

最近の再生可能エネルギーの動向と 地熱利用の現状

すずき まさと
鈴木 真人
あきた りょうこ
秋田 涼子

一般財団法人日本経済研究所 調査局 上席研究主幹

一般財団法人日本経済研究所 調査局 主任研究員

〈シリーズ掲載に向けて〉

わが国は、東日本大震災以降停止した原子力発電の代替として、天然ガス・石油・石炭を燃料とする火力発電を増加させた。その結果、2000年頃に20%程度あった一次エネルギー自給率は2013年度には6%にまで低下している¹。これらの化石燃料はもっぱら海外に依存しており、2014年のわが国輸入総額85兆円の3割に相当する27.7兆円を鉱物性燃料が占めている²。エネルギーの安定供給を目指す国では、再生可能エネルギー（太陽光、風力、地熱、バイオマス等）への転換を試みてきているが、その一次エネルギーとしての国内供給ウエイトは、現状4%程度にとどまっている³。

このような状況に対し、2015年7月に経済産業省から発表された2030年度のエネルギー需給見通しでは、徹底した省エネにより、エネルギー需要は2013年度比▲13%減とする一方、それに対する一次エネルギー供給については、原子力発電の復活、再生可能エネルギーの普及（13～14%）により、自給率を24.3%程度まで引き上げることが目標として示されている。

再生可能エネルギーについては、エネルギー密度が低いこと、安定供給が難しいことなどの弱点が存在し、コスト競争力とともにその普及に当たっては未だ解決すべきハードルが高い。しかし、多様なエネルギー源の組み合わせを可能とするエネルギーマネジメント、蓄電池の進歩による安定供給の可能性向上、水素のような新しいエネルギー源の登場などの技術進歩に加え、電力・ガスの小売り自由化などの各種規制緩和による多様な企業参加が考えられ、ビジネスとしての可能性が高まってきている。

また、このような技術進歩などを契機に、小さな規模の発電等の仕組みが出来てくると、地方圏における自律的な再生エネルギーの事業展開の可能性が高くなっていく。再生エネルギーの普及については、これまで、未利用資源の活用という目線で語られることが多かったが、まちづくりや地域の活性化に直結しているものとして、今まで以上に一体的な検討が必要となるものと考えられる。

当研究所としては、2012年から2013年にかけて実施した地熱についての研究成果をフォローしつつ、温泉地における地熱に対する理解の進展など、地域の中で具体性を見せ始めたパイナリー発電等の最近の地熱利用の取組みについて調査をおこない、再生エネルギーの普及に向けた検討の機会としたい。

2012年（H24年）10月～2013年3月まで、6回にわたり研究員レポート、シリーズ「再生可能エネルギー：地熱利用の展望」を掲載した。ちょうど、同年7月に再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水

力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定の期間、電気事業者調達を義務づける「再生可能エネルギー固定価格買取制度」がスタートした年であった。

¹ 資源エネルギー庁「エネルギー白書」2015

² 財務省「貿易統計」

³ 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」2013年度

地熱発電の買取価格については、1万5000kW以上26円/kWh（税抜き）、1万5000kW未満で40円/kWh（税抜き）と他の再生可能エネルギーと比較しても高水準な価格に設定されたこと、また火山国である日本の地熱エネルギー大国であることなどから、当時は「地熱発電」の4文字がメディアに頻繁に登場していた。

固定価格買取制度の導入から3年がたち、4回目の買取価格が設定されている現在、発電開始までに長期の開発期間がかかることが特徴の地熱利用はどのように広がっているのか、日本の地熱利用を巡る現状について、推進でも反対でもない中立の立場から3回に分けてレポートしていきたい。


第1回である本稿においては、固定価格買取制度が3年を経過した中での地熱エネルギー活用の動きを概観し、2回目以降で様々に工夫された現状の取組をご紹介します。

1. 固定価格買取制度導入後の動き

2012年（H24年）7月1日から「再生可能エネルギー固定価格買取制度」（以下、「FIT」と言う）がスタートした。スタート時の地熱エネルギーの買取価格は、上述の通りである。


