

# 国立国会図書館

## 温泉発電

—温泉資源と共生する再生可能エネルギー—

調査と情報—ISSUE BRIEF— NUMBER 845 (2015. 1. 22.)

はじめに

### I 温泉発電の意義

- 1 地熱発電の停滞
- 2 温泉発電の特徴
- 3 温泉発電の可能性

### II 温泉発電の現状

- 1 導入状況
- 2 導入事例

### III 温泉発電をめぐる諸課題

- 1 温泉発電設備の安定稼働
- 2 温泉発電に係る制度・規制
- 3 温泉発電を通じた地域活性化

おわりに

- 温泉発電は、既存の温泉井戸から得られる比較的低温の未利用熱水・蒸気を利用した小規模な地熱発電であり、安定した発電、未利用エネルギーの利用、大規模な地熱発電に係る諸課題の回避など多くのメリットがある。
- 温泉発電には、これまで使われてきたフラッシュ発電のほか、バイナリー発電、湯けむり発電といった発電方式も開発されている。温泉の状況に適した発電方式を選択できるようになったことから、今後、温泉発電の適地拡大や効率化が進むものと期待される。
- 温泉発電の普及・定着に向けては、設備の安定稼働（熱水・蒸気の安定供給等）、温泉発電に係る制度・規制、温泉発電を通じた地域活性化などの課題がある。また、温泉資源との共生という観点から、普及拡大に伴う新規の温泉掘削等の動きには留意すべきであろう。

国立国会図書館

調査及び立法考査局農林環境課

えんどう まさひろ  
(遠藤 真弘)

第 8 4 5 号

## はじめに

我が国は、世界有数の地熱資源国である。再生可能エネルギーの一つである地熱エネルギーは、地球温暖化対策など有効活用が期待されてきたが、事業採算性、各種の規制、温泉関係者の反対などにより導入は停滞していた。

ところが、ここ数年、再生可能エネルギーによる電気の固定価格買取（FIT）制度の導入、規制緩和の進展などにより、地熱発電の開発に向けた機運が高まってきた<sup>1</sup>。特に、近年、「温泉発電」と呼ばれる小規模な地熱発電が注目を集めている。

本稿では、地熱発電の停滞要因を踏まえ、温泉発電のメリットについて論じる。また、温泉発電の現状、現地調査に基づく具体的事例などを紹介し、今後の課題にも言及する。

## I 温泉発電の意義

### 1 地熱発電の停滞

我が国は、世界第3位の地熱資源量を有しているにもかかわらず、地熱発電の導入量（設備容量）は世界第8位にとどまっており、地熱発電の導入は停滞している<sup>2</sup>。

地熱発電の導入が停滞した要因としては、主に、①事業採算性、②国立・国定公園に係る規制、③温泉資源への影響、の3点が指摘されている。①に関しては、地熱資源の調査・掘削などに多額の費用がかかるほか、掘削が失敗するリスクもある。また、地熱発電を新規開発するには環境アセスメントも含めて稼働までに10年以上を要するとされ、事業の見通しが立ちにくい<sup>3</sup>。②は、国立・国定公園内の景観・風致維持上支障があると認められる地域での地熱発電事業が制限されてきたが、我が国の地熱資源の8割以上がこうした地域にあるとされる問題である<sup>4</sup>。③は、地熱発電の稼働により周辺の温泉が枯渇して営業できなくなる可能性があるとして、一部の温泉関係者が反対している問題である<sup>5</sup>。

これらの問題のうち、①については、平成24年にFIT制度が導入されたことにより一定程度改善されたが、稼働までに長期間を要する点は変わっていない。②については、国立・国定公園における地熱発電の制限が見直され、平成24年に制限を一部緩和する通知が発出された<sup>6</sup>。③については、現在も根強い慎重論がある。日本温泉協会会長の大山正雄氏は、現在の地熱発電の利用熱量は主要温泉地の放熱量とほぼ等しいため、地熱発電を現在の2倍に増やせば温泉は危機的状況になると警告し、温泉地と地熱発電の共生は困難であるとの認識を示している<sup>7</sup>。

\* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、平成27年1月5日である。

<sup>1</sup> 地熱発電全般の現状・課題については、近藤かおり「地熱発電の現状と課題」『調査と情報—ISSUE BRIEF—』837号、2015.1.6。<[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_8842539\\_po\\_0837.pdf?contentNo=1](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8842539_po_0837.pdf?contentNo=1)> などが詳しい。

<sup>2</sup> 「第7章 地熱発電」新エネルギー・産業技術総合開発機構編著『NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版』2014.2, p.13。<<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>>

<sup>3</sup> 川波佳子「地熱発電と温泉—温泉法上の土地掘削申請を不許可とした処分が違法とされた事例を参考に—」『環境管理』49巻11号、2013.11, p.49。

