

小浜温泉のバイナリー発電について

はじめに

雲仙市の小浜温泉では、豊富な未利用温泉水を活用した「温泉バイナリー発電」の実証実験が環境省の委託事業として2013年4月7日から始まっている。

小浜温泉では約105℃の高温水が日量15,000トン湧き出し、このうち約70%が利用されことなく海に排出されている。そこで、この未利用温泉水を有効活用する方法として取り組まれているのがバイナリー発電である。現在、システムの実証実験を行っており、事業性や二酸化炭素削減効果などを14年3月まで検証していく予定となっている。

福島第一原発事故を受け、再生可能エネルギーへの注目度が一段と高まっており、実証実験中のバイナリー発電は、再生可能エネルギー活用の新しいモデルとして有望と考えられている。ここでは小浜温泉のバイナリー発電の概要等について紹介したい。

＊この実証実験は環境省の「低炭素地域づくり集中支援モデル事業（小浜温泉未利用温排水による温泉発電事業化実証事業）」に選定されている。

1. 温泉バイナリー発電について

（1）バイナリー発電とは

バイナリー発電は地熱発電の発電方式の一つで、従来の地熱発電では地下から取り出した蒸気で直接タービンを回すのに対し、地下から取り出した蒸気・熱水で、水より沸点の低い液体（フロンやペンタンなど）を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービンを回す方式である。加熱源系統と媒体系統の2つ（binary）の熱サイクルを利用して発電することからこの名前が付いている。バイナリー発電では、低沸点の媒体を利用することで、媒体の加熱源に従来方式では利用できない低温の蒸気・熱水が利用可能である。

温泉地などにおいては、直接入浴に利用するには高温すぎる温泉の場合、水を加えて50℃程度に下げるのが一般的であるが、その際、バイナリー発電を用いて余剰の熱エネルギーを利用して発電することも可能であり、熱交換後の温度の下がった温泉水は温泉として利用できる。この方式の場合、発電能力は小さいものの、占有面積が比較的小規模ですみ、熱水の熱交換を行うだけであり、既存の温泉では、源泉の枯渇問題とは無関係に発電ができると考えられている。

温泉バイナリー発電の特徴は次のような点が挙げられる。

- ・CO₂（二酸化炭素）排出量が極めて少ない、環境にやさしい発電システム
- ・半永久的に利用可能な再生可能エネルギーを利用
- ・今まで捨てられていた未利用温泉水の有効活用（新規の掘削が不要）
- ・太陽光や風力発電と違い、天候の影響を受けず安定した電力の供給が可能

（２）小浜温泉バイナリー発電の仕組み

温泉熱で沸点の低い代替フロン（HFC245fa）を沸騰させ、その蒸気の力でタービンを回して発電する方式である。発電能力は小さく、小規模ではあるが、既に湧出している温泉水を使っ

①バイナリー発電の流れ

バイナリー発電は以下のような仕組みで行われる。

（イ）温泉水（約98℃）を熱交換器に通してその熱で熱水（約95℃）を作る。

温泉水には不純物等が含まれており、そのまま蒸発器に通すと機器に支障があるため、熱交換器を介して地下水を熱水にする。（なお、温度の下がった温泉水は、実証期間中は海に排水している。温度は熱交換器の出口で約70℃に低下しており、温泉にも利用可能である。）

