



活発化する本県の地熱発電開発

今年5月、国内では23年ぶりとなる大規模な地熱発電所が湯沢市で営業運転を開始した。地熱発電は地球温暖化の原因である温室効果ガス(CO₂)の排出量が少なく、昼夜や天候の影響を受けず安定した発電が可能であるほか、日本は世界第3位の地熱資源量を有するなど、今後さらなる開発が期待されている。一方、地熱発電の導入にあたっては、地下の開発に係る高いリスクやコスト、温泉事業者をはじめとする地元関係者の理解、調査開始から発電所の稼働に至るまでに長期間を要するといった課題もある。本稿では、地熱発電の現状や課題、本県における新たな開発計画の動きや地熱を活用した地域の取組みについてまとめた。

1 湯沢市で山葵沢地熱発電所が運転開始

今年5月、湯沢地熱株式会社は湯沢市高松および秋ノ宮にまたがる地域において、山葵沢地熱発電所の営業運転を開始した。出力は4万6,199kW、国内4番目の規模である。国内で1万kW以上の大規模な地熱発電所の稼働は、1996年11月に滝上地熱発電所(出力2万7,500kW、大分県九重町)が稼働して以来、実に23年ぶりとなる。

同社は、2010年4月に電源開発株式会社、三菱マテリアル株式会社、三菱ガス化学株式会社の3社が共同出資して設立され、11年11月から14年10月までの環境影響評価(環境アセスメント)を経て、15年5月に山葵沢地熱発電所の建設に着手した。地下を約1,500~2,000m掘削し、蒸気と熱水を取り出す生産井を9本、熱水を地下に戻す還元井を7本整備した。

発電方式は、生産井から蒸気と熱水を取り出し、第一段階で蒸気をタービンに送り、第二段階で熱水からさらに蒸気をつくりタービンに送る「ダブルフラッシュ方式」を採用している。国内で本方式を採用しているのは、森地熱発電所(北海道森町)、八丁原地熱発電所(大分県九

重町)に次いで、3例目となる。

また、年間発電量は3億3千万kWhを見込み、一般家庭9万世帯の年間消費電力に相当する。本県の世帯数は39万世帯であり、同発電所1か所で県内の約4分の1を賄える計算となる。

県内には、鹿角市に大沼地熱発電所(稼働開始1974年、出力9,500kW)、澄川地熱発電所(同95年、5万kW)、湯沢市に上の岱地熱発電所(同94年、2万8,800kW)があり、山葵沢地熱発電所の稼働で本県の地熱発電導入量は約13万4,500kWとなった。都道府県別では、岩手県(約11万1,000kW)を抜いて3位から2位へ浮上し、1位の大分県(約16万9,000kW)との差は3万kW余りとなった。

山葵沢地熱発電所の開発は、93~99年度にかけて独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が行った地熱開発促進調査が始まりである。調査井を掘削して噴気試験を実施し、地熱発電に十分な蒸気量があることが確認された。その後、2004年度からは電源開発と三菱マテリアルがNEDOの井戸を借り受けて調査を引き継ぎ、調査開始から26年を経て稼働に至った。

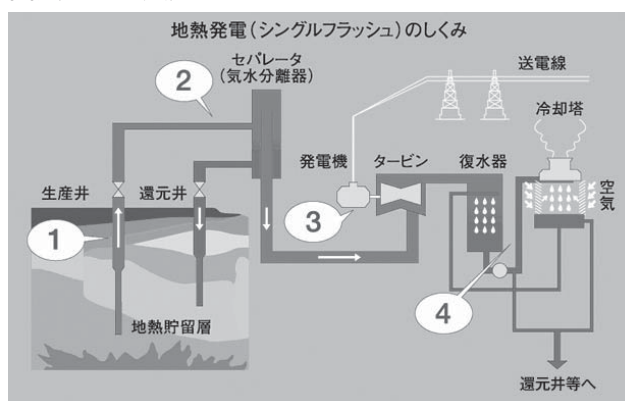
2 地熱発電の現状

(1) 地熱発電のしくみ

再生可能エネルギーの一つである地熱発電は、太陽光や風力とは異なり、昼夜や天候の影響を受けず安定した発電が可能であり、出力も安定していることから、ベースロード電源として位置づけられている。また、地下の地熱エネルギーを使用するため持続的な利用が可能であり、CO₂の排出量も極めて少なく地球温暖化の軽減に適しているといった特長がある。

