

温泉バイナリー発電の試み

秋田 涼子

地熱発電の開発の試みとして、温泉地での活用が注目されているバイナリー発電について、現状と課題、今後の可能性について考察する。

キーワード：再生可能エネルギー、地熱発電、バイナリー発電、温泉バイナリー

1. バイナリー発電について

(1) バイナリー発電の特徴

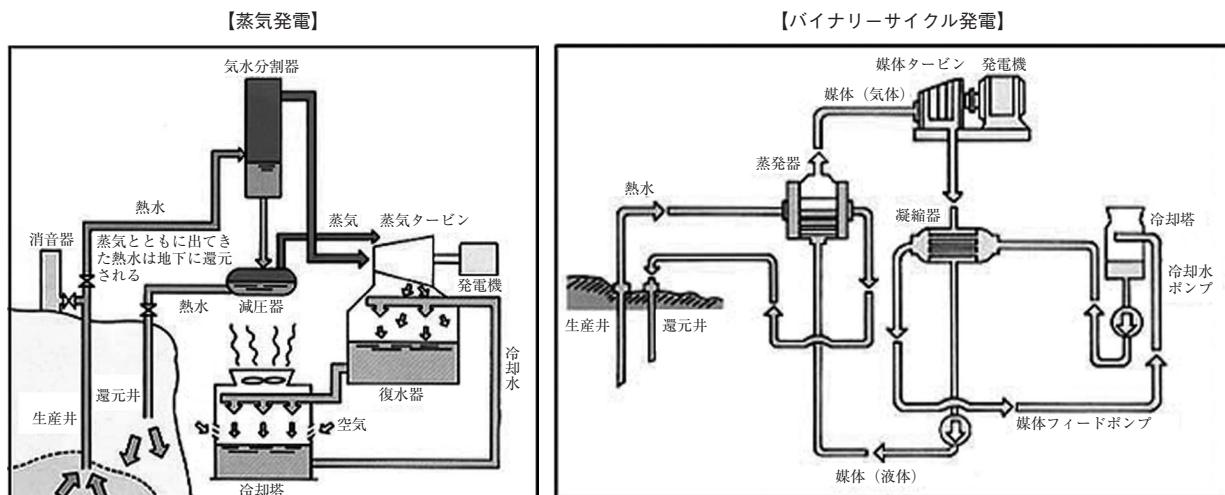
地熱発電は地下 1000 ～ 3000 m 程度の場所にある高い温度の熱水や蒸気が溜まっている地熱貯留層に向けて井戸を掘る。地下の熱水は地中の圧力がかかっているために、沸点が高くなっており、200℃以上であっても蒸気になっていない。この熱水が井戸を上昇する間に沸騰して発生する蒸気を気水分離器（セパレーター）によって蒸気と熱水に分離し、蒸気でタービンを回すという仕組みが基本である（シングルフラッシュ方式という）。蒸気でタービンを回して発電機で電気を起こすという点は、火力発電や原子力発電の仕組みと同じである。

最近、従来発電に利用されてこなかった温度帯の高温熱水の発電利用への道が大きく展開している。それは高温熱水を用いて、水より沸騰温度が低い媒体（例：

ペンタンやアンモニアなど）を加熱し、これによって作られた高圧の蒸気によりタービンを回して発電を行うバイナリー発電という仕組みである。我が国でも、九州電力八丁原発電所に設備 2000 kW の熱交換媒体としてペンタンを使ったバイナリー発電システムがある（熱源としてはタービンに導入できない圧力の低い蒸気を活用）。

(2) バイナリー発電のメリット

バイナリー発電のメリットは、低温でも発電できることである。従来の地熱発電より浅い熱源を利用できることから、その探査・掘削が容易になり、初期投資負担が軽減される。また、一度発電や熱供給に使った熱を二次利用する、熱供給で使いきれない熱水を利用することもできる。一般にバイナリー地熱発電といった場合は、そのための探査・掘削を伴う新規開発事業を意味するが、我が国では、当初からバイナリー発電