<sup>4</sup> 地熱発電事業に係る自然環境影響検討会「国立・国定公園内における地熱開発に係る通知見直しに向けた基本的考え方」pp.1-3。<[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=19557&hou\\_id=15019](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19557&hou_id=15019)>

<sup>5</sup> 江原幸雄「わが国の地熱発電の新しい展開」『産業と環境』41巻6号、2012.6, p.60。

<sup>6</sup> 環境省自然環境局長「国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて」（平成24年3月27日）

<sup>7</sup> 大山正雄「地熱発電と温泉との共存の問題」『温泉科学』63巻4号、2014.3, p.351。

## 2 温泉発電の特徴

しかしながら、地熱発電のうち、既存の温泉井戸から得られる比較的低温（概ね 70～150℃程度<sup>8</sup>）の未利用熱水・蒸気を利用した小規模な地熱発電（以下「温泉発電」とする。）が近年普及し始めている。以下で説明するように、温泉発電には様々なメリットがある。

### （1）安定した発電

地熱発電の重要な特性として、天候に左右されることなく安定した発電を維持できることがあげられる。温泉発電もこの特性を持っている。このため、太陽光発電や風力発電よりも設備利用率が高く、同じ発電規模（設備容量）で比較した場合、より多くの電気を生むことができる。例えば、小規模（50 キロワット）の温泉発電 1 基を導入すれば、太陽光発電を 250～350 キロワット<sup>9</sup>導入した場合と同等の発電量を得ることができるという<sup>10</sup>。

### （2）未利用エネルギーの有効利用

国内には高温の温泉が多数あるが、湧出した熱水だけを利用し、蒸気は捨てていることが少なくない。また、高温の温泉を浴用とするには 50℃以下まで温度を下げる必要があり、この過程で多くの熱エネルギーが未利用のまま捨てられている。通常、大規模な地熱発電は 150℃以上の蒸気を使うため、150℃以下の蒸気や熱水を活用できなかった。温泉発電は、既存の温泉井戸から得られる 150℃以下の熱水又は蒸気による発電を行うものであり、従来、捨てていた熱エネルギーを有効利用できる上、温度が下がった発電後の熱水は浴用等に利用できることから、発電利用と浴用利用の共存が可能である。

### （3）大規模な地熱発電の導入に係る諸課題の回避

温泉発電は、既存の温泉井戸を利用するため調査・掘削が不要であり掘削が失敗するリスクもない。加えて、小規模であるため環境アセスメントが不要となり、大規模な地熱発電よりも短期間で稼働させることができる。初期費用が数億円程度に抑えられるため中小事業者も参入しやすい。他方、得られた電気は、FIT 制度により固定価格で販売することができるため、事業採算性が見通しを立てやすい。さらに、温泉発電は基本的に既存の温泉井戸から湧出する熱水又は蒸気の未利用エネルギーを使うものであるから、温泉資源への影響がほとんどない。このように、温泉発電では前述した地熱発電の導入に係る課題の多くが解消され、実現のハードルが下がることになる。

## 3 温泉発電の可能性

ここでは、国内の地熱資源量に基づく温泉発電の潜在的な発電可能量と、これまでに開発された代表的な温泉発電方式を紹介する。

<sup>8</sup> 温泉発電（バイナリー発電）は、理論的には 53℃以上の地熱資源を利用できるが、現実的には 70℃以上が必要になるという（当舎利行「バイナリー発電の活用・実用化に向けた動き」『OHM』101 巻 1 号, 2014.1, p.7）。

<sup>9</sup> 仮に 250～350 キロワットの太陽光発電を一般家庭（1 戸当たり 3.3 キロワット）に導入する場合、75～100 戸に導入する必要がある。

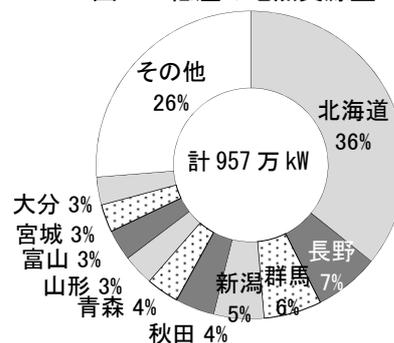
<sup>10</sup> 大里和己「小規模温泉発電」『ペトロテック』37 巻 9 号, 2014.9, pp.693-694.