発電方式については、地域によって地熱貯留層にある蒸気・熱水の温度が異なるため、個々の特性に合った発電方式が採られている。国内の大規模な地熱発電所で最も多く採用されているのが、「シングルフラッシュ方式」である(図表1)。フラッシュ発電は、主に200℃以上の高温地熱流体での発電に適しており、地熱流体中の蒸気で直接タービンを回して発電を行う。

図表1 地熱発電のしくみ



資料：日本地熱協会HPより 図表2も同じ

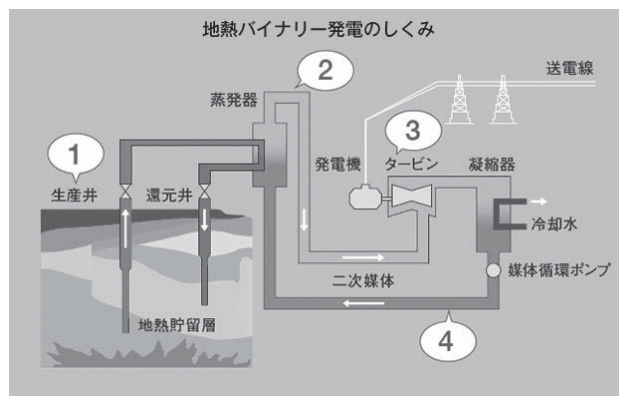
- ① 地表から地下深部に浸透した雨水などが地熱によって加熱され、高温の熱水として貯えられている地熱貯留層に生産井を掘り、地上に地熱流体を取り出す。
- ② セパレーターで地熱流体を蒸気と熱水に分け、熱水は還元井から地下に戻す。

- ③ 蒸気でタービンを回転させ、発電する。
- ④ 発電し終わった蒸気は、復水器で温水にし、さらに冷却塔で冷ました後、復水器に循環して蒸気の冷却に使用する。

また、「ダブルフラッシュ方式」は、セパレーターで分離した熱水をフラッシュ(減圧器)に導入して低圧の蒸気をさらに取り出し、高圧蒸気と低圧蒸気の両方でタービンを回す方式であるため、シングルフラッシュ方式に比べ出力を15~20%増加させることが可能である。

一方、地熱流体の温度が200℃以下の場合、蒸気は効率的な利用ができない。このため、水よりも沸点が低いペンタン(沸点36.07℃)などの炭化水素や代替フロン、アンモニア(沸点△33.34℃)などの二次媒体を地熱流体で加熱し、蒸気化させてタービンを回して発電する「バイナリー方式」が採られる(図表2)。

図表2 地熱バイナリー発電のしくみ



- ① 生産井から地熱流体を取り出す。
- ② 地熱流体で沸点の低い二次媒体を加熱し、蒸気化する。二次媒体を加熱した後の地熱流体は、還元井から地下に戻す。
- ③ 二次媒体の蒸気でタービンを回転させ発電する。
- ④ 発電し終わった二次媒体は、凝縮器で液体に戻し、循環ポンプで再度、蒸発器に送る。

バイナリー方式は、低温でも発電が可能であることから、近年では温泉熱を利用した温泉バイナリー発電が増えている。源泉の温度が50℃以上と高い場合、お湯を適温まで冷ます必要があり、この余剰熱を利用して発電する。既存の温泉を活用するため、従来の地熱発電のような探査や掘削の必要がなく、比較的 low コスト・短期間で運転開始ができるメリットがある。

(2) 導入状況

国内の地熱発電の導入量は、1970年代後半から設備容量、発電量ともに急増している(図表3)。73年に発生した第1次オイルショックを受け、政府は74年にサンシャイン計画を発足させ、地熱発電を含む石油代替エネルギーの開発が本格化した。99年度末までに東北、九州地域を中心に18の地熱発電所が建設され、導入量は53万3,200 kWまで増加した。