2015年（H27年）4月からの4回目の買取価格が設定されているが、FIT導入後、太陽光発電の導入が急速に進み、太陽光発電の買取価格が低下して

■平成27年度の価格表（調達価格1kWh 当たり）




太陽光	10kW未満			
	余剰買取		ダブル発電・余剰買取	
	出力制御対応機器設置義務なし	出力制御対応機器設置義務あり*	出力制御対応機器設置義務なし	出力制御対応機器設置義務あり*
調達価格	33円	35円	27円	29円
調達期間	10年間		10年間	

※北海道電力・東北電力・北陸電力・中国電力・四国電力・九州電力・沖縄電力の需給制御に係る区域において、平成27年4月1日以降に接続契約申込が受領された発電設備は、出力制御対応機器の設置が義務付けられます。



太陽光	10kW以上	
	平成27年4/1～6/30 (利潤配慮期間)	平成27年7/1～
調達価格	29円+税	27円+税
調達期間	20年間	20年間



風力	20kW以上	20kW未満	洋上風力(※)
調達価格	22円+税	55円+税	36円+税
調達期間	20年間	20年間	20年間

※建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶等によるアクセスを必要とするもの。



地熱	15,000kW以上	15,000kW未満
調達価格	26円+税	40円+税
調達期間	15年間	15年間

資料：経済産業省資源エネルギー庁 HP より一部抜粋

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html より

■平成27年9月末時点の状況（平成28年1月13日更新）

	(1)導入容量 (万kW)		(2)買取電力量 (万kWh)		(3)買取金額 (億円)(※3)		(4)認定容量 (万kW)
	新規認定分 (※1)	移行認定分 (※2)	平成27年 9月分	制度開始から の累計	平成27年 9月分	制度開始から の累計	新規認定分 (※1)
太陽光 (住宅) (※4)	352 +7	470	45,981 -18,494	1,662,320	193 -78	7,233	418 +6
太陽光 (非住宅)	1,929 +56	26	194,661 -55,244	3,056,151	789 -223	12,594	7,558 -200
風力	37 +2	253	37,056 +15,297	1,456,268	82 +34	3,164	233 +0
中小水力	12 +1	21	12,170 +809	290,967	32 +2	755	71 +0
地熱	1 +0	0	550 +48	3,451	2 +0	15	7 +0
バイオマス (※5)	34 +0	113	43,799 +2,606	939,670	99 +8	1,895	268 +13
合計	2,365 +65	883	334,217 -54,979	7,408,826	1,198 -257	25,656	8,555 -181

〈表の見方〉

- ・この表で「導入」と表現するのは、固定価格買取制度の下で買取が開始された状態をいう。
- ・各数値の下端は、前月値からの増減値である。
- ・内訳ごとに四捨五入しているため、合計とは必ずしも一致しない場合がある。

〈留意事項〉

- * 1 「新規認定分」とは本制度開始後に新たに認定を受けた設備である。
- * 2 「移行認定分」とは再エネ特別措置法での買取対象となっていた設備を本制度開始後に本制度に移行した設備である。
- * 3 電気事業者に支払われる交付金は(3)の買取代金から回避可能費用等を差し引いた金額となる。

資料：経済産業省資源エネルギー庁 HP より
http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html

いる中で、地熱発電の買取価格は1万5000kW以上で26円/kWh（税抜き）、1万5000kW未満で40円/kWh（税抜き）と、制度導入当時の価格水準を保っている。