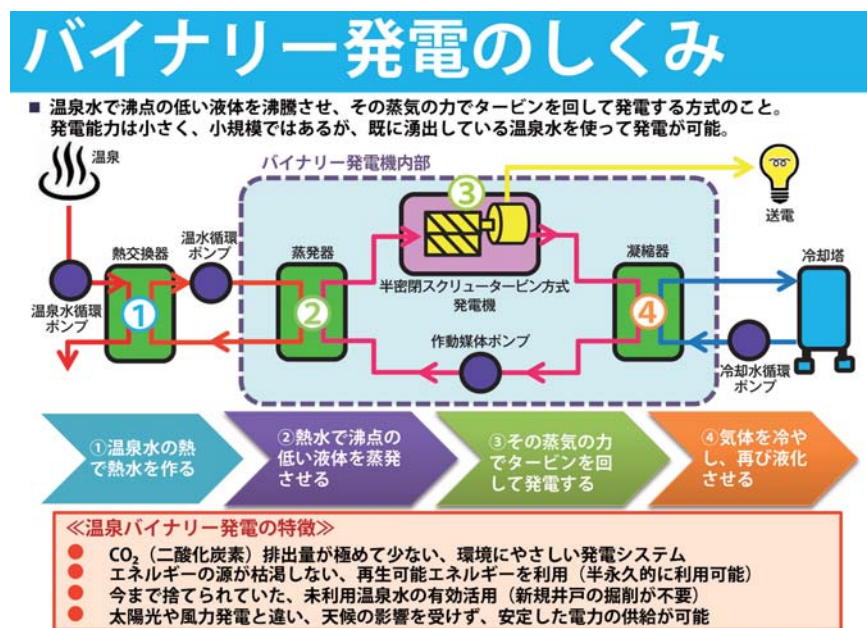
（ロ）熱交換器で温められた熱水を蒸発器に循環させて、沸点の低い液体（代替フロン）を蒸発させる。（フロンの沸点：大気圧下15℃／発電機内部の圧力下30℃）

（ハ）代替フロンの蒸気の力で発電機のタービンを回して発電をする。

（二）冷却水を循環させて

いる凝縮器に代替フロンの蒸気を通すことで再び液化させて、その液化した代替フロンを蒸発器に送り蒸発させてタービンを回す。

代替フロンを液化した際に温度が上昇した凝縮器の水は、冷却塔で温度を下げて再度凝縮器に循環させている。



図表：仕組み図（資料：小浜温泉観光協会「小浜温泉ジオツアー」）

②小浜温泉バイナリー発電実証事業の概要

小浜温泉バイナリー発電の概要は下表のとおりである。

実証事業名	環境省委託事業：低炭素地域づくり集中支援モデル事業 (小浜温泉未利用温排水による温泉発電事業化実証事業)	
事業目的	①未利用温泉・地熱エネルギー資源の有効活用 (CO ₂ 排出量削減・省エネ貢献) ②高温の温泉水による温泉バイナリー発電実証 (事業性・採算性検証・CO ₂ 削減効果検証) ③実証フィールド (長崎県雲仙市小浜町)	
事業内容	発電規模	210kW級 (72kW×3機) *送電可能電力は最大150kW程度
	事業期間	約3年 (11年11月～14年3月)
	発電実験期間	約1年 (13年4月～14年3月)
	使用源泉	①小浜マリーナ泉源 (雲仙市所有) ②小浜マリンパーク泉源 (雲仙市所有) ③オレンジ・ベイ泉源 (民間所有)
	使用熱水	合計 約100 t / 時間・約100℃
	電力の使用用途	公共施設で利用 (リフレッシュセンターおばま)
受託者	株式会社 エディット (福岡の発電コンサルタント会社)	
導入設備内容	発電機	マイクロバイナリーMB-70H (神戸製鋼所製)
	媒体ガス	HFC245fa (代替フロン)
	最大送電端出力	60kW×3機=180kW
	騒音値	75dBA (機側1m点の測定値)
	寸法・重量 (1機)	幅2,250×奥行2,600×高さ2,300mm・6,500kg

(資料：小浜温泉観光協会「小浜温泉ジオツアー」)

*施設は、環境省から補助金を受けて雲仙市の所有地に整備した。

③発電の規模

一般家庭の約120世帯分 (1世帯当たりの平均消費電力：約10kWh／日として)

予測発電量＝約1200～2400kWh／日

設備稼働率70% (メンテナンス等による休止) で計算すると、

平均発電量：約840～1680kWh／日となり、その平均が1280kWh／日であり、

1世帯当たり10kWh／日として約120世帯分の規模となる。



発電所全景：左の棟内部に発電機等を設置。右は貯湯槽。



発電機：3機設置されている。

④バイナリー発電における課題について

課題の1つは、熱交換器のプレートにカルシウムやシリカなどのスケール（湯の花）が付着し、熱交換器の効率が低下してしまうことである。(株)エディットの担当者によると、実際に稼働させたところ、スケールが予想より早く蓄積され、プレートを外して水圧による除去作業をしているとのことである。因みに熱交換器は3台設置しており、1台にプレートが99枚ついている。

また、スケールはこのプレートに蓄積するだけでなく、長期間になると各源泉から温泉水を貯湯槽に送るパイプの内側にも付着・蓄積することになり、4m～5mで区切ったパイプを取りだしてドリル等で取り除く作業をすることになる。