出典：資源エネルギー庁 HP¹⁾

図一 地熱発電の仕組み

を目的とした地熱開発は現状、ほとんど行われておらず、既存の温泉源や地熱発電所内の未利用エネルギーを活用することから始められている。

独立行政法人産業技術総合研究所によると、温度150℃以上の地熱資源量は、約2347万kWと試算されている一方、より低い温度領域での温泉バイナリー発電の開発に有望な資源量(53～120℃の熱資源量)は833万kWとされている²⁾。このうち、開発可能と考えられる(あまりにも小規模な源泉を除く)温泉についてカーナサイクル(アンモニアを媒体とするバイナリー発電の仕組み)を前提として設備容量の算定を行うと、我が国の温泉の熱を利用した発電の導入ポテンシャルは72.2万kWと推計されている³⁾。

近年、我が国で注目されているのが温泉バイナリー発電である(図-2)。

既存の温泉を活用してのバイナリー発電は、すでに噴出している熱源があるため、開発リスクもなく、その探査・掘削コストがかからず、蒸気と熱水を分離し、熱交換後の温水は還元する仕組みとすれば温泉の枯渇懸念も少ない、何よりも既存の温泉と共存できることから、地熱発電開発の大きな課題である地元の反対も少ない等の利点がある。温泉旅館など熱利用設備が存在する温泉地では、電熱併給(コージェネレーション)による熱の有効利用も可能となる。

温泉事業者側では、すでに噴出している温泉を活用し、温水を還元するので枯渇の懸念が少ないこと、噴出する源泉の温度が高温で、温泉の成分を薄めずに浴用温度に下げる苦慮をしているところでは、高い温度のエネルギーをバイナリー発電に活用し、泉温を低下させ、その後浴用に使うことができるというメリット

が考えられる。

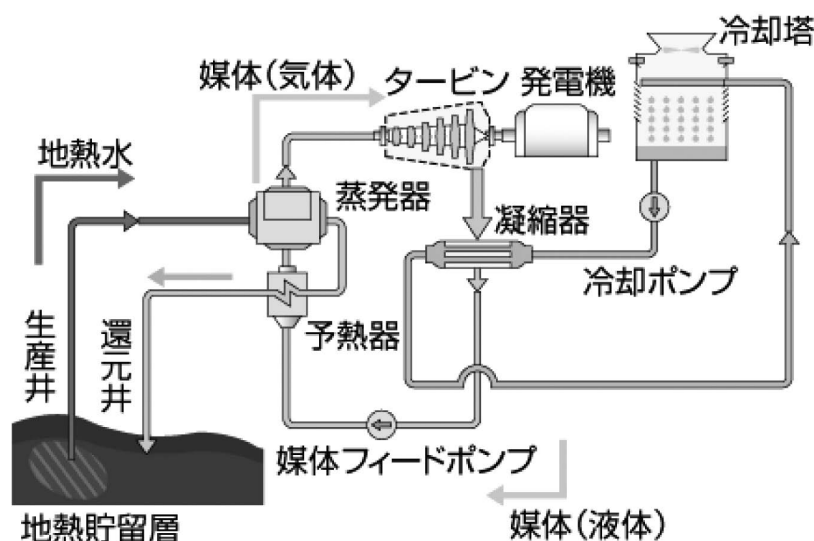
(3) 制度や規制緩和

バイナリーサイクルの地熱発電は2008年の新エネルギー法の政令改正により、新エネルギーに指定され国の補助事業として導入が推進されることとなった。さらに、経済産業省は「再生可能エネルギー固定価格買取制度」の平成26年度価格で、地熱発電の買取り価格が1万5000kW以上で26円/kWh(税別)、比較的小規模なバイナリー発電の多くが該当する1万5000kW未満で40円/kWh(税別)と高水準に設定している。

また、バイナリー発電に関しては、規模等に関わらず火力発電設備として、技術基準の適合維持、保安規定の届出、主任技術者の選任、工事計画の届出等の義務がある上に、液化ガス設備があることから、離隔距離を設ける必要が省令によって規定されていたが、経済産業省が平成23年に規則改正を行い、代替フロン等の不活性ガスを媒体としたバイナリー発電で300kW以下のものについては、ボイラー・タービン主任技術者の選任工事計画届出、溶接事業者検査及び定期事業者検査を不要とした。また、媒体に不活性ガスを用いる液化ガス設備については、離隔距離の規制を適用しないこととするなど、バイナリー発電導入のコスト削減につながる規制緩和がなされている。