経済産業省が毎月発表しているFITの導入以来の導入容量を見ると、2015年（H27年）9月末時点で、制度導入時からの新規認定分で、太陽光発電が2,281万kW（住宅用352万kW、非住宅用1,929万kW）、風力発電37万kW、中小水力発電12万kW、バイオマス発電34万kWに対して、地熱発電は1万kWとなっている。制度導入時からの認定容量は7万kW、買取電力量は3,451万kWhと、再生可能エネルギー全体の認定容量8,555万kW、7,408,826万kWhのそれぞれ0.08%、0.05%に過ぎない。地熱発電は、太陽光発電などとは異なり、運転開始に至るまでの

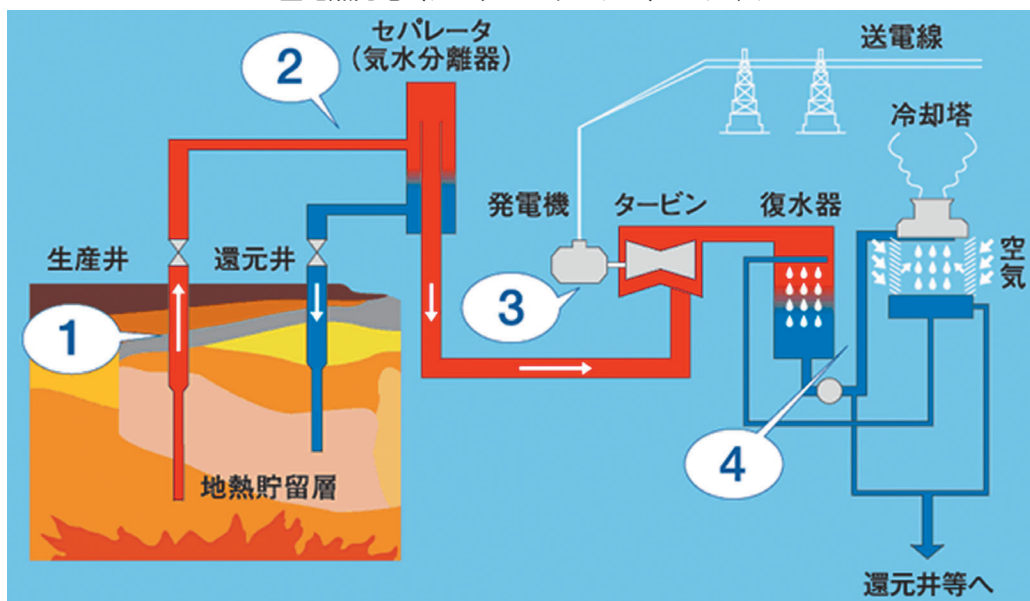
調査、資源量評価、環境アセスメントなどに多大な時間がかかるために、制度導入後3年たった現状でも、設備導入容量が極めて少なくなっていると推察される。

2. 地熱発電の仕組みと特徴

ここで、復習も兼ねて地熱発電の仕組みと特徴を整理する。

地熱発電は下図のように、マグマで熱せられた地下水によって形成される地熱貯留層（蒸気・熱水溜まり）に井戸を掘り、天然の蒸気を取り出し、その蒸気でタービンを回して発電する。タービンを回した後の蒸気復水や発電に用いない熱水は、還元井を通して貯留層中に戻されるが、地表で温度の低下した熱水・蒸気復水（一部は大気放出される）を蒸気

■地熱発電（シングルフラッシュ）のしくみ



- ・地熱貯留層に生産井を掘り、地熱流体を取り出す。
 - ・セパレータ（気水分離器）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。
 - ・蒸気でタービンを回転させ、発電する。
 - ・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。
 - ・ダブルフラッシュ方式は、セパレータで分離した熱水をフラッシュャー（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す。高温高压の地熱流体の場合に採用され、シングルフラッシュよりも約20%出力が増加します。八丁原発所や森発電所で採用されています。
- 海外に目を向けると、ニュージーランドにはトリプルフラッシュ式の発電所があります。

