

地 熱 發 電

兼 重 寛 九 郎

別府、南伊豆、鳴子（こゝはまだ私は行つたことがないが）、登別というようなところで、地下からすさまじい勢で熱湯や蒸気が噴出している模様を見た人は誰でもこれを利用して何かの役に立たせたいと思うであろう。温泉事業もちろん大切な利用方法の一つであるが、熱源として工業上利用できないかと思うのは人情である。食糧の加工用その他小規模な化学工業用への利用は諸所で行われているようであるが、相當規模の企業として成立つている例はわが國にはない。

天然蒸気を利用する発電ということも、すぐ思いつくことではあるが、これも大企業として成功した例は、イタリアの Larderello というところに一つあるだけである。地熱発電ということはそんなに困難な問題であるのだろうか。私は容易な問題であるとは思わないが、決して手のつけられないようなむずかしいものとも考えない。

Larderello 地熱発電所は、すでに四半世紀以上の経験を持つ有名な発電所であるから、知つている人が多いと思うけれども、雑誌「利根」の記事や後藤清太郎、山田太三郎、西脇一郎等の諸氏が調べた報告から、概要を拾つて見ると、いろいろ興味の深いことがある。關東大震災（1923）の翌年ロンドンで開かれた第1回世界動力會議において Larderello 開発の大功勞者 Ginori Conti 公爵は自ら、地熱発電所の歴史について報告した。Larderello の事業が今日の隆盛をきたしたのは Conti 公爵の努力に負うところが多いが、その事業の最初は礬酸製造から出發した。噴泉中に礬酸の含有されていることが發見されたのは、1777年の昔で、後にこの土地の名の起源となつた Francesco De Larderel によつて礬酸製造會社がつくられたのは 1818 年であつた。この事業が續くこと 80 餘年、今世紀のはじめに至つて、支配人 Conti 公爵が天然蒸気による発電の研究を開始した。最初は4分の3馬力という小さな蒸気機關を動かすことに成功したのであるが、その翌年から 15 馬力の機關を運轉しはじめ、15 年以上の経験を積んだ。この試験時代を過ぎて、本格的な 250 kW 復水式蒸気タービンによる発電がはじまつたのは 1913 年、3年後の 16 年には 2500 kW タービンが運轉を開始した。翌 17 年には更に 2 臺増設が完了して、天然蒸気の供給能力 120 ton/h を利用して

2 臺を運轉、發生電力量年約 4 千万 kWh の堂々とした発電所となつたのである。

これらの試験時代、創業時代を通じて何も困難はなかつたのか、いや決してそうではなかつたと思う。Conti 公爵は動力會議における講演において、ボーリング作業の苦心を述べ、大口徑の井で大量の蒸気が噴出するように深く穿孔する技術の創始は彼自身であつたことを確信する旨を語つている。そして「私は克服すべき困難さを強調しようとするあまりにこんなことをいうのではない。火山地で蒸気を掘ることが、生やさしいことでなく、適切な準備と對策が適時に行われるのでなければ必ず失敗するというを明かにしたいためにほかならないのである。」と述べている。彼の苦心の甲斐あつて 1905 年當時は最有力な噴汽井でも 4 ton/h の噴出量を有するに過ぎなかつたが、1924 年までには Larderello およびその附近の Serrazzano, Casteinuovo 等に壓力 2~5 at, 噴出量 24~60 ton/h というような深さ 60~200 m の噴汽井が幾本も掘られた。

また天然蒸気中にくまれている不純物による湯垢の沈積や金属材料の腐蝕も厄介な問題であつたらしく見える。3 臺の 2500 kW タービンを掘付けしたとき、天然蒸気を直接通すことはさけて、アルミニウム管を使用した 22 個の Kestner 型蒸發器によつて熱交換を行い、純粹蒸気を作つてこれをタービンに送つた。6 年の経験を經た後 1923 年にこれを廢止して、Bringhenti の考案した巧妙な淨汽器とおき換えた。

