における地熱エネルギーのぼう大さが強調されても現在のこのような発電方式による限りその利用はごく制限されてくるのは当然である。そこで地熱の発電利用をさらに大きく発展させるためには現在の発電方式以外のものを考えることも必要なことである。本文ではその可能な方法について考えられつつある23の例を紹介しようとするものである。なお本文の内

容は日本電機工業会の新発電方式総合調査委員会(委員長 山村昌東大教授)中の火山発電分科会(主査 陶山淳治 地質調査所物理探査部長)における昨年の議論によるところが多い。

(1) 火山発電とは

火山発電という語は一般に普及したものでもないしまたその内容を表わすに必ずしも適切ではないが広く火山のもつエネルギーを発電に利用する企てを意味するのに用いられている。火山を熱源とみてその熱エネルギーの利用を考えるものでエネルギーのとり出し方自体が問題である。それには現在いくつかの方法が考えられるが従来の意味の地熱発電も火山発電の1つの方式といえないこともない。しかし一般には火山発電の意図は従来の地熱発電に対してより積極的に火山の持つエネルギーの開発を考えるところにある。

いわゆる新しい地熱発電としての火山発電はまだ世界のどこでも実現されている訳ではないが内外でその検討は行なわれはじめられている。アメリカからわが国側に対してこのような問題について共同のシンポジウムを持とうではないかという申入れが最近あったというニュースもある。

(2) 火山のエネルギー

火山のエネルギーという言葉は既成の火山体からいろいろのプロセスで地表に放出され続けているエネルギーに限定し遠い過去に火山体の形成のために消費されたエネルギーなどを除外して考えそれを分類しその型態から利用の可能性の有無を考えた結果を表示したものが第1表である(湯原浩三による前出の委員会報告書中より引用)。

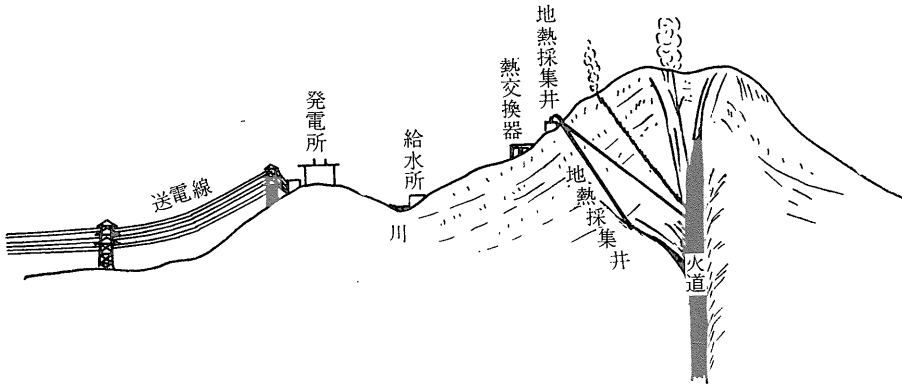
この内静穏期に放出されるエネルギーのうちの噴気孔・温泉を利用するものがいわば従来の地熱発電にあたるものを含む訳で表中に利用の可能性ありとされたものが火山発電として今後新しい開発を考えていこうとされるものである。

それでは一体火山エネルギーによる発電可能量はどの程度に見つもったらよいのであろうか。それには火山のエネルギーはどの程度のものであるかを見なくてはな

第1表 火山体から放出されるエネルギー

	エネルギー放出のプロセス	主なエネルギー			エネルギーの大きさ	利用の可能性の有無	備考
		位置のエネルギー	運動エネルギー	熱エネルギー			
活動期に放出されるエネルギー	溶岩流出	○		○	大	有	火山発電のエネルギー
	火山岩屑放出	○	○	○	大		
	熱煙放出	○	○	○	大	有	
	噴煙放出		○	○	大		
	爆発音空振		○	○	小		
	火山性地震		○	○	小		
	火山性脈動		○	○	小		
	鳴動		○	○	小		
	火山性地殻変動	○			中		
	火山性磁気変動			○	大		
静穏期に放出されるエネルギー	硫黄噴出			○	小		地熱発電として利用
	噴気孔		○	○	中	有	
	温泉			○	中	有	
	溶岩湖			○	中	有	
	溶岩沼			○	中	有	
熱流			○	小	有		