(4) 温泉地側のメリット

温泉地から見ると、噴出する温泉の温度が高温すぎる場合、温泉の成分を薄めずにお湯を適温まで冷ます工夫が必要となる。これを「湯もみ」として観光資源



出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 HP⁴⁾

図-2 温泉バイナリー発電の仕組み

にしている温泉地もあるが、お湯の高温部分をエネルギーとして活用できることは、温泉地側からのメリットであろう。温泉旅館など熱利用設備が存在する温泉地では、電熱併給（コージェネレーション）による熱の有効利用も可能となり、融雪や暖房に熱を活用することもできる。

環境省の温泉利用状況調査によると⁵⁾、全国の温泉地はこの10年の間に合計で、宿泊施設数や延宿泊利用人員を約1割減らしている。長引く不況や、旅行形態や趣向の変化等に対応しきれず、顧客を減らしている温泉地も多い。

こうした温泉地の苦境の中で、地域分散型エネルギーとしてCO₂の排出の少ないバイナリー発電の導入は、エネルギーコストの削減はもちろん、イメージアップやPRに繋がり、温泉への悪影響の懸念がなければ歓迎される可能性がある。

2. バイナリー発電の現状

平成24年の固定価格買取制度導入以前に、我が国で商業運転している地熱バイナリーは、九州電力の八丁原地熱発電所（2000kW）だけであったが、（平成18～21年度に鹿児島県霧島観光ホテルで地熱バイナリー発電の実証実験が行われた。実証実験終了後は、蒸気フラッシュ方式の100kWの地熱発電に戻している）規制緩和と固定価格買取制度の導入を受けて、各地で検討が始まっている。新潟県松之山温泉では、環境省委託事業で、定格出力：87kW（年間発電量は一般家庭100世帯分程度の使用電力量に相当）の温泉バイナリー発電装置を設置して、2011年12月から実証実験が行われた（写真—1, 2）。

固定価格買取制度の導入により、多様な業種や企業が高温の温泉資源を活用したバイナリー発電に着目することとなった。

大分県別府市では、4社が出資して設立した西日本地熱発電株式が手掛けた第1号の温泉発電施設「五湯苑地熱発電所」（91.6kW）が平成26年1月に稼働を開始している。これは、年間売電収入に対して総投資額が大きい温泉を利用したバイナリー発電を個人や小規模な旅館が負担して実現させることの困難性に着目し、会社設立により対応した事例である。また、北海道摩周湖温泉では、都内の出版社が計画した温泉バイナリー発電が道内初の経済産業省の設備認定を受け、稼働に向けた工事が行われている。



写真—1 松之山温泉バイナリー発電実証実験設備



写真—2 実証施設内部の発電システム

(1) 温泉バイナリー発電の採算性

地熱技術開発株式が、固定価格買取制度の下での温泉バイナリー発電事業の事業性を検討している。図—3は、平成24年時点における検討結果である。

温泉バイナリー発電の採算は、使う媒体により設置が義務づけられるボイラー・タービン主任技術者の要否、温泉の湯量によってきまる発電規模により異なるが、温泉バイナリー発電事業の設備投資単価がkWあたり100万円台になれば、ボイラー・タービン主任技術者の必要なアンモニアやペンタンを媒体とした発電も、一定の採算が取れると試算されている（内部利益率15年間のIRRを6.0%として設定）。

温泉バイナリー発電は、太陽光や風力と比べると、発電機だけでなく、図—2でわかるように蒸発器、再生器、凝縮器等、周辺機器が多い。また、温泉地は山あいなどが多く、源泉の場所に即して高低差のある場所や、狭隘な用地に設置する場合の設置費用等も必要である。これら設置費用等を含めた全体の設備投資費用が100万円台/kWになれば、発電事業として固定価格買取制度の下で事業の採算性が確保されるとい