しかし、2000年代に入ると、石油代替エネルギー源確保を目的として計画された地熱発電所の建設が一段落したことや、原子力発電や火力発電に比べ出力が小さく、大規模集中電源に適さないことなどから、地熱発電は石油代替エネルギー導入支援の対象から外れ、新たな発電所の開発が行われてこなかった。このため、導入量は近年までほぼ横這いで推移している。

政府は30年までに地熱発電の導入量を約150万 kWにする目標を掲げているが、17年度末までの導入量は約50万 kWと目標の3分の1に過ぎない現状にある。

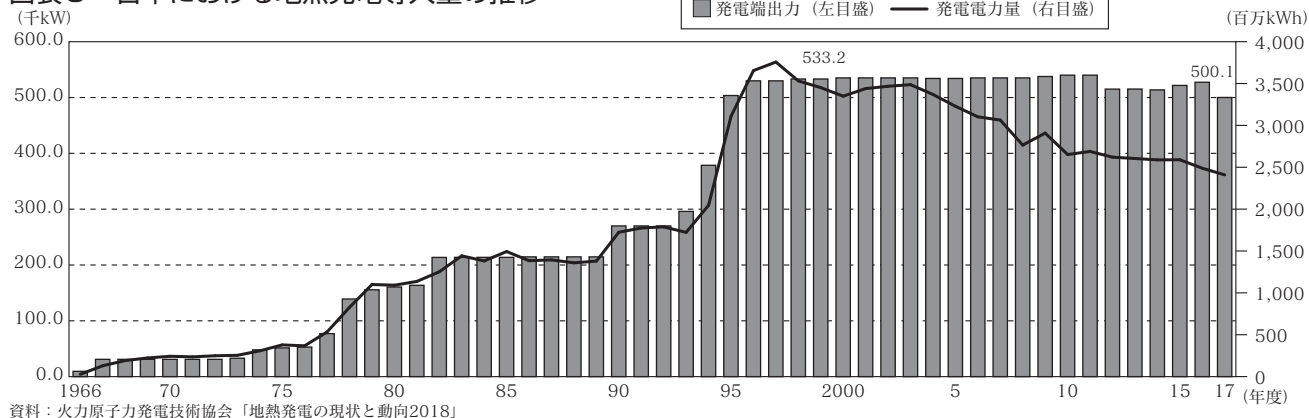
(3) 課題

地熱発電はCO₂の排出量が極めて少なく、安定した発電が可能であるといった特長がある一方で、環境面やコスト面における課題も多い。

日本は列島全体が環太平洋火山帯に位置し、発電に利用できる地熱資源量は米国、インドネシアに次いで世界第3位である。出力にして2,347万 kWのポテンシャルがあるが、開発地点の多くが国立・国定公園内にあり、これまで開発が認められない状況が続いてきた。

また、地熱発電の開発は、「地表調査・掘削調査」(約2年)、「探査(調査井掘削等)」(約3年)、「環境影響評価」(約3~4年)、「発電所建設」(約3~4年)と調査開始から発電所の稼働まで10年を超える期間を要する。調査・探査段階では、多数の抗井を掘削する必要があり、掘削費用は1本当たり数億円を要することに加え、発電所が山間部に建設されるため、送電線建設にも多額の費用を要するなど初期コストが高い。掘削の結果、計画どおりの蒸気量が確保できないなどの開発リスクも抱えている。

図表3 日本における地熱発電導入量の推移



(4) 規制緩和や支援制度導入の動き

こうした課題を解決するために、近年は規制緩和や支援制度が導入されるようになり、全国各地で地熱発電の開発計画が活発化している。

a 国立・国定公園内における規制緩和

かつて環境省及び経済産業省は、国立・国定公園内における地熱発電の開発は、当面6か所（大沼、松川、鬼首、八丁原、大岳、葛根田）とし、当分の間、新規の調査工事及び開発を推進しないという方針をとっていた。しかし、2011年3月に東日本大震災が発生し、エネルギーの安定供給やエネルギーシステムの脆弱性を是正する観点から、再生可能エネルギー導入を拡大する動きが高まり、再び地熱発電の活用が見直されるようになった。