### (1) 潜在的な発電可能量

環境省の委託調査によれば、未開発のものも含めた低温（53～150℃）の地熱資源量<sup>11</sup>は、全国で計 957 万キロワット相当と見積もられている<sup>12</sup>。都道府県別では北海道が最も多く、上位 10 道県で全国の 4 分の 3 を占め、特定の地域に偏在している（図 1）。

また、現時点で湧出しているすべての温泉で温泉発電を行うと仮定すると計 72 万キロワットの電力が得られ、さらに将来の温泉数の増加を見込むと、2050 年には計 112 万キロワット<sup>13</sup>の電力が得られると試算されている<sup>14</sup>。

図 1 低温の地熱資源量



(出典) エックス都市研究所ほか「平成 22 年度環境省委託事業 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」2011.3, p.218. <<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/full.pdf>>

### (2) 温泉発電の種類と特徴

温泉発電の方式としては、フラッシュ発電、バイナリー発電、湯けむり発電の 3 つが知られている。フラッシュ発電は、噴出する温泉蒸気でタービンを回転させて発電する方式で、これまでも大規模な地熱発電で使われてきた。温泉発電であっても、十分な蒸気が得られるならばこの方式を適用できる。九州の温泉ホテルでは、フラッシュ発電による温泉発電を導入し、捨てていた 130～160℃程度の蒸気を有効利用している（表 1）。

バイナリー発電は、70～150℃程度の熱水又は蒸気を用いて、沸騰温度が水より低い媒体を加熱して高圧蒸気を発生させ、タービンを回して発電するものである。100℃以下の熱水でも発電できるのが特徴である。媒体には、炭化水素ガス（ペンタン等）、不活性ガス（代替フロン等）、アンモニア水などが用いられるが、近年は不活性ガスを用いた数十～数百キロワット規模の導入事例が増えている。

湯けむり発電<sup>15</sup>は、100～150℃程度で噴出する沸騰泉（熱水と蒸気が混合したもの）を用いた新しい発電方式である。噴出した熱水と蒸気をジェット噴流に変換してタービンを回転させ、さらにタービン通過後の蒸気で別のタービンを回転させるものであり、2 つのタービンで発電することにより発電効率が高まるという<sup>16</sup>。また、機器の構造がシンプルで冷却塔や熱交換器などを設置する必要がなく、フラッシュ発電やバイナリー発電では必要となる冷却水も不要であるという<sup>17</sup>。冷却塔などの設置場所や冷却水が確保できれば、湯けむり発電を行った後の熱水（90℃以上）でバイナリー発電を行うことも可能である。

温泉の温度や湧出量は地域によって様々である。従来型のフラッシュ発電に、バイナリー発電や湯けむり発電が加わったことで、温泉の状況に適した発電方式を選択できるようになり、今後、温泉発電の適地拡大や効率化が進むものと期待される。

<sup>11</sup> 技術的に利用可能な地熱資源の量であって、社会的条件（法規制、土地利用等）は考慮していない。

<sup>12</sup> エックス都市研究所ほか「平成 22 年度環境省委託事業 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」2011.3, p.216. <<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/full.pdf>>

<sup>13</sup> 100 万キロワット級の原子力発電所約 1 基分に相当する（設備利用率がほぼ同等と考えた場合）。

<sup>14</sup> 江原幸雄ほか「2050 年自然エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献」『日本地熱学会誌』30 巻 3 号, 2008.7, pp.169-170. <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj1979/30/3/30\\_3\\_165/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/grsj1979/30/3/30_3_165/_pdf)> におけるベースシナリオ。

<sup>15</sup> トータルフロー発電、小型汽力発電などとも称される。

<sup>16</sup> 「エネルギー新時代 湯けむり発電 自然の恵み無駄なく」『読売新聞』（西部版）2014.9.23.

<sup>17</sup> 「温泉熱発電で一石三鳥を」『日本経済新聞』（九州版）2014.1.30.

## II 温泉発電の現状

### 1 導入状況

初期の温泉発電は、フラッシュ発電による千キロワット規模の施設が中心であったが、FIT 制度導入後は、数十～数百キロワット規模のバイナリー発電が急増しており、今後も湯けむり発電とともに導入が進むものとみられる（表1）。

温泉発電の立地場所としては、これまでのところ大分県が多い。大分県は、地熱資源量の割に源泉数が多く、42℃以上、水蒸気ガス<sup>18</sup>のいずれの源泉数も全国最多となっており、既存の温泉井戸を用いる温泉発電の適地と考えられているようである（表2）。

