

## 地熱にどこまで期待できるか

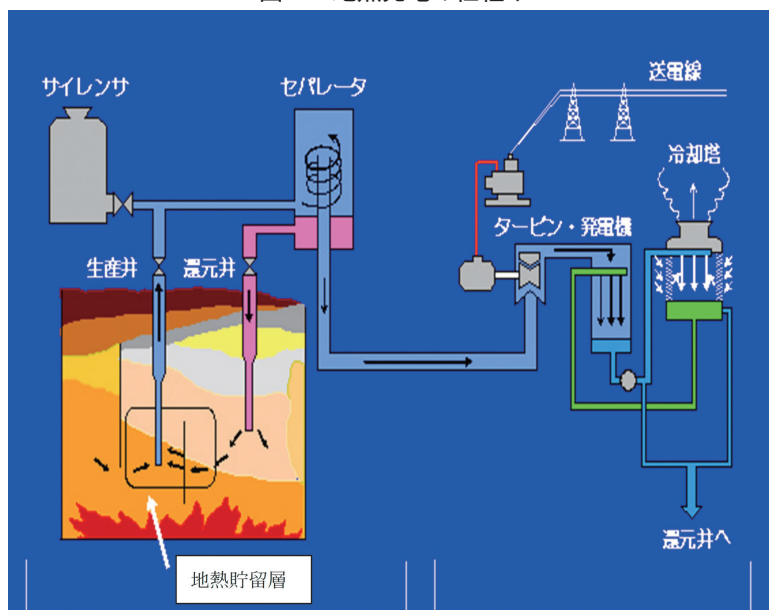
近藤 浩正 一般財団法人日本経済研究所 国際局 研究主幹  
 秋田 涼子 一般財団法人日本経済研究所 国際局 主任研究員

我が国が豊富に有する資源である地熱をどう利用すべきなのか、財団法人日本経済研究所では推進でも反対でもない中立の立場から5回に分けて考察してきた。これまで、地熱発電を取り巻く環境変化、海外での地熱利用状況、新たな地熱発電所開発の現状、バイナリー温泉発電や地熱の直接利用について見てきたが、最終回となる本稿では、「日本には火山が多いので、国立公園の環境保護緩和や温泉事業者の説得さえ出来れば、アイスランドのように電力需要の数割を地熱で賄うことが出来る」との一部意見につき、第5回までに記述した内容を元に反論すると同時に、欧米や中国で導入が進む地熱ヒートポンプの節電、ピークカットへの貢献可能性について論じることとしたい。

### 1. 地熱発電は熱のみでなく「地下熱水溜まり（地熱貯留層）」を必要とする

2012年12月14日付け日経新聞は、「地熱発電の新設計画が全国合計で20万kWに達した」と報じている。現存する地熱発電所の総発電容量が53万kWであることを考えれば、約4割近い増加だが、一部メディアや学者が主張する「原発20基分の地熱資源量」との対比では「8件合計で原発0.2基分」と非常に小さい水準である。「原発20基分」の根拠は、環境省が実施した「平成22年再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」の推計地熱資源量2,357万kW相当だが、この資源量が全て利用出来ると考えるのは早計である。