資料：日本地熱協会 HP より

<http://www.chinetsukyokai.com/information/index.html>

生産領域近くの地熱貯留層に戻すと貯留層内の温度が低下するため、還元井は生産井から「近すぎず遠すぎない」位置に設置される必要がある。還元された熱水の一部は地下水脈を通して温度を上げながら生産領域に向かい、それ以外の場所から新たに貯留層に供給される熱水とともに発電で失われた分を補充するが、貯留層内の圧力を100%維持することは容易ではない。電気探査、重力探査やボーリング調査によって地下の熱水系を分析し、熱源の位置や地表水がどこから地下に浸透するか、地下で熱水がどのように移動するかを理解すると同時に、発電開始後も貯留層の変化を長期間にわたって観測するなど、貯留層内の圧力を維持することで地熱発電を持続可能にさせるための研究が続いている。

他の電源と比較した地熱発電の特徴を整理すると、次の4点が挙げられる。

① CO₂排出量が少ない安定電源である

地熱発電は、火力発電におけるボイラに相当する部分を地球内部の熱に依存するため、化石燃料を燃やさないでCO₂排出量が少ないという特徴がある。また、発電だけでなく、直接の熱供給（地熱直接利用）が可能な点も特徴として指摘できる。

② 発電規模や立地が自然条件に左右される

地熱発電所の発電出力は、他の発電システム、例えば原子力発電所の100万kW級等と比べると、10分の1、数十分の1の規模であり、火山活動のある

地域に地熱発電所が偏在している。地熱発電はマグマで熱せられた地下水の溜まりである地熱貯留層に井戸を掘り、熱水を地上に取り出して発電に利用するため、発電規模や立地は地熱貯留層という自然条件に大きく制約される。この地熱貯留層は地下資源の一つであり、地熱開発には、地下資源特有の開発リスクや偏在等を伴うこととなる。この点が、港湾近くなど利便性に優れた場所に大規模化して設置可能な火力発電所や日照と送電線さえ確保できれば設置可能な太陽光発電などと比べて開発が進まない大きな要因となっている。さらに、地熱貯留層のある地域は、景観や生物多様性保全の対象地であることが多く、日本の地熱資源の約82%が国立公園など自然公園地域内にあること、周辺に温泉が存在することも開発が進まない要因となっている。

③発電コストが高い

地熱発電は、燃料費はゼロであるものの、許認可問題や地元対策等で開発まで長期間を要すること、調査開発段階から多数の坑井の掘削が必要となること等による開発コスト、上記の減衰リスクがあるための補充井の掘削など追加投資が必要となること、さらに発電容量が地熱貯留層の大きさに制約されるため規模のメリットが追求できないこと等から、発電コストが高くなることが指摘されてきた。これらのコストを踏まえて、FITの買取価格が設定されている。

④開発及び資金回収に超長期を要するプロジェクトである

地熱発電は、常に貯留層の大きさや圧力を把握しながら蒸気を取り出し、貯留層を冷やしてしまわない場所に還元水を戻していくことができれば、マグマの熱という半永久的な熱源を利用して非常に長期に発電を継続していくことができると考えられてい

る仕組みである。逆に言えば、発電量を人為的に増加させることは不可能であり、電力価格が高い時期に発電能力を増やし、投資利回りを高めるというようなことはできない。適正規模を超えて発電すれば地熱貯留層が枯渇して発電不能に陥るリスクもあり、自然条件を前提とし、それをうまく活用しながら、超長期で活用することを検討しなければならない発電システムである。

3. 最近の動向

地熱発電は、このように、発電開始までに長期間を要する発電方式であるが、FITの導入から3年を経て、実現に向けた動きや、実現のために役立つ支援策の検討などの動きが出てきている。地熱発電に関する最近の動きを整理する。