表1 温泉発電の主な導入事例

所在地	発電所*	出力**	発電方式	運転開始
大分県九重町	九重地熱発電所（九重観光ホテル）	990kW	フラッシュ	H10.4
大分県別府市	杉乃井地熱発電所（杉乃井ホテル）	1,900kW	フラッシュ	H18.4
大分県九重町	八丁原バイナリー発電所（九州電力）	2,000kW	バイナリー	H18.4
鹿児島県霧島市	霧島国際ホテル（大和紡観光）	100kW	フラッシュ	H22.11
大分県別府市	瀬戸内自然エネルギー発電所	72kW	バイナリー	H25.1
大分県別府市	五湯苑地熱発電所（西日本地熱発電）	144kW	バイナリー	H26.1
長野県高山村	七味温泉ホテル溪山亭バイナリー発電所	20kW	バイナリー	H26.4
兵庫県新温泉町	湯村温泉観光交流センター薬師湯	40kW	バイナリー	H26.4
熊本県小国町	小国まつや発電所	60kW	バイナリー	H26.5
大分県別府市	亀の井発電所（地熱ワールド工業）	11kW	湯けむり	H26.11
大分県別府市	コスモテック別府バイナリー発電所	500kW	バイナリー	H26.11
大分県別府市	大分県農林水産研究指導センター	40kW	湯けむり	H26 年度予定
北海道弟子屈町	摩周湖温泉（セイユウ）	70kW	バイナリー	H26 年度予定
大分県九重町	菅原バイナリー発電所（西日本環境エネルギーほか）	5,000kW	バイナリー	H27.3 予定
大分県別府市	湯山地熱発電所（西日本地熱発電）	144kW	バイナリー	H27.3 予定
福島県福島市	土湯温泉（つちゆ温泉エネルギー）	400kW	バイナリー	H27.7 予定
大分県由布市	湯布院フォレストエネルギーバイナリー発電所	105kW	バイナリー	H27 年中予定

\*商業運転を実施している又は実施する予定の発電所を掲載した。

\*\*認可出力又は発電端出力であり、FIT 制度上の認定出力とは必ずしも一致しない。

（出典）エンジニアリング協会『平成 24 年度小規模地熱発電及び地熱水の多段階利用事業の導入課題調査 手引書』（石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）委託）2013.2, p.2; 大分県エネルギー産業企業会「地熱・温泉熱」2014.11.10.（更新）<<http://www.pref.oita.jp/site/energy-kigyokai/chinetsu-onsennetsu2.html>>等を基に筆者作成。

表2 国内の源泉数（上位3道県）

	第1位	第2位	第3位
源泉数（42℃以上）	大分県（3,413 か所）	鹿児島県（1,829 か所）	北海道（1,157 か所）
源泉数（水蒸気ガス）	大分県（393 か所）	鹿児島県（288 か所）	宮城県（138 か所）

（出典）環境省「平成 24 年度温泉利用状況」<[http://www.env.go.jp/nature/onsen/data/riyo\\_h24\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/nature/onsen/data/riyo_h24_1.pdf)>を基に筆者作成。

<sup>18</sup> 7 ページの II 2(5)で説明する「噴気」、「沸騰泉」とほぼ同義である。

## 2 導入事例

### (1) 源泉所有者と連携した温泉発電（大分県別府市）

大分県別府市では、地元企業などが出資して西日本地熱発電株式会社を設立し、温泉発電事業を展開している。別府には未利用の源泉が数多く存在するものの、源泉所有者が自ら温泉発電を事業化するのには容易でない。同社は、このことに着目し、源泉等の所有者にその使用料を支払って温泉発電事業を行うというビジネスモデルを構築した。源泉等の所有者は、同社から使用料の収入を得ることができ、初期投資など資金面のリスクを避けながら未利用源泉を活用できるというメリットがある。

平成26年1月には、別府市堀田温泉エリアの日帰り入浴施設で、146℃の未利用蒸気を使ったバイナリー発電による温泉発電（五湯苑地熱発電所）を開始した（図2）。発電規模は144キロワット、所内消費電力等を差し引いた売電出力は最大91.6キロワットである。資金は、主に銀行融資と補助金で賄っている。同社は、平成27年3月にも、同市明礬温泉エリアの個人が所有する120℃の未利用蒸気を使ったバイナリー発電による発電規模144キロワットの温泉発電（湯山地熱発電所）の稼働を開始させる予定であり、今後も各地で温泉発電を展開していく方針である。

図2 五湯苑地熱発電所



（出典）平成26年10月2日筆者撮影。

### (2) 旅館経営と共存する温泉発電（熊本県小国町）

熊本県小国町では、温泉旅館が所有する源泉から噴出する107℃の未利用蒸気によるバイナリー発電が行われている。この事業では、発電装置の設置・保守等を行う株式会社ケイ・エル・アイ（福岡市）と現地の温泉旅館「やすらぎの宿まつや」とが特定目的会社（SPC）として合同会社小国まつや発電所を共同で設立し、このSPCが温泉発電事業を行うという方式が採用されている。この方式では、温泉旅館が負う責任が限定されるため、旅館経営に影響しないというメリットがある。また、設備機器はリースによって導入しており、初期費用に係るSPCの負担は軽減されている。

小国まつや発電所は、発電規模が60キロワット、売電出力は最大44キロワットで、平成26年5月に発電を開始した（図3）。一時、落雷等の影響で停止したものの、現在ほぼ最大出力で運転している。冷却塔を除く設備・配管は、屋根つき建屋に収められコンパクトに配置されている（図4）。