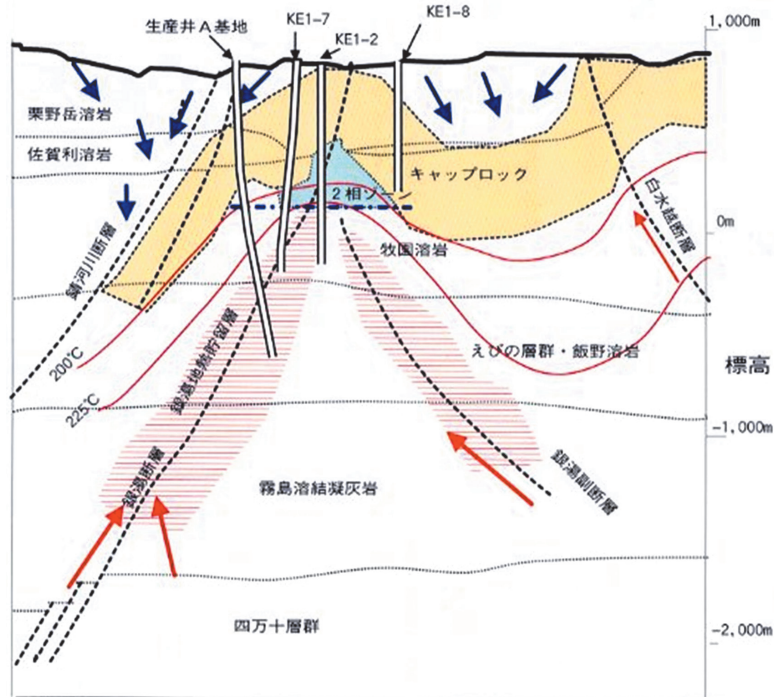
図1 地熱発電の仕組み



出典：日本地熱発電開発協議会 HP より<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://www.chikaikyo.com/chinetsu/index.html>

図2 地熱貯留層の構造



出典：日鉄鉱山株式会社 HP より<sup>2</sup>

こう考える理由は、地熱発電所の大きさが「地下に自然形成される地熱貯留層の大きさによって規定される」という事実である。図1のように、地熱発電は地熱貯留層から熱水を取り出してタービンを回すが、発電量は「自然まかせ」で形成される地熱貯留層の大きさによって決定され、現存する技術では大型化が不可能なのである。

地下深く掘れば必ずマグマに行き着くことは世界共通だが、火山国の場合は比較的浅い場所にマグマがあることが特徴である。日本の場合も「地熱」は豊富であるが、発電を行うためには熱だけでは足りず、「地下の地形によって地熱貯留層が形成されている」という自然条件が整わなければならない。では、地熱貯留層とはどのように形成されるのか。

地表から地下に浸透してきた雨水や地表水は不透水層（帽岩又はキャップロック）で覆われた岩層・地層に蓄えられる。この水を蓄えた岩層・地層を

「貯留層」と呼び、地熱地域（火山地帯）では、この貯留層内の水（地下水）は地下深部のマグマによって加熱された岩盤によって熱せられる。この熱せられた地下水を「地熱水」と呼び、また加熱状態にある貯留層を「地熱貯留層」と呼んでいる。

地熱発電はこの地熱貯留層から取り出した熱水、蒸気でタービンを回して発電するため、自然に形成される地熱貯留層にある程度の規模がなければ、発電所や送電線の建設コストに見合う発電量を確保出来ない。逆に言えば、「地熱資源」が存在しても、ある程度の規模の地熱貯留層が形成されていなければ、発電に利用することは出来ないのである。実際に、現存する地熱発電所では最大の九州電力㈱の八丁原発電所でも11万kWで、その他の発電所の平均発電能力は3万kW程度であり、新規に計画が進む発電所も、最大で5万kWとのことである。太陽光発電では広い土地を確保すれば発電能力をいくらで

<sup>2</sup> [http://www.nittetsukou.co.jp/soiltech/topics/topic\\_1.html](http://www.nittetsukou.co.jp/soiltech/topics/topic_1.html)

も高められるが、自然任せの地熱発電所は地熱貯留層の大きさ以上に発電能力を高めることは出来ないのである。

さらに地熱開発を困難にしているのは、地熱貯留層を発見し、その大きさを正確に測定するためには、地形探査や試掘など長い時間と高額な調査費用を要することである。上述した八丁原発電所が隣接する大岳発電所とともに調査を開始したのは、昭和24年と、大岳発電所の運転開始（昭和42年）の18年前、八丁原発電所の運転開始（1号機昭和52年）の28年前である。また、現在、最も運転開始に近い段階にある地熱開発の一つである（平成23年に環境影響評価手続きを開始）秋田県湯沢市の山葵沢・秋の宮地域での地熱発電所計画（湯沢地熱株）は、平成30年（2020年）の運転開始を目指した計画である。この地点の調査は平成5年からのNEDOの地熱開発促進調査がスタートである。計画通りに平成30年に運転開始した場合でも、調査から25年が経過することとなる。このような長期にわたる地下の探索には、当然ながら高額な調査費用が必要であり、運転開始に至るまでの調査、探索や実証実験に対する支援の必要性が指摘される。