(1) 秋田県湯沢市の山葵沢・秋の宮地域—建設工事中

2012年（H24年）のレポートで、「最も運転開始に近い段階にある地熱開発の一つ」としてご紹介した秋田県湯沢市の山葵沢地熱発電所計画（湯沢地熱（株）が、2014年（H26年）10月末に環境影響評価の全手続きを終了し、2015年（H27年）5月25日に建設工事を着工した。

〈山葵沢地熱発電所の概要〉

事業者	湯沢地熱株式会社（秋田県湯沢市、電源開発（株）、三菱マテリアル（株）、三菱ガス化学（株）の共同出資会社）
発電所の名称	山葵沢地熱発電所
所在地	秋田県湯沢市高松字高松沢及び秋ノ宮字役内山国有林内
原動力の種類	汽力（地熱）
出力	42,000kW
運転開始時期	2019年（H31年）5月（予定）

資料：湯沢地熱（株）HP より
http://yuzawa-geothermal.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/press-release_150525.pdf

この地点の調査は1993年（H5年）からのNEDOの地熱開発促進調査がスタートであり、調査から26年目の運転開始を目指した建設工事が進められている。

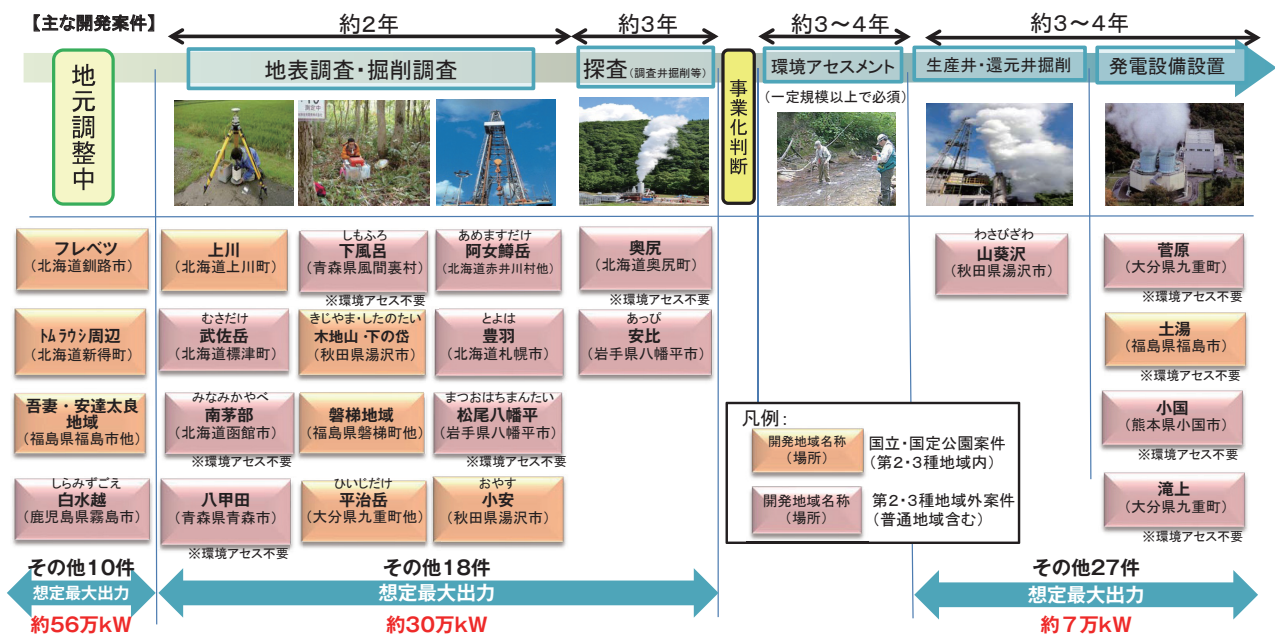
(2) 安比（八幡平）—第2段階である「探査」から第3段階の「環境アセスメント」に進捗