発電機出力 (kW)	送電端出力 (kW) =発電機出力 ×75%	年間売電電力量(kWh) 利用率=90%	固定価格買取制度による売電収入 (万円) 40円/kWh	設備投資 (100万円/kW、工事を含む)の場合の税引き後内部収益率(IRR, 15年間)		引き後内部収益率(IRR, 15年間)6%時の設備投資単価 (万円/kW)		必要な温泉の湯量 (95℃の場合, kg/min)	
				ボイラータービン主任技術者あり	ボイラータービン主任技術者なし	ボイラータービン主任技術者あり	ボイラータービン主任技術者なし	アンモニア水の実績平均	他の媒体の実績平均
50	37.5	295,650	1,183	-	17.2	44	121	239	551
100	75.0	591,300	2,365	-7.7	18.3	86	125	478	1,103
150	112.5	886,950	3,548	6.0	18.7	100	125	718	1,654
200	150.0	1,182,600	4,730	10.2	18.8	107	126	957	2,205
250	187.5	1,478,250	5,913	12.3	18.9	111	126	1,196	2,757
300	225.0	1,773,900	7,096	13.7	適用外	114	適用外	1,435	3,308
400	300.0	2,365,200	9,461	15.2	適用外	117	適用外	1,913	4,411
500	375.0	2,956,500	11,826	16.1	適用外	119	適用外	2,392	5,514

出典：地熱技術開発機資料

図一3 温泉バイナリー発電の採算性の試算

うことである。温泉バイナリー発電用の国産の小型発電機はまだ開発途上であり、コンパクトで、オールインワン構造の製品開発が進んでいるところである。

(2) 温泉との共存の問題

温泉バイナリー発電は、新たな掘削をする必要がなく既存の高温温泉を活用するため温泉の枯渇の懸念がないこと、また、そのままでは高温で浴用に適さない温泉の熱エネルギーを活用することになるので、温泉地側にも湯を冷ます必要がなくなることから、温泉地のメリットもあると考えられる。

一方、温泉バイナリー発電は、太陽光や風力と比べて、すでに活用されており複雑な権利関係にある温泉という資源を使うという点が特徴であり、このため複数の利害の異なる温泉事業者間の調整が不可欠となる。

温泉には、源泉所有者と温泉供給事業者がおり、自治体や温泉管理組合（または会社）等が該当する。また、温泉の供給を受ける個別のホテル・旅館等の温泉利用者があり、それらは同じ温泉を利用している組合の構成員でありながら、宿泊客等を争奪するライバルの関係にあり、一部で温泉の熱を暖房等に利用している場合もある。1つの温泉に源泉が複数ある場合も多く、それぞれに利害関係が異なる場合も多い。前述の五湯苑地熱発電所の場合は、源泉の所有者、土地所有者とも個人であり、スピーディな事業化が可能となった一因と考えられる。

また、温泉バイナリー発電事業を行うとすれば、温泉事業者、発電事業者、またそれに出資する者という

3つの立場が生じるが、すべてを温泉事業者が単独で行う場合もあれば、温泉を提供するだけの場合もあり、様々な事業の構造が想定できる（図一4）。

温泉バイナリー発電を行う場合には、固定価格買取制度でも15年が設定されているように、長期的な事業となる。事業期間中には、温泉井や配管の老朽化による修繕費の増大、あるいは温泉井の減衰や損傷による温泉供給量の減少、温泉関連事業者の破綻など、様々な事業上のリスクも想定される。

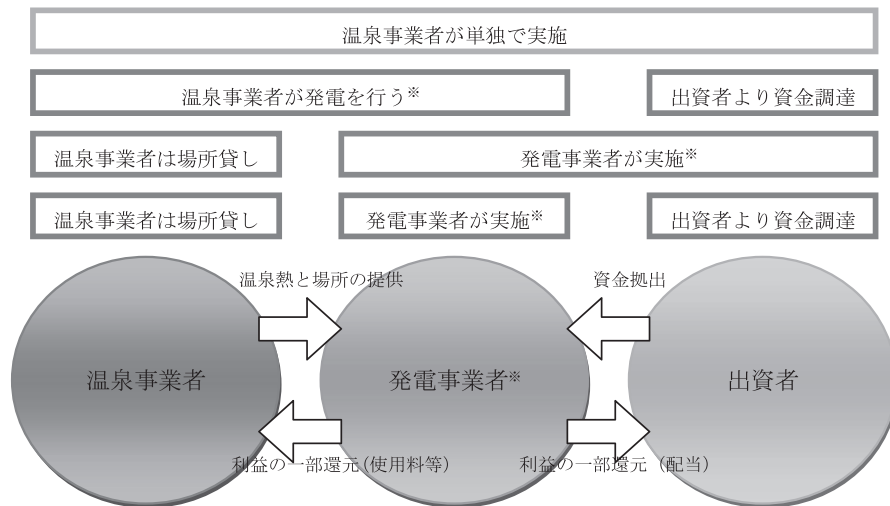
温泉地での発電事業の実現のためには、各々の温泉地の権利関係や利害関係を把握した上で、それらの事情にふさわしい事業の分担とリスクの分担を実現できるような事業スキームを作り上げることが必要である。