地熱発電に伴いがちな今一つの困難は冷却水の得難いことである。天然蒸気はかぎりなく噴出するかのように見えるから、その消費量は燃料を使用する場合のように問題にする必要はないかも知れないが、噴出蒸気の壓力も温度も普通の汽力発電所で使用する蒸気のように高くはないから、もし背壓タービンとして大氣中に放出する方式を採用すると出力は非常に小さくなるので、できれば復水式として真空を下げるのが望ましい。ところが温泉地で經驗するように天然蒸気の噴出するようなところでは、冷水の得難いことが往々ある。しかも冷却水は相當大量に必要なものであるから、これの利用できる場合は非常に少いのである。Larderello でも同様で 2500 kW 復水タービンのために巨大な冷却塔が數個建設され

ている壯觀はよく寫眞にていて、その後掘付けられた4基目の2500kWタービンは不凝式となつている。

このような困難が、とにかく克服されて出力5000kWの発電所に生長したことは世界の注意をひいた。火山國としてイタリアと同様に有名なわが國の動力技術者がこれに注目したことはもちろんである。前に引用したConti公爵の講演の一節に次のようなことがある。(ほとんど「利根」掲載の譯文による。)

「日本は不幸にも火山國としてあまりにも有名であり、また最近のおそるべき地震は地下活動の永續性をあまりにも雄辯に物語つている。日本列島の島々は火山でおおわれ、それらの多くは今全盛活動を續けている。無数にあるこれらの場所のいくつかは実際に利用し得ることは疑いなく、そこには数箇所の重要な温泉や間歇泉地方がある。また日本人がLarderello発電所をおとずれる最も熱心な訪問者であることも事實であつて、あらゆる種類の科學者技術者が“the Land of Rising Sun”からわれわれの工場をおとずれ『自分達の國でも同様な方法で天然資源を利用し得る十分な自信を持つている』とくり返し私に話した。

私は現在案内書や雑誌から得られる以上の資料を持つていない。さらにあの魅惑的な國を一擧に荒廢させた最近の猛烈な天災は物質的に昔の状態を變化させてしまつたに違いない。しかし進取的な日本人はかれらのこうむつた恐るべき災禍から勇敢に立上つて、かれらの工業界に與えられた天然蒸氣の利用の可能性を見落すことはないであろうし、また無数の重要な蒸氣温泉が理性と技術とを兼備えた開拓者に與えた立派な機會を利用するよう努力するであろうことを確信している。」

わが國における地熱発電の先覺者太刀川平治博士が「將來來らんとする動力問題」と題して、地熱発電事業の概要を日本電氣協會において講演したのは大正6年、すなわちLarderelloにおいて2500kWタービンが運轉を開始した1917年であつた。その翌年山内萬壽治海軍中將が別府坊主地獄附近に上總掘りによつて鑿井に着手した。翌年深さ25mで噴汽したが、大正10年山内中將の病歿まであまり進展もなく、このとき一時中絶した。その後高橋廉一という人がこの噴汽孔を繼承し、東京帝大の加茂教授、九州帝大の故山口教授などの援助で天然蒸氣の性質や噴汽孔の特性について調査研究が行われた。

大正13年Conti公爵がロンドンで5000kWのLarderello発電所について講演した年、東京電燈株式會社がこの鶴見噴汽孔と命名された噴汽井を利用して地熱発電の研究を行うことになり、東電の研究所長太刀川博士がこれを擔當した。大正14年11月13日三菱神戸造船所の製作になる3馬力タービンははじめて天然蒸氣で運轉され1.12kWを発電、昭和2年4月10日まで