図3 小国まつや発電所



（注）右側の屋根付き建屋の中にバイナリー発電設備が3台設置されている。

（出典）小国まつや発電所提供。

図4 機器・配管が並ぶ建屋内



（注）建屋内で発電設備の奥を撮影した。

（出典）平成26年10月3日筆者撮影。

### （３）新規事業としての温泉発電（大分県別府市）

宇宙関連事業を手掛ける株式会社コスモテック（東京都千代田区）は、事業多角化の一環として温泉発電事業に参入した。これまでに蓄積したプラント設計、エンジニアリング等のノウハウを温泉事業に活かせるという<sup>19</sup>。

同社は、別府市内に発電規模 500 キロワット、最大売電出力 400 キロワットの発電施設（コスモテック別府バイナリー発電所）を設置し、平成 26 年 11 月から売電を開始している（図 5）。同施設は、130℃弱の未利用蒸気で発電し、売電収入を得ると同時に、源泉所有者である現地の配湯事業者に蒸気の使用料を支払っている。資金はすべて自己資金で賄い、およそ 6 億円の初期投資を 8 年程度で回収する計画である<sup>20</sup>。

同社は、同施設で得たノウハウを活かし、温泉に加えて工場や焼却施設の未利用熱源まで視野に入れて、他の発電事業者や投資家向けにバイナリー発電所の設計から調達、建設工事、運用、メンテナンスまで一貫したサービスへの事業展開を図る方針である<sup>21</sup>。

図 5 コスモテック別府バイナリー発電所



（出典）平成 26 年 10 月 1 日筆者撮影。

### （４）地域活性化を目指した温泉発電（大分県由布市）

大分県由布市では、温泉旅館「秘湯の宿 奥湯の郷」の源泉所有者が湯布院フォレストエナジー株式会社を設立し、その源泉から噴出する 146℃の未利用蒸気で発電規模 105 キロワットのバイナリー発電所を建設しており、平成 27 年中の売電開始を予定している（図 6）。また、熱水は、キクラゲ栽培のために源泉所有者が設置した農業ハウスの加温にも利用されている。

温泉発電の資金は、地元金融機関や大分県が出資する「おおいた自然エネルギーファンド」からの投資で賄っており、本案件が同ファンドの投資案件第 1 号となっている<sup>22</sup>。

現地は過疎化と高齢化が進んでいる。こうした事情もあり、同社は、豊富な温泉資源を活かし、雇用の創出や交流人口（見学者等）の増加など地域活性化を重視した取組を進めているとのことである<sup>23</sup>。

図 6 建設中のバイナリー発電所



（出典）平成 26 年 10 月 2 日筆者撮影。

<sup>19</sup> 「宇宙事業の技術・ノウハウを活かし温泉発電に参入！ コスモテック新エネルギー事業室副室長 平田淳」『Business i. ENECO』47 巻 9 号, 2014.9, p.10.

<sup>20</sup> コスモテック「バイナリー発電事業への参入—別府市に発電所を建設—」2014.1.31, p.2. <<http://www.cosmotec-hp.jp/pdf/binary.pdf>>

<sup>21</sup> 前掲注(19), p.11.

<sup>22</sup> グリーンファイナンス推進機構「湯布院フォレストエナジーバイナリー発電所 起工式（平成 26 年 7 月 31 日）」<<http://greenfinance.jp/progress/progress02.html>>

<sup>23</sup> 「温泉熱でふるさと守りたい」『朝日新聞』（大分版）2014.8.3.

### (5) 湯けむり発電による温泉発電（大分県別府市）

別府市では、100℃以上の温泉井戸、すなわち温泉蒸気だけを噴出する「噴気」や、蒸気と熱水が混合して噴出する「沸騰泉」が多い。その数は別府市だけで全国の26%を占めており、これが別府の独特な「湯けむり景観」を生んでいるという<sup>24</sup>。

地熱ワールド工業株式会社（別府市）、株式会社ターボブレード（大分市）などの企業グループは、大分県の支援を受けて沸騰泉で発電する湯けむり発電の開発を進め（図7）、平成26年11月、温泉配湯のために使われている既存の温泉井戸（別府市）を用いた発電規模11キロワットの実用1号機（亀の井発電所）が本格稼働を始めた。同機は非常にコンパクトで温泉井戸の上部に設置でき、発電後の熱水を配湯に回すことも可能である（図8）。

大分県も平成26年度中に、県の農林水産研究指導センター農業研究部花きグループ（別府市）内に発電規模40キロワットの湯けむり発電を導入する予定である。



図7 湯けむり発電  
(出典) 平成26年10月1日筆者撮影。



図8 亀の井発電所  
(注) 湯けむり発電設備は、温泉井戸のすぐ上に設置され、上部の箱の中に収まっている。  
(出典) 平成26年10月1日筆者撮影。

## III 温泉発電をめぐる諸課題

### 1 温泉発電設備の安定稼働

温泉発電の事業採算性を確保する上で、設備の安定稼働は必須といえる。これまでの温泉発電の経験からは、①熱水・蒸気の安定供給、②冷却水の安定供給、③スケール<sup>25</sup>対策、等が安定稼働に係る課題としてあげられている<sup>26</sup>。地熱資源の専門家、温泉発電事業者等の中で積極的な情報共有を図るなど知見の普及・蓄積を進めていく必要がある。