地熱発電の開発段階は、大別すると、第1段階「地表調査・掘削調査段階」、第2段階「探査段階」、第3段階「環境アセスメント」、第4段階「生産井・還元井掘削段階、発電設備設置段階」の大きく4段階に大別される（次図参照）。現状、環境アセスメントが必要な規模のもので、第4段階以降に入っているのは、(1)で紹介した山葵沢地熱発電所のみとなっている。また、第2段階である「探査段階」に進んでいるのは、下図では、奥尻と安比の2プロジェクトとなっている。奥尻は500kW程度の

環境アセスメント不要な小規模発電所の計画であり、環境アセスメントの必要な規模の地熱発電所で第2段階にあるのは、安比（八幡平）の計画のみとなる。

八幡平市安比地域における地熱開発は、2003年（H15年）に終了したNEDOの地熱開発促進調査で掘削した調査井を、同調査を受託していた三菱マテリアル(株)が借り受けたのが、同地点で地熱開発の取組みのスタートである。2015年（H27年）10月に三菱ガス化学(株)との共同出資会社である安比地熱(株)⁴を設立し、環境アセスメントの段階に進んでいる。この環境アセスメントに関しては、NEDOの環境アセスメント調査早期実施実証事業に参画することで、通常は3～4年かかる環境アセスメントを短縮化し、2017年中には評価書を提出する計画となっている。

八幡平市には、もう一つ、日本重化学工業(株)他3



資料：経済産業省資源エネルギー庁資料「再生可能エネルギー各電源の導入動向について」2015年（H27年）3月

⁴ <http://www1a.biglobe.ne.jp/appi-ge/index.html>

社が共同出資した岩手地熱(株)が進めている松尾八幡平地熱開発がある。こちらも NEDO の地熱開発促進調査がスタートである。環境アセスメントが不要な7000kW 級の規模で、2017年度（H29年度）の試運転を目指して総合噴気試験を実施し、2016年（H28年）4月からの地上設備工事着手の準備中である。

(3) さらに規制緩和や支援の動き

① 自然公園内の開発に関する規制緩和

前述したように、日本の地熱の資源の約82%が国立公園など自然公園地域内にあること、かつて経済産業省及び環境省は「国立公園内に地熱発電所を設置しない」という方針をとっていたことが、地熱開発が遅れてきた要因の一つであった。

(1)の山葵沢や(2)の安比は、どちらも、国立・国立公園外であるため、計画が早期に進んできていると言える。

福島原発事故後の2012年（H24年）3月に環境省が発表した地熱開発に関する新方針である「国立・国立公園内における地熱開発の取り扱いについて」では「自然公園普通地域については地熱開発を認め、自然環境の保全と地熱開発の調和が十分に図られる「優良事例」については、掘削や工作物の設置許可もありうる」として規制緩和の方向への転換を進めている。

環境省では、2012年（H24年）以降、「国立・国立公園内の地熱開発に係る優良事例形成の円滑化に関する検討会」を設置し、検討を重ねてきた結果、2015年（H27年）10月2日「国立・国立公園内における地熱開発の取り扱いについて」の通知を各都道府県に対して出した。

この通知によると、第1種特別地域については、これまで地下部への傾斜掘削も認めないこととしていたが、今回の改正により、地表に影響がないこと

等を条件に、地下部への傾斜掘削を認める（ただし、特別保護地区は地下部も認めない）。また、建築物の高さ規制については、風致景観への著しい支障が回避され、風致景観との調和が図られている場合に限り、高さが規制の13mを超えていても許可する。この2点が改正されたものである。

この結果、国内の地熱資源の約7割が開発可能となるという報道もある。

② 地熱資源調査を行う際の調査費の一部を助成、助成率を引き上げ

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が地熱資源調査を行う際の調査費の一部を助成金として交付することで、地熱開発の開発リスク（調査期間に多額のコストがかかるリスク）を軽減する方策をとっている。具体的には、2015年度には、開発事業者に対する掘削費の補助率を最大3/4まで引き上げて支援することとしている。