の1年5ヶ月の間に總運轉延時間6,041時間、出力平均1.3kW、發生總電力量7,866kWhという成績を示して試験打切となつた。

一方大正15年6月から別府に近い玖珠郡飯田村に鑿井中であつたが、昭和2年1月噴汽をはじめた。この湯坪噴汽孔というのは日本石油株式會社の鑿井技術を利用した8'の稍本格的な工事であつたが、深さ85m、最大出力における噴汽量1.5ton/hということがわかつた位でその後放置され、どうなつたか消息が知られていない。前の鶴見噴汽孔による「地熱利用第一発電所」も同様な状態で、その後數年経たないうちにこの地をおとずれた人はすでに遺跡となつた発電所の所在を確かめることもできなかつたということである。

これに反してLarderello発電所はどうなつたか、1930年(昭和5年)當時Lardere.loを中心とする附近のCastelnuovo, Serrazzano, Lago等の地熱発電所のタービン臺数は計8臺、設備容量合計12,400kWになつていた。しかもその翌年汽壓4.5at、汽温205°C、噴汽量200ton/hの大噴汽井が成功するにおよんで、1938年Larderelloに12,000kWタービン4臺が増設され出力總計は65,400kWとなつた。その後附近の開発も進み、1943年には年發生電力量9億kWhに達したと報ぜられている。

ところがその翌44年には、爆撃のため或は最近の文献によると獨逸軍の撤退に當つて爆破され壞滅したとのことであるが、終戦後再建され、49年7月現在設備容量は150,000kWになつているという。なおマージナル復興計畫によつて西歐に9ヶ所の発電所建設計畫がたてられたが、その一つはLarderelloの地熱発電所75,000kWで、年發生電力量5億kWh、建設費は1kW當り80ドルでイタリアのBouthier水力発電所の47ドルに次ぎ第2位をしめている。なお他の発電所建設計畫もあり、完成後の全設備容量は250,000kW、年發生電力量は20億kWhと豫想され、イタリアの全發生電力量の10%、わが國のその約7%位に當ることになる。

このように50年の苦心と経験を積んだ結果は、非常に有力な動力源を地熱から得ることになつたのである。

わが國における地熱発電の研究は、昭和3年太刀川博士の試験が打切となつて以來、空白時代を經過したが、終戦後再び關心を持たればはじめた。

昭和22年商工省に地熱開發技術委員會(現在の審議會)が設置され、地熱発電に關する試験研究調査を実施することになつた。そして同省の地質調査所、電氣試験所、機械試験所、工業試験所が研究を分擔し、翌23年別府市南立石白龍温泉に管徑3'、深さ110mの噴汽井を掘り、噴汽量約2ton/hを得た。この噴汽井を利用して、30kWの発電試験を行うことになり、次の第1表

(23頁へ續く)

原子エネルギー—原動機に利用されるようになれば恐るべき革命であるが、筆者には豫見できない。

風力—日本の風力はどの位あるかという質問を時々やるが、これは水力の場合といちじるしく異つてゐるから簡単に返事しがたい。すなわち高層の風力は利用できないが、どれだけの高さ以上が利用できないという界が明瞭でないのであつて、大規模な風車を建設すれば利用範囲が擴がることになる。このような次第で利用風力を計算することがむずかしい。大氣全體のパワーは 3×10^{17} kW と見なされる。この中で利用できるのは高々 2×10^{10} kW であろう。すなわち世界の全水力よりもはるかに大きいことは未利用動力源として充分着目に値するはずである。

それが意外に利用されていないのは、第一に風速に變動があつて、ことに無風又は速度の小さい時間があるこ

(25頁より續く)

に示すような要目を持つ発電設備が三菱長崎造船所で作られ昭和 25 年夏発電所の建設が完了した模様である。

第 1 表 白龍温泉地熱発電所要目

1. 原動機	
型 式	2 段減速衝動タービン
出 力	30 kW
汽 壓	2 kg/cm ² abs (飽和)
蒸気消費量	31.8 kg/kWh
毎分回転數	タービン 9690, 發電機 750
2. 復水器	
型 式	豎型對向流噴射型
眞 空 度	600 mmHg
冷 却 水 量	14~16 ton/h.
3. 發電所出力	
復水ポンプ及び封水型回轉眞空ポンプ驅動に要する動力約 6 kW はタービン出力 30 kW の中から供給されるから發電所正味出力は 24 kW となる。	