## 2. 他国との比較における我が国の地熱発電開発状況

「国立公園規制や温泉事業者の反対さえなければ、日本もアイスランドのように地熱発電で電力の相当部分をまかなえる」との声は、現在でも聞かれる。第2回で書いたとおり、世界全体の地熱発電能力は増加しつつあるが、地熱発電に積極的な国々は地熱資源量のどの程度を発電に利用しているのだろうか。表1は2010年時点での地熱発電上位国の発電能力及び地熱資源量を示すが、我が国の地熱発電能力が2000年から2010年まで全く変化していないのに対し、他国はフィリピンを除いて増加していることが分かる。では、地熱開発が進む各国では、地熱資源量のどれだけを利用しているのかといえ、2010年時点で上位7カ国の平均で12%、資源量2万MWeを超える3カ国に限って言えば平均8%にとどまる。これは、既に述べたように、発電能力が地熱貯留層によって規定され、又、地熱貯留層の探査にコストと時間を要するためである。

確かに、2010年における日本の地熱資源利用率3%は地熱発電上位国の中で最低だが、仮に資源量利用率を10%に高めたとしても、現行能力からの増加は140万kW程度に留まることとなる。

表1 世界の地熱発電能力の地熱資源量に対する比率

	2000	2010	地熱資源量 MWe	2000時点 利用率	2010時点 利用率
	MW				
米国	2,228	3,093	27,791	8%	11%
フィリピン	1,909	1,904	23,000	8%	8%
インドネシア	590	1,197	20,540	3%	6%
メキシコ	755	958	6,000	13%	16%
イタリア	785	843	3,267	24%	26%
ニュージーランド	437	628	3,650	12%	17%
アイスランド	170	575	5,800	3%	10%
日本	547	536	20,540	3%	3%
日本を除く平均利用率				9%	12%
日本を除く平均利用率（地熱資源量20000MWe以上）				6%	8%

発電量は「地熱発電の現状と動向2010・2011年」（2012年3月、火力原子力発電技術協会）より、地熱資源量は「地熱発電の開発可能性」（産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門 矢野雄策）より

ちなみに、「電力供給の26%を地熱が占めるモデル国」と日本で報道されることの多いアイスランドでも、2000年から2010年までに発電能力を3倍増しているものの、資源利用率は10%である。また、表1にあるアイスランドの2010年の地熱発電量が日本のそれと大きく変わらないことから、アイスランドで地熱が電力供給の26%を占める理由は「地熱大国」だからではなく、アイスランドの人口が36万人しかいないことに起因していることが分かる。ちなみに、欧州最大の地熱発電国であり、資源利用率が26%と高い火山国イタリアでも、人口6千万人向けの総発電容量に占める地熱の割合は0.8%である。