(3) 導入のための課題

温泉を活用したバイナリー発電を、温泉地に導入していくためには、技術面での課題と事業実施面での課題が考えられる。

技術面については、環境省の委託事業で実施されている実証実験等で徐々に明らかになると想定されるアンモニア水を媒体とした発電の長所、短所などを踏まえ、温泉の湯量や温度により適切な発電規模と媒体を計画できるような、データやノウハウの蓄積という課題である。

事業実施面では、温泉地の権利関係や利害関係、源泉の所有・利用状況、熱利用状況等を踏まえた上で、その温泉地の事情にふさわしい事業やリスクの分担の仕方、事業実現のために必要な手続き等についてのノウハウが求められている。



※温泉事業者と発電事業者が共同出資する中間的なケースもあり

出典：地熱技術開発(株)資料

図一 温泉バイナリー発電事業のステークホルダー

(4) 温泉バイナリー発電の発展のために

我が国には、多くの温泉地があり、温泉旅館やホテル、日帰り入浴施設等が経営されているが、利用客の減少で厳しい経営状況にある事業者も多い。

温泉バイナリー発電の導入については、源泉の湧出量や泉温の精密な調査、権利関係や源泉の利用方法・利用状況の把握を踏まえた上での、当該温泉地にふさわしい発電システム（規模や媒体）の検討、事業手法や事業スキームの検討が必要である。現状、厳しい経営状況にある温泉地で、自らの費用でこれらの検討を行うことを期待することは現実的ではないと思われる。

温泉バイナリー発電は、電気事業用の掘削型の地熱発電とは別に、地域の地熱資源を有効活用し、地域分散型のエネルギー供給の一端を担うものであり、地産地消の有力な発電源ともなり得るものである。温泉バイナリー発電の可能性のある地域の多くは、山間地で日照時間が少なく積雪もある地域であり、国が積極的に導入を図っている太陽光発電の導入には不利な地域も多い。温泉バイナリー発電は、そのような山間部や寒冷地等でも導入が可能な再生可能エネルギーの一つであることを踏まえ、国や地方自治体が、高温の源泉のある温泉地についての、温泉バイナリー発電の導入可能性の検討の費用を負担し、技術面での検討と合わせて事業化のための手法の検討を進めていくことが、温泉バイナリー発電事業の実現と、そのためのデータや手法の蓄積に有効と考える。

また、温泉地にとっても、温泉バイナリー発電の導入を検討することは、歴史的な経緯から複雑になっていた権利関係や、温泉の共有状況を見直し、より効率的な温泉利用や熱利用を検討することに繋がると考えられる。また、温泉関係者が温泉バイナリー発電の導入を検討することは、すなわち温泉地の将来、魅力づくりの面、地域のエネルギー問題、災害時のエネルギー確保の面などについて、真剣に考えることであり、温泉地の再生、再活性化の契機になる可能性もあろう。

温泉バイナリー発電は、地域の貴重なエネルギー資源である温泉を活用し、地域の活性化を図り、温泉とともに共存共栄していく1つの手段となる可能性があり、今後の普及が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/mechanism/
- 2) 産業技術総合研究所の地熱資源量評価による。
- 3) 平成22年「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」（環境省）<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/>
- 4) <http://geothermal.jogmec.go.jp/geothermal/type2.html>
- 5) 環境省
<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/#onnseinnohogotoriyou>より

[筆者紹介]

秋田 涼子（あきた りょうこ）
 ㈱日本経済研究所
 社会インフラ本部
 主任研究員