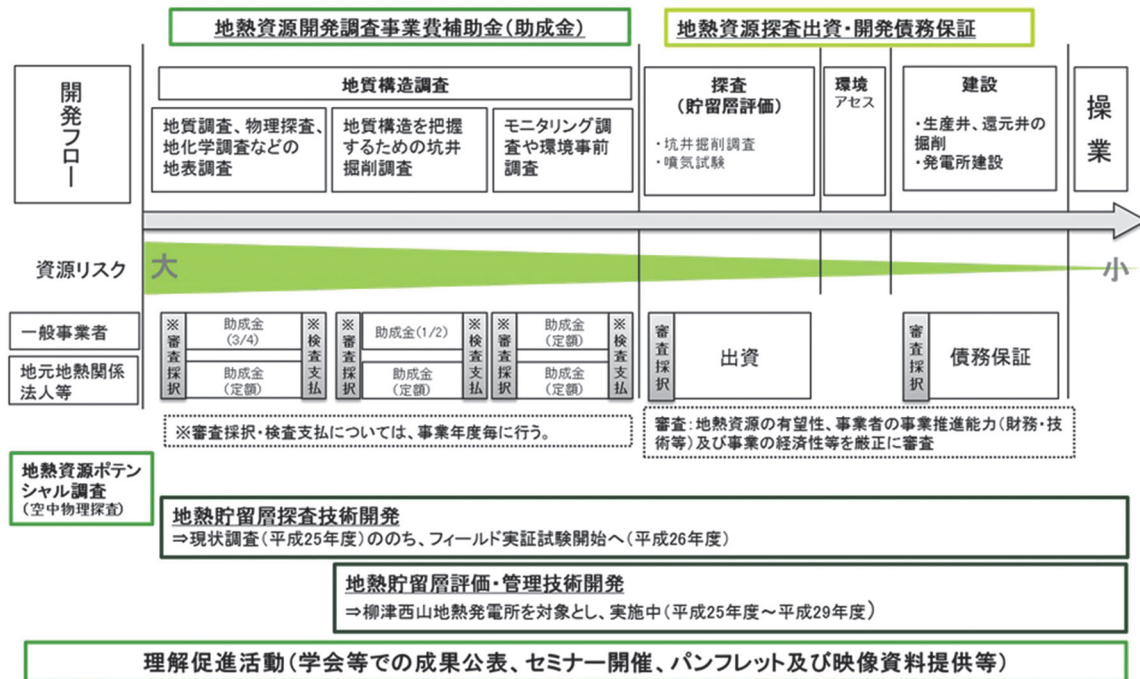
同機構では、この他にも、地熱構造を把握するための坑井掘削調査やモニタリング調査、環境事前調査にも助成をしている他、出資や債務保証など財政支援メニューを用意して地熱開発を支援している。

③ 温泉や自然環境へのリスク支援策の検討

新聞報道によると、福島県を訪れた安倍首相が、地熱の発電所の開発促進に向けて温泉事業者への不安を解消するための財政支援の拡充に取組む方針を明らかにしている。

具体的には、地熱開発では、開発地域周辺の温泉の枯渇が懸念されているため、開発地域周辺で温泉の湧出量が過度に減少した場合、温泉井戸の代替掘削について、国が費用を補助する、また、地熱開発に伴う温泉の影響を評価する開発事業者のモニタリングをめぐり、関係自治体からデータの信頼性について疑問が上がっていることを受けて、地熱の観測