大: 10^{23} ergs/year以上
 小: 10^{20} ergs/year以上
 中: $10^{21} \sim 22$ ergs/year



第1図
地熱採集井を掘さくして 過熱蒸気および噴煙を採集して熱交換器に入れて水を蒸気に変えて発電所に送り 発電を行なう 発電所で冷えた蒸気は 熱交換器に再び送り 不足分の水は 給水所より補給する。

らぬ。ごく大略の見つもりでは 1つの火山活動のエネルギーは 10^{23} ergs のオーダーといわれている (たとえば 1950~51年の三原山の活動による溶岩流出・火山岩屑放出などによるエネルギーの総放出量は 10.0×10^{23} ergs 程度と見つめられた) が静穏期にほぼ定期的に放出されるエネルギーの1年間の総量もこれと同程度であり 10^{23} ergs/yearのオーダーとみつめられる。これをワットに換算すれば 3×10^6 W すなわち一つの火山について 平均30万kWの放出という数字がえられる。この数字そのままに発電可能という事はあり得ない。日本全体では現在 60数コの活火山があるので 単純な掛算をすれば 2,000万kW 程度という数字がえられる。電力変換の効率を25%とすれば 活火山の放出するごく定常的エネルギーによる発電の最大可能量は 約500万kW 程度といえる。もちろん以上の議論のすすめ方には批判の余地が多くあろうが ごく荒っぽい見つもり結果としてこの数字を見ていただきたい。

(3) 火山発電の方式

次にそれでは火山発電の方式としてどんなものが考えられているかを紹介しよう。

現在考えられている方法は 大別して3つの方式にわけられる。それらは

- 1) 火山噴気の直接利用
- 2) 溶岩(湖)の利用
- 3) 人工地熱地帯の造成

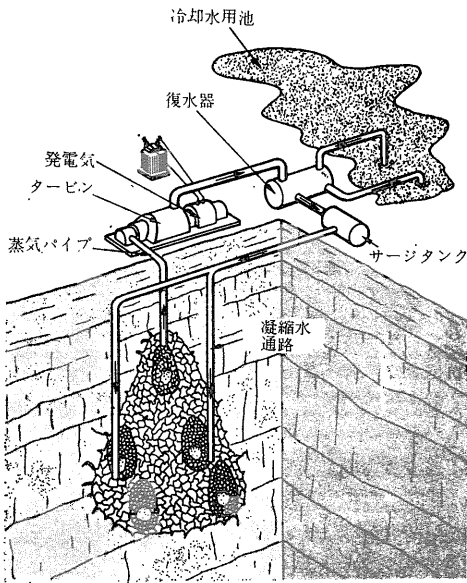
などである。以下これらを順を追って述べる。

火山噴気については 活動のはげしい時 休止期または低調な時期 そして噴火の能力を失った火山が後火山作用の1つとして噴気を行なっているものなどに分類できる。しかし活動のはげしい時期は 一般にその持続が平均数か月程度と見られるので 発電利用には不適である。後の2つの時期については その相互の区別が

つきがたい場合も多いが 一般には両者共定常的状态が長く続く。

後火山作用の1つとしてその噴気活動が考えられるものとしては たとえば昭和・新山・箱根大涌谷・那須茶臼岳・鹿児島県硫黄岳などの噴気があげられる。このような噴気を1つの火山で比較的少数の地点から多量に得る工夫が発電利用には必要であろう。したがって何らかの方法で噴気を集めなくてはならぬ 技術的に可能なら大きな噴気孔にカバーを作って集めるのも1つの方法であるが あるいは地表から噴気孔に蓋をして 代わりに新たな通路を掘さくして作り 集中的に噴気をそこから取り出すということも考えられる。その際蓋を殊更に必要としないのではないかという見方もある。いずれの場合にしる一次設備は 噴火地点に近い所に設けられるので 火山の噴火が今後予想されるような場合は安全性の見地からは爆発的噴火の可能性の小さい玄武岩質の火山がえらばれるべきであろう。このようにしてえられた大量の噴気を直接発電用タービンに導くか あるいは何らかの媒体と熱交換してその媒体をタービンに送るかは 噴気の化学的性質とか 保有する熱量とか いろいろの点から検討されることであろう。第1図に掲げたものは この方式による発電の提唱者によって画かれた説明図である。この例では 噴気を川水と熱交換することが想定されてあるが この辺の妥当性はここではまず不問とし 噴気の直接採取の方法例として坑井掘さくによるものの説明用としてここに掲げた。