#### (1) 熱水・蒸気の安定供給

温泉発電の規模を決める上では、温泉井戸から得られる熱水・蒸気の温度及び量が重要な要素となるが、事業性を判断するには詳細な検討が必要であると言われている<sup>27</sup>。例えば、熱水・蒸気の温度及び量には変動、減衰といった不確定要素があり、これが事業上の課題となりうるという指摘がある<sup>28</sup>。仮に、熱水・蒸気の温度や量が想定したほど得られ

<sup>24</sup> 段上達雄「第11章 まとめ」別府市『文化的景観 別府の湯けむり景観保存計画』2012.3, p.281. <[http://www.city.beppu.oita.jp/education2/yukemuri\\_keikan/pdf/02\\_11.pdf](http://www.city.beppu.oita.jp/education2/yukemuri_keikan/pdf/02_11.pdf)>

<sup>25</sup> 温泉水・地下水に含まれるシリカ等が析出して配管等に付着したもの。設備故障や稼働率低下の原因となる。

<sup>26</sup> エンジニアリング協会 (ENAA) 『平成25年度 小規模地熱発電のうち温泉発電導入促進のための手引書』(石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) 委託) 2014.2, p.32.

<sup>27</sup> 同上, p.4.

<sup>28</sup> 大里和己「バイナリー発電システムの技術開発動向」『OHM』101巻1号, 2014.1, p.17.

なかった場合、計画どおりに発電するには新たに温泉井戸を掘削するか、別の温泉井戸から供給を受ける等により必要な熱水・蒸気を確保する必要がある。しかし、新たに温泉井戸を掘削すれば掘削コストが追加され、別の温泉井戸から熱水・蒸気の供給を受ける場合は長い配管が必要となり配管敷設、ポンプ駆動電力などのコストが追加されるため<sup>29</sup>、いずれも事業採算性を悪化させる要因となる。

## （２）冷却水の安定供給

フラッシュ発電、バイナリー発電では大量の冷却水が必要となるため、冷却水の安定供給を確保することが必須である。水道水を利用する場合は水道料金が発生し、冷却水を河川から採取する場合は取水権、水利権などの関連で使用料が発生する場合があります、いずれも事業採算面の検討が必要になる。地下水を利用することもできるが、地下水を利用する施設が増加すれば、地下水の減少・枯渇といった別の問題も生じうる。

大分県別府市は、平成 27 年 1 月からバイナリー発電向けの水道料金表を設け<sup>30</sup>、地下水保全のために水道水を低価格で供給することにした。同市は、水道需要を拡大すると同時に、増収分を共同温泉向け<sup>31</sup>水道料金の割引に充てて温泉文化の保護に役立てるという<sup>32</sup>。

## （３）スケール対策

温泉発電では、配管や熱交換器などにスケールが付着する可能性がある。付着の程度は泉質などにもよるが、スケールの除去作業などが頻繁に行われれば、稼働率の低下、メンテナンス費用の増加などを招き、事業採算性を悪化させる要因となる。スケール除去のための清掃作業に毎日数時間をかける事態となった温泉発電の事例もあるという<sup>33</sup>。また、冷却水として地下水を使う場合も同様にスケールの付着が起こる可能性がある<sup>34</sup>。

このように、スケールの状況によっては事業採算性に大きな影響を与えることから、事前にスケール対策を十分検討して事業計画を策定する必要がある。同時に、スケール除去に関する技術開発、低価格化の進展が待たれる。

## ２ 温泉発電に係る制度・規制

固定価格買取（FIT）制度の導入や規制緩和の動きは、温泉発電の事業採算性に概ね好影響を与えていると思われるが、以下に示すように、なお解決すべき課題も残されている。

### （１）FIT 制度における「回答保留問題」

平成 26 年 9 月、九州電力は、FIT 制度に基づく再生可能エネルギーの買取りに係る接続契約申込みへの回答を保留すると発表し<sup>35</sup>、他の電力会社からも同様の発表が続いた。回

<sup>29</sup> 藤野敏雄「長崎県小浜温泉バイナリー発電所」『OHM』101 巻 1 号、2014.1、p.23.

<sup>30</sup> 別府市水道局「給水の用途を新たに設けます」2014.10.8. <[http://www.city.beppu.oita.jp/cgi-bin/suido/news/news.cgi?mode=read\\_log&number=412](http://www.city.beppu.oita.jp/cgi-bin/suido/news/news.cgi?mode=read_log&number=412)>

<sup>31</sup> 共同温泉では、水道水を源泉の冷却などに使うという。

<sup>32</sup> 「水道水 巡らせ三方得 別府市が試み」『朝日新聞』（大分版）2014.9.18.