### 3. 地熱発電の新技术

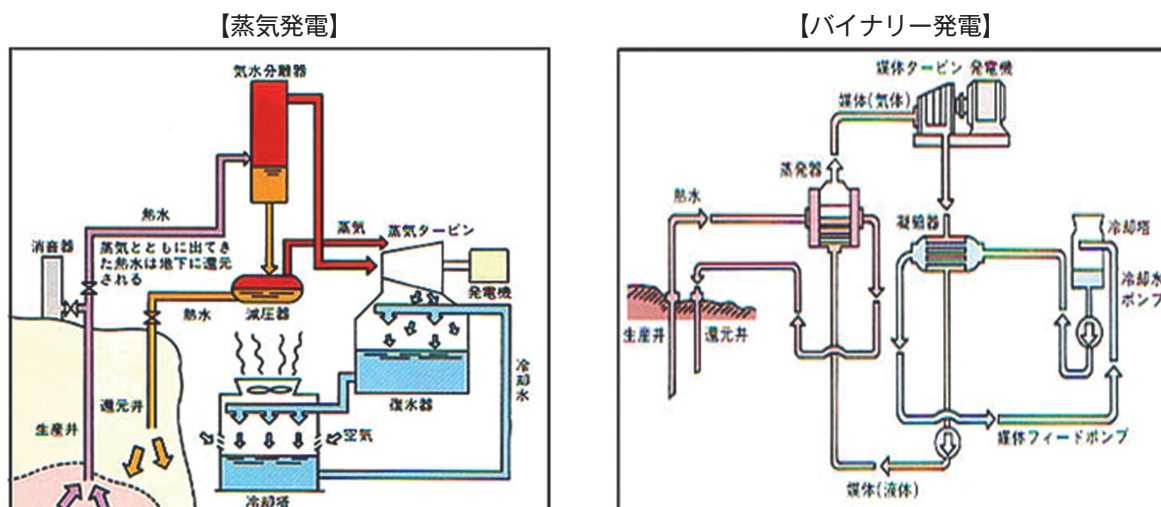
従来型の地熱発電による発電の問題点について述べてきたが、「地熱貯留層」に依存しない新技术として、「温泉でも発電できるバイナリー技術」や「人工的に地下蒸気貯留層を作り出すEGS」などがある。しかしながら、現状ではどちらも原発代替電源候補と言える状況にはない。

#### 【バイナリー発電】

第4回で紹介したバイナリー発電とは、従来発電に利用されてこなかった温度帯の高温熱水を利用した発電方法である。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压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2000kW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）。

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

図3

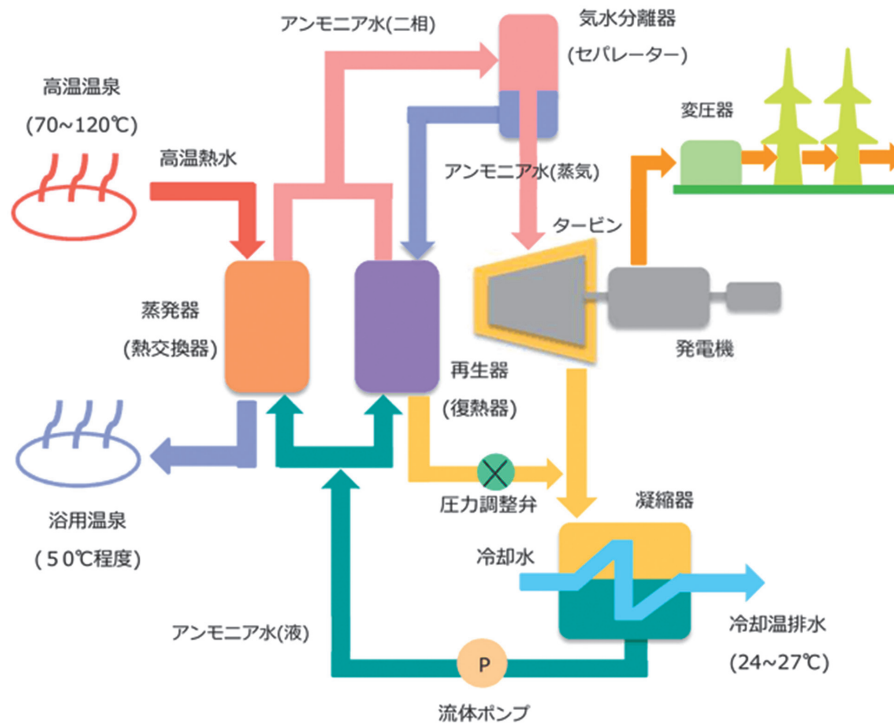


出典：資源エネルギー庁 HP<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.enecho.meti.go.jp/energy/ground/ground02.htm>