■ JOGMEC の地熱資源開発支援事業



資料：JOGMEC HP より
<http://www.jogmec.go.jp/content/300192433.jpg>

井（井戸）の掘削に関する影響を自治体が監視できる新たな枠組みを作ることである（2015年（H27年）6月1日福島民報、河北新報、福島民友）。

この支援策については、現段階では具体的に制度化されていないが、こうした周辺の温泉側への支援策にも着目されてきている。

地熱開発については、規制緩和や地熱発電の特有のリスクを踏まえた財政的支援、地元対策支援策も検討されつつあり、今後の地熱発電の開発支援策が取られている。

(4) 地熱発電開発の課題

① FIT 制度導入による新たな問題

2012年（H24年）から導入されたFIT制度で、各地で再生可能エネルギーの電力事業者への売電プロジェクトが進んでいる。この制度は、「先願主義」であり、先に設備認定を受けて申し込んだもの

に、送電枠が与えられるのが原則であるため、開発から発電までの時間が、他の再生可能エネルギーに比べて圧倒的に長期となる地熱開発は、送電枠を想定・確保する点で、不利になりがちである。

地熱開発候補地には、送電網が乏しい地域も多く、売電側の負担になる送電網構築工事が発生するか否かは、発電事業の採算性を大きく左右する大きな問題である。地熱開発を検討する際に、既存の送電網が利用できるかどうか、検討時点では送電余力があったとしても、数年から10数年かかる地熱発電の発電設備のスタート時まで送電余力があるかどうかは全く不明である。地熱開発の調査中に、その送電余力を太陽光や風力など他の再生可能エネルギーの開発プロジェクトが使ってしまいかもしいからである。

長い地表調査、掘削調査、探査期間を経て、発電が現実化した際に、送電余力がすでに他の再生可能エネルギーに使われてしまっているため送電体制が

確保できず、自前で送電網を整備しなければ設備認定を受けられないという事態になれば、多額の送電コストの負担が地熱開発プロジェクトの採算性を悪化させることになる。

一方、買電側から見ると、数年以上先の発電のために既存の送電設備を地熱発電のために確保しておくことが難しい事情も理解される。

FIT 制度を利用して地熱発電による電力を売電する事業の推進のためには、送電網確保についての柔軟な対応が必要となっている。

②地熱開発に関する知見やノウハウの蓄積の必要性

地熱については、掘削や調査にかかる費用が巨額であるにもかかわらず、資源開発が単独ビジネスとしては成立しにくいという特徴があり、調査や掘削に関する国の支援が活用されている。

しかし、我が国の地熱開発は、前項(2)でご紹介したように、最近の取組みが出てきてはいるものの、1999年の八丈島地熱発電所の運転開始以降、新規の

運転開始プロジェクトは未だ実現していない。地熱開発のプロジェクト数が少なく、かつ、調査開始から運転開始まで長期を要する事業について、人材の確保やノウハウの継承を個別企業に全面的に委ねているのが現状である。また、地熱開発は他のエネルギー開発と異なり、資源開発と発電という事業を一体的に取組む必要がある点も特徴であり、取組む事業者の負担は大きい。地熱開発に関連する資源開発及び発電の技術や知見、ノウハウを企業の枠を超えて、蓄積し、共有することで、地熱開発に対する取組みをより活発化することにつなげることも有効と考えられる。

今回は、掘削型の地熱発電について、最近の動向、規制緩和や支援策の動向、現状の課題等を整理してきた。次回は温泉源を活用した様々な地熱発電の試みについて、最近の取組みをご紹介しますこととしたい。

〈シリーズについて〉

今回のシリーズは、以下の6名が分担して執筆している。

- | | | | | |
|----------------|-----|--------|----|----|
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 上席研究主幹 | 鈴木 | 真人 |
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 主任研究員 | 秋田 | 涼子 |
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 副主任研究員 | 高平 | 洋祐 |
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 副主任研究員 | 渋谷 | 智美 |
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 研究員 | 平島 | 佳奈 |
| ・一般財団法人日本経済研究所 | 調査局 | 研究員 | 森谷 | 優季 |

次回以降の掲載予定は以下の通り。

第2回 様々な地熱発電の試み（4月号）

第3回 バイナリー発電事業への他業種の参入と今後の地熱活用の課題・方向性（5月号）