<sup>33</sup> 「スケール対策 悩みの種に 清掃で稼働率下がる」『環境新聞』2014.1.29.

<sup>34</sup> 「温泉熱発電、旅館が「熱」」『日本経済新聞』（九州版）2014.2.21.

<sup>35</sup> 九州電力「九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答保留について」2014.9.24. <<http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0044/4287/ai4p5cx3.pdf>>

答保留により売電収入の見通しが立たなくなり再生可能エネルギー発電事業に大きな影響を与えることから、温泉発電を計画中の事業者にとっても重大な問題となっている。

回答保留の理由は、太陽光発電の申請が急増し、電力の需給バランスが崩れる懸念が生じたためとされる。政府は、この問題について、出力の安定しない太陽光・風力発電等について無補償での出力制限を行う対象とする一方、地熱発電等については出力安定性を考慮し、これまでどおり出力制限なしでの接続を継続する方針を示した<sup>36</sup>。これを受け、電力会社は回答を再開するとしている<sup>37</sup>。

## (2) 温泉発電に係る規制

「電気事業法」(昭和39年法律第170号)は、大型の発電設備を念頭に置いて整備されたことから、中小規模の発電設備に対する規制緩和が求められてきた<sup>38</sup>。これを受け、例えば、温泉発電に対して同法が義務付けていたボイラー・タービン主任技術者(以下「BT主任技術者」とする。)の選任等に関する規制緩和が徐々に進んでおり、人件費の軽減などが期待されている。最近では、平成26年5月から小型バイナリー発電<sup>39</sup>であって媒体に不活性ガス(代替フロン等)を用いる場合は、熱水・蒸気の温度によらずBT主任技術者の選任が不要となった<sup>40</sup>。ただし、可燃性・毒性のある媒体(炭化水素ガス、アンモニア水など)を使う小型バイナリー発電<sup>41</sup>や湯けむり発電<sup>42</sup>については引き続きBT主任技術者の選任が必要とされており、日本地熱協会は、これらについても規制緩和を要望している<sup>43</sup>。

また、300キロワット未満のバイナリー発電設備を複数台設置して合計で300キロワットを超える発電所は小型バイナリー発電とはみなされないが、これを小型バイナリー発電とみなして規制緩和の対象とするよう求める声がある<sup>44</sup>。

一方、前述したように、バイナリー発電の媒体として代替フロンを用いる事例が増えているが、地球温暖化の原因となる代替フロンについて、政府は、「フロン回収・破壊法」<sup>45</sup>に基づく大気への排出防止対策を強化する方針である。このため、今後、代替フロンの管理費等が増加し、バイナリー発電の事業採算性が悪化する可能性が指摘されている<sup>46</sup>。

<sup>36</sup> 資源エネルギー庁「新たな出力制御システムを活用したバランスの取れた再生可能エネルギーの導入等について(案)」2014.12.18, p.4. <[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene\\_shinene/shin\\_ene/pdf/008\\_02\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/pdf/008_02_00.pdf)>

<sup>37</sup> 例えば、九州電力「九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答再開について」2014.12.22. <<http://www.kyuden.co.jp/var/rev/0044/4283/a4fshr3n.pdf>>

<sup>38</sup> 當舎 前掲注(8)

<sup>39</sup> バイナリー発電のうち出力300キロワット未満、最高使用温度250℃未満等、一定の要件を満たすもの。

<sup>40</sup> 経済産業省告示第111号(平成26年5月20日)。従来は、熱水・蒸気の温度が100℃以上の場合、BT主任技術者の選任が必要であった。

<sup>41</sup> 経済産業省商務流通保安グループ電力安全課「(審議)バイナリー発電設備に係るボイラー・タービン主任技術者の選任及び工事計画届出等の不要化範囲の見直しについて」2014.3.10, pp.10, 14. <[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denyoku\\_anzen/pdf/005\\_04\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denyoku_anzen/pdf/005_04_00.pdf)>

<sup>42</sup> なお、100キロワット以下の湯けむり発電について、平成25年9月からBT主任技術者の選任要件が緩和され、3日間程度の講習を受講した従業員をBT主任技術者に選任できることになっている(経済産業省商務流通保安グループ電力安全課「(審議)小型地熱発電に関するボイラー・タービン主任技術者の選任要件の見直しについて」2013.8.8. <[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denyoku\\_anzen/pdf/003\\_02\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denyoku_anzen/pdf/003_02_00.pdf)>).