図4 温泉バイナリー発電の仕組み



温泉発電(カーリーナサイクル発電)の仕組み

出典：再生可能エネルギー事業の基礎知識（５）（地熱）環境省「平成23年度再生可能エネルギー地域推進体制構築支援次行第一回研修会資料」をベースに自然エネルギー財団作成自然エネルギー財団HP<sup>4</sup>

らバイナリー発電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、温泉バイナリー発電の開発に有望な資源量（53～120°Cの熱資源量）は833万kWとされている<sup>5</sup>。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）温泉についてカーリーナサイクル（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、活用できる資源量をすべて活用したとしても、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<sup>6</sup>。現在、新潟県松之山温泉では、環境省委託事業で、定格出力：87kW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ている。また、福島県福島市土湯温泉（500kW）、鹿児島県指宿市内の九州電力山川発電所内等で、バイナリー発電の実証実験（250kW）への準備が進められているが、山間部の温泉郷向け地域分散型電源としては、有望なもの、大都市に電力を供給するほどの規模になる性質のものではないと考えられる。

<sup>4</sup> <http://jref.or.jp/energy/geothermal/basic.html>

<sup>5</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所の地熱資源量評価による。

<sup>6</sup> 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/>

【EGS】

第1回、第2回で紹介した EGS とは Enhanced (又は Engineered) Geothermal System の略で、地下深くにある高温の岩に圧力を加えて破碎し、人工的に作り出した空間に水を流し込んで地熱貯留層を形成する技術である。乾燥した岩を利用する Hot Dry Rock Geothermal ; HDR (高温岩体発電) と少量だが岩石中に水がある場合も含めて研究、開発が進められつつある。

この技術が確立されれば、理論的には非常に大きな地熱貯留層を人工的に形成できることになり、地熱発電所の大規模化を一気に進めることが出来る。しかし、オーストラリア政府や電力会社、インドのタタ・グループの出資で2003年に開発に着手したジオダイナミクス社は制御不能な蒸気噴出で数年間にわたって実験を中断 (2012年再開)、2008年にオバマ政権のグリーンニューディールの流れを受け、

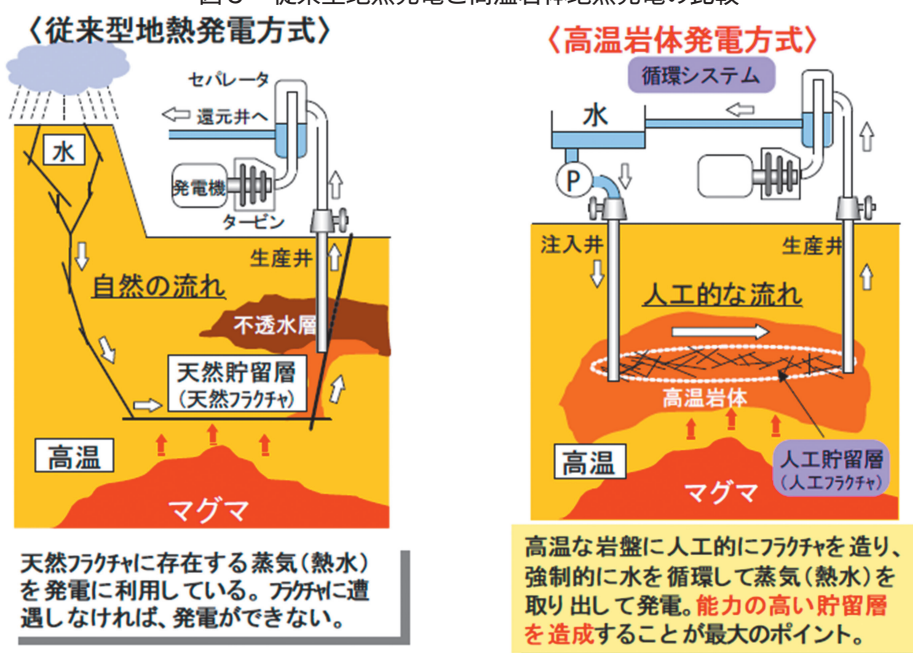
グーグルや有力ベンチャーキャピタルからの出資を受けて開発を始めたアルタ・ロック・エナジー社も帽岩 (キャップ・ロック) を貫通することに失敗して2009年に実験場を放棄 (2012年別の実験場の許可取得) するなど、開発は難航している。