スケールは源泉ごとに成分が異なるため、スケールの蓄積のスピードや有効な除去法についてもいろいろ実験等を行い、また、スケールの有効利用策についても検討するとのことである。

2. 小浜温泉での地熱・温泉資源のエネルギー活用検討の歴史について

(1) 反対運動の歴史

小浜温泉ではこれまでも、地熱・温泉資源のエネルギーの活用が検討されてきた経緯がある。

このうち2004年には、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の地熱開発促進調査に採択され1,500kW級バイナリー発電調査が計画された。しかし、新源泉掘削による泉源枯渇への不安、さらには地元地域との協議が不十分だったこと等から地元の不信を招き、雲仙温泉・小浜温泉において結成された「温泉を守る会」が反対運動を展開したことから実現には至らなかった。

また同時期、発電機メーカーによる250kW級の小規模バイナリー発電調査も行われた。当初、100℃程度の熱水を利用することで地元の合意を得て、現在のマリーナ源泉を掘削し、実際に100℃程度の温泉が湧出した。しかし、メーカー側がバイナリー発電には130℃程度の熱水が必要

でありさらなる掘削が必要と主張したため、当初の計画と食い違うこととなり、地元の合意が得られず発電機メーカー側が実験を取りやめ、計画は中止された。

これまで有望な地熱発電の地域として地熱資源調査等が繰り返され、2004年頃からは具体的な開発計画も始動したが、地元地域との協議が不十分であったこと、複数のプロジェクトが同時進行して混乱を招いたこと、さらには不信を招くような形での開発計画、近隣地域との調整不足等々により、地元の反対運動等を受けて実現には至らなかった。

（２）今回の地熱利用に至った経緯

2007年、長崎大学を中心に、掘削を伴わない未利用温泉熱の活用について取り組むことになり地元関係者への働きかけを始めた。

10年からは、月１回の頻度で地元の人々と意見交換を行い、その結果、未利用温泉熱の活用のためには、地元と産官学が連携した「協議会」を設立して意見集約や合意形成を行っていくべきとの結論に至ったことから、11年３月に「小浜温泉エネルギー活用推進協議会」が発足した。さらに、同年５月には協議会で検討した内容を実現していくための組織として「一般社団法人 小浜温泉エネルギー」が設立された。

《意見交換で出た地元の人々の意見》

・ 未利用温泉熱については、先々代から活用を考えていた。
・ 大量の余剰温泉水、海岸の未利用地を活用したい。
・ 現在は源泉に加水して温泉を利用しているため「源泉かけ流し」ではない。「湯もみ」の代わりに発電利用はできないか。
・ ほっとふっと105（105mの足湯）は平均700名／日程度の集客効果がある。温泉発電も観光資源として活用したい。
・ 過去の反対の経緯を踏まえて地元への周知が大事である。
・ 地熱利用を行うには「協議会」という形式がスマートではないか。
・ 実際に事業を担う主体も別に検討しておく必要がある。

《地元の理解を得られた要因》

・ 定期的な協議の場の設定（１回／月程度）
・ 既存の未利用温泉熱のみを使用する計画であることを繰り返し周知した。
・ 地域のまとめ役の存在（守る会の会長⇒推進協議会の会長）
・ 発電方法等の技術的な面について勉強会を重ね理解を得るようにした。
・ 発電事業による地域のメリット創出方策についても、地域の事業者と話し合いながら検討した。
・ 地域内外への情報発信をした。

（３）小浜温泉エネルギー活用推進協議会の発足

前述のような経緯から、11年３月、地元の温泉・観光関係者、雲仙市、大学・企業の専門家等をメンバーとする「小浜温泉エネルギー活用推進協議会」が発足した。協議会の目的には、「未利用温泉熱活用に関する調査研究を行うとともに、未利用温泉熱活用事業の円滑な普及発展を図り、地球温暖化対策への寄与と地域経済・観光の活性化をもって持続可能な社会の構築に寄与する」とある。

具体的には、温泉バイナリー発電によるエネルギー地産地消の新たなビジネスモデルを構築し、それを地域の活性化につなげることが目標であり、さらに日本初の世界ジオパークに認定された島原半島ジオパークの取組みとも連携し、環境教育に資する、ジオツーリズムのプログラムを開発することも目指している。