この試験発電所の全景、噴汽孔の噴汽状況、發電室内部の状況は口繪に示す通りである。噴汽孔は昨年改修工事を行い、現在 120°C の蒸気が噴出している。密閉すれば汽壓は 3.6 kg/cm²g, 汽温は 140°C まで上昇する。發電關係の設備が豫定通りの成績を示したという報告はまだ聞いていないが、おそらく進行中のことと思う。

工業技術廳におけるこの研究とは別に株式会社利根ボーリング社長鹽田岩治氏は終戦後間もなく伊豆半島湯之澤と宮城縣鳴子温泉附近中山平において主としてボーリング作業の研究を行つていたが、昭和 23 年 12 月湯之澤において、深さ 380 m の第 4 號 A 井の噴汽を利用してタービン発電を開始した。出力は 3~8 kW, この電力を利用して深さ 600 m を目標に第 4 號 B 井の掘鑿を行つてゐる。この發電所内部の状況は、口繪の寫眞に示してある。

一方中山平における鑿井はすでに昭和 24 年に大約 50

とによる。しかしこの缺點は水力等と併用することによつてのぞくことができる。利用の目的によつては風車の停止する時間があつても差支えない場合もある。

第二は水に比して空氣の密度が小さいため水力タービンと比較すると風車が非常に膨大なものとなるからしたがつて建設費も大きくなることが想像される。しかし第 3 圖に見るように或程度大規模のものにすれば他の發電方法にくらべて決して高いものではない。

水力の場合には大ダムを建設することによつてとかくいろいろの問題を起すが風力の場合には他の産業に影響をおよぼすことはほとんどないであろう。

日本においては多期の温水期に最も風が豊富であることは將來兩者併用に妙味をだすことができるであろう。

本文に引用した資料の中 P. C. Putnam: Power from the Wind に負うものが多いことを追記しておく。

本に達し、蒸気のみを噴出するものも相當數成功している模様であることは同じく口繪の寫眞によつて知ることができる。この實驗場にも、自家發電の計畫がたてられていることは豫て聞いていたが、最近 20 kW の交流發電が開始されるというが、伊豆實驗場の増設であるか、中山平のものであるか私はまだ確かめていない。

昨年九州配電株式會社が、大分縣下に 3,000 kW 程度の地熱發電を計畫中と聞いているが、おそらくまだ調査進行中という段階であろうと思う。

イタリアでは 50 年の歴史を持つているが、後半の 25 年間に着實な生長を示して、現在では有力な地熱發電所を持つに至つたことはすでに述べた通りである。これに反してわが國では、最初の試験以來 25 年、ほとんど足踏の状態である。當時 Conti 公爵の絶大な期待があつたにもかかわらず、現状はこの期待におよばないこと遠い。これは何故か。わが國にはまだ毎時數噸という程度の噴汽井しかつられていない。これでは大規模な発電はとてできないが、イタリアでははじめ礫酸製造という本業があり、その副業として噴汽井の開發を行うことができた。また石炭石油等の地下燃料資源が皆無に近く地熱開發の緊要度もはるかにわが國以上であつたろう。わが國では地熱地點が温泉事業と競合することが多く、そのおそれのないところは、地理的にも不便であり、豫期通りの噴汽が得られないときは全然損失となるため、計畫に危険性が多い。わが國の地熱發電が企業となるまでにはまだ相當の年數を要するであろうが、最近の試験が漸く軌道に乗つてきたことを考えるならば、いつかその苦心が實を結ぶ時がくることは間違いない。

終りに、報告を引用させて下さつた後藤清太郎、山田太三郎、西脇一郎の 3 氏、ならびに口繪寫を貸與して下さつた工業技術廳、株式会社利根ボーリングに厚く謝意を表する。