もし実現すれば電力問題の解決に大きく貢献する画期的技術となる EGS は、「数十年スパンで考えれば化石燃料の需給の逼迫や地球温暖化などで EGS が求められる時代が来る」との考えから欧米各国で研究が継続せれているが、開発の成否は未知数であり、原発の代替電源として期待すべきではないと考えられる。

4. 欧米、中国で活用が進むもう一つの地熱活用方法：地中熱ヒートポンプ

地中熱 (地中熱利用促進協会の定義に従うと、地熱の一部であるが、深度10m~20m程度のところで

図5 従来型地熱発電と高温岩体地熱発電の比較



出典：NEDO の HP より<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <http://www.nedo.go.jp/content/100089089.pdf>

得られる昼夜間及び季節間の温度変化の小さい地中の熱)は、火山や温泉の近くで活用される地熱にくらべて、場所を選ばず、日本中どこでも利用可能な点が特徴である。また、太陽光や風力のように天候に左右されたり、利用できる時間帯が限られることもなく、安定的にいつでも利用できるエネルギーであると言える。我が国で、地中熱として利用している熱エネルギーは、現在のところ地下150m程度の深さまでである。温度は四季に関係なく、その土地の年平均気温とほぼ同じで、例えば東京の場合だと、地中熱は1年間を通して15~18℃を維持している。地中熱は夏冷たく、冬は暖かい熱エネルギーということになる。

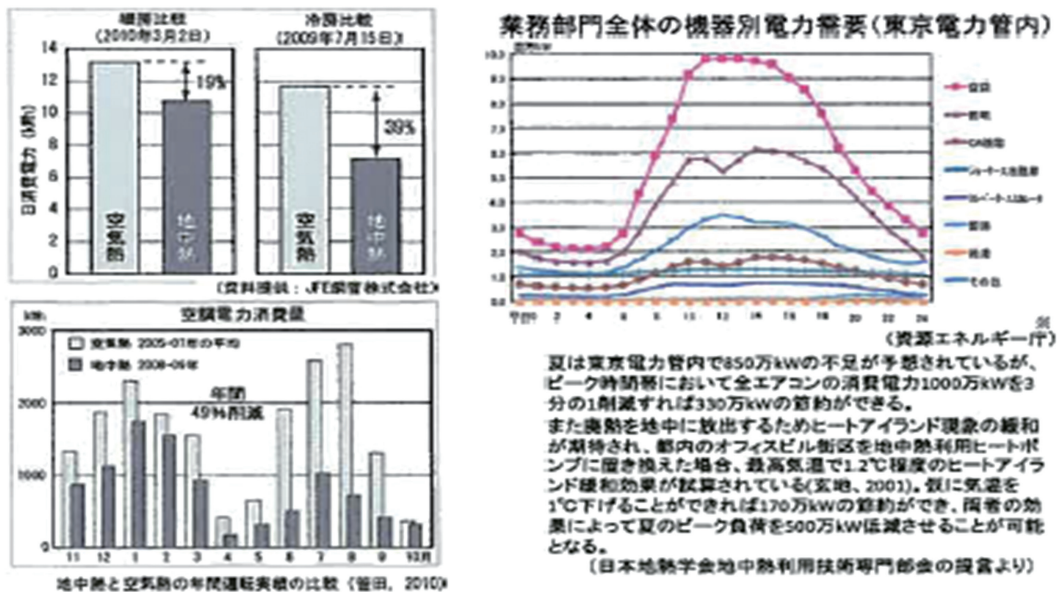
一方、大規模な熱として発電に利用することはできず、主に冷暖房や給湯、融雪などに熱として利用できるエネルギーである。人間が生活しやすい温度帯の利用が可能で効率的である一方、非常に高い温