環境省は同年6月に国立・国定公園内における地熱開発についての自然環境影響検討会を設置し、12年3月には新たな「国立・国定公園内における地熱開発の取り扱い」が定められた。これにより第2種特別地域及び第3種特別地域への公園区域外または普通地域からの傾斜掘削については、自然環境の保全に支障がなく、特別地域の地表への影響がないものについては個別に判断し認めることになった(図表4)。さらに15年10月には第1種特別地域への傾斜掘削も緩和され、地熱発電設備を格納する建屋などの高さを13m以下とする制限も撤廃し、景観に配慮する条件付きで緩和された。

図表4 地熱発電に関する規制緩和の状況

区 分		2012年3月規制緩和	2015年10月規制緩和
特別地域	特別保護地区	×	×
	第1種特別地域	×	○
	第2種特別地域	○	○
	第3種特別地域	○	○
普通地域		○	○
備 考		発電所建屋の高さ制限13m以下	発電所建屋の高さ制限解除

資料：環境省プレスリリースより当研究所作成

b 助成金交付支援制度の導入

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）では、開発リスクが特に高い調査・探査段階におけるコストの低減のため、資源量の把握に向けた地表調査や掘削調査等に対して一部を助成金として交付する「地熱発電の資源量調査事業費助成金交付事業」を行っている。発電出力が1,000kW以上の規模の開発計画を有する事業を対象とし、坑井掘削費に最大4分の3を乗じた額まで助成をする。この他にも、地表調査やモニタリング調査、環境事前調査にも助成をしているほか、出資や債務保証など財政支援メニューを用意して地熱開発を支援している。

2012～18年度までの支援実績は、開発調査事業費助成案件(注)70件、探査資金出資案件1件、開発資金債務保証案件5件となっており、全国で開発計画が増加している。

(注)19年度から事業名称を「地熱発電の資源量調査事業」に変更。

c 固定価格買取制度の導入

再生可能エネルギーによる発電を普及させるため、2012年に「再生可能エネルギー固定価格買取制度」が導入された。地熱発電の買取価格(調達価格1kWhあたり)は21年度まで、1万5,000kW以上が26円+税、1万5,000kW未満が40円+税となっている。制度導入以降、太陽光発電の導入が急速に進み、太陽光発電の買取価格は低下しているが、地熱発電は制度導入当時の価格水準を維持している。地熱発電は、前述のとおり、調査開始から運転開始までに長期間を要するため、事業化決定後に買取価格が下落すると、事業化が進みにくいという事情がある。他の再生可能エネルギーよりも価格を高めに据え置くことで、事業化を促している。

3 新たな開発計画の動き

現在湯沢市では、栗駒国定公園内の木地山・下の岱地域、小安地域、矢地ノ沢地域の3か所で事業の可能性調査が進められている(図表5)。

地熱開発にあたっては、温泉事業者をはじめとする地元関係者の理解が欠かせない。国立・国定公園内での地熱開発には、「特段の取組」として、①地域合意形成の場の構築、②地域合意形成、③影響を最小限にとどめる技術・手法の投入と専門家の活用、④地域貢献、⑤長期モニタリングと地域に対する情報の開示・共有の5項目が求められている。

3か所とも国立・国定公園内における規制緩和を受け、地域との合意形成を図りながら開発を進める「優良事例」として全国に先駆けた調査が行われている。

(1) 木地山・下の岱地域

木地山・下の岱地域では、東北自然エネルギー株式会社が2010年度より調査を開始している。12年度まで地質調査(電磁探査)を実施し、13年度から第2段階である掘削調査(構造試錐