<sup>43</sup> 日本地熱協会「地熱エネルギー開発促進のための政策要望(平成26年度)」2014.5, pp.8-9. <<http://chinetsukyukai.com/news/16/%95%BD%90%AC26%94N%93x%93%FA%96%7B%92n%94M%8B%A6%89%EF%90%AD%8D%F4%97v%96%5D.pdf>>

<sup>44</sup> 例えば、兵庫県知事ほか「別表 規制の特例措置等の提案書」2011.9.30, p.2. <[https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk08/documents/tokku\\_sinseisyo.pdf](https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk08/documents/tokku_sinseisyo.pdf)> において提案されている。

<sup>45</sup> 「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」(平成13年法律第64号)

<sup>46</sup> 大里 前掲注(10), p.695.

### 3 温泉発電を通じた地域活性化

温泉発電は、温泉という複雑な権利関係にある資源を使う点に特徴があり、実施に当たっては、各地の事情を把握し、利害関係者間の調整や適切なリスク分散を図る必要があると言われている<sup>47</sup>。本稿で紹介した導入事例においても、源泉所有者と発電事業者の連携、源泉所有者のリスクを抑えたビジネスモデルなどの取組が見られる。

他方、温泉発電を特定の源泉所有者、発電事業者等の利害関係だけで見るとはならず、地域全体の便益につながる事業に発展させていくべきであるという意見もある。すなわち、温泉発電は、電力だけでなく、熱水利用、観光などの面でも価値があるのであって、総合的な温泉・地熱エネルギー利用事業として発展する可能性があり、地域全体の活性化をもたらす新しい事業モデルになりうるというのである<sup>48</sup>。

温泉地の一部では、観光客の減少による「湯余り」が顕著になっており、旅館経営者から、利用されていない温泉を活用した発電による収入や再生可能エネルギー活用によるイメージアップ効果は魅力的であるといった声も聞かれるという<sup>49</sup>。

また、温泉発電に伴う熱水利用は、エネルギーの効率的な利用、事業採算性の改善、エネルギーの地産地消などの観点から重要であるとの指摘もある<sup>50</sup>。熱利用は多様な事業展開が可能であり、50～100℃の熱水は、入浴、温室の暖房、野菜・花き栽培などに、50℃以下の温水は、陸上養殖、温水プール、融雪などに利用できる<sup>51</sup>。特に、農業や漁業への展開は、雇用の創出や観光客の開拓など地域活性化に大きく貢献する可能性を秘めている。

### おわりに

これまで見てきたように、温泉発電は、規模こそ小さいものの数多くのメリットがあり、地域活性化を念頭に置いた自治体レベルでの取組<sup>52</sup>も始まるなど、今後も温泉発電の普及・定着に向けた取組が続くものと思われる。

ただし、温泉発電における予備源泉の確保や今後の事業拡大を見込んで、新たな温泉掘削を行う動きが見られる点には留意すべきであろう<sup>53</sup>。こうした動きが激化すれば、温泉の枯渇を懸念する声が大きくなり温泉発電の普及を妨げる事態も生じかねない。環境省は、捨てている温泉を有効利用することが温泉発電の前提であると認識しており<sup>54</sup>、温泉発電のために新規掘削や温泉採取量の拡大等を行う場合は調査・モニタリング等が重要になると指摘している<sup>55</sup>。温泉資源との共生は、温泉発電にとって重要なテーマである。

<sup>47</sup> 秋田涼子「温泉バイナリー発電の試み」『日経研月報』415号, 2013.1, p.70.

<sup>48</sup> 藤野敏雄「地域主導の再生可能エネルギー事業—温泉・地熱発電事業のビジネスモデル—」『地熱技術』39巻1・2号, 2014.5, pp.17-19.

<sup>49</sup> 「温泉発電 各地で計画浮上 協会は「反対」…現場は背に腹代えられず」『環境新聞』2014.1.29.

<sup>50</sup> 大里 前掲注(10), pp.696-697.

<sup>51</sup> 奥村忠彦「バイナリー発電などによる熱水の活用」『OHM』101巻1号, 2014.1, pp.18-20.

<sup>52</sup> 例えば、大分県の事例がある（近藤かおり「再生可能エネルギーによる地域活性化—大分県を事例に—」『レファレンス』759号, 2014.4. <[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_8620012\\_po\\_075905.pdf?contentNo=1](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8620012_po_075905.pdf?contentNo=1)>）。

<sup>53</sup> 環境省「第1回温泉資源保護ガイドライン検討会 議事概要」2013.8.27, p.4. <<http://www.env.go.jp/nature/onsen/council/guide/01/gaiyo.pdf>>

<sup>54</sup> 同上, pp.4-5.

<sup>55</sup> 環境省自然環境局「温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）」2014.4, p.30. <[http://www.env.go.jp/nature/onsen/docs/hogo\\_guidelinekaitei1.pdf](http://www.env.go.jp/nature/onsen/docs/hogo_guidelinekaitei1.pdf)>