度や低い温度への利用には適さないという特徴がある。

地中熱利用冷暖房システムは、外気の影響を受けないため熱効率が1年を通じてよいというメリットがある。媒体として地下水を利用するため、空気より採熱効率が高く、空気式の冷暖房システムに比べて電力消費が1/2~1/3になると言われている。また、放熱用室外機がなく稼働時騒音が少ない点、夏季の冷房排熱を大気中に放出せず地中に吸収させることによるヒートアイランド現象につながらない、という点が挙げられる。

日本地熱学会地中熱利用技術専門部会の試算によると<sup>8</sup>、地中熱利用ヒートポンプは地中を熱源として空調を行うため、現在の主流である空気熱源ヒートポンプと比べて高効率運転が可能であり、冷房時には消費電力を約1/3削減することができる。夏のピーク時間帯において全エアコンの消費電力1000万

図6 地中熱ヒートポンプの節電効果



出典：地中熱利用促進協会資料<sup>9</sup>

<sup>8</sup> <http://grsj.gr.jp/proposal/proposal110405b.html>

<sup>9</sup> <http://www.geohpaj.org/>

kWを1/3節電すれば330万kWが節約できる。また、廃熱を地中に放出するためヒートアイランド現象の緩和が期待され、都内のオフィスビル街区を地中熱利用ヒートポンプに置き換えた場合、最高気温で1.2℃程度のヒートアイランド緩和効果が試算されている。仮に気温を1℃下げることができれば、170万kWの節約に繋がり、両者の効果によって夏のピーク負荷を500万kW低減させることが可能となる。

最近では、地中熱利用ヒートポンプに対する国の政策が明確になってきたことが指摘できる。日本の将来のエネルギービジョンをまとめた「エネルギー基本計画」（2010年6月）は地中熱の利用促進を明記している。また、2020年までに再生可能エネルギー関連を10兆円市場にしようという政府の「新成長戦略」にも、地中熱の利用促進が盛り込まれている。2012年度における経済産業省の「再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策補助金」が実施され、2013年度予算要求には、「再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業」があがるなど、国の施策が地中熱利用に注目している。

また、東京スカイツリーに地中熱ヒートポンプが導入されたことは、地中熱ヒートポンプの知名度アップに大きく貢献している。

上述の補助金に加え、今後、個人住宅や既設住宅

や既設ビル等にも使いやすい機器の開発支援や導入支援によって、地中熱ヒートポンプの普及し、人間にやさしい温度帯のエネルギーである地中熱エネルギーが、より活用されるようになることを期待したい。

## 5. まとめ

地熱発電はクリーンであり、適切に管理すれば非常に長期間にわたって利用することが可能なエネルギーである。これまで、原子力発電の影に隠れて注目を浴びてこなかった分、今後はより積極的に開発を進めるべきと考えられる。しかし、「原発20基分」の発電や、「電力供給の数割」をすぐ担えるかのような報道には、非常に違和感がある。地熱、地中熱の特性、現実的規模感を踏まえ、冷静に推進すべきである。

加えて、地中熱の直接利用という有望な省エネ技術については、他の先進国や中国に比して日本での注目度は低い。特に、夏の冷房利用向けのピークカットに大きく貢献することができるため、今後も注目すべきである。

注) 図1～図5は第1回～第4回の中でも掲載しているが、読者の理解を深めるために再掲したものである。