（４）一般社団法人 小浜温泉エネルギーの設立

協議会で検討した内容を具体化し実現していくために、協議会事業の実働組織として11年５月に設立されたのが、温泉事業者と産学による「一般社団法人 小浜温泉エネルギー」である。

この組織を通じて、国の事業等への申請、総合的な温泉資源活用事業の検討等の事業活動を行っており、エネルギー課題、地域の課題（経済の低迷、観光客減少、人口減少、高齢化）の対策として地域の自然資源を活かす次のような具体的な取組みを検討している。

①温泉バイナリー発電の事業化⇒地球温暖化防止、地域力再生

（CO₂ 排出量削減、エネルギー地産地消、産業振興・雇用創出）

②島原半島全体の自然資源を活用⇒次世代型エネルギー社会の創出

（再生可能エネルギーによる島原半島スマートコミュニティ）

＊スマートコミュニティ＝エネルギーの有効利用の観点から、電力だけでなく、熱エネルギーや交通システムも含め、人々のライフスタイル全体を視野にいたした社会システム

なお、既述のように11年11月から発電コンサルタント会社の(株)エディットと共同でバイナリー発電の実証事業に取り組んでいる。

3. バイナリー発電の観光資源化による地域活性化について

バイナリー発電を地域の新しい見どころの一つとして活用する取組みも進んでいる。まず、視察客の増加が挙げられる。発電開始後には、温泉地を持つ複数の自治体等の視察団が小浜町を訪れた。宿泊を伴う視察になるため地元の旅館やホテルの期待は大きい。４～７月をとっても480名に上っている。小浜温泉観光協会は【小浜温泉ジオツアー】を企画し、専門ガイドによる温泉

バイナリー発電の仕組み等の説明、発電所見学、温泉街のまち歩き、温泉蒸気による料理など魅力をPRしている。

また、環境学習の面からもアプローチしている。5月には関西の中学の修学旅行生が発電所見学に訪れるなどの実績が上っており、今後バイナリー発電を使った環境学習による修学旅行等の増加が期待される。

(参考) 13年4月～7月におけるバイナリー発電施設見学者数 (合計877名)

・修学旅行	中学校1校	305名
	小学校1校	22名
・高校大学等	3件	70名
・一般視察		480名 (このうち200名程度は小浜宿泊とのこと)

4. 今後の予定

実証実験は14年3月まで行われ、そのデータ公表を受けてバイナリー発電の事業化等を検討することになる。

(1) 事業化イメージ

事業化のイメージは次のようなものとなっている。

①市民等から出資を募りバイナリー発電会社を発足させ、銀行借入等により資金調達後、次のような事業を行う。

- 発電事業・・・電力会社へ売電、自家消費、維持・メンテナンス
- 熱利用事業・・・発電後の温度の下がった温泉水の利用
公共風呂、旅館利用、温泉農業（ハウス栽培等）、養殖
- まちづくり事業・・・視察者受入、古民家再生

②各旅館等においては銀行借入等により資金調達してバイナリー発電施設を設置し、以下の活用をする。

- 発電事業・・・電力会社へ売電、自家消費
- 熱利用・・・源泉かけ流し温泉に利用、館内給湯、蒸し料理に利用
- *設備の維持管理は業者に委託（専門業者に委託）

◎現在の実証実験においては、熱交換器を通った発電後の温度の下がった温泉水は海へ排水しているが、事業化時には温泉かけ流し温泉水等多用途に利用する予定。

(2) 事業化による各種効果

事業化による効果として次のような点が挙げられる。

- ①売電による収入増加
- ②自家消費電気代の削減
- ③雇用対策、観光客増加、地域の活性化等に繋がる。

さいごに

小規模地熱発電を温泉地のホテルが独自に行っているケースはいくつかあるが、小浜のように一つの温泉地が一体となって発電に取り組む例は、国内では稀と思われる。

未利用の温泉水を利用してバイナリー発電を行い、低炭素まちづくりと地域活性化の実現を、特に産官学連携のもと地域主導で目指す意義のある取組みである。また、事業化されることになれば、雇用対策、観光客増加に繋がるとみられるなど、地域の活性化に繋がる事業であり今後に期待したい。

(上村 秀明)