2番目の発電方式として溶岩(湖)の利用によるものが考えられる。結論的にはわが国の火山では 溶融溶岩が直接地表上にたまり いわゆる溶岩湖を形成しているとか ごく地表近くに存在しているような例がないので このような発電方式は考えられないが たとえば アフリカのニラコンゴとか ハワイのキラウエアのような



第2図 アメリカで考えられている新しい地熱発電の方式

ところでは一応検討に値しよう。このハワイのキラウエア・イキの溶岩湖の溶融岩石のもつ熱エネルギーのうち溶解の潜熱だけが利用できるものとし しかもその熱エネルギーを電力に変換するのに効率を25%と見つめると $2 \times 10^6 \text{kWh}$ 程度とされている。適当な方法で溶岩の熱を たとえば水に伝え気化して発電に利用すればよいと考えられる。たとえば溶岩湖の表面が固化している場合 パイプをその中に打ち込み水を注入してやるとうまい工合に表面の固化部分が蒸気逸散をふせぐことが考えられる。そして別に蒸気採取用のパイプを打ち込み利用したらという考えを提唱している人がある。

さて3番目に考えられる方式は 人工地熱地帯の造成である。わが国には多くの第四紀の火山があり 現在も火山体の下に高温のマグマ溜りがあると考えられているものがある。そしてそれらの火山の周辺には普通いわゆる地熱地域が存在するが 中には火山の周辺に地熱地域も高温の温泉もないようなものがある。たとえば富士山や桜島はその例である。これらの火山にはなぜ地熱地域が伴わないのであろうか。その原因として熱源は存在するが 自然の水の移動によって熱を地表近くに輸送する機構 すなわち熱水系が存在しないためと考える意見がある。もちろんこの仮説に反対の立場をとる考えもあるのであるが これを採用すれば なんらかの方法で地表水を火山体内部に導くことをまず考える。たとえば 地表水の内部への滲透が不透水性の成層構造で妨げられているとすれば これを打ち抜く

ような井戸を掘り 地下水がこの層の下部に滲透できるようにしてやるのが考えられる方法の一つである。あるいはその他には火口からの注入を考えるとか 山麓からマグマ溜りの存在が予想される方向に向かって注水井を作り しばしば山麓で見られる湧水を火山体の内部に導入するなど考えられる方法である。こうして噴気孔や温泉の出現を期待する訳であるが うまく行った場合にはこの人工的にもたらされた蒸気を採取するための坑井を掘り 従来の地熱発電の方式をとればよいということになる。これが人工地熱地帯の造成である。

(4) 新方式の可能性

以上に述べたような考えの実現の可能性については今のところ結論を先にいえば全く不明といってよい。月並みなことになってしまうが その可能性を議論するには火山に関する基礎的諸知識がまだまだ不十分なのが現状である。たとえば 火口の噴気の量・化学成分・温度・圧力などについての実測例も今日までの所不十分であるし 火山の地下のマグマの存在の確認がなされた例もあまり無い。一つの火山の地下の温度分布一つとり上げてても未明の部分が多すぎる。くりかえしていえば結局現在の火山学の知識では 火山発電の実現可能性を強く主張できる段階ではない。しかしとかく従来災害のもとと見て研究されて来ている火山に対し その利用をも積極的に考え 火山についての調査研究をさらにさかんにして行くことを今後考えるべきでなかろうか。

最近アメリカの原子力委員会でも地熱利用の発展が考えられ そこでは合衆国太平洋側の火山地帯の地下に多く存在すると予想される水に対し非滲透性の高温岩体の熱をとり出すことが考えられた。そのためには核爆発を地下で行ない 岩体に滲透性を与えるようなわれ目を作り 2図に掲げたような方式で発電を行なうことが検討されている(後出の報告書中より引用)。そしてこの方式の技術的経済的問題についてかなり具体的な検討が加えられその結果が発表されている(アメリカ原子力委員会および American Oil Shale Corporation による1971年4月の報告書 A Feasibility study of a plow-share geothermal power plant.)。

火山発電 換言すれば新しい地熱発電が一部の人々によって期待されているようにもし将来実現するとすれば現在は実現までの道のりの第一歩をふみ出すところといえよう。なお地熱発電の将来に期待される新しい技術として熱電対による直接発電を考えている人がある。もしその可能性があるとすれば 火山エネルギーの発電利用の将来はさらに発展の可能性を含んだものといえよう。

(筆者は 物理探査部)