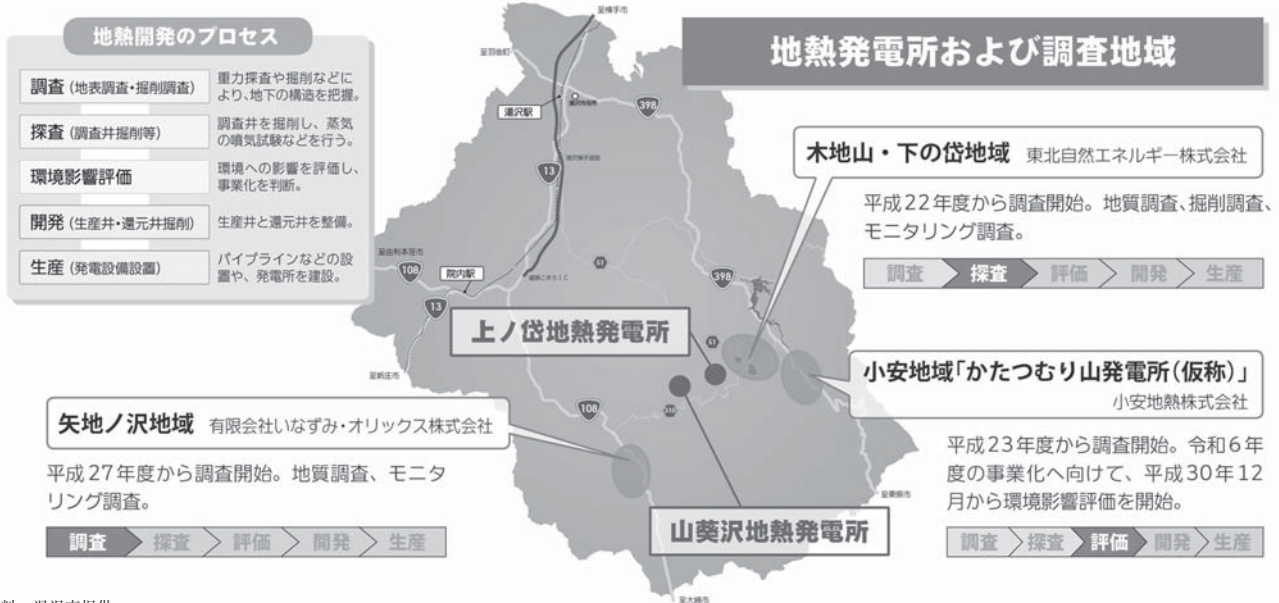
井)、環境事前調査(温泉・微小地震・自然環境)、モニタリング調査(圧力・温度)などを実施している。今年度も引き続き第2段階調査を実施し、第3段階の環境影響評価に向けて調査を進めている。

(2) 小安地域「かたつむり山発電所(仮称)」

小安地域では、出光興産株式会社、国際石油開発帝石株式会社、三井石油株式会社の3社が共同で2011年度より調査を開始している。11～17年度に地質調査(電磁探査)、掘削調査(構造試錐井)、付帯工事(敷地造成・道路整備)、環境事前調査(温泉・動植物・景観)などを実施し、18年度から第3段階調査に移行した。18年度は掘削した試験井による噴気試験を3週間程度実施したほか、12月には環境影響評価の手続きを開始している。

また、18年9月に3社の共同出資による「小安地熱株式会社」が設立された。事業化が可能と判断されれば21年度にかたつむり山発電所(仮称、出力1万5,000kW級)の建設工事が着工され、24年度の運転開始を目指している。

図表5 湯沢市の地熱発電所および調査地域



資料：湯沢市提供

(3) 矢地ノ沢地域

矢地ノ沢地域では、有限会社いなづみ（湯沢市）、オリックス株式会社の2社が共同で2015年度から調査を開始している。18年度までに地表調査（文献調査・温泉モニタリング）を実施し、送電線へ電力を接続するための「電源接続案件募集プロセス」手続きを開始している。今後は、送電線へ接続するための工事負担金が確定次第、掘削調査を実施する計画である。

4 地熱を活用した地域の取組み

地熱エネルギーは「発電」に利用されるだけでなく、温度帯に応じて様々な用途で活用できるエネルギーである。

県内では、大沼地熱発電所で発電所から噴出する蒸気に清水を混合し、生成した温泉を周辺の温泉施設に供給している。また、湯沢市皆瀬地区では、温泉水を利用した農作物の温室栽培などへの熱利用が行われている。

本項では、湯沢市皆瀬地区の地熱を活用した取組みを紹介する。

(1) 皆瀬農産加工所利用組合

皆瀬農産加工所利用組合では、温泉水を利用して切干大根や乾燥野菜の製造、山菜の煮沸などを行っている。農産加工所には、近くの源泉から80～90℃の温泉を引き、煮沸消毒層2基、食品乾燥機2基が整備されている。

煮沸消毒層は、源泉の湯を直接消毒層に入れ、食品の煮沸と熱消毒を行う。また、食品乾燥機は、源泉の湯を熱交換器に通して熱を取り出し、60～70℃の熱風を送って食品を乾燥させる。

皆瀬農産加工所利用組合が指定管理者となり、20名ほどの組合員が自宅で栽培した野菜や果物などを持ち寄り、切干大根やかぼちゃ、トマ

トなどの乾燥野菜のほか、リンゴチップなどを製造している。一般に売られている切干大根は千切りのものが多いが、同所で加工された切干大根は輪切りになっているのが特徴である。熱風で6～8時間かけて乾燥させることで、甘みが増すという。完成した商品は、産地直売所「あぐり館」や道の駅、市内のスーパーなどで販売している。



(地熱で乾燥させた切干大根と乾燥トマト)

農産加工所の概要

所在地	湯沢市皆瀬字小湯の上4
竣工	1980年12月
規模	鉄骨造平屋建 292.5㎡
設備	煮沸消毒層 2基 食品乾燥機 2基
整備事業名	第2次農業構造改善事業
事業費	64,058千円
整備主体	皆瀬村（現湯沢市）
事業主体	皆瀬農産加工所利用組合 (2011年度から指定管理体制を導入)

(2) 皆瀬村地熱利用温室組合

皆瀬村地熱利用温室組合では、温泉水を利用して現在18棟のビニールハウスで主にミツバの水耕栽培を行っている。小安温泉井から熱水を国道沿いに約2.7km引湯し、貯湯槽に貯め、貯湯槽から取り出した約80℃の熱水を各ハウスに送り、ハウス内の暖房に使用する。暖房に使用した後、水耕ベッド内の水溶液を加温し、最終的にはハウス外部を周回する溝に送られ、融雪用水として利用している。

調 査

皆瀬村中村地区は、積雪が2 mを超える豪雪地帯であるが、外気温が△10℃以下となる厳冬期においても、ハウス内の温度を5～10℃に維持できるため、豪雪地帯でも地熱活用による周年栽培が可能となった。ミツバは年に7～8回程度収穫され、主に関東地方に出荷している。



(収穫された水耕ミツバ)

ミツバ水耕栽培施設の概要

所在地	湯沢市皆瀬字中村地内
竣工	1985年3月
規模	鉄骨ビニールハウス 345㎡×18棟
設備	地熱水利用によるエロフィンチューブ放熱管2段配置
整備事業名	新農業構造改善事業
事業費	135,000千円
整備主体	皆瀬村農業協同組合(現こまち農協)
事業主体	皆瀬村地熱利用温室組合

(3) 有限会社皆瀬村活性化センター

湯沢市の第三セクターである有限会社皆瀬村活性化センターでは、市からの委託を受け、2016年12月から香草・葉物野菜の水耕栽培実証実験を行っている。生産者の高齢化などでミツバ水耕栽培に利用されなくなったハウス1棟を使い、パクチー、サンチュ、レタス、サニーレタスの4品目を栽培している。

実験開始当初は、夏場の高温障害による葉焼けや、冬場の日照不足による育成不良などの課題があったが、ハウス内に空気を循環させるファンを設置し、育苗段階で蛍光灯を当てて生育

を促すことで品質が向上した。

収穫量が最も多いパクチーは、夏場は約25日、冬場は約50日で生育する。年に7回程度収穫され、18年9月から東京・豊洲市場に出荷している。その他の葉物野菜も市内の飲食店やホテルに販売している。



(収穫間近のパクチー)

5 まとめ

本県の地熱発電は、湯沢市の3地域で事業化に向けた調査が進められており、今後も導入拡大が見込まれる。県内では、地熱発電所の建設工事や修繕等のメンテナンスに参入する企業が増えており、県内経済への波及効果も大きい。秋田県が2016年3月に策定した「第2期秋田県新エネルギー産業戦略」によると、建設工事の大部分、保守管理の8割程度が県内企業に発注されており、これらの分野への積極的な参入が望まれる。

一方、地熱発電の開発には、温泉枯渇を懸念する声もある。温泉事業者の協力を得て温泉モニタリング等を実施し、地域との信頼関係を構築することも重要である。

県内にある豊富なエネルギー資源を地場産業や観光、教育などに有効活用し、地域の活性化につなげていくことを期待したい。

(山崎 要)